



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**Estudio Hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona “Área Nacional Protegida,
Zicuirán-Infiernillo”**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTA:
EMETERIO DE AQUINO JACOBO**

**ASESOR:
DRA. SONIA T. SANCHEZ QUISPE**

MORELIA, MICHOACÁN, ENERO DE 2010





Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona "Área Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo"



Dedicatorias

***A Janned Esbeydy López Vargas
Por tu cariño y compañía***

A mis padres:

***Crisoforo De Aquino De La Cruz.
Lucia Jacobo Bonilla.***

Por su amor y confianza en cada instante de mi vida.



Agradecimientos

A Héctor, Ernesta y Raul, que me han acompañado a lo largo de mis travesías y que sin esperar nada a cambio han dejado mucho por permitirme escalar un peldaño más en esta vida.

A mis familiares por su fe y aliento en los momentos que más los necesitaba

Dr. Constantino Domínguez por sus valiosas aportaciones en el ámbito profesional y personal.

Dra. Sonia Tatiana Sánchez Quispe, agradezco infinitamente su paciencia, comprensión y apoyo durante el desarrollo este trabajo, y por sus valiosas aportaciones para mi formación personal.

Laboratorio de Hidráulica por permitirme encontrar en camino que me conducirá hacia mi desarrollo profesional.

Casas Espartaco, por su espacio que me brindaron incondicionalmente durante mi desarrollo profesional.

A compañeros y amigos que han compartido vivencias en algún instante de su vida.



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona “Area Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo”



Contenido

Introducción	5
Antecedentes	6
Generalidades.....	6
Volumen de escurrimiento	7
Determinación del volumen de escurrimiento.....	16
Sistemas de información geográfica	19
Área natural protegida Zicuirán-infiernillo	25
Zona del proyecto.....	25
Situación actual.....	25
Localización política y geográfica	26
Características de la infraestructura existente.....	30
Condiciones naturales.	32
Cuencas del área natural protegida Zicuirán-infiernillo	38
Identificación del parteaguas.....	38
Características geomorfológicas.....	39
Volumen de escurrimiento	43
Información disponible.....	43
Climatología (precipitación)	43
Topografía	44
Hidrometría.....	45
Lluvia media de la cuenca.....	45
Determinación del parámetro k de las cuencas	50
Procedimiento auto CAD	50
Procedimiento Arc View.	61
Determinación de volumen de escurrimiento.....	103
Análisis de resultados.....	108
Conclusiones.....	111
Bibliografía.....	112



Introducción

En frecuentes ocasiones el estudiante de ingeniería civil y en particular con las materias de hidrología superficial, se encuentra con el problema de la disponibilidad del material bibliográfico. Los textos generalmente tratan los temas con poca profundidad y el estudiante debe resolver un verdadero rompecabezas bibliográfico para obtener los conocimientos que desea, en esta institución y sobre todo cuando se trata de docencia, es indispensable contar con material bibliográfico adecuado.

Con esta tesis se pretende tener material bibliográfico referente a la parte técnica de hacer hidrología desde el punto de vista ingenieril, "hacer mas con menos en el menor tiempo posible"; es decir tratar de acercar al ingeniero o estudiante de ingeniería material bibliográfico que lo lleven de mano y que le permitan realizar tareas con la tecnología de actualidad y con un mecanismo de rapidez y calidad.

El trabajo esta organizado en 4 capítulos: los antecedentes, El Área Nacional Protegida (ANP) Zicuiran-Infiernillo, Volumen de escurrimiento y finalmente el análisis de resultados.

Dentro del capitulo 1, se desarrolla un panorama sobre conceptos y aspectos generales de hidrología, en el capítulo 2, se presenta las condiciones existentes del área en estudio ANP, en el capitulo 3, capitulo medular de este trabajo, se desarrolla los procedimientos para la obtención de parámetro K y por ultimo el capitulo 4, se presentan las conclusiones obtenidas al termino de este trabajo, los alcances y recomendaciones.

Es importante mencionar que en este trabajo se presentan las metodologías seguidas para el desarrollo del proyecto y que serán de utilidad para todo aquel que haga hidrología.



Antecedentes

Objetivo

Determinar el volumen de escurrimiento medio anual con la ayuda de los sistemas de información geográfica y la evaluación de los sistemas como mecanismo de eficiencia para el desarrollo de la hidrología superficial.

Generalidades

El agua es un recurso natural imprescindible para cualquiera de los tipos de vida existentes en la tierra, por lo que es importante conocer la cantidad y distribución de los diferentes estados y clases de ésta en el mundo para lograr su mejor aprovechamiento.

Según el soviético Gorsky (1962), el volumen de agua salada en los océanos es aproximadamente de 1370 millones de kilómetros cúbicos, lo que representa un volumen diez veces mayor que el de la tierra firme que se eleva sobre el nivel del mar. En las masas polares de hielo y nieve, se tiene un volumen de más de 30 millones de kilómetros cúbicos de agua; en los lagos y en los ríos se encuentran 4 millones de kilómetros cúbicos, y en la atmósfera, las aguas en forma de vapor comprenden de 7 a 12 mil kilómetros cúbicos, los cuales están distribuidos aproximadamente en la siguiente forma:

CONCEPTO	MILL. de km ³	%
Océanos	1370	97.57
Casquetes polares	30	2.14
Agua de tierra firme	4	0.29
Atmósfera	0.007 a 0.0012	0.0005
Total	1404.01	100.0005



Respecto al agua contenida en la corteza terrestre, su volumen es relativamente grande, ya que representa el 7% del peso de la misma corteza, pero con la gran limitante de su salida a la superficie. Sobre este tipo de agua, la bibliografía reporta diferentes datos. Así, según la hipótesis del soviético Vinogradov, citado por Gorsky (1962), los mantos acuíferos contiene agua equivalente a 1,000 veces el peso del volumen de ésta existente en la atmósfera. Otra opinión de hidrólogo soviético N.A. Plotnikov, citado por Gorsky (1962), que dice que el volumen de agua subterráneo en la esfera terrestre es aproximadamente igual a 10 millones de kilómetros cúbicos, lo que constituye cerca de 1/14 del volumen de los océanos y de los mares, lo que supera en 8,000 veces el contenido de agua en el aire. Por último F. Kiuenen, citado por Gorsky (1962), calculó que solamente en la capa de los 5 kilómetros superiores de la corteza terrestre, el volumen de agua es aproximadamente tres veces mayor que el del feldespato, que ocupa en la corteza terrestre el 2° lugar en cantidad después del agua.

Sintetizando lo anterior expuesto, la tierra es una esfera rodeada de vapores acuosos y provista de una corteza muy húmeda impregnada de agua, en diferentes estados y formas, de los cuales solo una mínima parte (menos del 0.01% del total) están potencialmente disponibles para su uso, doméstico, agrícola o industrial y el resto no pueden utilizarse. En este señalamiento se puede palpar la importancia que tiene el uso eficiente del agua dulce y aun más, la relevancia que tendrá este hecho para las siguientes generaciones

Volumen de escurrimiento

El escurrimiento es la parte de la precipitación que aparece en las corrientes fluviales superficiales, perennes, intermitentes o efímeras, y que regresa al mar o a los cuerpos de agua interiores. Dicho de otra manera, es el deslizamiento virgen del agua, que no ha sido afectado por obras artificiales hechas por el hombre (Chow, 1964). De acuerdo con las partes de la superficie terrestre en las que se realiza el escurrimiento, éste se puede dividir en:

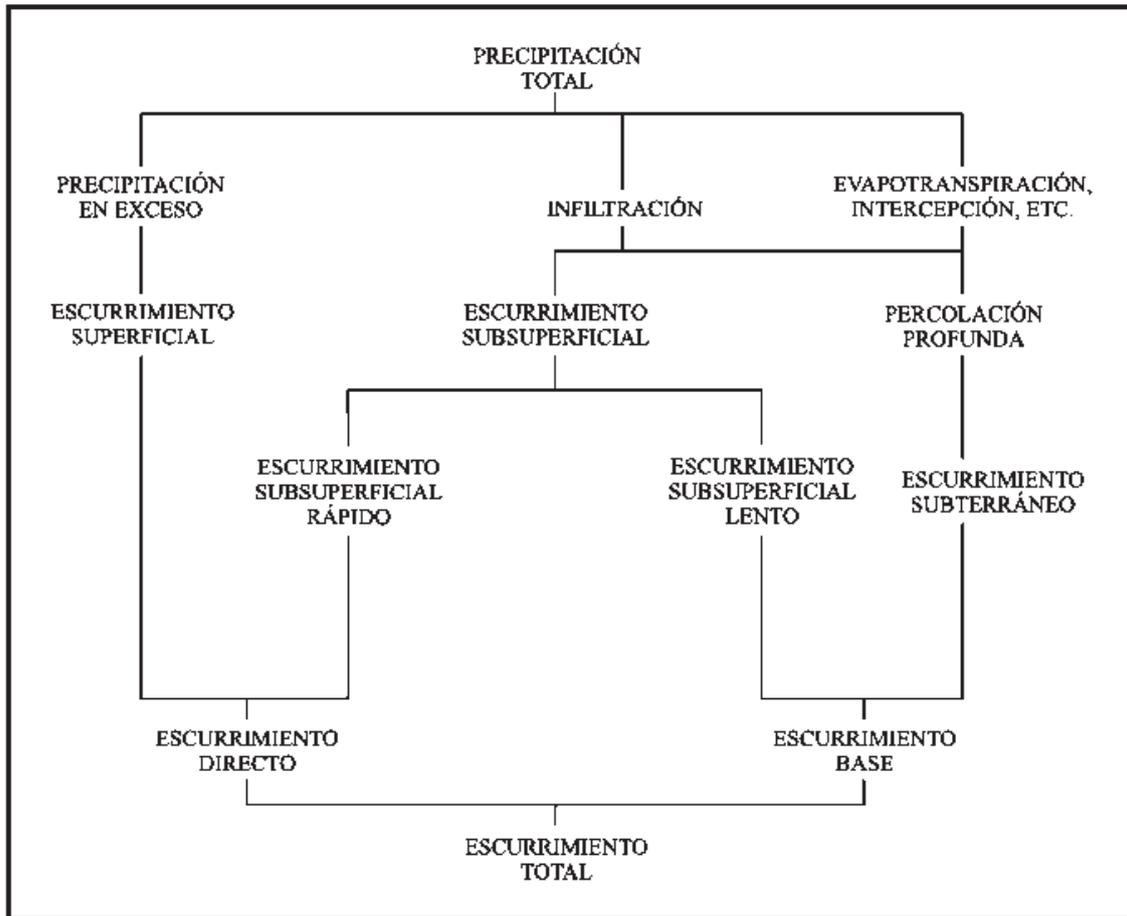


Diagrama del escurrimiento (Chow, 1964).

Escorrimento superficial o esorrentía. Es la parte del agua que escurre sobre el suelo y después por los cauces de los ríos.

Escorrimento subsuperficial. Es la parte del agua que se desliza a través de los horizontes superiores del suelo hacia las corrientes. Una parte de este tipo de escurrimiento entra rápidamente a formar parte de las corrientes superficiales y a la otra le toma bastante tiempo el unirse a ellas.

Escorrimento subterráneo. Es aquél que, debido a una profunda percolación del agua infiltrada en el suelo, se lleva a cabo en los mantos subterráneos y que, posteriormente, por lo general, descarga a las corrientes fluviales.

A la parte de la precipitación que contribuye directamente al escurrimiento superficial se le llama *precipitación en exceso*.

El escurrimiento subterráneo y la parte retardada del escurrimiento subsuperficial constituyen el *escurrimiento base* de los ríos.



La parte de agua de escurrimiento que entra rápidamente en el cauce de las corrientes es a lo que se llama *escurrimiento directo* y es igual a la suma del escurrimiento subsuperficial más la precipitación que cae directamente en los cauces.

Ciclo del escurrimiento

William G. Hoyt (1942) describe el ciclo del escurrimiento en cinco fases:

Primera fase

1. Comprende la época seca en la que la precipitación es escasa o nula.
2. La corriente de los ríos es alimentada por los mantos de agua subterránea.
3. La evapotranspiración es bastante intensa, y si esta fase no fuera interrumpida, llegarían a secarse las corrientes.
4. En regiones de clima frío, donde la precipitación es en forma de nieve, si la temperatura permite el deshielo, habrá agua disponible para mantener las corrientes fluviales, interrumpiéndose así la primera fase e iniciándose la segunda.

Segunda fase

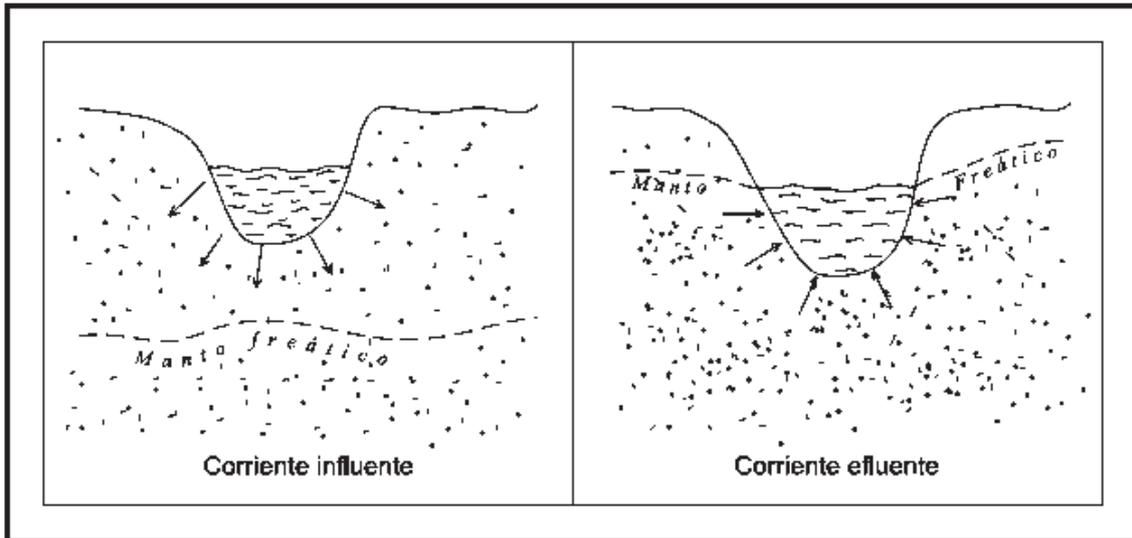
1. Caen las primeras precipitaciones cuya misión principal es la de satisfacer la humedad del suelo.
2. Las corrientes superficiales, si no se han secado, siguen siendo alimentadas por el escurrimiento subterráneo.
3. Si se presenta escurrimiento superficial, éste es mínimo.
4. La evapotranspiración se reduce.
5. Cuando existe nieve, ésta absorbe parte de la lluvia caída y su efecto de almacenamiento alargará este segundo período.
6. A través del suelo congelado puede infiltrarse el agua precipitada si su contenido de humedad es bajo.

Tercera fase

1. Comprende el período húmedo en una etapa más avanzada.
2. El agua de infiltración satura la capa del suelo y pasa, por gravedad, a aumentar las reservas de agua subterránea.
3. Se presenta el escurrimiento superficial, que puede o no llegar a los cauces de las corrientes, lo cual depende de las características del suelo sobre el que el agua se desliza.
4. Si el cauce de las corrientes aún permanece seco, el aumento del manto freático puede ser, en esta fase, suficiente para descargar en los cauces.



5. Si la corriente de agua sufre un aumento considerable, en lugar de que sea alimentada por el almacenamiento subterráneo (corriente efluente), la corriente contribuirá al incremento de dicho almacenamiento (corriente influente)



**Tipo de corriente según recargue al manto freático (influyente)
o se alimente del manto freático (efluente).**

6. La evapotranspiración es lenta.

7. En caso de que exista nieve y su capacidad para retener la lluvia haya quedado satisfecha, la lluvia caída se convertirá directamente en escurrimiento superficial.

8. Si el suelo permanece congelado, retardará la infiltración, lo que favorecerá al escurrimiento, pero en cuanto se descongele, el escurrimiento superficial disminuirá y aumentará el almacenamiento subterráneo.

Cuarta fase

1. Continúa el período húmedo.
2. La lluvia ha satisfecho todo tipo de almacenamiento hidrológico.
3. En algunos casos el escurrimiento subsuperficial llega a las corrientes tan rápido como el escurrimiento superficial.
4. El manto freático aumenta constantemente y puede llegar a alcanzar la superficie del suelo, o bien la velocidad de descarga hacia las corrientes puede llegar a ser igual a la de recarga.
5. Los efectos de la nieve y el hielo son semejantes a los de la tercera fase.

Quinta fase

1. El período de lluvia cesa.
2. Las corrientes de agua se abastecen del escurrimiento subsuperficial, del subterráneo y del almacenamiento efectuado por el propio cauce.



3. La evapotranspiración empieza a incrementarse.
4. En caso de existir nieve, cuando la temperatura está bajo 0° C, produce la prolongación de esta fase.
5. Esta fase termina cuando las reservas de agua quedan de tal manera reducidas que se presentan las características de la primera fase

Factores que afectan al escurrimiento

Los factores que afectan al escurrimiento se refieren a las características del terreno (cuencas hidrográficas), y se dividen en dos grandes grupos: los climáticos y los relacionados con la fisiografía.

1. Factores climáticos

Son aquéllos que determinan, de la cantidad de agua precipitada, la destinada al escurrimiento.

1. Precipitación. Es el elemento climático de más importancia para el escurrimiento, debido a que depende de ella. Interesan varios aspectos de este elemento para el conocimiento del escurrimiento.

A. *Forma de precipitación.* Si la precipitación es en forma líquida, el escurrimiento se presenta con relativa rapidez; si es en forma sólida no hay ningún efecto, a menos que la temperatura permita la rápida licuefacción.

b) *Intensidad de la precipitación.* Cuando la precipitación es suficiente para exceder la capacidad de infiltración del suelo, se presenta el escurrimiento superficial y cualquier aumento en la intensidad repercute rápidamente en dicho escurrimiento.

c) *Duración de la precipitación.* Entre más dure la precipitación mayor será el escurrimiento, independientemente de su intensidad. Una lluvia prolongada, aun cuando no sea muy intensa, puede causar gran escurrimiento superficial, ya que con la lluvia decrece la capacidad de infiltración.

d) *Distribución de la precipitación en el espacio.* Generalmente la lluvia nunca abarca toda la superficie de la cuenca; para cuencas pequeñas, los mayores escurrimientos superficiales resultan de tormentas que abarcan áreas pequeñas, y para cuencas grandes, resultan de aguaceros poco intensos que cubren una mayor superficie.

e) *Dirección del movimiento de la precipitación.* La dirección del centro de la perturbación atmosférica que causa la precipitación tiene influencia en la lámina y duración del escurrimiento superficial. Si la tormenta se mueve dentro del área de la cuenca, el escurrimiento será mayor que si únicamente la atraviesa. Por otro



lado, si el temporal avanza en sentido contrario al drenaje, el escurrimiento será más uniforme y moderado que si se mueve en el sentido de la corriente.

f) *Precipitación antecedente y humedad del suelo.* Cuando el suelo posee un alto contenido de humedad, la capacidad de infiltración es baja y se facilita el escurrimiento.

B. Otras condiciones del clima. Además de la precipitación existen otros elementos que se deben tomar en cuenta, pues aunque indirectamente, también afectan al escurrimiento; entre ellos la temperatura, el viento, la presión y la humedad relativa.

2. Factores fisiográficos

Se relacionan por una parte con la forma y características físicas del terreno y por la otra con los canales que forman el sistema fluvial.

A. Factores morfométricos. Son aquellas particularidades de las formas terrestres que influyen en el agua de la lluvia al caer a la superficie, por la velocidad que adquiere, por los efectos que produce y por el tiempo que tarda en llegar al punto de desagüe.

a) *Superficie.* La superficie de las cuencas hidrográficas está limitada por la divisoria topográfica o parteaguas que determina el área de la cual se derive el escurrimiento superficial. Las cuencas pequeñas se comportan de manera distinta a las cuencas grandes en lo que se refiere al escurrimiento. No existe una extensión definida para diferenciar a las cuencas pequeñas de las grandes, sin embargo, hay ciertas características que distinguen a unas de otras. Las cuencas pequeñas son más sensibles al uso del suelo y a las precipitaciones de gran intensidad que abarcan zonas de poca extensión. En las cuencas grandes es muy importante el efecto de almacenamiento en los cauces de las corrientes.

b) *Forma.* Interviene principalmente en la manera como se presenta el volumen de agua escurrido a la salida de la cuenca. Generalmente los volúmenes escurridos en cuencas alargadas son más uniformes a lo largo del tiempo, en cambio, en cuencas compactas el agua tarda menos en llegar a la salida, en donde se concentra en un tiempo relativamente corto. Existen índices que expresan la forma de las cuencas hidrográficas, y se obtienen a partir de la superficie y medidas lineales de la cuenca, como el índice de compacidad (K) de *Gravelius*, que relaciona el perímetro de la cuenca (P) con el de la circunferencia de un círculo de igual área a la de la cuenca (A):

$$K = \frac{P}{2 \sqrt{(\pi A)}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$



El valor mínimo que se puede obtener es 1 y cuanto mayor sea el índice, más alargada será la cuenca.

Otro índice para conocer la forma de la cuenca es el factor de forma

$$F_f = \frac{a_m}{e_a}$$

Donde:

F_f , factor de forma,
 a_m , anchura media de la cuenca,
 e_a , eje axial.

$$a_m = \frac{A}{e_a}$$

Donde:

A , área total de la cuenca,
 e_a , eje axial.

c) *Pendiente*. La pendiente del terreno está relacionada con la infiltración, con el escurrimiento superficial, con la contribución del agua subterránea a la corriente y con la duración del escurrimiento. Existe un método (Wisler y Brater, 1959) para obtener la pendiente media de una cuenca:

$$P = \frac{DL}{A}$$

Donde:

P , pendiente media de la cuenca,
 D , intervalo entre las curvas de nivel,
 L , longitud total de las curvas de nivel,
 A , área de la cuenca.

d) *Orientación*. La orientación de la cuenca y la de sus vertientes se relaciona con el tipo de precipitación, los vientos predominantes y la insolación.

e) *Altitud*. Influye principalmente en la temperatura y en la forma de precipitación. Un método para calcular este factor es el siguiente:



$$A = \frac{\sum se}{S}$$

Donde:

A, altitud media de la cuenca,
s, superficie entre dos curvas de nivel,
e, altitud media de la franja de terreno comprendida entre dos curvas de nivel,
S, superficie total de la cuenca.

Otro método para calcular la altitud media es por medio de la curva hipsométrica, misma que representa la forma media del relieve de la cuenca. Se construye llevando en el eje de las abscisas, longitudes proporcionales a las superficies proyectadas de la cuenca en kilómetros cuadrados o en porcentaje, comprendidas entre las curvas de nivel consecutivas, hasta sumar la superficie total, y en el eje de las ordenadas la cota de las curvas de nivel consideradas; la altura media se obtiene dividiendo el área comprendida bajo la curva hipsométrica entre la longitud que representa la superficie total de la cuenca.

Cabe destacar que la curva hipsométrica muestra, como ya se dijo, el perfil medio del relieve de la cuenca, por lo que su análisis también está relacionado con el comportamiento del escurrimiento en la cuenca. Por otra parte, con los datos calculados para el trazo de la curva hipsométrica se construye el histograma de frecuencias altimétricas, gráfica que representa las superficies en kilómetros cuadrados y en porcentajes, comprendidas entre las altitudes consideradas, lo cual da idea de la distribución del terreno en cuanto a las altitudes de la cuenca.

B. Factores físicos. Se refieren a las características físicas del terreno con su estructura y utilización.

a) *Uso y cubierta del suelo.* Cuando el terreno es virgen y está cubierto por vegetación, especialmente de bosques, contribuye a la estabilización de los regímenes de las corrientes; cuando es deforestada el agua corre rápidamente por la superficie. Por otra parte, también son importantes las obras que se efectúan en los mismos cauces de las corrientes, por ejemplo la construcción de una presa puede producir una sobreelevación del nivel del agua en el tramo anterior al embalse, esto genera un aumento en el nivel del cauce por el depósito de acarreo (azolve), lo cual influye aguas arriba de la corriente; además, afecta el perfil de las capas freáticas.

b) *Tipo de suelo.* Se refiere a la capacidad de infiltración del suelo. Entre más poroso sea y menor contenido de material coloidal posea, tendrá una mayor



capacidad de infiltración, lo cual retardará la aparición del escurrimiento superficial.

c) *Geología*. Condiciona al escurrimiento en cuanto a la permeabilidad e impermeabilidad de las estructuras que forman el terreno. Cuando el terreno es permeable, el sistema fluvial, durante la época de estiaje, se encuentra bien abastecido por el escurrimiento subterráneo. Cuando el terreno es impermeable, el volumen de escurrimiento se concentra más pronto en el punto de desagüe y en la época de estiaje el nivel de la corriente disminuye considerablemente o bien desaparece.

d) *Topografía*. A este respecto son importantes las ondulaciones del terreno y los límites superficiales de la cuenca hidrográfica. Las ondulaciones pueden ser la causa de la presencia de depresiones en donde se acumula el agua, disminuyendo la cantidad destinada al escurrimiento. En relación con la divisoria topográfica, puede ser que haya disparidad entre ésta y la freática, de manera que parte del escurrimiento subterráneo contribuya al escurrimiento de la cuenca vecina atravesando el límite topográfico o bien que reciba parte del escurrimiento subterráneo de esa cuenca vecina.

C. Red de drenaje. Se refiere a las características de los canales que comprenden el sistema fluvial de la cuenca. Refleja las condiciones del terreno sobre el que se desarrolla.

a) *Densidad hidrográfica*. Es la relación de la cantidad de corrientes que existen en la cuenca entre la superficie de ésta. Uno de los métodos para ordenar y contar el número de canales es el de Strahler (1964), que considera canales de primer orden a las corrientes formadoras. Cuando se unen dos canales de primer orden, forman otro de segundo orden, cuando se unen dos canales de segundo orden, forman otro de tercer orden y así sucesivamente.

b) *Densidad de drenaje*. Resulta de dividir la longitud total de las corrientes de agua entre la superficie de la cuenca. Entre mayor sea este índice, más desarrollada estará la red de drenaje.

c) Otras características relacionadas con la red de drenaje son las que se refieren a la capacidad de almacenamiento de las corrientes y a la capacidad de transporte de las mismas.



Determinación del volumen de escurrimiento.

Descripción de los métodos por aplicar para determinar, el volumen medio anual de escurrimiento natural. La descripción de los métodos se limita a los conceptos y expresiones básicas.

Las expresiones permiten determinar el escurrimiento natural en los métodos aquí descritos, para cada año del periodo analizado, hidrométrico o climatológico, según sea el caso, y posteriormente se obtiene su promedio.

El volumen medio anual de escurrimiento natural, se determina aplicando alguno de los siguientes métodos:

Método Directo

Registros hidrométricos

Este método se aplica, si en la cuenca en estudio se cuenta con suficiente información hidrométrica para un período mínimo de 20 años (cuenca aforada). El cálculo del volumen medio anual de escurrimiento natural se obtiene con el promedio de los volúmenes anuales de escurrimiento natural:

$$V_e = C_e * A * P$$

Donde:

- Ve Volumen medio anual de escurrimiento natural
- Ce Coeficiente de escurrimiento
- A Área de la cuenca en m²
- P Precipitación anual en m

Métodos Indirectos

En caso de que en la cuenca en estudio no se cuente con suficiente información de registros hidrométricos o ésta sea escasa (cuenca no aforada), para determinar el volumen medio anual de escurrimiento natural se aplica el método indirecto denominado: precipitación-escurrimiento.

Precipitación-escurrimiento

El volumen medio anual de escurrimiento natural se determina indirectamente, mediante la siguiente expresión:

$$V_{EMA} = P_{MA} A_C C_E$$



- V_{EMA} Volumen medio anual de escurrimiento natural
 C_E Coeficiente de escurrimiento
 A_C Área de la cuenca en m^2
 P_{MA} Precipitación media anual en m

Precipitación media anual en la cuenca

A) Si en la cuenca en estudio se cuenta con suficiente información pluviométrica de cuando menos 20 años, la precipitación media anual se determina a partir del análisis de los registros de las estaciones ubicadas dentro y vecinas a la cuenca, mediante el método de Polígonos de Thiessen o Isoyetas.

B) Cuando en la cuenca en estudio no se cuenta con información pluviométrica o ésta sea escasa, la precipitación media anual, se podrá obtener con apoyo de los planos de Isoyetas normales anuales editados por CNA

Coeficiente de escurrimiento

El coeficiente de escurrimiento se determina a partir de los siguientes procedimientos:

A) Transferencia de información hidrométrica y climatológica de cuencas vecinas, hidrológicamente homogéneas.

- 1) En la cuenca vecina, se determinan los coeficientes anuales de escurrimiento (C_e), mediante la relación del volumen de escurrimiento anual (V_e), entre el volumen de precipitación anual (V_p) correspondiente.

$$C_e = V_e / V_p$$

- 2) Con los valores del volumen de precipitación anual y el coeficiente de escurrimiento anual obtenidos en la cuenca vecina, se establece una correlación gráfica o su ecuación matemática.
- 3) Con apoyo de la ecuación matemática o en la gráfica; y al utilizar los valores del volumen de precipitación anual de la cuenca en estudio, se estiman los correspondientes coeficientes anuales de escurrimiento.

B) En función del tipo y uso de suelo y del volumen de precipitación anual, de la cuenca en estudio.

- 1) Con apoyo en la cartografía del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) y de visitas de campo, se clasifican los suelos de la cuenca en estudio, en tres diferentes tipos: A (suelos permeables); B



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona "Área Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo"



(suelos medianamente permeables); y C (suelos casi impermeables), que se especifican a continuación y al tomar en cuenta el uso actual del suelo, se obtiene el valor del parámetro K, (véase Plan Nacional de Obras de Riego para el Desarrollo Rural "Pequeños Almacenamientos". Secretaría de Recursos Hídricos)

TIPO DE SUELO	CARACTERÍSTICAS
A	Suelos permeables, tales como arenas profundidad y loes poco compactos
B	suelos medianamente permeables, tales como arenas de mediana profundidad: loes algo mas compactos que los correspondientes a los suelos A: terrenos migajosos
C	suelos casi impermeables, tales como arenas o loes muy delgados sobre una capa impermeable o bien arcillas

Tabla de tipo de suelo

USO DE SUELO	TIPO DE SUELO		
	A	B	C
Barbecho, áreas incultas y desnudas	0.26	0.28	0.3
Cultivos			
En Hilera	0.24	0.27	0.30
Legumbres o rotación de pradera	0.24	0.27	0.30
granos pequeños	0.24	0.27	0.30
Pastizal			
% del suelo cubierto o pastoreo			
Mas del 75% -poco-	0.14	0.20	0.28
Del 50 al 75% - regular-	0.20	0.24	0.30
Menos del 50% -excesivo-	0.24	0.28	0.30
Bosque:			
Cubierto más del 75%	0.07	0.16	0.24
Cubierto del 50 al 75 %	0.12	0.22	0.26
cubierto del 25 al 50%	0.17	0.26	0.28
Cubierto menos del 25%	0.22	0.28	0.3
zonas urbanas	0.26	0.29	0.32
Caminos	0.27	0.3	0.33
Pradera permanente	0.18	0.24	0.3

Valor del parámetro K en función del tipo y uso de suelo



- 2) Si en la cuenca en estudio, existen diferentes tipos y usos de suelo, el valor de K se calcula como la resultante de subdividir la cuenca en zonas homogéneas y obtener el promedio ponderado de todas ellas.
- 3) Una vez obtenido el valor de K, el coeficiente de escurrimiento anual (C_e), se calcula mediante las fórmulas siguientes:

K: PRÁMETRO QUE DEPENDE DEL TIPO Y USO DE SUELO	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO ANUAL (C_e)
Si K resulta menor o igual que 0.15	$C_e = K(P-250)/2000$
si K es mayor que 0.15	$C_e = K(P-250)/2000 + (K-0.15)/1.5$

Formulas para el cálculo del coeficiente de escurrimiento en función del parámetro K

Sistemas de información geográfica

Dado que el agua es un recurso muy importante para la humanidad, administrarla de manera eficaz es una tendencia mundial, por lo que existen también un buen número de herramientas computacionales diseñadas para modelar, analizar y administrar el agua. Cada una de ellas diseñada con un objetivo a veces muy específico, a veces como una parte de un análisis más complejo.

Un Sistema de Información geográfica (SIG) detalla un conjunto de procedimientos sobre una base de datos no gráfica o descriptiva de objetos del mundo real que tienen una representación gráfica y que son susceptibles de algún tipo de medición respecto a su tamaño y dimensión relativa a la superficie de la tierra. A parte de la especificación no gráfica el SIG cuenta también con una base de datos gráfica con información georeferenciada o de tipo espacial y de alguna forma ligada a la base de datos descriptiva. La información es considerada geográfica si es medible y tiene localización.

En un SIG se usan herramientas para un procesamiento gráfico y alfanumérico altamente eficiente, estas herramientas van dotadas de procedimientos y aplicaciones para captura, almacenamiento, análisis y visualización de la información georeferenciada.

La mayor utilidad de un sistema de información geográfico esta íntimamente relacionada con la capacidad que posee éste de construir modelos o representaciones del mundo real a partir de las bases de datos digitales, esto se logra aplicando una serie de procedimientos específicos que generan aún más información para el análisis.



La construcción de modelos o modelos de simulación como se llaman, se convierte en una valiosa herramienta para analizar fenómenos que tengan relación con tendencias y así poder lograr establecer los diferentes factores influyentes.

Los SIG en la modelación hidrológica

Desde el modelo de Stanford (Crawford y Linsley, 1966), muchos han sido los esfuerzos que se han realizado para representar numéricamente los procesos hidrológicos que tienen lugar en una cuenca hidrográfica. De acuerdo con Singh (1995), los modelos pueden clasificarse en función de la escala (espacial o temporal) que utilicen, del método de solución (numérica, analógica o analítica) y del tipo de proceso que utilicen para representar los diferentes componentes del ciclo hidrológico (concentrados o distribuidos). En cualquier caso, un modelo hidrológico requiere de una vasta información para representar las características físicas e hidrológicas de una cuenca; sin embargo, si el modelo toma en cuenta la variabilidad espacial de procesos como la infiltración, la evaporación, las características fisiográficas de la cuenca, etc. (modelos de tipo distribuidos), la cantidad de información requerida se incrementa notablemente, ya que cada unidad hidrológica estará caracterizada por su topografía, su geología, su tipo y uso del suelo, su climatología, etcétera. Si consideramos además que el modelo debe satisfacer a un objetivo bien definido, por ejemplo conocer la respuesta hidrológica de una cuenca ante diferentes escenarios de cambio en el uso del suelo, el volumen de información que habrá de manipularse crecerá con el número de alternativas a estudiar.

Según Backhoff (2005), existen en el mercado más de 100 sistemas o paquetes comerciales con las capacidades de un SIG. En todo el mundo se han usado muy ampliamente en las más diversas áreas tanto comerciales como de investigación e inclusive de administración.

Por otra parte, en las últimas dos décadas, el desarrollo de los llamados Sistemas de Información Geográfica (SIG) ha tenido un verdadero auge. Concretamente en el ámbito hidrológico, el número de modelos que se acoplan a un SIG o viceversa, crece cada vez más y es predecible que en un futuro la ingeniería hidrológica aproveche la enorme funcionalidad y potencialidad de los SIG's en beneficio de una simulación más apegada a las características físicas de los problemas.

Una de las funcionalidades más importantes y además básicas de un SIG, concretamente en el ámbito de las aplicaciones hidrológicas, es la descripción de la topografía de una cuenca. El insumo básico para este análisis es el llamado Modelo de Elevación Digital (MED). Un MED puede definirse (Bosque *et al.*, 1994) como una representación simplificada de la topografía de un territorio, en formato digital, adecuada a su tratamiento con una computadora.



La generación de un MED es una operación tediosa que requiere de abundante información de base, generalmente ésta procede de la digitalización de curvas de nivel de una cartografía de base. A partir de ella, es necesario proceder a una interpolación espacial para determinar las elevaciones en los puntos intermedios de las curvas de nivel. La pendiente del terreno y las áreas tributarias son otras de las variables que pueden obtenerse de un MED y que tienen una aplicación directa en la modelación hidrológica

Un modelo hidrológico requiere de una vasta información para representar las características físicas e hidrológicas de una cuenca; si el modelo es además de tipo distribuido, la cantidad de información que se requiere es mayor. Ante la necesidad de recolectar, almacenar y manipular grandes cantidades de datos, un SIG acoplado a un modelo hidrológico ofrece una verdadera alternativa para que se puedan realizar cálculos cada vez más cuantitativos. El empleo de un SIG conjuntamente con un modelo hidrológico no es sin embargo trivial; se requiere de al menos tres grandes pasos:

- a.- Construcción de la base de datos espacial,
- b.- Generación de las coberturas temáticas que el modelo requiere y
- c.- Desarrollo de una interface de comunicación entre el modelo y el SIG.

El primer paso es obviamente el más largo, afortunadamente en la actualidad existe mucha información que ya está en formato digital y que sólo hay que incorporarla al SIG mediante algún tipo de importación. En casos donde la información no se encuentra disponible digitalmente, es necesario digitalizarla directamente de la fuente impresa en papel ya sea a partir de mapas o bien a partir de fotografías aéreas, para lo cual, los SIG brindan una serie de herramientas que posibilitan esta labor. El alto desarrollo que tienen hoy en día los SIG's y la percepción remota hace, sin embargo, que esta etapa y parte de la segunda sean menos consumidoras de tiempo. En la actualidad, sistemas como ARC/INFO, SPANS, Ilwis, disponen de módulos de cálculo que permiten, entre otros aspectos, la adquisición de datos (cubierta vegetal por ejemplo) vía sensores remotos, la extracción de redes de drenaje, cuencas y subcuencas, acumulación de flujos, entre otras variables.

Durante el segundo paso, se interactúa con la información adquirida en el paso previo de manera que se genera la cartografía (a veces también llamada cobertura) temática que el modelo demanda. Por lo que la información es actualizada, depurada, agregada o desagregada, combinada o extraída de manera tal que, cada tema (de ahí el nombre de temática) que se genera, representa una variable que el modelo requiere para su implementación dentro del SIG.

El paso c requiere primeramente responder a la pregunta ¿Qué SIG para qué modelo? Obviamente, el modelo a utilizar depende de la problemática "hidrológica" a estudiar. El SIG, por su parte, debe poder ofrecer funcionalidades para la



captura, edición y análisis de la información que requiere el modelo, así como herramientas que permitan al usuario construir la interfase que permita interactuar con el modelo y con los datos geográficos o tabulares necesarios para la aplicación del propio modelo. Los SIG robustos disponen de un lenguaje de programación que facilita el desarrollo de una interface de comunicación entre el SIG y el modelo hidrológico; sin embargo, aún en los sistemas menos potentes, se dispone de utilerías que permiten programar las necesidades de comunicación y si esto no fuera posible, siempre existirá la posibilidad de automatizar el empleo del SIG a través de archivos tipo "batch". Así pues, la utilización de un SIG en un proceso de modelación hidrológica tiene como propósito facilitar la adquisición y preparación de datos espaciales y posteriormente la presentación y despliegue de resultados. En cuanto al potencial de aplicación en el ámbito de la hidrología de cuencas, hay numerosos ejemplos en la literatura; la utilización puede ir desde simples aplicaciones para cálculos hidrológicos específicos como son el cálculo de hidrogramas unitarios (Maidnet, 1993), cálculo de redes de drenaje y acumulación de flujo (Broder y Sperling, 1993), hasta el desarrollo de sistemas expertos que permiten la planeación y operación óptima de los recursos hidráulicos a nivel regional (Lam, 1993), o bien para la operación óptima de un sistema de control de avenidas (Sismonovic, 1993). Todo ello pasando por la modelación hidrológica de cuencas acoplando un SIG con un modelo hidrológico, del cual el modelo HEC1 (Feldman, 1995) es un ejemplo.

SIG de código abierto

El código abierto es un método de desarrollo de software que combina el poder de la revisión distribuida (varios desarrolladores en cualquier parte del mundo pueden revisar el código y hacerle mejoras) con la transparencia del proceso. De acuerdo al Open Source Initiative (OSI, siglas en inglés para Iniciativa de Código Abierto), código abierto significa más que sólo acceso al código fuente de la aplicación, sino que los términos de distribución deben cumplir con una serie de requisitos entre los que se encuentra la redistribución gratuita del programa compilado así como de su código fuente, el permiso para usar el código fuente y derivar de él trabajos posteriores, no se permite la discriminación contra personas o grupos, ni se puede impedir su uso para fines empresariales, entre otros aspectos.

Existen muchas aplicaciones bajo este esquema, pero particularmente para el caso de sistemas de información geográfica se puede mencionar los siguientes:

BASINS (Better Assesment Science Integrating point & Nonpoint Sources) originalmente fue publicado en 1996 de acuerdo a la página web de éste programa (<http://www.epa.gov/waterscience/basins>). Es un sistema de análisis ambiental multipropósito, fue diseñado para ser usado por agencias regionales, estatales y/o locales para estudios de cuenca y de calidad de agua. Actualmente ésta herramienta está disponible para todo aquél que esté interesado en examinar la información ambiental, llevar acabo el análisis de sistemas ambientales, además



de que provee un marco de referencia para examinar alternativas de manejo de cuencas.

FMaps (<http://fmaps.sourceforge.net/index.php>) de acuerdo a su página web, es una iniciativa de código abierto para construir un SIG para el sistema operativo Linux. Ya ha sido liberada la primera versión aunque aún está en etapa de desarrollo. El objetivo primordial de liberar la primera versión, es el de recibir colaboraciones que mejoren el producto final. Su principal objetivo es llenar el hueco que existe en la plataforma Linux de software de SIG y de percepción remota.

GMT (Generic Mapping Tools) es un paquete de software que está enfocado a la presentación visual de los datos de una manera rápida y profesional, acorde con su página web (<http://gmt.soest.hawaii.edu/>) GMT fue liberado por primera vez en 1988, actualmente incluye más de 50 herramientas, 25 proyecciones cartográficas y otras características

Su formato de archivo de trabajo es raster. En realidad no es un SIG como tal, puesto que carece de varias de las funciones imprescindibles, sin embargo es un conjunto de recursos interesantes para el análisis de datos raster.

SEXTANTE (Sistema Extremeño de Análisis Territorial) Este es un ejercicio interesante, es desarrollado por la Universidad de Extremadura y es financiado por la Junta de Extremadura, una comunidad autónoma de España.

Uno de sus principales objetivos es crear un SIG adaptado a las particularidades del campo de la gestión forestal, tratando con detalle áreas como el análisis hidrológico, la ordenación de montes o la simulación de incendios forestales y, dado que se desarrolla desde la Universidad intenta convertir el producto en un SIG con carácter didáctico que sirva para la iniciación y el aprendizaje de los SIG's. Su página web es <http://www.sextantegis.com>

SAGA (System for Automated Geoscientific Analices) es un SIG que tiene como objetivo brindar a la comunidad científica una plataforma para la implementación de métodos neocientíficos. De acuerdo con su página web (<http://www.saga-gis.uni-goettingen.de/html/index.php>) el conjunto de sus métodos está creciendo rápidamente. Según la propia página, actualmente SAGA consta de alrededor de 120 módulos. Entre los que más llaman la atención se encuentran los módulos para realizar la simulación de procesos dinámicos como erosión, además de que incluye herramientas para el análisis del terreno; pendiente, aspecto, análisis de patrones de flujo entre otras características.

Dentro de los SIG de código abierto más usados en el ámbito mundial, se encuentra GRASS (Geographic Resources Análisis Support System). Según la información encontrada en su página web (<http://grass.itc.it/intro/index.php>)



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona “Area Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo”



GRASS puede manejar y analizar datos geoespaciales, producir gráficos y o mapas, realizar modelación espacial así como el procesamiento de imágenes. Incorpora rutinas para importar desde muchos formatos de archivos conocidos ArcView, Arc/Info, Erdas, geoTiff y muchos más. Además de lo anterior, existe una extensa comunidad de usuarios que pueden apoyar para el proceso del aprendizaje de este SIG, el cual no es sencillo. Otra de sus ventajas es que es multiplataforma, funciona sobre distintos sistemas operativos y sobre distintas arquitecturas de computadoras, Linux, Solaris, Unix, Mac OS y demás. Por lo anterior no es sorprendente que sea uno de los SIG más utilizados.



Área natural protegida Zicuirán-infiernillo

Zona del proyecto

Situación actual

El ANP de jurisdicción federal Zicuirán- Infiernillo, se presenta con un polígono de 262,997.73 has que comprenden tres municipios del Estado de Michoacán: La Huacana, Churumuco y Arteaga.

La zona que es un área de bosque tropical caducifolio y subcaducifolio en un gradiente altitudinal que va desde un poco menos de 200 msnm en la zona más baja de la Depresión del Balsas, hasta la cota de los 1500 en la Sierra de Arteaga y las zonas altas del Eje Neovolcánico.

Es un área con climas secos y cálidos de los tipos Aw y Bs, con una época de lluvias bien definida y en general poca precipitación (500 a 900 mm anuales) y temperaturas promedio mensual por arriba de los 28°C, excepto en las partes altas de la Sierra de Arteaga.

Económicamente se trata de una zona en marginación, con indicadores de desarrollo en niveles bajos y con un porcentaje importante de la población que depende de la extracción de los recursos que les provee el área a proteger. Los recursos naturales más importantes son los pesqueros y en segundo lugar los cinegéticos.

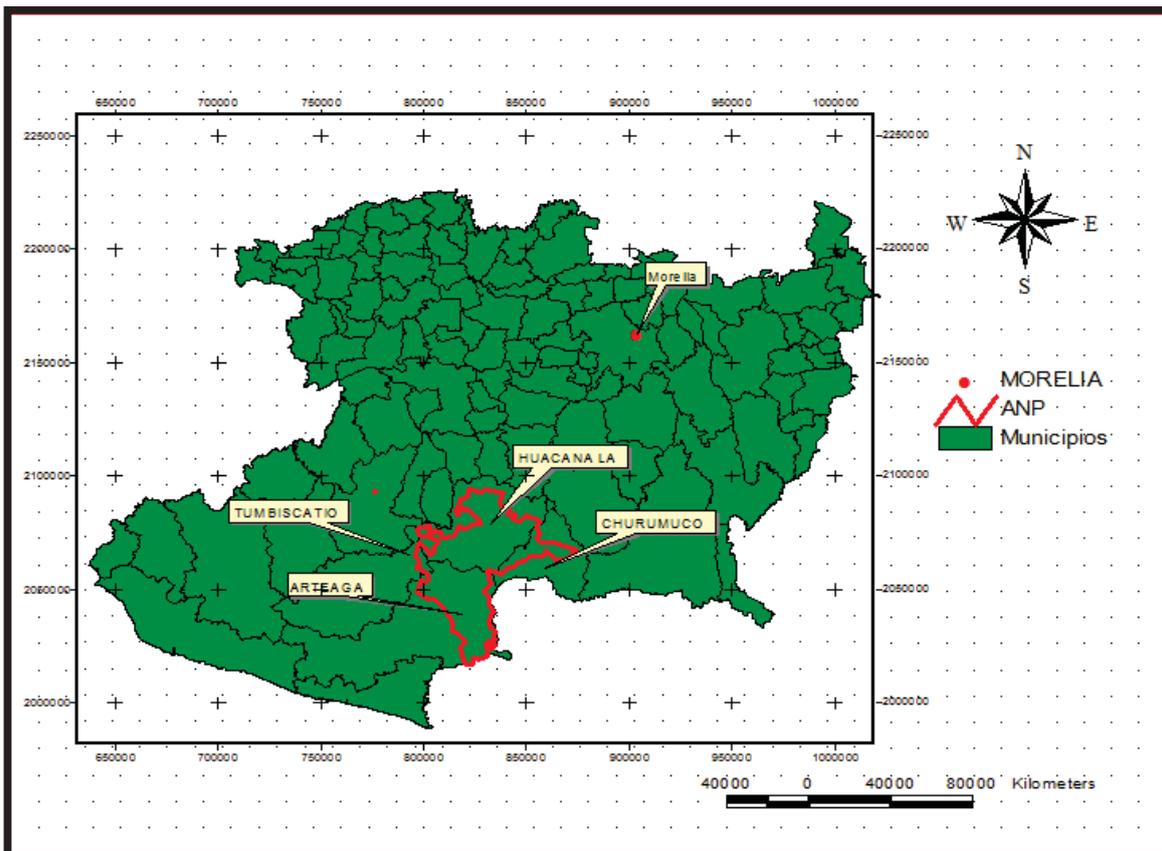
En la zona hay graves problemas de salud, con alta incidencia de diferentes parasitosis, sobre todo en la población infantil. Por la extensión del área, las condiciones actuales de conservación de los ecosistemas, la importancia que el tipo de vegetación representa para el Estado y el país, el hecho de que sólo hay un área con este tipo de vegetación que se ha protegido (Chamela-Cuixmala en Jalisco), la riqueza florística y faunística, la calidad ambiental de sus sistemas riparios y la presencia de un alto número de endemismos registrados, así como la presencia de poblaciones de 79 especies en alguna categoría para su protección en la NOM-059- SEMARNAT-2001, se propone que el área sea decretada como una Reserva de la Biosfera, con todas las características que la normatividad le confiere para proteger un ecosistema en buenas condiciones actuales dentro de



una zona núcleo y varias subzonas a su alrededor como zonas de amortiguamiento en las que se pueda realizar actividades diversas que irían desde la investigación y la educación ambiental, hasta el aprovechamiento agropecuario de los recursos, en un proceso de cambio hacia procedimientos congruentes con el principio de la sustentabilidad.

Localización política y geográfica

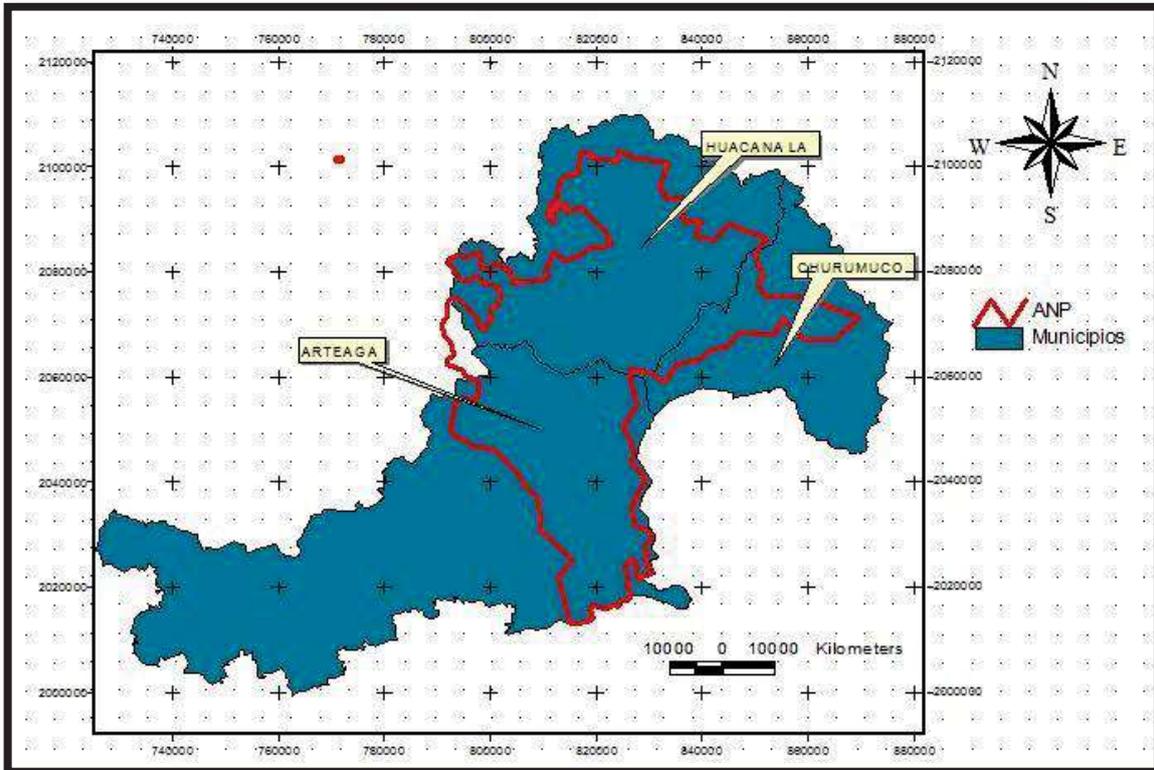
El área natural protegida se localiza en el Estado de Michoacán de Ocampo y se encuentra comprendida en los Municipios de Arteaga, Churumuco y La Huacana, aproximadamente 103 km al suroeste (rumbo 219.9°) de la ciudad de Morelia, capital del estado y a 11.3 km al sureste (rumbo 156.7°) de la ciudad de Nueva Italia de Ruiz. Las coordenadas extremas de la poligonal son 101°29'55" y 102°09'55" de longitud Oeste y 18°15'40" y 19°01'33" de latitud Norte. La altitud en la parte más baja es de 160, la cual se ubica en la zona aledaña a la presa de infiernillo. Las partes altas son zonas serranas ubicadas en la Sierra de Arteaga con altitudes superiores a los 1500 msnm, con una superficie de 262,997.73 hectáreas.



Macro localización del ANP dentro del Estado de Michoacán



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona “Área Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo”



Micro localización del ANP dentro del Estado de Michoacán

MUNICIPIO	SUPERFICIE TOTAL DEL MUNICIPIO (Ha.)	SUPERFICIE DENTRO DEL ANP (Ha.)	PORCENTAJE DEL MPIO. EN EL ANP
ARTEAGA	458,216.04	71,336.51	15.60%
CHURUMUCO	194,279.68	58,800.27	30.30%
HUACANA, LA	194,164.47	132,860.82	68.40%
Total general	846,660.19	262,997.60	

Superficies correspondientes a cada municipio que considera el ANP propuesta.

Dentro del ANP se localizan completamente incluidos o en parte, un total de 75 Ejidos, cuya relación se muestra en el cuadro siguiente. Cabe señalar, que este tipo de tenencia de la tierra corresponde a 185, 177.75 Ha. De la superficie total del ANP propuesta, lo cual equivale al 70.4% de la misma. El 29.6% restante, comprende otros regímenes de propiedad de los cuales no se tiene información.



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona "Área Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo"



NOMBRE DEL EJIDO	SUPERFICIE EN Ha. DENTRO DEL ANP
AGUA NUEVA	802.216
ARRONJADERO	4337.732
CAJA DE ZICUIRAN	1140.744
CAYACO	3894.285
CHURUMUCO Y SUS ANEXOS, LAS PILAS, EL TIMBIRICHE	21277.181
COL FRANCISCO VILLA	1953.676
COLONIA LAZARO CARDENAS	749.215
CONGURIPO	3795.125
CUERAMATO	1822.726
CUIMBO Y ANEXOS	755.339
CUITZAN	793.675
CUMUATO	7729.425
CUPUAN CHICO	85.351
CUTIO	756.283
DAVID C MANJARREZ	322.515
EL AHUIJOTE	1755.288
EL ALGODÓN Y OROPEO Y ANEXOS	4905.046
EL CAPIRITO	1201.266
EL CHAUZ	1122.08
EL CHILAR	6.089
EL CIRUELO	441.058
EL HUARICHO	1807.207
EL JAGUEY Y SUS ANEXOS, EL TEPETATE Y EL CALDERON	2164.699
EL SALITRE Y SUS ANEXOS, LAS PALMILLAS, EL TARETE, EL SALITRILLO DEL LIMON DE JORULLO	179.709
EL SAUZ	23.808
EL TERRERO	1576.552
GAMBARA	622.511
GENERAL LAZARO CARDENAS	3537.423
GUADALUPE OROPEO Y ANEXO, LAS CRUCITAS	2331.313
HUATZIRAN Y ANEXOS, LAS VACAS, LOS PLACERES,	3560.213
ICHAMIO Y SU ANEXO EL TIZATAL	5604.728
LA HIGUERITA Y SU ANEXO EL PASEO	2107.547
LA HUACANA	1496.392
LA JOYITA	74.724
LA LOMA	1369.378
LA PAREJA	2683.544
LA PITIRERA	1639.904
LA VINATA	3700.034



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona "Área Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo"



NOMBRE DEL EJIDO	SUPERFICIE EN Ha. DENTRO DEL ANP
LAS ANONAS Y ANEXOS	2010.558
LAS ESTANCIAS	13370.56
LAS JUNTAS DE POTURO	1053.548
LAS PATACUAS Y SU ANEXO	332.387
LAS TAMACUAS	1834.505
LIMON DE JORUYO	440.362
LLANO DE OJO DE AGUA	2769.158
LOS COPALES	51.199
LOS HORCONES	1751.924
LOS LIMONES Y SUS ANEXOS, EL CHUPADERO Y LOS BARRILLOS	845.055
LOS POCITOS	5907.409
MANGA DE CHAVEZ Y SUS ANEXOS, EL PALMARITO Y LA CRUCITA	460.477
MANGA DE CUIMBO	755.843
MILIAN	175.639
N.C.P.A. CUERAMATO	1912.038
N.C.P.A. LA ESTANCIA O BELLAS FUENTES Y SUS ANEXOS	10208.408
N.C.P.E. ESFUERZO DEL CAMPESINO	633.834
NARANJO DE JORULLO	904.168
NARANJO DE ZIRITZICUARO	71.959
NUEVA ITALIA Y NUCLEOS ANEXOS, EL LETRERO, GAMBARA	55.708
OJO DE AGUA DE POTURO	270.865
OJO DE AGUA DE SAN IGNACIO Y SU ANEXO	29.333
PALMA O PALMA DE GUARO Y ANEXOS, LA CALERA, COPALITOS.	6934.956
PINZANDARAN	8081.107
POTRERILLOS DE RENTERIA	2179.255
POTURO	1021.562
PUEBLO VIEJO	1206.008
SAN FRANCISCO DE LOS RANCHOS	7030.605
SAN ISIDRO Y LOS ADOBES	990.476
SAN JOSE DEL MILAGRO	3368.016
SANTA ROSA	1014.527
SINAGUA	453.766
TOLUQUILLA	6651.091
VILLA HERMOSA	1673.904
ZAPOTE DE JORULLO	50.856
ZICUIRAN	3613.187



NOMBRE DEL EJIDO	SUPERFICIE EN Ha. DENTRO DEL ANP
Total general	185177.745

Relación de ejidos incluidos total o parcialmente en la propuesta de ANP

Características de la infraestructura existente

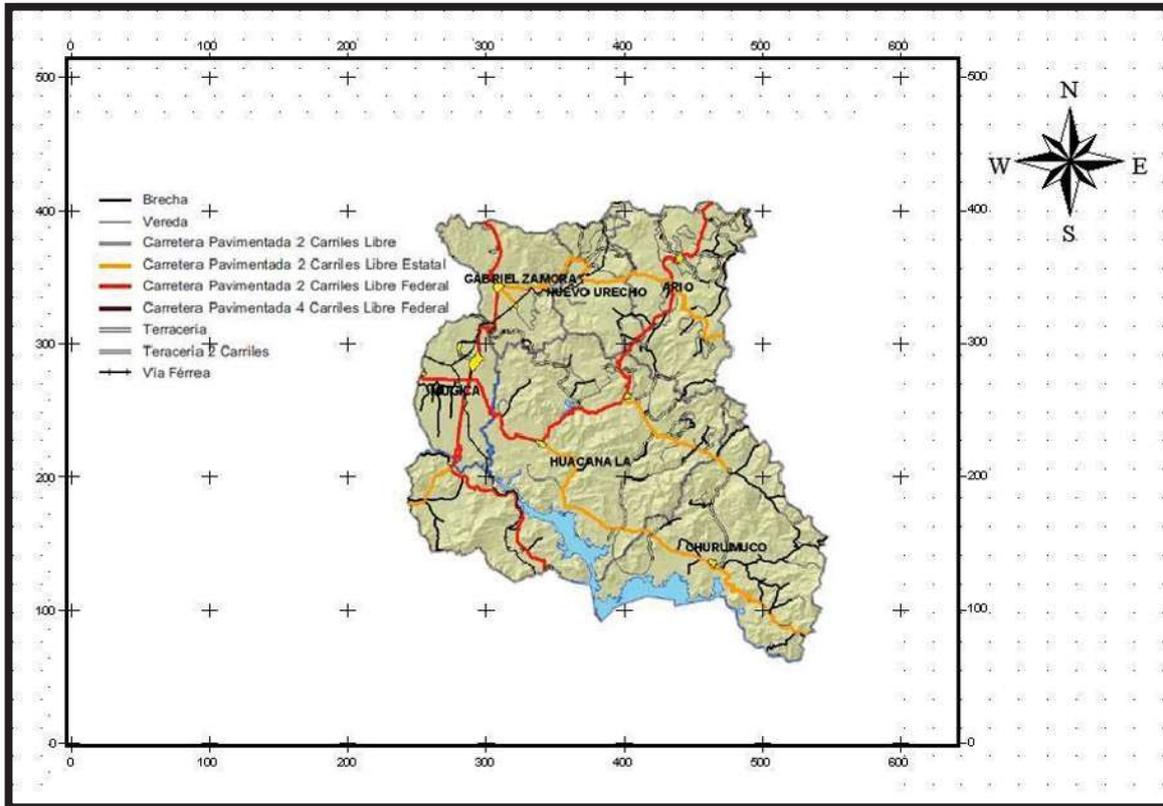
Vías de acceso e infraestructura carretera

El área propuesta se localiza a aproximadamente 103 km al suroeste (rumbo 219.9°) de la ciudad de Morelia, capital del estado y a 11.3 km al sureste (rumbo 156.7°) de la ciudad de Nueva Italia de Ruiz. Se llega a la zona, partiendo de la Ciudad de Morelia, siguiendo la carretera Federal No. 14, en dirección a la ciudad de Pátzcuaro, una vez en esta, se toma la carretera Federal No. 120 con dirección al sur, pasando por las poblaciones de Opopeo, Santa Clara del Cobre, Ario de Rosales y Dr. Miguel Silva, hasta llegar a La Huacana, cabecera del municipio del mismo nombre, la cual se encuentra en el límite norte de la zona de estudio (ver Mapa Topografía y Delimitación). También es posible acceder a través de la autopista Morelia-Lázaro Cárdenas. Las tres vías mencionadas son carreteras asfaltadas transitables durante todo el año. Los caminos vecinales (brechas en diversos estados de tránsito) pueden encontrarse en toda el área pero muchos de ellos son poco transitables en época de lluvias.

En el mapa siguiente se presentan las principales vías de comunicación dentro de la región, carreras pavimentadas de dos carriles de tipo federal y estatal, las cuales permiten la comunicación con la capital de Estado.



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona “Área Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo”



Infraestructura carretera de la región Infiernillo (SEPLADE 2002-2008)

Educación

La Región Infiernillo tiene un municipio con un muy alto grado de marginación que es Churumuco y 3 con alta marginación que son Nuevo Urecho, Ario de Rosales y La Huacana.

La Huacana es el municipio con menor grado de alfabetización de la región.

Municipio	Grado de Marginación	Viviendas con Agua Entubada	Viviendas con Drenaje	Viviendas con Energía Eléctrica	Unidades Médicas	Población con Servicio Médico	Grado de Alfabetización
Ario de Rosales	Alto	79%	70%	96%	11	14%	85%
Churumuco	Muy Alto	57%	48%	90%	9	3%	77%
La Huacana	Alto	76%	65%	96%	16	8%	76%
Gabriel Zamora	Medio	77%	83%	98%	9	13%	82%
Múgica	Medio	83%	84%	97%	9	13%	83%
Nuevo Urecho	Alto	92%	82%	96%	5	11%	82%

Estadística de los servicios básicos en la región Infiernillo (SEPLADE 2002-2008)



Condiciones naturales.

Hidrología

La Cuenca del Balsas, tiene una superficie total de 112,320 Km², que abarca porciones de los estados de Tlaxcala, Puebla, Oaxaca, Guerrero, Edo. De México, Michoacán Jalisco y la totalidad del Estado de Morelos. En el Estado de Michoacán es la cuenca que abarca una mayor superficie con 34, 293.79 Km² representando el 30.5 % del total de la Cuenca y el 58.4 % del área del estado.

Esta cuenca en el estado de Michoacán a su vez se subdivide en 6 subcuencas: 1. Tepalcatepec 2. Tepalcatepec-Infiernillo 3. Balsas-Infiernillo 4. Tacambaro 5. Cutzamala 6. Balsas-Zirandaro. La zona de estudio se localiza entre las subcuencas dos y tres.

Subcuenca Balsas-Infiernillo. Ocupa 4,281.44 Km². Esta ubicada a lo largo del río Balsas, iniciándose aproximadamente a 15 Km aguas abajo del poblado Zirándaro, Gro. y termina en la desembocadura del Balsas, en la Bahía de Petacalco. El Río Balsas alimenta a la Presa El Infiernillo, que ocupa una superficie de 400 km².

Subcuenca del río Tepalcatepec- Infiernillo: Abarca un área de 7, 627.17 Km². Esta zona es punto de unión de tres afluentes importantes que depositan sus aguas a la presa El Infiernillo: El Río Tepalcatepec que drena desde el noreste.

Dadas las características orográficas del área de estudio, la red hidrológica natural de la misma es muy compleja. El patrón de drenaje, de tipo dendrítico y de cuarto orden, está bien integrado, formado por corrientes principales y sus tributarios ramificándose repetidamente en todas las direcciones, lo cual indica que el material geológico subyacente es homogéneo. El patrón se identificó utilizando la cartografía escala 1:50,000 de INEGI (Cuadro 5).

RASGOS HIDROLOGICOS NATURALES	LONGITUD EN M.
Corriente perenne	124137.4
corriente intermitente	5756477.9
INFRAESTRUCTURA HIDRAULICA	
Acueducto subterráneo operante	36362.6
acueducto superficial operante	312.6
canal en operación	106360.7
Presa en operación	794.5
Total general	6024445.7

Hidrología lineal superficial en la zona propuesta



En el cuadro anterior, se observa que la longitud de corrientes intermitentes en la zona es casi 50 veces mayor que la longitud de causas permanentes, lo cual es típico del drenaje dendrítico descrito anteriormente.

El ANP se localiza en la Región Hidrológica No. 18 Balsas, de acuerdo a la Comisión Nacional del Agua (CNA), y forma parte de las Cuencas Río Tepalcatepec – Infiernillo y Río Balsas – Infiernillo.

Fisiografía

Desde este punto de vista, la zona de estudio se localiza, entre tres regiones fisiográficas: la Cordillera Costera del Sur, la Depresión del Balsas- Tepalcatepec y las estribaciones sureñas del Eje Neovolcánico Transversal.

La primera de ellas, que atraviesa Michoacán en la parte suroeste del mismo, se extiende principalmente en la porción del ANP que corresponde al municipio de Arteaga, donde se le denomina Sierra de Arteaga. De sus dos declives, el más corto es el que mira hacia la Depresión del Balsas.

La sierra casi no presenta valles intermontaños paralelos al rumbo general que sigue la misma. Las grietas y fallas que presenta muestran la gran actividad tectónica del área.

En la figura siguiente, se muestra un perfil topográfico que corta la Sierra de Arteaga y nos da una idea de su complejidad topográfica dentro del área de estudio. La porción más baja, en la extrema derecha del perfil, corresponde al embalse de la Presa El Infiernillo (160 msnm) (Figura 3).

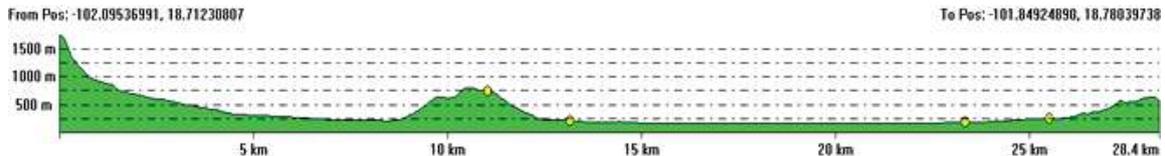


Perfil topográfico de la Sierra de Arteaga.

En lo referente a la porción del ANP que corresponde a la Depresión del Balsas-Tepalcatepec, esta se localiza en la porción media del área de estudio y se corresponde con las porciones más bajas, actualmente ocupadas por el embalse del Infiernillo, tal como se muestra en el perfil topográfico de la figura siguiente. En la extrema izquierda se ve la ladera noreste de la Sierra de Arteaga; nótese al centro pequeñas elevaciones inmersas en una zona relativamente plana. En la extrema derecha, se aprecia el inicio de las laderas sureñas del Eje Neovolcánico Transversal, apenas marcado (Figura 4).



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona “Area Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo”



Perfil topográfico de la depresión Balsas-Tepalcatepec.

El Eje Neovolcánico, en el Estado de Michoacán tiene una longitud de cerca de 300 km y una anchura de 130 km. Se conforma de rocas ígneas extrusivas originadas a partir de innumerables volcanes. Su formación está ligada a la del altiplano mexicano. Este sistema es considerado como el límite altimétrico, climático, biogeográfico y físico entre Norteamérica y Centroamérica. En la zona de contacto con la Depresión del Balsas, se presentan una serie de valles como el de Nueva Italia, La Huacana y Churumuco, que tiene vocación agrícola.



Perfil topográfico del las estribaciones del Eje Neovolcánico.

En el perfil topográfico de la figura 6, se muestra como en la porción suroeste (extrema izquierda) la Depresión del Balsas va ascendiendo gradualmente hacia el noreste, adquiriendo un carácter más complejo. La naturaleza volcánica de esta región se demuestra en la porción noreste del perfil (extrema derecha), en donde se aprecia una súbita elevación correspondiente al Volcán El Jorullo. Sin embargo, cabe señalar que este último se encuentra fuera del ANP y constituye por sí mismo otra área de interés.

Edafología

Desde el punto de vista edafológico, el área de estudio presenta diez tipos diferentes de suelos, lo cual concuerda con la diversidad geológica de la zona (ver mapa Edafológico). En el cuadro 4, se presentan las superficies de cada uno de los suelos identificados en la zona propuesta.

SUELO	SUPERFICIE EN Ha.
FLUVISOL EUTRICO	267.85
REGOSOL CALCARICO	449.38
RENDZINA	1752.12
VERTISOL CROMICO	6721.5
VERTISOL PELICO	10017.69
LUVISOL CROMICO	10074.44



SUELO	SUPERFICIE EN Ha.
ACRISOL ORTICO	14295.56
REGOSOL EUTRICO	26098.52
LITOSOL	94827.07
FOEZEM HAPLICO	96537.82

Tipos de suelo y superficie que ocupan en el área de estudio.

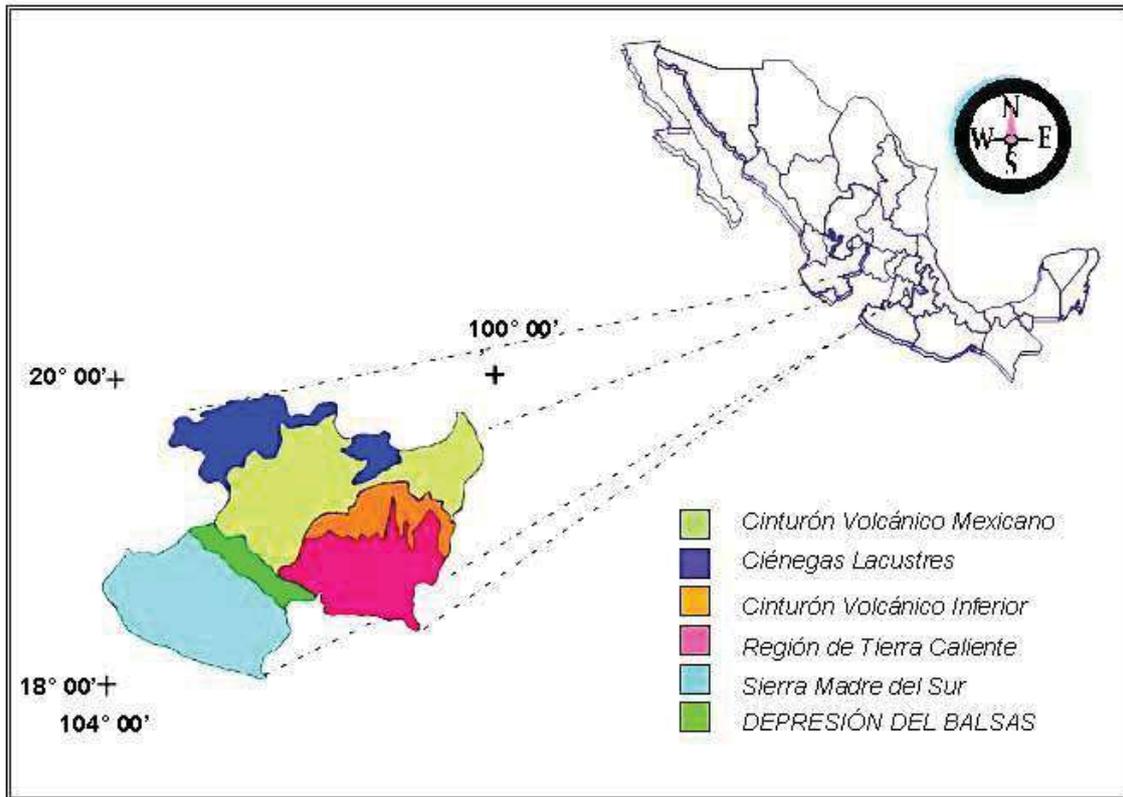
Es importante señalar que la distribución de los suelos tiene ciertas peculiaridades. Como se observa en el cuadro anterior, los suelos más abundantes, el Feozem háplico y el Litosol, ocupan casi la misma superficie, solo que el primero prácticamente se presenta en la zona norte del ANP, ocupando un poco más del 60% de la misma, mientras que el segundo cubre cerca del 90% de la porción sur del ANP.

En la porción norte del área de estudio, se presentan una serie de valles, como el de La Huacana y el de Churumuco, en los cuales se presenta el tercer suelo más abundante, el Regosol eútrico, debido a que en estos sitios la pendiente del terreno es relativamente plana, favorece la acumulación de sedimentos procedentes de la intemperización de los materiales de las porciones más altas. Estos sitios sostienen actividades agrícolas.

Tanto en el caso del Feozem háplico, como en el del Litosol, son suelos que se asocian a la selva baja caducifolia presente en el área.

Geología

El área incluye, de acuerdo con Serrato e Israde (1989), dos dominios geológicos morfoestructuralmente distintos, la Depresión del Balsas y la Tierra Caliente



**Dominios morfoestructurales del Estado de Michoacán
(Modificado de Serrato e Israde 1989).**

Hay diversas topoformas como valles, mesetas, lomeríos y sierras (Rzedowski 1978, INEGI 1985). Las topoformas dominantes son los lomeríos bajos y lomeríos altos, aunque también se pueden encontrar valles fluviales, planicies acumulativas, piedemonte y sierra (Bocco y Mendoza 1999).

Históricamente, el ANP se localiza en una porción del territorio michoacano en la que, a grandes rasgos, las rocas datan de las eras Cenozoica y del Mesozoico, con predominancia de estas últimas.

Las edades de las rocas de la Depresión parecen apoyar la hipótesis de que existen por lo menos dos grandes momentos de la historia geológica ahí representados (Tardy 1980): (a) por un lado los terrenos con basamento vulcanosedimentario de edad mesozoica en el sur y sureste del Estado; y (b) los conjuntos basales cenozoicos superpuestos de la región de Tzitzio, el Valle de Apatzingán o el Balsas. Estos últimos fueron formados a finales del Cretácico y principios del Terciario con rocas sedimentarias y volcánicas producto de la formación del Eje Neovolcánico y el fallamiento que separa a la Sierra Madre del Sur, cuya formación cuaternaria le distingue de los otros conjuntos basales (Serrato e Israde 1989).



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona "Área Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo"



Sin embargo, Corona-Chávez (1999) ubica la parte sur de la Depresión (región Huetamo) con edades mesozoicas (Triásico a Cretácico inferior, hace aproximadamente de 235 a 97 millones de años), mientras que la región colindante (Tzitzio) es mucho más reciente con basamento del Eoceno-Oligoceno (20 a 33 millones de años), edad que también se encuentra en la zona de La Huacana, Apatzingán y la zona de Infiernillo.

Por su origen, hay cuatro clases de rocas, las volcánicas extrusivas e intrusivas, las sedimentarias y los suelos residuales. El ANP presenta una gran variedad de rocas, se observa una predominancia de las andesitas del Mesozoico (más del 70% de la superficie del área de estudio), seguidas por las tobas ácidas del Cenozoico (8%). En el cuadro siguiente se aprecia la diversidad de materiales geológicos del área de estudio.

ERA	CLASE	TIPO	SUPERFICIE EN Ha.
CENOZOICO	ÍGNEA EXTRUSIVA	ANDESITA	16011
		BASALTO	4241.24
		BRECHA VOLCANICA	
		BASICA	34.195
		LATITA	395.072
		RIODACITA	2258.566
		TOBA ÁCIDA	21420.024
		TOBA BÁSICA	1452.257
	TOTAL IGNEA EXTRUSIVA		45812.354
	ÍGNEA INTRUSIVA	GRANITO	3273.275
		GRANITO-GRANODIORITA	7100.063
		GRANODIORITA	13102.554
	TOTAL ÍGNEA INTRUSIVA		23475.892
	SUELOS RESIDUALES	ALUVIAL	6259.523
TOTAL DE SUELOS RESIDUALES		6259.523	
SEDIMENTARIA	ARENISCA-CONGLOMERADO	460.406	
	CONGLOMERADO	1591.595	
TOTAL SEDIMENTARIA		2052.001	
TOTAL CENOZOICO			77599.770



ERA	CLASE	TIPO	SUPERFICIE EN Ha.
MESOZOICO	ÍGNEA EXTRUSIVA	ANDESITA	175477.147
		VOLCANOCLÁSTICO	1217.318
	TOTAL ÍGNEA EXTRUSIVA		176694.465
	ÍGNEA INTRUSIVA	GRANITO-GRANODIORITA	8484.579
	TOTAL ÍGNEA INTRUSIVA		8484.579
	TOTAL MESOZOICO		

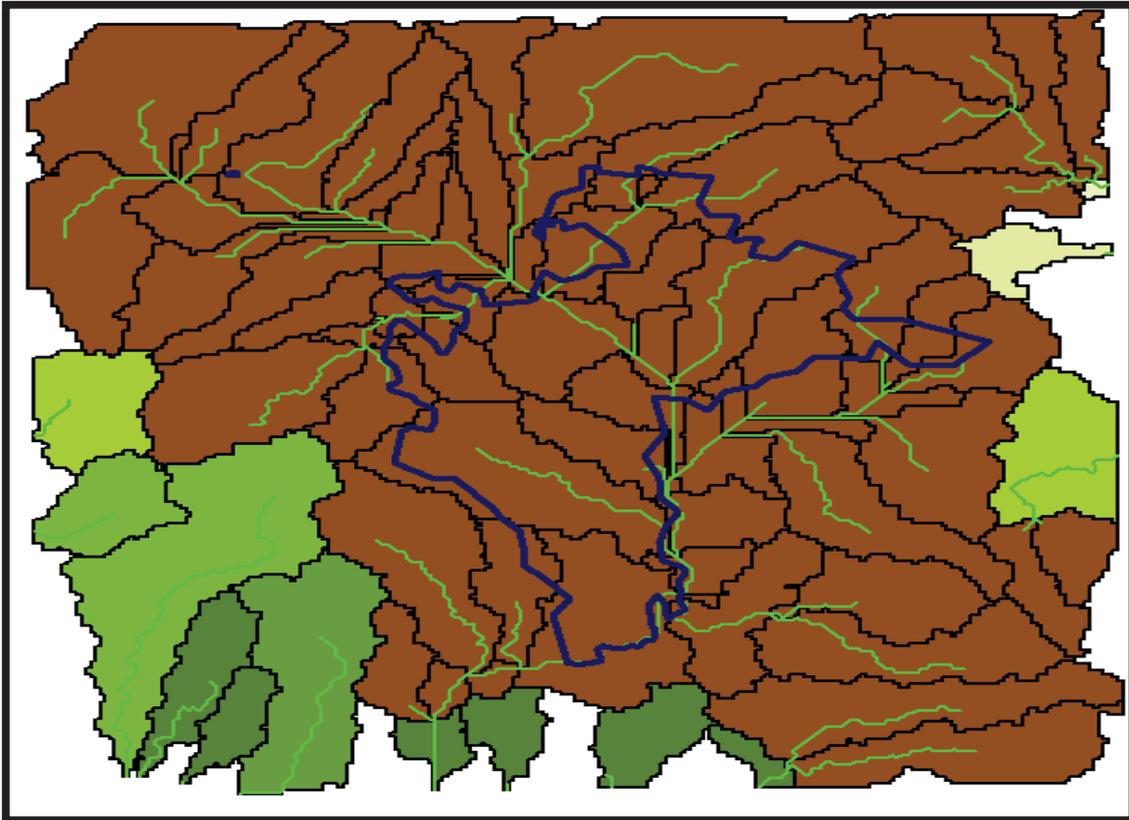
Diversidad geológica del área en estudio.

Cuencas del área natural protegida Zicuirán-infiernillo

Identificación del parteaguas

El parteaguas de las cuencas que compren el ANP se determinan con ayuda de las herramientas informáticas denominadas AUTOCAD, CIVILCAD, ARCVIEW y HEC-GeoHMS. Todas ellas precisan de información vectorial y del Modelo Digital de Elevación del terreno (MDE).

La delimitación de la cuenca se hizo por dos procedimientos informáticos: AUTOCAD, CIVILCAD (carta vectorial) y ARCVIEW con HEC-GeoHMS (modelo digital de elevación del terreno).



Ventana de subcuencas obtenidas con HEC-GeoHMS.

En AUTOCAD el procedimiento para delimitar la cuenca y subcuencas fue el siguiente: para cada cauce considerado se identificó el parteaguas, la corriente principal y corrientes secundarias.

En ARCVIEW con HEC-GeoHMS existe una serie de rutinas que permiten obtener de forma inmediata el parteaguas, la corriente principal y corrientes secundarias.

Con ambos procedimientos la geometría de la cuenca es semejante, con la ventaja de que el segundo presenta un menor tiempo de proceso.

Características geomorfológicas

PRINCIPALES

Área de la cuenca

El área de la cuenca queda definida por el parteaguas, valor se obtuvo con la ayuda de las herramientas AUTOCAD y CIVILCAD.



Longitud del cauce principal

La longitud se determina una vez que se ha identificado el parteaguas y las corrientes de la cuenca, su valor incide en la pendiente media del cauce y el tiempo de concentración.

Pendiente media del cauce principal

La pendiente media del cauce principal de la cuenca, se obtiene con la ayuda de las herramientas AUTOCAD y CIVILCAD. El resultado final es una gráfica que contiene el perfil longitudinal del fondo.

Perfil longitudinal del cauce principal de la cuenca

Una vez determinado el perfil longitudinal se utiliza el criterio de Taylor-Schwarz para estimar el valor de la pendiente media del cauce, según la fórmula siguiente:

$$S = \left(\frac{L}{\frac{l_1}{\sqrt{s_1}} + \frac{l_2}{\sqrt{s_2}} + \dots + \frac{l_n}{\sqrt{s_n}}} \right)^2, \quad s_n = \frac{H_n}{l_n} = \frac{\text{Elevación}_n - \text{Elevación}_{n-1}}{l_n}$$

Donde:

- S Pendiente del cauce principal.
- n Número de tramos en que se divide la longitud del cauce principal.
- s_n Pendiente del tramo 1 a n.
- l_n Longitud del tramo 1 a n, en Km.
- L Longitud total del cauce principal, en Km.

Cuenca	Nombre	Área, en km ²	Longitud cauce principal, en km	Pendiente media de la cuenca Principal, en %
1	La pareja	566.67	62.33	31.25
2	Caramicuas	189.40	28.15	39.04
3	Esfuerzo Campesino	136.32	25.64	40.52
4	la vinata	178.32	27.79	28.78
5	Los Poncitos	151.98	18.34	22.77
6	Cueramato	85.92	9.56	17.17
7	Llano de ojo de agua	85.92	12.18	21.19
8	Churumuco y sus anexos	218.80	21.55	36.03



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona "Área Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo"



Cuenca	Nombre	Área, en km ²	Longitud cauce principal, en km	Pendiente media de la cuenca Principal, en %
9	El salitre y sus anexos	127.16	29.75	35.38
10	Palma de Guaro	269.97	31.40	24.29
11	Las estancias	72.93	8.36	16.09
12	San Fransisco	260.04	24.09	30.94
13	Chilar	92.03	13.56	26.69
14	Potreriillo	51.55	9.18	19.83
15	Las cruces	31.69	6.81	20.29
16	Los olivos	144.72	15.68	11.97
17	Chauz	43.15	6.08	13.23
18	Conguripo	217.66	25.98	26.08
19	Ichami	129.07	25.11	33.64
20	Arrojadero	518.94	57.58	29.12
21	Higuerita	242.09	37.41	34.89
22	Naranjo de Ziritzicuaro	140.14	24.29	21.61
23	La Huacana	316.55	40.30	26.06
24	El ciruelo	290.59	53.01	20.71

Características principales de la cuenca

COMPLEMENTARIAS

Las características complementarias de la cuenca se pueden utilizar como un indicador de respuesta de la cuenca entre ellas se pueden citar el orden de la corriente, la densidad de drenaje, el coeficiente de compacidad, el índice de forma, elevación media de la cuenca, perímetro de la cuenca, entre otras.

Cuenca	Nombre	Perímetro, en Km	Longitud Axial, en Km	Orden de corrientes	Índice de forma	Coefficiente de Compacidad	Relación de elongación	Elev. media, en msnm	Dens. Dren. en Km/Km ²
1	La pareja	154.49	43.32	6	0.3019	1.8301	0.6198	644.2249	1.616
2	Caramicuas	79.10	20.69	5	0.4425	1.6208	0.7503	744.317	1.6042
3	Esfuerzo Campesino	63.03	19.27	5	0.3672	1.5224	0.6835	699.0115	1.608
4	la vinata	84.04	22.82	5	0.3424	1.7747	0.6601	466.7655	1.5461
5	Los Poncitos	84.04	15.90	4	0.6015	1.9224	0.8748	298.643	1.5397
6	Cueramato	77.86	18.11	4	0.2619	2.3688	0.5773	267.8875	0.9306
7	Llano de ojo de agua	61.79	13.62	4	0.4632	1.88	0.7677	297.2866	1.5112
8	Churumuco y sus anexos	86.51	13.74	5	1.1584	1.6493	1.2141	841.8368	1.53
9	El salitre y sus anexos	72.92	20.22	5	0.3112	1.8235	0.6292	747.8203	1.5482
10	Palma de Guaro	88.98	24.04	4	0.4671	1.5272	0.7709	426.1696	1.7629
11	Las estancias	46.96	12.37	3	0.4768	1.5508	0.7789	232.5869	1.3423



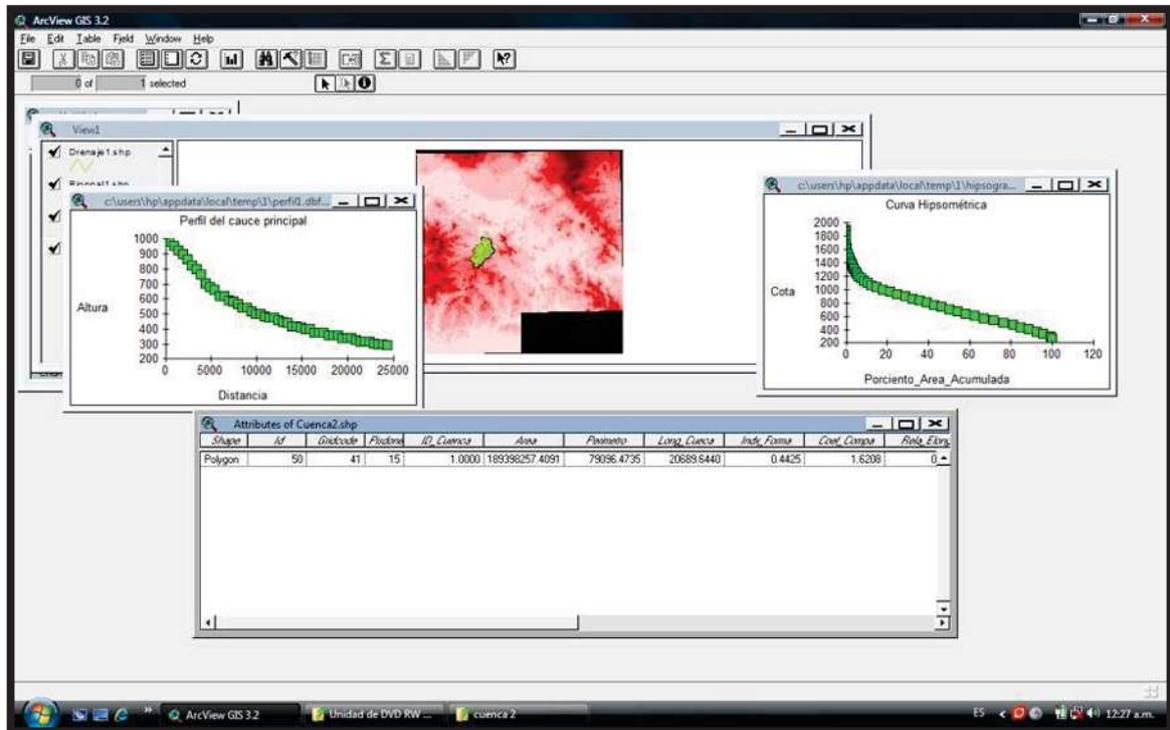
Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona “Area Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo”



Cuenca	Nombre	Perímetro, en Km	Longitud Axial, en Km	Orden de corrientes	Índice de forma	Coefficiente de Compacidad	Relación de elongación	Elev. media, en msnm	Dens. Dren. en Km/Km ²
12	San Fransisco	85.28	19.46	5	0.6864	1.4913	0.9345	430.0894	1.8701
13	Chilar	51.91	11.78	5	0.6636	1.5259	0.9189	351.9951	1.847
14	Potreriillo	43.26	7.45	4	0.9292	1.6989	1.0873	355.1541	1.7431
15	Las cruces	43.26	7.74	4	0.5291	2.1667	0.8205	399.7837	1.3708
16	Los olivos	87.75	23.00	5	0.2736	2.0569	0.59	284.9579	1.6769
17	Chauz	39.55	7.88	4	0.6952	1.6978	0.9405	230.0009	1.4067
18	Conguripo	95.16	25.82	5	0.3266	1.819	0.6446	347.6926	1.5232
19	Ichami	82.80	19.50	5	0.3393	2.0554	0.6571	479.4207	1.3875
20	Arrojadero	148.31	41.05	5	0.3079	1.8359	0.6259	654.2865	1.6429
21	Higuerita	105.05	25.75	5	0.365	1.9039	0.6815	833.4962	1.6269
22	Naranja de Ziritzicuaro	86.51	20.85	5	0.3223	2.0608	0.6404	403.1347	1.4669
23	La Huacana	107.52	29.41	5	0.3659	1.7042	0.6824	928.0321	1.6711
24	El ciruelo	137.18	37.83	5	0.2031	2.2694	0.5083	1157.827	1.6265

Características complementarias de la cuenca

Las características geomorfológicas descritas en la tabla anterior fueron determinadas con la ayuda del software ARCVIEW y la extensión DetermHidro. La figura siguiente muestra el resultado del proceso de la extensión antes mencionada



Ventana de trabajo de Arc View con las características complementarias.



Volumen de escurrimiento

Información disponible

Climatología (precipitación)

ESTACIONES METEOROLÓGICAS

La identificación de las estaciones meteorológicas en la zona se hizo atendiendo a la localización geográfica de la zona de estudio.

En cuanto a la información disponible de climatología se realizó una consulta de estaciones dentro del mapa de estaciones del estado de Michoacán, así como de la Base de Datos ERIC III producida por el IMTA y el CLICOM producido por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

Clave	Estación	Elevación Media msnm	Coordenadas		Precipitación Media anual acumulada (mm)	Registro base Datos	
			Longitud Oeste	Latitud Norte			
16006	Antúnez, Paracuaro	430	102°15	18°59	718.82	1962-01	2002-12
16007	Apatzingan, Apatzingan	682	102°16	19°05	726.10	1922-09	2003-02
16190	Arceo, Tumbiscatio	320	102°08	18°45	733.33	1974-07	1985-09
16026	Cuatro caminos, Nva. I.	1540	102°21	20°16	676.50	1943-06	1978-06
16064	La Pastoría, Nva. Italia	269	102°04	18°55	680.27	1965-09	1990-08
16047	El zapote, La Huacana	290	101°54	18°57	710.00	1951-03	2001-02
16168	Ario de Rosales, (smn)	1840	101°44	19°12	1121.4	1974-01	1988-09

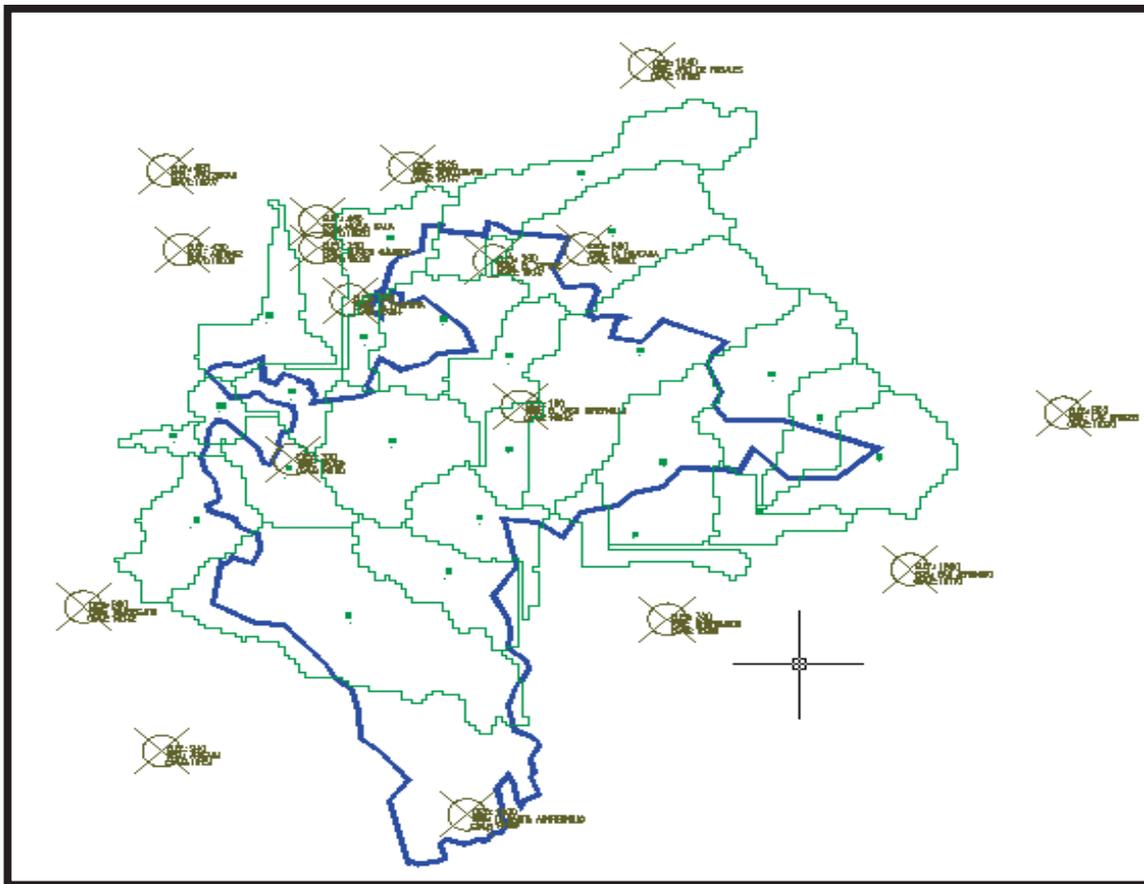


Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona “Área Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo”



Clave	Estación	Elevación Media msnm	Coordenadas		Precipitación Media anual acumulada (mm)	Registro base Datos	
			Longitud Oeste	Latitud Norte			
16147	Ziritzicuaro, La Huacana	2525	102°0	19°5	747.6	1952-08	1985-09
16062	La Huacana, La Huacana	550	101°48	18°58	888.14	1938-11	1982-09
16035	Churumuco, Churumuco	300	101°42	18°30	641.5	1933-02	1990-12
16230	Las Cruces, Turicato	800	101°16	18°46	754.4	1981-08	2003-05
16169	La Garita A. Infiernillo	1000	101°55	18°15	561.4	1955-06	1969-04
16046	El Vaso Infiernillo	180	101°52	18°46	458.6	1965-04	1990-12
16151	Arteaga, Arteaga (cfe)	940	102°17	18°21	884.6	1957-11	2000-02

Estaciones meteorológicas con influencia en el ANP



Mapa de estaciones meteorológicas con influencia en el ANP

Topografía

La información topográfica de las cuencas Zicuirán-Infiernillo se obtuvo de los Modelos Digitales de Elevación editados por el INEGI cuya adquisición es gratuita



a través de su página web; para este análisis se utilizaron 20 MDE escala 1:50,000, formato raster, proyección UTM cuyos modelos son:

E13B48	E13B49	E14A41	E14A42
E13B58	E13B59	E14A51	E14A52
E13B68	E13B69	E14A61	E14A62
E13B78	E13B89	E14A71	E14A72
E13B88	E13B89	E14A81	E14A82

Claves de los Modelos Digitales de Elevación (MDE)

Hidrometría

En cuanto a información hidrométrica se realizó una búsqueda de estaciones dentro del mapa de estaciones del estado de Michoacán, así como de la Base de Datos SIAS (Sistema de Información de Aguas Superficiales). Las estaciones encontradas así como la ubicación se muestran en la siguiente tabla.

NOMBRE	UBICACIÓN		ELEVACIÓN (msnm)
	Latitud	Longitud	
Ziritzicuaro	19°05'30"	101°58'24"	438
El Marques	19°04'10"	102°04'25"	470
La Pastoría	18°55'40"	102°55'40"	200
Zicuirán	18°56'10"	101°55'40"	362
El Mentidero	19°03'20"	102°40'10"	
El Carrizo	19°11'55"	102°59'10"	

Estaciones hidrométricas en la zona de estudio de estudio

Lluvia media de la cuenca

Datos de precipitación de estaciones alrededor de la cuenca

La altura de la lluvia que cae en un sitio dado difiere de la que cae en los alrededores, aunque sea en sitios cercanos, para cualquier estudio hidrológico es necesario conocer la lluvia media en una zona, para lo cual en todo el país se tienen distribuidas estaciones meteorológicas que miden la precipitación cada 24 horas.

Con las estaciones localizadas al rededor de la zona en estudio, se procede a la determinación de la lluvia media anual, la cual es obtenida a partir de un promedio de la precipitación total anual mediante los métodos de polígonos de Thiessen e Isoyetas, a continuación se muestra la tabla con las precipitaciones obtenidas.



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona "Área Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo"



NOMBRE	CLAVE	PRECIPITACION
		MEDIA ANUAL
ANTUNEZ, PARACUARO	16006	718.82
APATZINGAN, APATZINGAN	16007	726.10
ARCEO, TUMBISCATIO	16190	733.33
CUATRO CAMINOS, NVA. I.	16026	676.50
LA PASTORIA, NVA. ITALIA	16064	680.27
EL ZAPOTE, LA HUACANA	16047	710.00
ARIO DE ROSALES, (SMN)	16168	1121.4
ZIRITZICUARO, LA HUACANA	16147	747.6
LA HUACANA, LA HUACANA	16062	888.14
CHURUMUCO, CHURUMUCO	16035	641.5
LAS CRUCES, TURICATO	16230	754.4
LA GARITA A.INFIERNILLO	16169	561.4
EL VASO INFIERNILLO	16046	458.6
ARTEAGA, ARTEAGA (CFE)	16151	884.6

Precipitaciones medias anuales de las estaciones cercanas al ANP

Manipulación y tratamiento de los datos de precipitación

Los registros de precipitación de cada una de las estaciones se trasladaron a Excel para ser manipulados y tratados. Los registros contienen información DIARIA, que fue pasada a mensual y luego a nivel anual. Así mismo se obtuvieron los estadísticos de media y máximo mensual.

Deducción de datos faltantes

Es frecuente que en un registro de precipitación falten los datos de un cierto periodo, debido a la ausencia del operador o a faltas del aparato registrador. En estos casos se puede estimar los datos faltantes si se tienen registros simultáneos de algunas estaciones situadas cerca de la estación en cuestión. Para este estudio debido a la gran cantidad de estaciones no utilizaremos una sola estación base, pero si nos apoyamos de estaciones que no presentan vacíos como lo son la estación de Antúnez y Ziritzicuaro.

Es importante mencionar que para el llenado de datos se puede usar la siguiente propuesta. Si la precipitación media anual en cada una de las estaciones



circundantes (14 estaciones) difiere en menos del 10% de la registrada en la estación en estudio los datos faltantes se estiman haciendo un promedio aritmético de los registrados en las estaciones circundantes, donde nuestro caso se cumple con este parámetro de referencia, por tanto presentamos la correlación que presentan algunas estaciones frente a otras.

NOMBRE	CLAVE	PRECIPITACION MEDIA ANUAL	CORRELACION FRENTE A ANTUNEZ
ANTUNEZ, PARACUARO	16006	718.8	
APATZINGAN, APATZINGAN	16007	726.1	0.99
ARCEO, TUMBISCATIO	16190	733.3	0.98
CUATRO CAMINOS, NVA. I.	16026	679.4	1.06
LA PASTORIA, NVA. ITALIA	16064	673.9	1.07
EL ZAPOTE, LA HUACANA	16047	665.8	1.08

Correlación lineal de estaciones circundantes frente a la estación Antúnez.

NOMBRE	CLAVE	PRECIPITACION MEDIA ANUAL	CORRELACION FRENTE A ANTUNEZ
LA HUACANA, LA HUACANA	16062	885.9	
ARIO DE ROSALES, (SMN)	16168	1121.4	1.055
ZIRITZICUARO, LA HUACANA	16147	747.6	

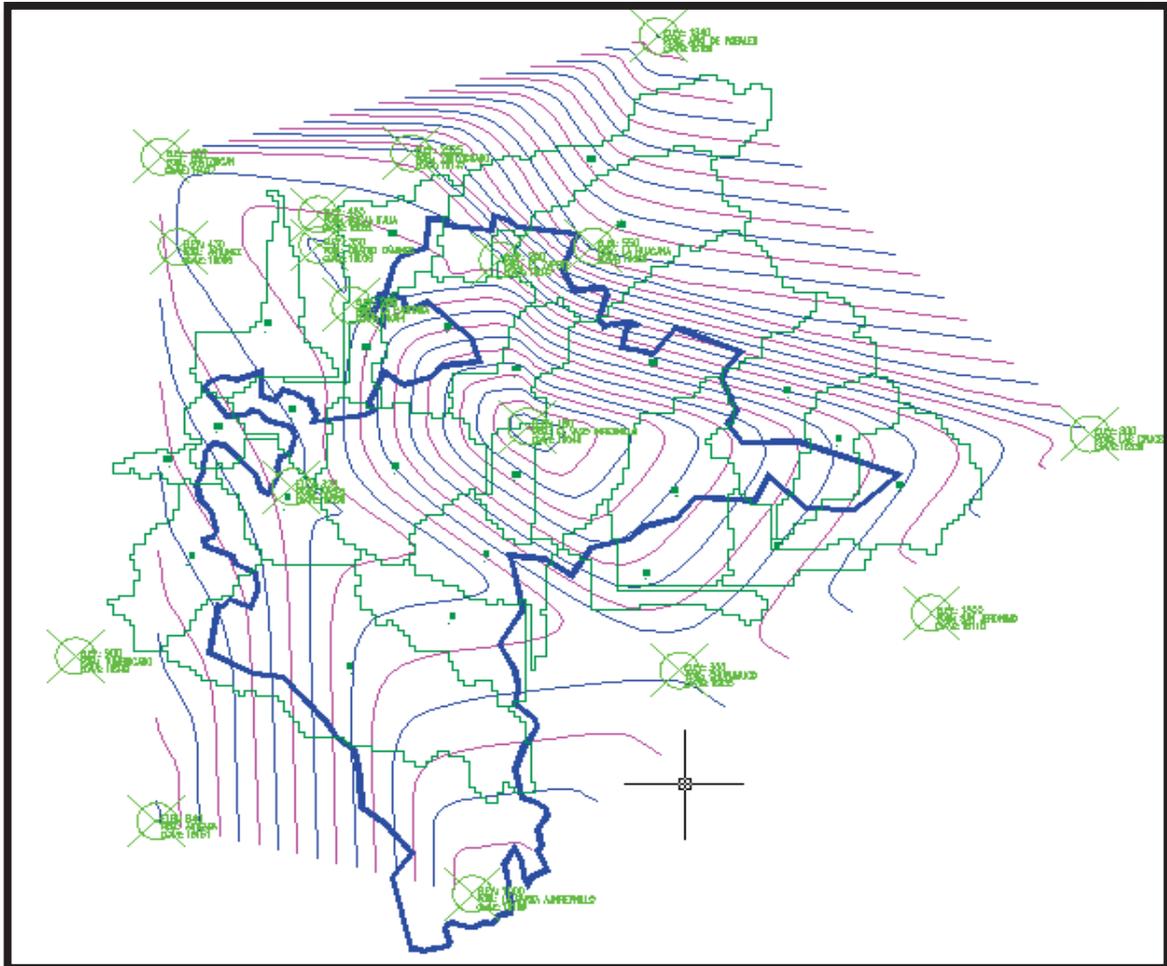
Promedio aritmético de las estaciones Ario de Rosales y Zlritzicuario frente a la Estación la Huacana.

Análisis de la distribución espacial de la precipitación (precipitación media)

Entre los factores climáticos que mayor variabilidad registra año a año se encuentra la cantidad de lluvia precipitada en una determinada región hidrológica. Esta variabilidad de la precipitación no solamente está referida al tiempo sino al espacio, lo que significa que ellas también dependen de las condiciones locales. Con los datos de las series de precipitación acumulada anual histórica de las catorce estaciones meteorológicas seleccionadas, se obtuvo la distribución espacial de las precipitaciones anuales. La Figura siguiente, muestra esta distribución espacial de la precipitación acumulada media anual, siendo más precisa por el método de Isoyetas. En el presente estudio (Tabla 5) se encontró



que el intervalo de precipitación media para las cuencas dentro del ANP se encuentra entre 480 mm. A 1100 mm.



Distribución espacial de la precipitación media anual dentro del ANP (Método Isoyetas).

En particular se obtuvo para cada cuenca, la precipitación media anual en el centro de gravedad de cada una de ellas basado en el método de las Isoyetas. En la Tabla siguiente se presenta la precipitación al centro de gravedad para cada cuenca.

Cuenca	Nombre	Precipitación al centro de gravedad
1	La pareja	680.82 mm
2	Caramicuas	801.53 mm
3	Esfuerzo Campesino	811.90 mm
4	la vinata	670.88 mm



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona "Área Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo"



Cuenca	Nombre	Precipitación al centro
		de gravedad
5	Los Poncitos	665.81 mm
6	Cueramato	594.18 mm
7	Llano de ojo de agua	640.85 mm
8	Churumuco y sus anexos	679.20 mm
9	El salitre y sus anexos	643.02 mm
10	Palma de Guaro	565.13 mm
11	Las estancias	537.26 mm
12	San Fransisco	644.79 mm
13	Chilar	719.16 mm
14	Potreriillo	752.25 mm
15	Las cruces	788.82 mm
16	Los olivos	710.58 mm
17	Chauz	680.05 mm
18	Conguripo	616.95 mm
19	Ichami	537.80 mm
20	Arrojadero	656.01 mm
21	Higuerita	667.35 mm
22	Naranjo de Ziritzicuaro	695.06 mm
23	La Huacana	899.71 mm
24	El ciruelo	941.54 mm

Precipitación acumulada media anual al centro de gravedad de cada cuenca.



Determinación del parámetro k de las cuencas

Procedimiento auto CAD

Descripción procedimiento

En función del tipo y uso de suelo, de la cuenca en estudio, editadas por el INEGI y del resultado de las visitas a campo, se clasifican los suelos de la cuenca; que para nuestro caso existen los tres tipos de suelo (A, B y C), con uso de suelo denominados de selva baja caducifolia, agrícola de temporal y pastizal.

Información de uso de suelo y tipo de suelo

La información de **uso de suelo** de las cuencas dentro del ANP se obtuvo de la carta de usos de suelo correspondientes al estado de Michoacán escaneada del INEGI: E1401, E1404, E1303 y E1306 escala 1:250000

La información de **tipo de suelo** de las cuencas dentro del ANP, se obtuvo de las cartas edafológicas escaneada del INEGI correspondientes al estado de Michoacán: E1401, E1404, E1303 y E1306 escala 1:250000

Cuantificación del uso de suelo y tipo de suelo

Para la cuantificación de los usos y tipo de suelo para las 24 subcuencas que arroja este análisis, se trabajó en el ambiente de ArcView 3.2 donde el software permite hacer la intersección de los mapas de uso y tipo de suelo, permitiendo así el manejo más adecuado de información de cada cuenca.

Teniendo la información de cada cuenca se transforman los archivos Shape en el ambiente de AUTOCAD, donde solo nos interesa la cuantificación de las áreas de mismo uso y tipo de suelo, siguiendo la clasificación de uso de suelo de la Tabla siguiente. Para las cuencas en estudio, se distinguen suelos cubiertos por selva baja caducifolia, seguidos por suelos en cultivo temporal y pastizal.

Conocida la información anterior entramos en una tabla de "valores de K" y al tomar el uso de suelo actual determinamos el valor del parámetro

USO DE SUELO	TIPO DE SUELO		
	A	B	C
Barbecho, áreas incultas y desnudas	0.26	0.28	0.3
cultivos			
En Hilera	0.24	0.27	0.3
Legumbres o rotación de pradera	0.24	0.27	0.3
granos pequeños	0.24	0.27	0.3



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona "Área Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo"



USO DE SUELO	TIPO DE SUELO		
	A	B	C
Pastizal			
% del suelo cubierto o pastoreo			
Más del 75% -poco-	0.14	0.2	0.28
Del 50 al 75% - regular-	0.2	0.24	0.3
Menos del 50% -excesivo-	0.24	0.28	0.3
Bosque:			
Cubierto más del 75%	0.07	0.16	0.24
Cubierto del 50 al 75 %	0.12	0.22	0.26
cubierto del 25 al 50%	0.17	0.26	0.28
Cubierto menos del 25%	0.22	0.28	0.3
zonas urbanas	0.26	0.29	0.32
Caminos	0.27	0.3	0.33
Pradera permanente	0.18	0.24	0.3

Valores de K, en función del tipo y uso de suelo.

Para un tratamiento adecuado de la información de uso de suelo existente en el ANP, fue necesario hacer una equivalencia aproximada al uso de suelo mencionada en La siguiente tabla.

Uso de suelo ANP	Equivalencia de Uso de suelo
selva baja caducifolia	bosque cubierto de 25 al 50%
bosque de pino-encino	bosque cubierto más del 75%
pastizal	Pastizal más del 75%-poco
Área Agrícola	Barbecho, área incultas y desnudas.
Palmar	Pastizal menos del 50%
Zona Urbana	Zona urbana

Equivalencias de uso de suelo ANP- CNA



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona “Area Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo”



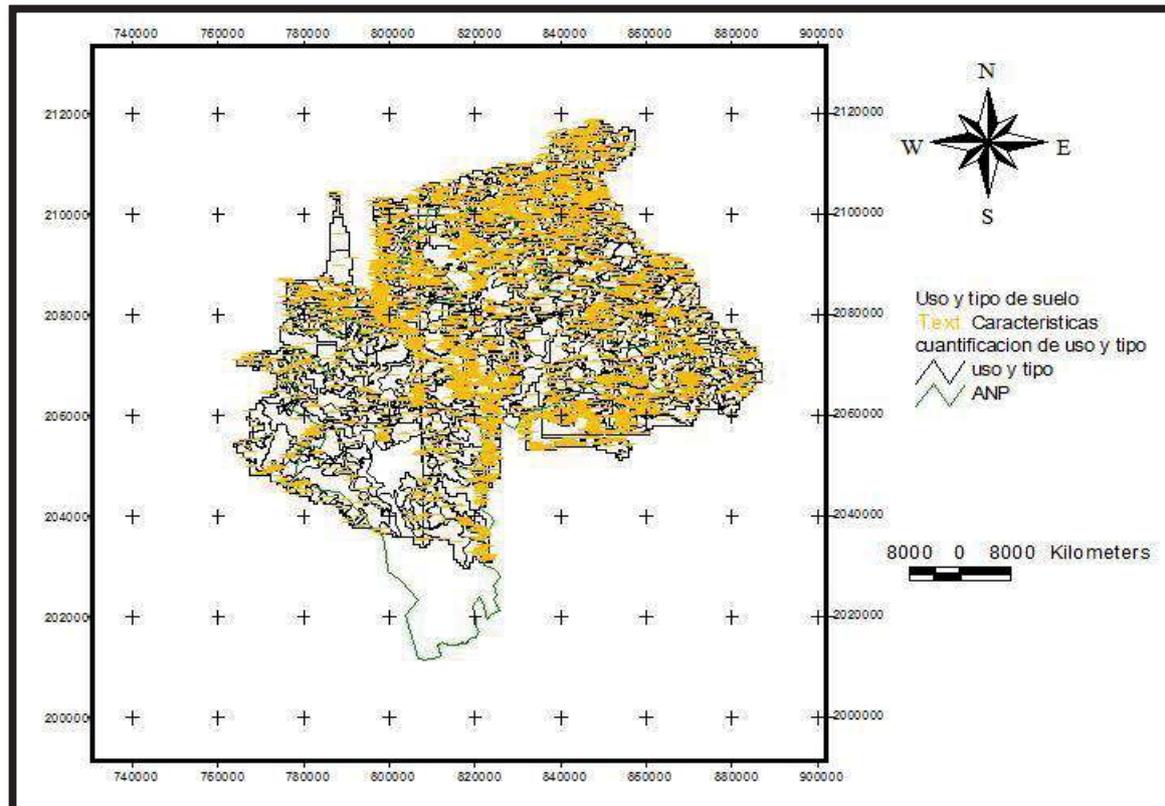
Reuniendo la información de uso y tipo de suelo de cada Subcuenca y como es notorio existen diferentes valores para K, es necesario obtener zonas homogéneas para determinar un valor de K como un promedio ponderado de todas ellas.

Ahora conocido K, se obtiene el C_e con las siguientes formulas.

K: PRÁMETRO QUE DEPENDE DEL TIPO Y USO DE SUELO	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO ANUAL (C_e)
Si K resulta menor o igual que 0.15	$C_e = K(P-250)/2000$
si K es mayor que 0.15	$C_e = K(P-250)/2000 + (K-0.15)/1.5$

Donde P =precipitación al centro de gravedad de la cuenca en mm.

Enlistado todos los parámetros y variables necesarios para la determinación de coeficiente de escurrimiento (C_e), presentamos el mapa resultante y las tablas de cálculo.



Mapa correspondiente al uso y tipo de suelo dentro del ANP (AUTOCAD)



En los siguientes recuadros se presenta la información de cálculo del parámetro para cada cuenca.

Uso de suelo	AREA(m ²)		TIPO DE SUELO	
	A	B	A	B
selva baja caducifolia	124567227.98	378813915.32	0.17	0.26
bosque de pino-encino	3251547.82	17755287.42	0.07	0.16
Pastizal	1,789,470.41	2612486.36	0.14	0.2
Área Agrícola	2,425,104.74	14060637.71	0.26	0.28
cuerpo de agua	21391692.25			

Área de aportación	476,124,350 m²	K =	0.23
--------------------	----------------------------------	------------	-------------

Parámetro K para la cuenca La pareja

Uso de suelo	AREA(m ²)	TIPO DE SUELO
	B	B
selva baja caducifolia	103073466.4	0.26
bosque de pino-encino	15624776.12	0.16
Pastizal	1281304.14	0.2
Área Agrícola	16341376.52	0.28

Área de aportación	116,156,072 m²	K =	0.17
--------------------	----------------------------------	------------	-------------

Parámetro K para la cuenca Esfuerzo Campesino

Uso de suelo	AREA(m ²)	TIPO DE SUELO
	B	B
selva baja caducifolia	159807498.8	0.26
bosque de pino-encino	16848840.36	0.16
Pastizal	1195.29	0.2
Área Agrícola	12740723.01	0.28

Área de aportación	38,319,375 m²	K =	0.17
--------------------	---------------------------------	------------	-------------

Parámetro K para la cuenca Caramicuas

Uso de suelo	AREA(m ²)	TIPO DE SUELO
	B	B
selva baja caducifolia	162,602,054.40	0.26
bosque de pino-encino	4,019,584.39	0.16
pastizal	2,233,110.20	0.2
Área Agrícola	3,682,538.11	0.28



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona "Área Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo"



Uso de suelo	AREA(m ²)	TIPO DE SUELO
	B	B
cuerpo de agua	5,787,282.90	

Área de aportación	161,749,534 m ²	K =	0.26
--------------------	----------------------------	-----	------

Parámetro K para la cuenca La Vinata

Uso de suelo	AREA(m ²)			TIPO DE SUELO		
	A	B	C	A	B	C
selva baja caducifolia		119213206.2	1151677.072	0.17	0.26	0.28
pastizal	20432.203	7329686.258	108016.649	0.14	0.2	0.28
Área Agrícola		2494980.684		0.26	0.28	0.3
cuerpo de agua	21658830.89					

Área de aportación	119,700,180 m ²	K =	0.27
--------------------	----------------------------	-----	------

Parámetro K para la cuenca Los Poncitos

Uso de suelo	AREA(m ²)		TIPO DE SUELO	
	B	C	B	C
selva baja caducifolia	25,429,419.87	18,504,060.29	0.26	0.28
pastizal		3,205,216.62	0.20	0.28
cuerpo de agua	38777851.44			

Área de aportación	20,555,857 m ²	K =	0.22
--------------------	---------------------------	-----	------

Parámetro K para la cuenca Cuerao

Uso de suelo	AREA(m ²)		TIPO DE SUELO	
	B	C	B	C
selva baja caducifolia	2188076.41	58,633,979.95	0.26	0.28
zona urbana		1,720,861.51	0.29	0.32
Pastizal	1,165,811.75	1,204,474.58	0.20	0.28
Área Agrícola	1,977,693.22	13607735.73	0.28	0.3
cuerpo de agua	5417915.063			

Área de aportación	1,579,226 m ²	K =	0.16
--------------------	--------------------------	-----	------

Parámetro K para la cuenca Llano de ojo de agua

Uso de suelo	AREA(m ²)		TIPO DE SUELO	
	B	C	B	C



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona "Área Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo"



selva baja caducifolia	28572102.53	73,716,861.37	0.26	0.28
bosque de pino-encino	904,987.64	31,292,103.82	0.16	0.24
Pastizal	12,069,796.41	32,719,414.84	0.20	0.28
Área Agrícola	2,419,775.05	37,105,768.35	0.28	0.3

Área de aportación	16,949,200 m²	K =	0.25
--------------------	---------------------------------	------------	-------------

Parámetro K para la cuenca Churumuco y sus anexos

Uso de suelo	AREA(m ²)		TIPO DE SUELO	
	B	C	B	C
selva baja caducifolia	46358857.08	4,500,648.14	0.26	0.28
bosque de pino-encino	7,021,248.28	14,148,621.27	0.16	0.24
Pastizal	24,270,362.61	1,425,497.07	0.20	0.28
Área Agrícola	12,398,668.74	17,023,774.83	0.28	0.3
cuerpo de agua	8,811.98			

Área de aportación	41,594,219 m²	K =	0.26
--------------------	---------------------------------	------------	-------------

Parámetro K para la cuenca El Salitre y sus anexos

Uso de suelo	AREA(m ²)		TIPO DE SUELO	
	B	C	B	C
selva baja caducifolia	125941161.27	35,277,228.28	0.26	0.28
bosque de pino-encino	5,023,995.22		0.16	0.24
pastizal	20,366,113.74	1,879,140.72	0.20	0.28
Área Agrícola	31,008,271.07	18,726,001.44	0.28	0.3
cuerpo de agua	31,746,978.26			

Área de aportación	164,108,897 m²	K =	0.26
--------------------	----------------------------------	------------	-------------

Parámetro K para la cuenca Palma de Guar

Uso de suelo	AREA(m ²)	TIPO DE SUELO
	B	B
selva baja caducifolia	45,121,583.62	0.26
pastizal	3,581,735.07	0.20
cuerpo de agua	24,230,284.47	

Área de aportación	72,933,603 m²	K =	0.17
--------------------	---------------------------------	------------	-------------

Parámetro K para la cuenca Las Estancias



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona "Área Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo"



Uso de suelo	AREA(m ²)			TIPO DE SUELO		
	A	B	C	A	B	C
selva baja caducifolia		155511548.90	15702290.35	0.17	0.26	0.28
bosque de pino-encino		16131630.28		0.07	0.16	0.24
pastizal	97,607.23	23605059.38	9036968.19	0.14	0.2	0.28
Área Agrícola		2736027.01		0.26	0.28	0.3
zona urbana		294504.43		0.26	0.29	0.32
cuerpo de agua		37219618.67				

Área de aportación	251,428,456 m²	K =	0.25
--------------------	----------------------------------	------------	-------------

Parámetro K para la cuenca San Francisco

Uso de suelo	AREA(m ²)		TIPO DE SUELO	
	B	C	B	C
selva baja caducifolia	47874119.73	12,134,321.36	0.26	0.28
bosque de pino-encino	631,175.29		0.16	0.24
Pastizal	952,050.45		0.20	0.28
Área Agrícola	28,776,713.05	1,316,943.26	0.28	0.3
zona urbana	38,306.40		0.29	0.32
cuerpo de agua		933,715.17		

Área de aportación	54,835,160 m²	K =	0.27
--------------------	---------------------------------	------------	-------------

Parámetro K para la cuenca Chilar

Uso de suelo	AREA(m ²)		TIPO DE SUELO	
	B	C	B	C
selva baja caducifolia	47874119.73	12,134,321.36	0.26	0.28
Pastizal	952,050.45		0.20	0.28
Área Agrícola	28,776,713.05	1,316,943.26	0.28	0.3
zona urbana	38,306.40		0.29	0.32
cuerpo de agua		933,715.17		

Área de aportación	3,301,847 m²	K =	0.27
--------------------	--------------------------------	------------	-------------

Parámetro K para la cuenca Potrerillo



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona "Área Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo"



Uso de suelo	AREA(m ²)	TIPO DE SUELO
	B	B
selva baja caducifolia	18,531,358.31	0.26
Área Agrícola	12,780,450.38	0.28

Área de aportación	3,876,172 m²	K =	0.27
--------------------	--------------------------------	------------	-------------

Parámetro K para la cuenca Las Cruces

Uso de suelo	AREA(m ²)			TIPO DE SUELO		
	A	B	C	A	B	C
selva baja caducifolia	497337.81	6712057.98	39181150.93	0.17	0.26	0.28
pastizal			1394751.10	0.14	0.2	0.28
Área Agrícola	11,328,602.03	15669583.17	66004877.38	0.26	0.28	0.3
zona urbana	554,543.41			0.26	0.29	0.32
cuerpo de agua	3378746.194					

Área de aportación	10,466,592 m²	K =	0.28
--------------------	---------------------------------	------------	-------------

Parámetro K para la cuenca Los olivos

Uso de suelo	AREA(m ²)		TIPO DE SUELO	
	B	C	B	C
selva baja caducifolia	14933418.35	2,005,011.64	0.26	0.28
bosque de pino-encino			0.16	0.24
pastizal	1,824,864.71	269,175.45	0.20	0.28
Área Agrícola	11,540,140.71	7,684,192.80	0.28	0.3
zona urbana			0.29	0.32
cuerpo de agua	4,892,396.13			

Área de aportación	2,106,742 m²	K =	0.27
--------------------	--------------------------------	------------	-------------

Parámetro K para la cuenca Chauz

Uso de suelo	AREA(m ²)			TIPO DE SUELO		
	A	B	C	A	B	C
selva baja caducifolia		156167556.37	6849270.97	0.17	0.26	0.28
bosque de pino-encino				0.07	0.16	0.24
pastizal		12140933.11	676345.66	0.14	0.2	0.28
Área Agrícola	6,072.61	22809649.39	14077217.58	0.26	0.28	0.3
zona urbana		202098.69	1414536.38	0.26	0.29	0.32
cuerpo de agua	3311579.25					



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona "Área Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo"



Área de aportación	138,287,505 m²	K =	0.26
--------------------	----------------------------------	------------	-------------

Parámetro K para la cuenca Conguripo

Uso de suelo	AREA(m ²)		TIPO DE SUELO	
	B	C	B	C
selva baja caducifolia	100923306.94	8,100,457.17	0.26	0.28
bosque de pino-encino			0.16	0.24
Pastizal	14,315,684.95	847,019.13	0.20	0.28
Área Agrícola	3,783,388.94		0.28	0.3
zona urbana			0.29	0.32
cuerpo de agua	1,095,892.87			

Área de aportación	129,065,748 m²	K =	0.25
--------------------	----------------------------------	------------	-------------

Parámetro K para la cuenca Ichami

Uso de suelo	AREA(m ²)			TIPO DE SUELO		
	A	B	C	A	B	C
selva baja caducifolia	1019.50	249248298.75	17241356.23	0.17	0.26	0.28
bosque de pino-encino	0.00	20,453,944.60	41,996,320.78	0.07	0.16	0.24
Pastizal	0.00	64173577.73	10028929.90	0.14	0.2	0.28
Área Agrícola	173,268.69	92074889.77	12765095.39	0.26	0.28	0.3
zona urbana	0.00	7682805.79	3020511.86	0.26	0.29	0.32
cuerpo de agua	75931.0241					

Área de aportación	304,574,983 m²	K =	0.25
--------------------	----------------------------------	------------	-------------

Parámetro K para la cuenca Arrojadero

Uso de suelo	AREA (m ²)		TIPO DE SUELO	
	B	C	B	C
selva baja caducifolia	60579681.92	26,437,663.48	0.26	0.28
bosque de pino-encino	45,608,788.88	23,045,451.26	0.16	0.24
Pastizal	38,005,024.51	10,330,823.87	0.20	0.28
Área Agrícola	14,791,219.83	19,643,776.41	0.28	0.3
zona urbana	508,034.02		0.29	0.32
cuerpo de agua	3,143,275.82			

Área de aportación	52,541,549 m²	K =	0.23
--------------------	---------------------------------	------------	-------------

Parámetro K para la cuenca Higuera



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona "Área Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo"



Uso de suelo	AREA (m ²)		TIPO DE SUELO	
	B	C	B	C
selva baja caducifolia	68505238.51	27,672,274.13	0.26	0.28
bosque de pino-encino			0.16	0.24
pastizal	1,582,270.10	5,521,490.58	0.20	0.28
Área Agrícola	12,212,245.17	19,386,639.41	0.28	0.3
zona urbana		41,784.80	0.29	0.32
cuerpo de agua	5,217,497.31			

Área de aportación	23,657,657 m²	K =	0.27
--------------------	---------------------------------	------------	-------------

Parámetro K para la cuenca Naranjo de Ziritzicuaro

Uso de suelo	AREA (m ²)			TIPO DE SUELO		
	A	B	C	A	B	C
selva baja caducifolia	5371656.55	77962409.18	32881080.05	0.17	0.26	0.28
bosque de pino-encino	1389315.08	57,055,386.07	16,604,135.03	0.07	0.16	0.24
pastizal	3,687,922.46	22258448.89	4967470.52	0.14	0.2	0.28
Área Agrícola	6,591,328.74	39004656.54	33376487.88	0.26	0.28	0.3
zona urbana	3,162.52	1351485.71	0.00	0.26	0.29	0.32
Palmar	1,992,590.36	2607346.28	10967153.19	0.24	0.28	0.3
cuerpo de agua	3311579.25					

Área de aportación	66,042,129 m²	K =	0.24
--------------------	---------------------------------	------------	-------------

Parámetro K para la cuenca La Huacana

Uso de suelo	AREA (m ²)			TIPO DE SUELO		
	A	B	C	A	B	C
selva baja caducifolia	7969360.12	66899061.07	14245048.39	0.17	0.26	0.28
bosque de pino-encino	0.00	57,853,436.65	33,162,130.69	0.07	0.16	0.24
pastizal	2,533,696.76	1040428.29	10909727.48	0.14	0.2	0.28
Área Agrícola	2,802,185.70	37254647.79	52981540.81	0.26	0.28	0.3
Palmar			2067865.18	0.24	0.28	0.3
cuerpo de agua	36214219.5					

Área de aportación	45,094,939 m²	K =	0.22
--------------------	---------------------------------	------------	-------------

Parámetro K para la cuenca EL Ciruelo.



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona "Área Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo"



Las tablas anteriores se presenta la distribución de tipo y uso de suelo para cada cuenca y su respectivo parámetro K. En la siguiente tabla se muestran los parámetros K ponderados para cada cuenca.

Cuenca	Nombre	Parámetro K
1	La pareja	0.23
2	Caramicuas	0.17
3	Esfuerzo Campesino	0.17
4	La vinata	0.17
5	Los Poncitos	0.26
6	Cueramato	0.27
7	Llano de ojo de agua	0.22
8	Churumuco y sus anexos	0.16
9	El salitre y sus anexos	0.25
10	Palma de Guaro	0.26
11	Las estancias	0.26
12	San Francisco	0.25
13	Chilar	0.27
14	Potrerrillo	0.27
15	Las cruces	0.27
16	Los olivos	0.28
17	Chauz	0.27
18	Conguripo	0.26
19	Ichami	0.25
20	Arrojadero	0.25
21	Higuerita	0.23
22	Naranjo de Zirizicuaro	0.27
23	La Huacana	0.24
24	El ciruelo	0.22

Resumen del Parámetro K para todas las cuencas del área en estudio



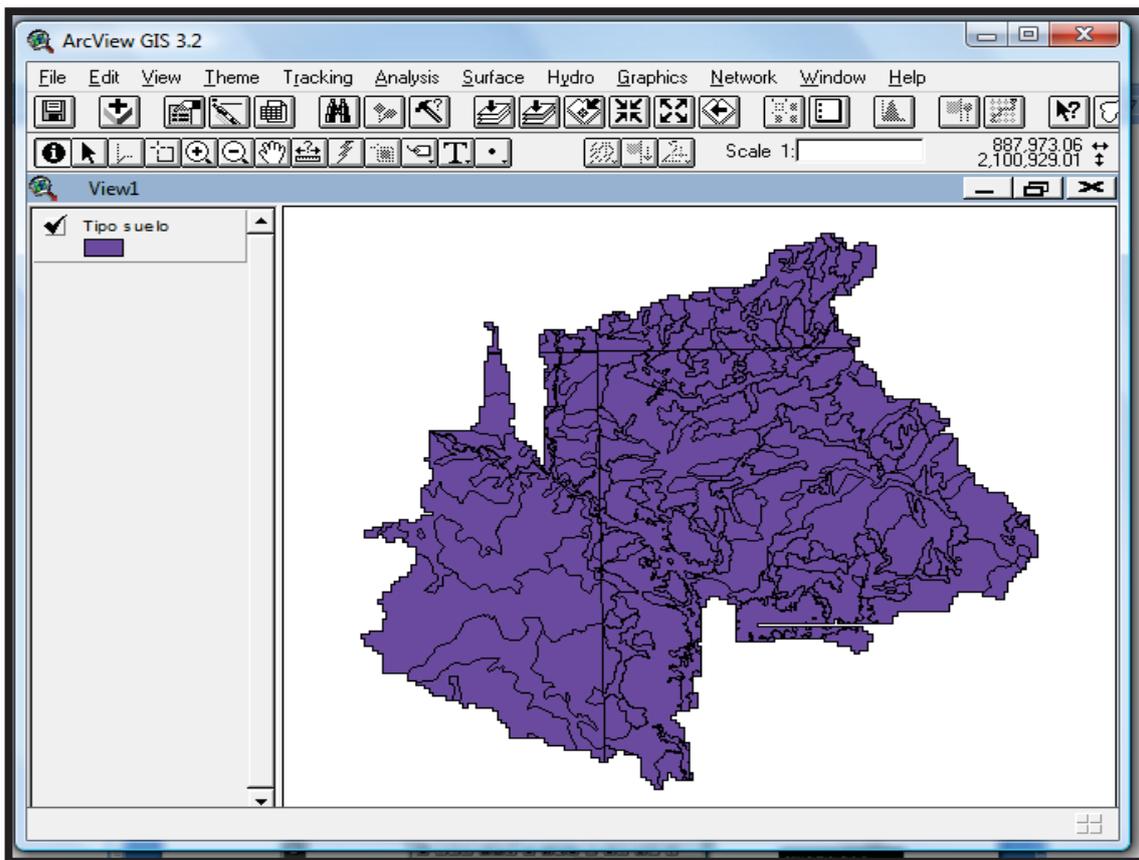
Procedimiento Arc View.

DETERMINACION DEL COEFICIENTE “K” UTILIZADO EN LA DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO POR EL METODO DE LA NORMA OFICIAL MEXICANA 011 DE LA COMISION NACIONAL DEL AGUA (NOM011).

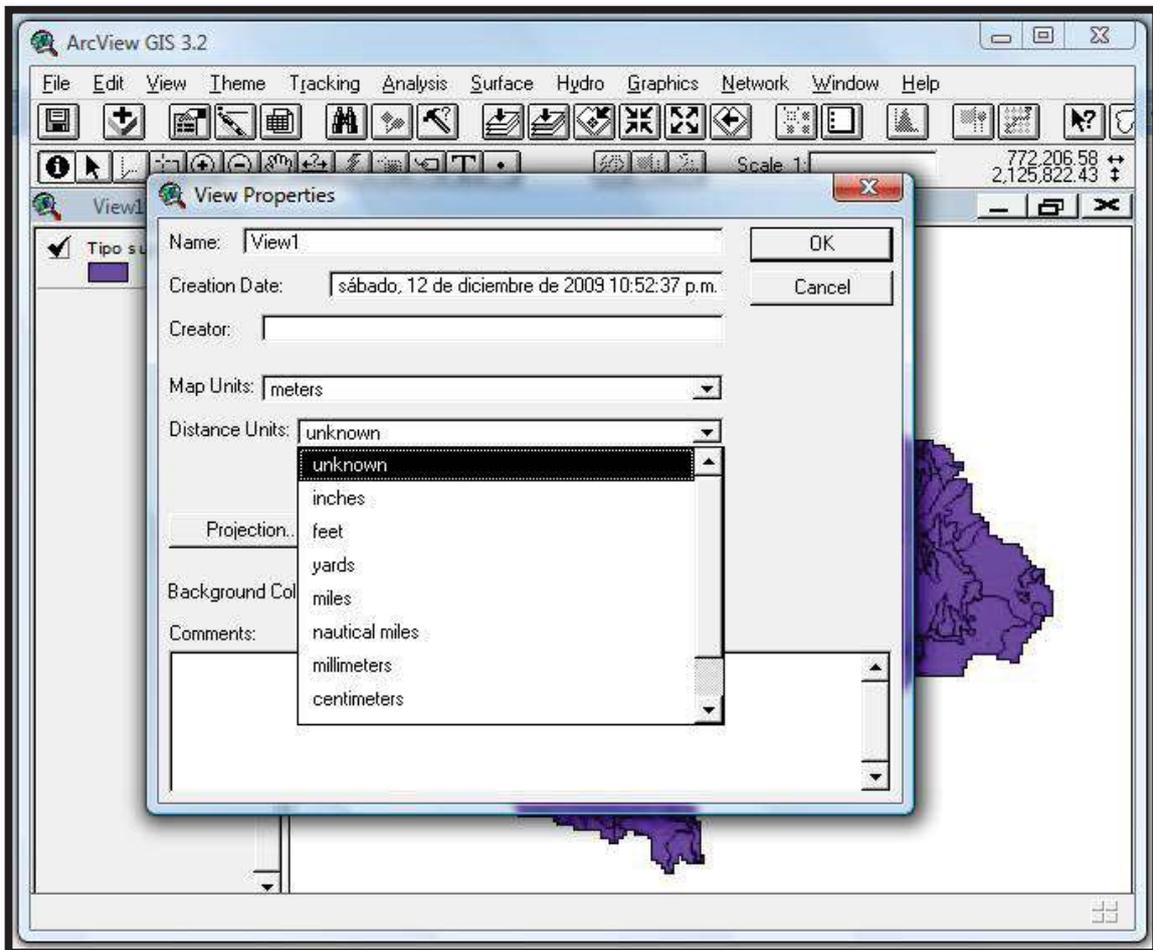
Se entiende que este capitulo exige al usuario las nociones basicas del Arc View, en cuanto al manejo de temas dentro de las vistas, asi como la manipulacion de tablas, caso contrario ver apartado de ayuda de Arc View.

El procedimeinto propuesto para la obtencion del coeficiente K, asi demonimado dentro de la norma oficial mexicana 011 (NOM01), se tendra a bien decir que se termino para la zona Natural Protegida Zicuiran-Infiernillo bajo el siguiente mecanismo.

El unico dato que necesitamos para determinacion de este coeficiente es el mapa de uso y tipo de suelo, mapa generado por porcedimientos basicos en Arc View. Cargar el mapa en una nueva vista y configurar las unidades con la que se valla a trabajar. (view—properties...)



Mapa de uso y tipo de suelo delimitado por las cuencas del ANP.



Ventana de configuración de unidades

Hecho lo anterior, entraremos a la tabla de atributos del mapa de Tipo de Suelo y agregaremos una columna más para hacer una separación entre los diferentes tipos de suelo que existen dentro de la cuenca en estudio, esta columna adquiere el nombre de “Clase_text”.

Para entrar a la tabla de atributos del tema de “Tipo de suelo” es necesario que el tema este activado y seleccionado, presionamos el botón de “Open Theme Table”.



Icono para abrir la tabla de atributos

Nos mostrará la tabla con los datos que existen en el mapa a estudiar, figura siguiente, y en esta tabla es en donde agregaremos la columna correspondiente.



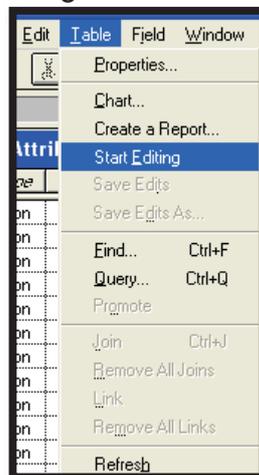
Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información, Zona “Area Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo”



Shape	Area	Perimeter	Fc	Clave_wrb
Polygon	30845242.51667	45297.95020	7119	LVcr+PHha+VRmzpe/3R
Polygon	57131508.86802	59649.27917	7118	LPeuli+RGeu+CMcr/2
Polygon	14443871.98935	24135.77287	7130	VRmzpe+PHha/3R
Polygon	36890359.81152	47938.85824	7119	LVcrilen+RGeulen/2
Polygon	13685233.75632	23689.14700	7118	LPeuli+RGeu+PHha/1
Polygon	14823439.73912	31520.93634	7130	VRmzpe/3
Polygon	12844307.87400	29425.78760	7104	ANumlen+ANdy/2
Polygon	7308389.02791	12643.88403	7118	LPeul+CMeucr+RGeu/2
Polygon	14841752.74079	20043.79252	7119	LVcr+PHha/2R
Polygon	2584381.25051	9059.21976	7104	ANum/2
Polygon	3882112.94245	8877.00107	7119	LVcr/2
Polygon	3696626.82887	9210.00781	7119	LVcr/3R
Polygon	4071017.92390	9796.00287	7122	PHha+RGeu/1R
Polygon	49857645.86902	68068.64091	7118	LPeuli+PHha+VRmzpe/2
Polygon	18244951.01934	30189.85182	7122	PHha+LVcr/2R
Polygon	2635431.27781	7261.11268	7108	CMeucr+RGeu/2
Polygon	2089434.80606	7321.75501	7104	ANmo+PHha/2
Polygon	1584071.61377	7015.08643	7130	VRmzpe/3
Polygon	320919505.84206	1362757.16675	6292	H20
Polygon	320919505.84206	1362757.16675	6292	H20
Polygon	320919505.84206	1362757.16675	6292	H20
Polygon	320919505.84206	1362757.16675	6292	H20
Polygon	320919505.84206	1362757.16675	6292	H20

Base de datos contenida en el mapa de tipo de suelo.

La forma de agregar mas columnas en la tabla de atributos es abriendo el menú “Table” y seleccionamos “start Editing”.



Pestaña correspondiente a “Iniciar edición”

A continuación hacemos el siguiente procedimiento “Edit – Add Field”.

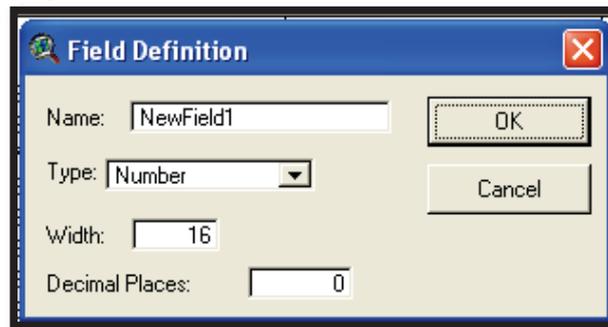


Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona “Area Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo”



Pestaña correspondiente a “Añadir columna”

Se mostrará una ventana en donde nos pedirá algunos datos para la nueva columna a agregar que son: nombre, tipo de formato, ancho de la columna y número de decimales,



Cuadro de las propiedades de la columna.

La columna que se agregue con el nombre de “Clase_text”, necesariamente tendrá un tipo de formato “Number” los campos restantes se aceptaran por default. Dentro del campo “Clase_text” se hace una correspondencia de la textura del suelo que el INEGI maneja con la clasificación establecida por parte de la norma oficial mexicana, tomando en cuenta la textura y la fase física para realizar cada correspondía (suelos permeables, suelos medianamente permeables, suelos casi impermeables).

TIPO SUELO	CARACTERISTICAS
A	Suelos permeables, tales como arenas profundas y loes poco compactos
B	suelos medianamente permeables, tales como arenas de mediana profundidad: loes algo mas compactos que los correspondientes a los suelos: terrenos migajonosos
C	Suelos casi impermeables, tales como arenas o loes muy delgado sobre una capa impermeables, o bien arcillas

Clasificación de tipo de suelo.



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona “Area Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo”



La figura siguiente nos muestra la tabla de atributos con la columna ya agregada y seleccionada, nótese la pestaña un gris más oscuro y continuamos se introducen los valores correspondientes al tipo de suelo. Esta clasificación es de acuerdo al último número de la terminación de la clave “Clave_wb”,
Ejemplo

Clave_wb	Valortc.	Tipo se Suelo
ANmo+Lpeuli/1	1	A
RGeulep+LPeuli/2	2	B

Shape	Area	Perimeter	Fc	Clave_wb	Clase_text
Polygon	30845242.51667	45297.95020	7119	LVcr+PHha+VRmzpe/3R	
Polygon	57131508.86802	59649.27917	7118	LPeuli+RGeu+CMcr/2	
Polygon	14443871.98935	24135.77287	7130	VRmzpe+PHha/3R	
Polygon	36890359.81152	47938.85824	7119	LVcr+RGeu/2	
Polygon	13685233.75632	23689.14700	7118	LPeuli+RGeu+PHha/1	
Polygon	14823439.73912	31520.93634	7130	VRmzpe/3	
Polygon	12844307.87400	29425.78760	7104	ANumlen+ANdy/2	
Polygon	7308389.02791	12643.88403	7118	LPeu+CMeucr+RGeu/2	
Polygon	14841752.74079	20043.79252	7119	LVcr+PHha/2R	
Polygon	2584381.25051	9059.21976	7104	ANum/2	
Polygon	3882112.94245	8877.00107	7119	LVcr/2	
Polygon	3695626.82887	9210.00781	7119	LVcr/3R	
Polygon	4071017.92390	9796.00287	7122	PHha+RGeu/1R	
Polygon	49857645.86902	68068.64091	7118	LPeuli+PHha+VRmzpe/2	
Polygon	18244951.01934	30189.85182	7122	PHha+LVcr/2R	
Polygon	2635431.27781	7261.11268	7108	CMeucr+RGeu/2	
Polygon	2089434.80606	7321.75501	7104	ANmo+PHha/2	
Polygon	1584071.61377	7015.08643	7130	VRmzpe/3	
Polygon	320919505.84206	1362757.16675	6292	H20	
Polygon	320919505.84206	1362757.16675	6292	H20	
Polygon	320919505.84206	1362757.16675	6292	H20	

Tabla de atributos con la adición de la nueva columna

Paso seguido nos vamos a la columna de “Clase_text” y de acuerdo a lo expresado en el párrafo anterior se le asigna los valores correspondientes a cada tipo de suelo en la nueva columna agregada. Para poder editar la columna utilizar el icono “Editar”



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona “Area Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo”



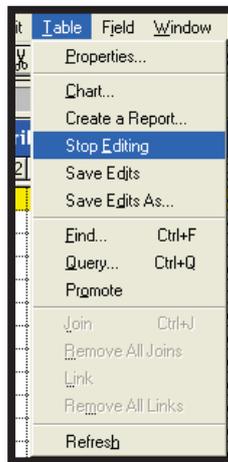
Shape	Area	Perimeter	Fc	Clave_wrb	Clase_text
Polygon	30845242.51667	45297.95020	7119	LVcr+PHha+VRmzpe/3R	3
Polygon	57131508.86802	59649.27917	7118	LPeuli+RGeu+CMcr/2	2
Polygon	14443871.98935	24135.77287	7130	VRmzpe+PHha/3R	3
Polygon	36890359.81152	47938.85824	7119	LVcrten+RGeulen/2	2
Polygon	13685233.75632	23689.14700	7118	LPeuli+RGeu+PHha/1	1
Polygon	14823439.73912	31520.93634	7130	VRmzpe/3	3
Polygon	12844307.87400	29425.78760	7104	ANumlen+ANDy/2	2
Polygon	7308389.02791	12643.88403	7118	LPeu+CMeucr+RGeu/2	2
Polygon	14841752.74079	20043.79252	7119	LVcr+PHha/2R	2
Polygon	2584381.25051	9059.21976	7104	ANum/2	2
Polygon	3882112.94245	8877.00107	7119	LVcr/2	2
Polygon	3696626.82887	9210.00781	7119	LVcr/3R	3
Polygon	4071017.92390	9796.00287	7122	PHha+RGeu/1R	1
Polygon	49857645.86302	68068.64091	7118	LPeuli+PHha+VRmzpe/2	2
Polygon	18244951.01934	30189.85182	7122	PHha+LVcr/2R	2
Polygon	2635431.27781	7261.11268	7108	CMeucr+RGeu/2	2
Polygon	2089434.80606	7321.75501	7104	ANmo+PHha/2	2
Polygon	1584071.61377	7015.08643	7130	VRmzpe/3	3
Polygon	320919505.84206	1362757.16675	6292	H20	
Polygon	320919505.84206	1362757.16675	6292	H20	
Polygon	320919505.84206	1362757.16675	6292	H20	

Ejemplo descriptivo de la clasificación del tipo de suelo dentro de la nueva columna.

Asignados los valores correspondientes a cada renglón, abrir la pestaña “Table” y presionamos “Stop Editing”, concluido este procedimiento muestra un cuadro de dialogo preguntando si se desea agregar la información modificada o adherida. Aceptar el trabajo (yes).

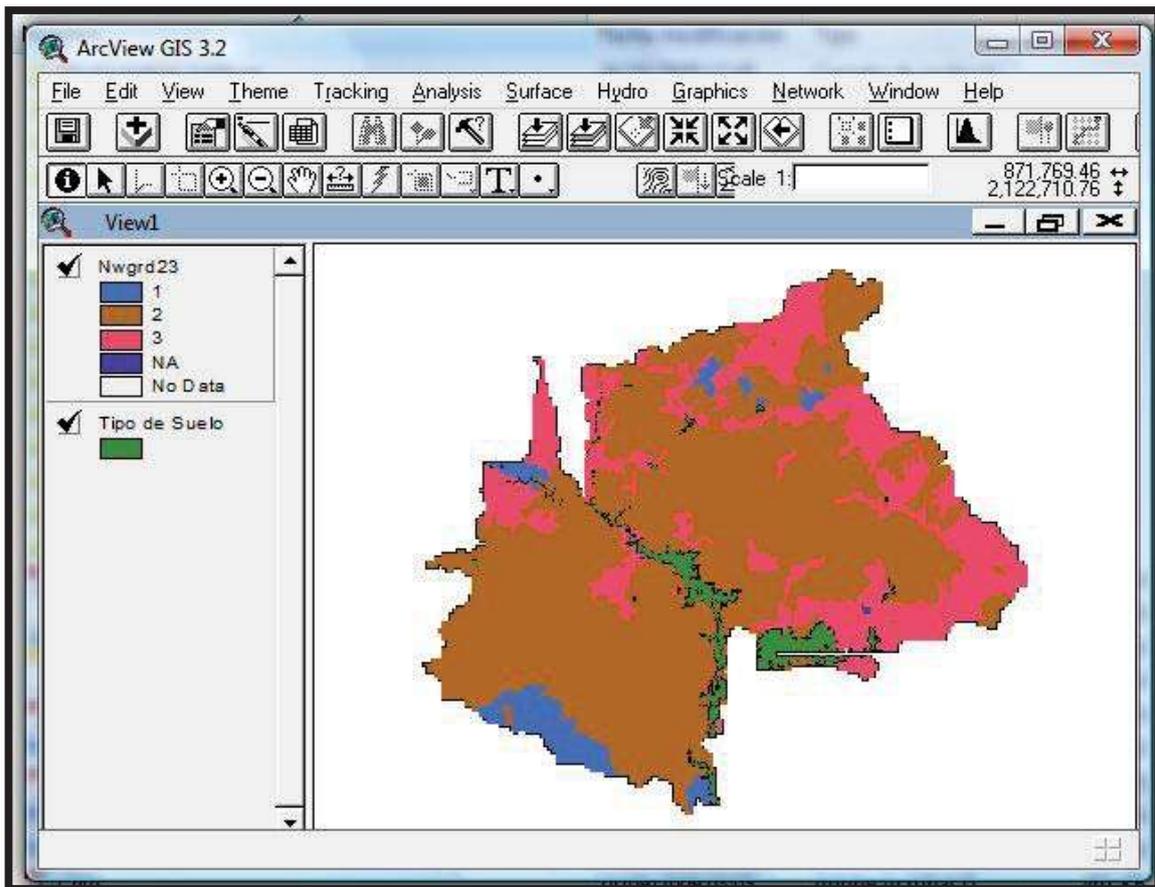


Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información, Zona “Area Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo”



Pestaña correspondiente a “Terminar edición”

Habiendo modificado satisfactoriamente la tabla de atributos, se obtiene un mapa en formato Grid con la columna de “Clase_text”. Este grid tendrá como valores los tipos de suelo presentados en tres valores posibles (uno, dos y tres).



Muestra el Grid de edafología del área en estudio.



Hasta este apartado termina las modificaciones correspondientes al tipo de suelo.

CLASIFICACION DEL USO DE SUELO.

Para el desarrollo de este apartado utilizar el mapa de uso de suelo. Trabajar en View recordemos colocar las unidades a este mapa se le agrega dos columnas, con el nombre de "Valor_uno" y otra con el nombre de "Uso_Tierra".

En la tabla de atributos, la columna de "Uso_Tierra" (que fue una de las dos columnas que agregamos), se clasifica de acuerdo a la "tabla siguiente". Es muy confuso por ejemplo distinguir el tipo de bosque, si es normal o ralo, lo recomendable es conocer bien la terminología y hacer una vista al campo para distinguir visualmente la cobertura de suelo.

USO DE SUELO
Barbecho, áreas incultas y desnudas
Cultivos: En hilera Legumbres o ración de pradera Granos pequeños
Pastizal: % del suelo cubierto o pastoreo Más del 75% -Poco- Del 50 al 75% - regular- Menos del 50% -Excesivo-
Bosque: Cubierto más del 75% Cubierto del 50 al 75% Cubierto del 25 al 50% Cubierto menos del 25%
Zonas Urbanas
Caminos
Pradera permanente

Uso de suelo de acuerdo a su cobertura. (Clasificación CNA).

Obtenida la clasificación de "Uso_Tierra", se realiza el siguiente proceso el cual requiere de tiempo para la manipulación de datos.



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona “Area Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo”



En la columna de “Valor-Uno” se precede a lo siguiente, al uso de tierra que sea igual se le asignara el valor de uno (1) y el resto de la base de datos adquiere el valor de cero automáticamente cuando se termina la edición de datos.

Este procedimiento se ejecutara tantas veces como usos de suelo se tenga; es decir que para cada uso de suelo diferente que se le clasifique se guardara un mapa en formato Grid, obtenido el grid, se vuelve a la tabla de atributos y se procede hacer lo mismo, eliminando la primer clasificación con valor de uno y se procede a clasificar otro tipo de suelo

Ya clasificada la columna de “Uso_Tierra”, en la columna de “Valor_uno” haremos lo siguiente, al uso de tierra que sea igual se le dará el valor de uno y a todos los demás usos se les dará el valor de cero. En este caso se obtuvieron seis mapas, los cuales son: Selva, Pastizal, Palmar, Zona Urbana, Área Agrícola y Bosque A continuación se mostraran las seis tablas de atributos correspondientes a cada Uso de Suelo, en cada tabla aparecerán de amarillo los usos de Suelo que son iguales con el valor de uno y de blanco los demás Usos de Suelo con el valor de cero.

Shape	Area	Perimeter	E1404u2v	E1404u2v_i	Entidad	Tipo	valor_1
Polygon	224898.844	2410.083	1017	14881	SELVA	Selva baja caducifolia	1
Polygon	23192503.311	46945.728	0	0	SELVA	Selva baja caducifolia	1
Polygon	11248.478	1795.310	0	0	SELVA	Selva baja caducifolia	1
Polygon	5768426.326	15124.781	0	0	SELVA	Selva baja caducifolia	1
Polygon	23192503.311	46945.728	0	0	SELVA	Selva baja caducifolia	1
Polygon	800078.938	5262.755	1436	16365	SELVA	Selva baja caducifolia	1
Polygon	3266831.250	15128.441	1409	16256	SELVA	Selva baja caducifolia	1
Polygon	1520459.625	5331.373	77	109577	SELVA	Selva baja caducifolia	1
Polygon	6720811.000	16142.576	78	11829	SELVA	Selva baja caducifolia	1
Polygon	3266831.250	15128.441	1409	16256	SELVA	Selva baja caducifolia	1
Polygon	16804667.981	22397.116	0	0	SELVA	Selva baja caducifolia	1
Polygon	8268961.230	11465.509	0	0	SELVA	Selva baja caducifolia	1
Polygon	9211404.850	18264.621	0	0	SELVA	Selva baja caducifolia	1
Polygon	819782.313	4184.682	83	110141	SELVA	Selva baja caducifolia	1
Polygon	9211404.850	18264.621	0	0	SELVA	Selva baja caducifolia	1
Polygon	5670979.097	11239.006	0	0	SELVA	Selva baja caducifolia	1
Polygon	5670979.097	11239.006	0	0	SELVA	Selva baja caducifolia	1
Polygon	6647814.000	18219.779	87	109402	SELVA	Selva baja caducifolia	1
Polygon	69892950.867	141505.066	0	0	SELVA	Selva baja caducifolia	1
Polygon	912523520.000	1071345.375	89	11222	SELVA	Selva baja caducifolia	1
Polygon	912523520.000	1071345.375	89	11222	SELVA	Selva baja caducifolia	1
Polygon	273530624.000	139819.484	1212	110312	SELVA	Selva baja caducifolia	1
Polygon	12550119.000	25972.391	110	11981	SELVA	Selva baja caducifolia	1
Polygon	129529.469	1430.154	1140	15369	SELVA	Selva baja caducifolia	1
Polygon	7494753.500	14864.356	0	0	SELVA	Selva baja caducifolia	1
Polygon	8272735.000	19357.430	114	11987	SELVA	Selva baja caducifolia	1

Tabla de atributos perteneciente a selva.



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona "Área Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo"



Shape	Area	Perimeter	E1404u2v	E1404u2v i	Entidad	Tipo	valor_1
Polygon	47663788.000	85037.953	70	11746	PASTIZAL	Pastizal inducido	1
Polygon	47663788.000	85037.953	70	11746	PASTIZAL	Pastizal inducido	1
Polygon	7703123.783	20622.391	0	0	PASTIZAL	Pastizal inducido	1
Polygon	1007820.000	4955.039	0	0	PASTIZAL	Pastizal inducido	1
Polygon	5434196.000	16925.986	0	0	PASTIZAL	Pastizal cultivado	1
Polygon	1285042.000	4816.806	0	0	PASTIZAL	Pastizal cultivado	1
Polygon	2057831.875	7914.828	75	110023	PASTIZAL	Pastizal inducido	1
Polygon	2998788.750	9332.097	0	0	PASTIZAL	Pastizal inducido	1
Polygon	1793055.250	5379.733	0	0	PASTIZAL	Pastizal inducido	1
Polygon	7032014.000	16874.654	79	11836	PASTIZAL	Pastizal inducido	1
Polygon	1274651.875	5326.081	0	0	PASTIZAL	Pastizal inducido	1
Polygon	13976895.000	34461.645	0	0	PASTIZAL	Pastizal inducido	1
Polygon	18134392.000	28119.375	0	0	PASTIZAL	Pastizal inducido	1
Polygon	1166499.875	5422.870	0	0	PASTIZAL	Pastizal inducido	1
Polygon	1669145.250	5505.504	0	0	PASTIZAL	Pastizal inducido	1
Polygon	1669145.250	5505.504	0	0	PASTIZAL	Pastizal inducido	1
Polygon	3882620.500	10842.985	0	0	PASTIZAL	Pastizal inducido	1
Polygon	1449513.019	5358.828	0	0	PASTIZAL	Pastizal inducido	1
Polygon	2943459.190	9508.920	0	0	PASTIZAL	Pastizal inducido	1
Polygon	5036233.346	13124.704	0	0	PASTIZAL	Pastizal inducido	1
Polygon	2608892.273	8542.028	0	0	PASTIZAL	Pastizal inducido	1
Polygon	1190018.500	4733.645	109	11980	PASTIZAL	Pastizal inducido	1
Polygon	1177495.179	4572.379	0	0	PASTIZAL	Pastizal inducido	1
Polygon	2462057.139	6538.844	0	0	PASTIZAL	Pastizal inducido	1
Polygon	1072405.884	4970.764	0	0	PASTIZAL	Pastizal inducido	1
Polygon	4576863.686	12248.628	0	0	PASTIZAL	Pastizal inducido	1

Tabla de atributos perteneciente a pastizal.

Shape	Area	Perimeter	E1404u2v	E1404u2v i	Entidad	Tipo	valor_1
Polygon	782031.438	4024.432	132	12057	OTROS TIPOS DE VEGETAC	Palmar	1
Polygon	12787786.000	34354.922	145	12104	OTROS TIPOS DE VEGETAC	Palmar	1
Polygon	881672.531	4199.113	0	0	OTROS TIPOS DE VEGETAC	Palmar	1
Polygon	4140938.358	11527.799	0	0	OTROS TIPOS DE VEGETAC	Palmar	1
Polygon	4608805.889	14018.216	0	0	OTROS TIPOS DE VEGETAC	Palmar	1
Polygon	857084.063	4085.158	86	110171	OTROS TIPOS DE VEGETAC	Palmar	1
Polygon	5487317.968	14422.932	0	0	OTROS TIPOS DE VEGETAC	Palmar	1
Polygon	1710443.000	5350.141	881	14332	LOCALIDAD	Zona Urbana	
Polygon	1345702.250	5769.424	173	12178	LOCALIDAD	Zona Urbana	
Polygon	502715.219	3542.085	526	13223	LOCALIDAD	Zona Urbana	
Polygon	1120090.000	4501.443	0	0	LOCALIDAD	Zona Urbana	
Polygon	677057.000	3774.069	0	0	LOCALIDAD	Zona Urbana	
Polygon	6457961.094	13062.817	0	0	LOCALIDAD	Zona Urbana	
Polygon	1606781.375	5628.064	400	12825	LOCALIDAD	Zona Urbana	
Polygon	282969.469	3084.458	0	0	LOCALIDAD	Zona Urbana	
Polygon	1254156.750	5230.900	780	14039	CUERPO DE AGUA	Cuerpo de agua	
Polygon	254502144.000	603703.313	629	13596	CUERPO DE AGUA	Cuerpo de agua	
Polygon	254502144.000	603703.313	629	13596	CUERPO DE AGUA	Cuerpo de agua	
Polygon	254502144.000	603703.313	629	13596	CUERPO DE AGUA	Cuerpo de agua	
Polygon	254502144.000	603703.313	629	13596	CUERPO DE AGUA	Cuerpo de agua	
Polygon	254502144.000	603703.313	629	13596	CUERPO DE AGUA	Cuerpo de agua	
Polygon	19671680.000	252106.813	0	0	CUERPO DE AGUA	Cuerpo de agua	
Polygon	2954213.000	14856.850	217	12285	CUERPO DE AGUA	Cuerpo de agua	
Polygon	254502144.000	603703.313	629	13596	CUERPO DE AGUA	Cuerpo de agua	
Polygon	19671680.000	252106.813	0	0	CUERPO DE AGUA	Cuerpo de agua	
Polygon	254502144.000	603703.313	629	13596	CUERPO DE AGUA	Cuerpo de agua	

Tabla de atributos perteneciente a palmar.



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona "Area Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo"



Shape	Area	Perimeter	E1404u2v_	E1404u2v_i	Entidad	Tipo	valor_1
Polygon	502715.219	3542.085	526	13223	LOCALIDAD	Zona Urbana	1
Polygon	1120090.000	4501.443	0	0	LOCALIDAD	Zona Urbana	1
Polygon	1606781.375	5628.064	400	12825	LOCALIDAD	Zona Urbana	1
Polygon	6457961.094	13062.817	0	0	LOCALIDAD	Zona Urbana	1
Polygon	292969.469	3084.458	0	0	LOCALIDAD	Zona Urbana	1
Polygon	677057.000	3774.069	0	0	LOCALIDAD	Zona Urbana	1
Polygon	1710443.000	5350.141	881	14332	LOCALIDAD	Zona Urbana	1
Polygon	1345702.250	5769.424	173	12178	LOCALIDAD	Zona Urbana	1
Polygon	9100334.269	19470.493	0	0	AREA AGRICOLA	temporal	
Polygon	1450088.400	5852.329	0	0	AREA AGRICOLA	temporal	
Polygon	1450088.400	5852.329	0	0	AREA AGRICOLA	temporal	
Polygon	39599732.000	84561.102	81	11874	AREA AGRICOLA	temporal	
Polygon	911520.364	3798.988	0	0	AREA AGRICOLA	temporal	
Polygon	2458183.695	8061.488	0	0	AREA AGRICOLA	temporal	
Polygon	12184340.812	25451.126	0	0	AREA AGRICOLA	temporal	
Polygon	1411856.480	6136.765	0	0	AREA AGRICOLA	temporal	
Polygon	4248455.500	10288.140	0	0	AREA AGRICOLA	temporal	
Polygon	1406647.975	5435.569	0	0	AREA AGRICOLA	temporal	
Polygon	13806134.000	38369.164	88	11640	AREA AGRICOLA	temporal	
Polygon	16436206.491	41090.756	0	0	AREA AGRICOLA	temporal	
Polygon	16436206.491	41090.756	0	0	AREA AGRICOLA	temporal	
Polygon	6623524.000	13503.126	0	0	AREA AGRICOLA	temporal	
Polygon	1880731.974	6773.248	0	0	AREA AGRICOLA	temporal	
Polygon	23913920.000	54005.305	112	11984	AREA AGRICOLA	temporal	
Polygon	5719411.500	17893.338	113	11986	AREA AGRICOLA	temporal	
Polygon	2247979.474	9465.621	0	0	AREA AGRICOLA	temporal	

Tabla de atributos perteneciente a zona urbana.

Shape	Area	Perimeter	E1404u2v_	E1404u2v_i	Entidad	Tipo	valor_1
Polygon	2976238.250	11152.885	923	14476	AREA AGRICOLA	temporal	1
Polygon	2336368.000	11634.458	921	14469	AREA AGRICOLA	temporal	1
Polygon	567350.500	3742.104	920	14467	AREA AGRICOLA	temporal	1
Polygon	472118.938	2834.798	882	14341	AREA AGRICOLA	temporal	1
Polygon	2218480.250	7417.240	221	12295	AREA AGRICOLA	temporal	1
Polygon	1078542.250	5434.548	0	0	AREA AGRICOLA	temporal	1
Polygon	10641247.655	21111.218	0	0	AREA AGRICOLA	temporal	1
Polygon	3731994.000	9699.702	866	14281	AREA AGRICOLA	temporal	1
Polygon	1061224.375	4694.479	243	12346	AREA AGRICOLA	temporal	1
Polygon	1073071.532	4469.471	0	0	AREA AGRICOLA	temporal	1
Polygon	1771180.750	6170.826	253	12375	AREA AGRICOLA	temporal	1
Polygon	15758923.000	37719.383	859	14263	AREA AGRICOLA	temporal	1
Polygon	2216310.750	10842.923	0	0	AREA AGRICOLA	temporal	1
Polygon	1893640.750	6506.206	0	0	AREA AGRICOLA	temporal	1
Polygon	1012609.625	4797.644	266	12424	AREA AGRICOLA	temporal	1
Polygon	3843623.000	10693.189	832	14174	AREA AGRICOLA	temporal	1
Polygon	936144.063	4391.543	828	14162	AREA AGRICOLA	temporal	1
Polygon	14187.563	671.224	0	0	AREA AGRICOLA	temporal	1
Polygon	2192111.750	8684.172	811	14126	AREA AGRICOLA	temporal	1
Polygon	779600.250	3842.430	795	14082	AREA AGRICOLA	temporal	1
Polygon	1416706.750	5899.346	295	12495	AREA AGRICOLA	temporal	1
Polygon	10371770.000	27244.473	794	14080	AREA AGRICOLA	temporal	1
Polygon	2826156.250	13717.332	787	14067	AREA AGRICOLA	temporal	1
Polygon	4657824.000	9623.706	0	0	AREA AGRICOLA	temporal	1
Polygon	1734736.750	5839.331	779	14038	AREA AGRICOLA	temporal	1
Polygon	367621.344	2895.799	0	0	AREA AGRICOLA	temporal	1

Tabla de atributos perteneciente a área agrícola.



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona "Área Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo"



The screenshot shows the ArcView GIS 3.2 interface with a table titled "Attributes of uso suelo". The table contains 26 rows of data, each representing a polygon. The columns are: Shape, Area, Perimeter, E1404u2v, E1404u2v, Entidad, Tipo, and Valor. The data is as follows:

Shape	Area	Perimeter	E1404u2v	E1404u2v	Entidad	Tipo	Valor
Polygon	3602198.750	7967.245	0	0	BOSQUE	Bosque de encino	1
Polygon	3982246.750	10626.430	0	0	BOSQUE	Bosque de encino	1
Polygon	6854785.500	17739.480	0	0	BOSQUE	Bosque de encino	1
Polygon	1946354.875	6146.542	0	0	BOSQUE	Bosque de encino	1
Polygon	3475100.000	8909.635	0	0	BOSQUE	Bosque de encino	1
Polygon	2386097.000	8863.239	0	0	BOSQUE	Bosque de encino	1
Polygon	8145235.000	19746.654	0	0	BOSQUE	Bosque de encino	1
Polygon	8145235.000	19746.654	0	0	BOSQUE	Bosque de encino	1
Polygon	2870130.750	12501.304	0	0	BOSQUE	Bosque de encino	1
Polygon	23105478.000	67917.672	0	0	BOSQUE	Bosque de encino	1
Polygon	7908088.000	20530.750	0	0	BOSQUE	Bosque de encino	1
Polygon	7121007.500	19368.719	0	0	BOSQUE	Bosque de encino	1
Polygon	7121007.500	19368.719	0	0	BOSQUE	Bosque de encino	1
Polygon	15593943.000	39329.180	0	0	BOSQUE	Bosque de encino	1
Polygon	2392455.750	6646.010	0	0	BOSQUE	Bosque de encino	1
Polygon	14041431.000	30283.693	0	0	BOSQUE	Bosque de encino-pino	1
Polygon	5114557.685	10870.591	0	0	BOSQUE	Bosque de encino	1
Polygon	2302464.013	7800.307	0	0	BOSQUE	Bosque de encino-pino	1
Polygon	4047129.589	12619.054	0	0	BOSQUE	Bosque de encino-pino	1
Polygon	5071725.846	15457.872	0	0	BOSQUE	Bosque de encino-pino	1
Polygon	1562526.053	5700.045	0	0	BOSQUE	Bosque de encino-pino	1
Polygon	10737554.272	21911.721	0	0	BOSQUE	Bosque de encino	1
Polygon	40836956.017	56218.197	0	0	BOSQUE	Bosque de pino-encino	1
Polygon	4059244.913	9175.663	0	0	BOSQUE	Bosque de encino-pino	1
Polygon	1841288.089	7410.939	0	0	BOSQUE	Bosque de pino-encino	1
Polygon	7127555.863	17292.099	0	0	BOSQUE	Bosque de encino-pino	1

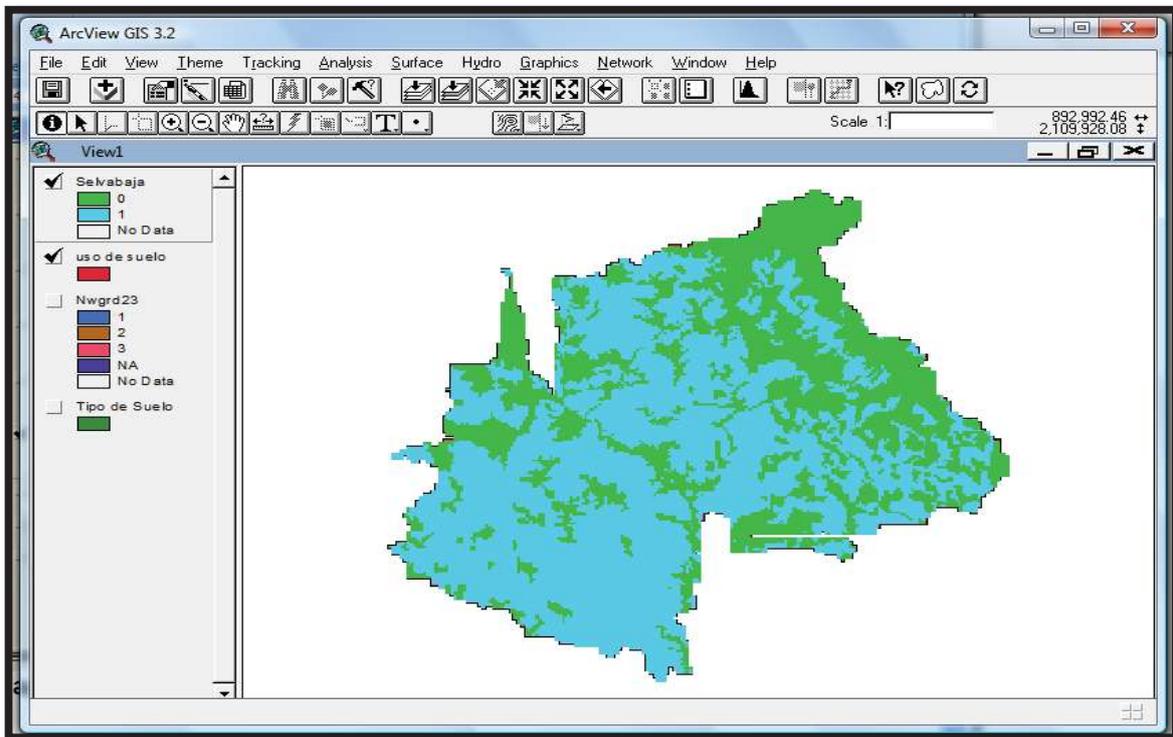
Tabla de atributos perteneciente a Bosque.

Mostradas las tablas de los diferentes Usos de Suelo, lo siguiente es obtener los mapas en Grid de dichas tablas, en este caso serán seis mapas, cada uno con su correspondiente Uso de Suelo.

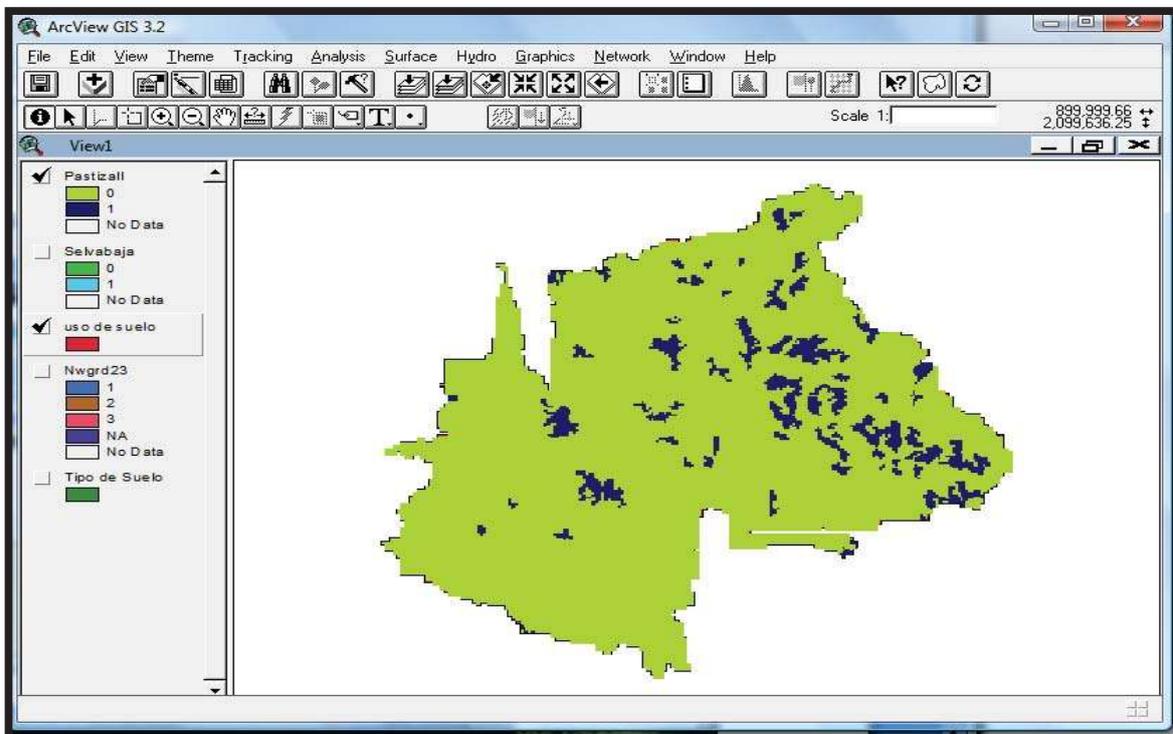
Cada mapa aparecerá con dos valores, cero y uno, recordando que en la tabla de atributos para los diferentes Usos de Suelo se les dio el valor de uno a los suelos que son iguales y de cero a los demás Usos de suelo, obteniendo seis mapas los cuales son: selva, pastizal, palmar, zona urbana, área agrícola y bosque.



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona “Área Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo”



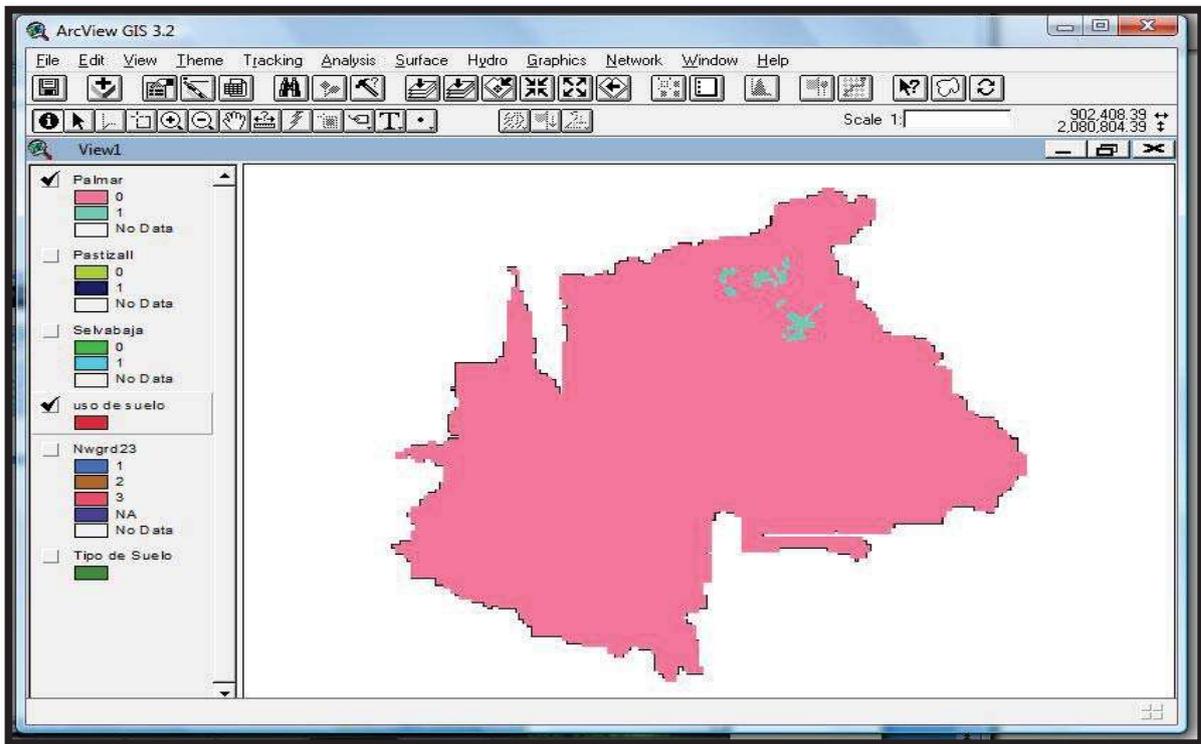
Mapa de selva correspondiente a la tabla de selva.



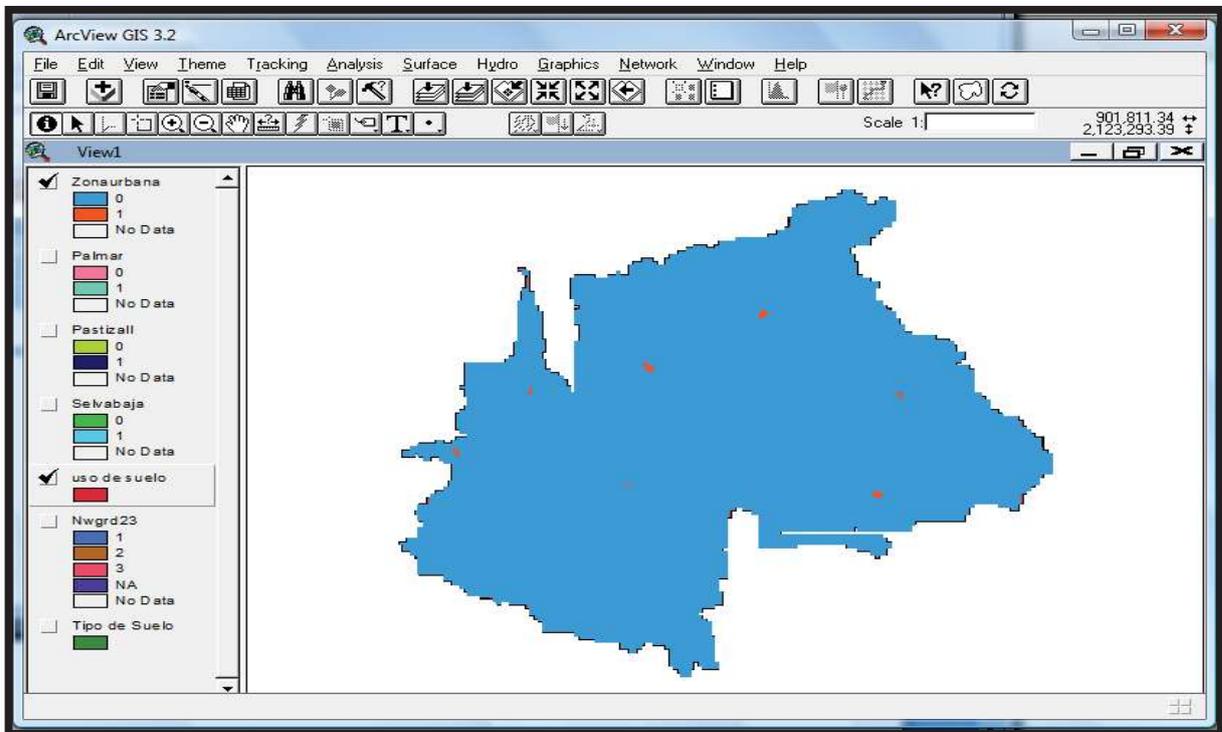
Mapa de pastizal correspondiente a la tabla de pastizal.



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona “Área Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo”



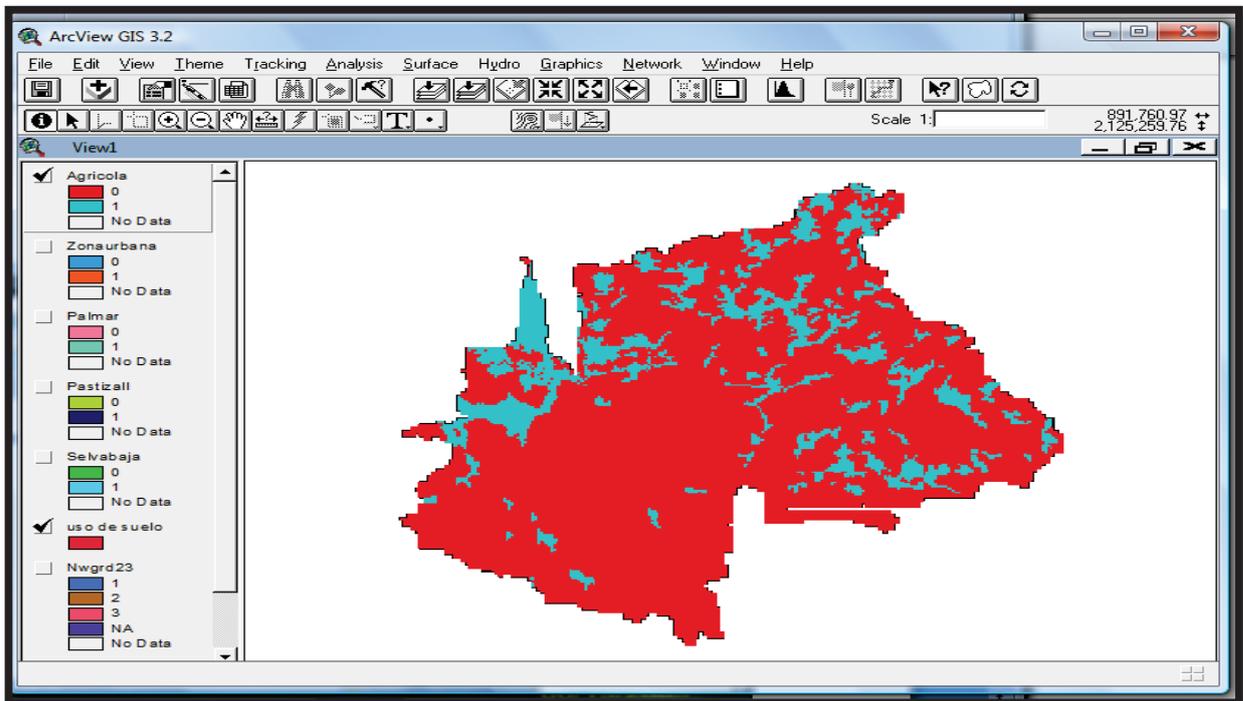
Mapa de palmar correspondiente a la tabla de palmar.



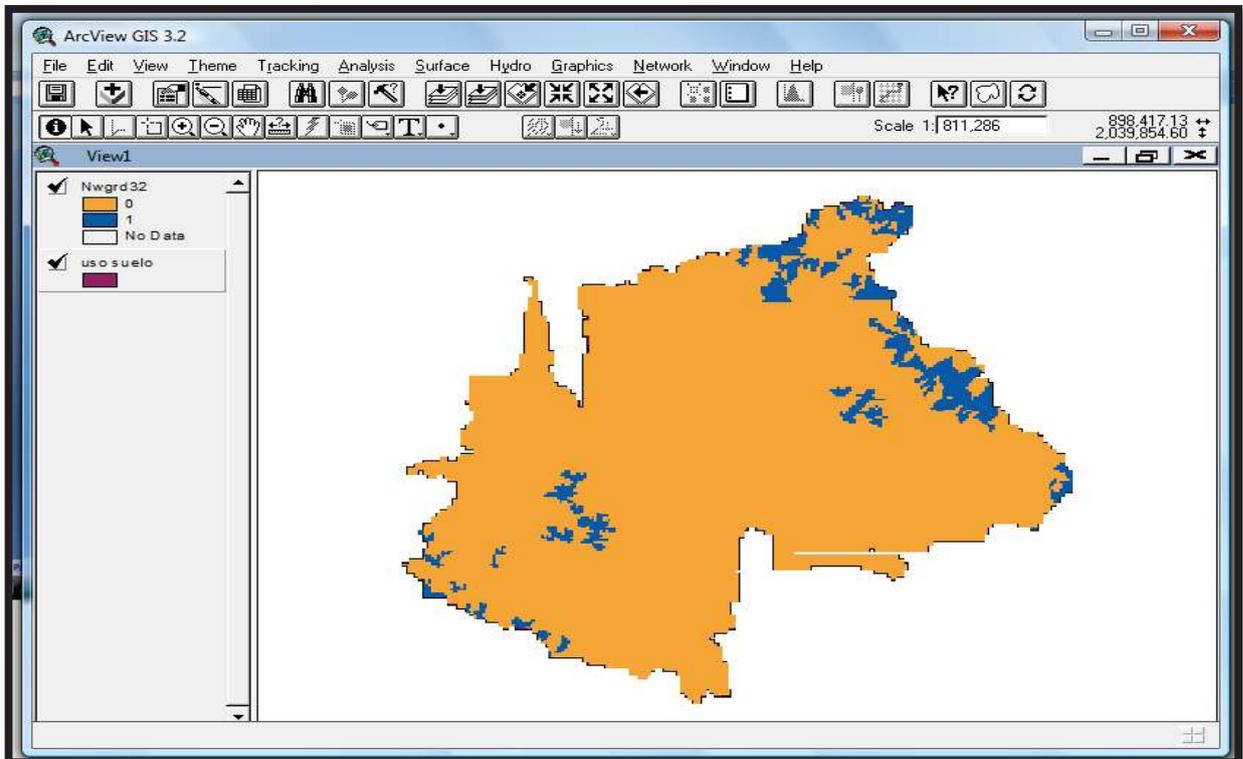
Mapa de Zona urbana correspondiente a la tabla de zona urbana.



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona “Área Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo”



Mapa de área agrícola correspondiente a la tabla de área agrícola.

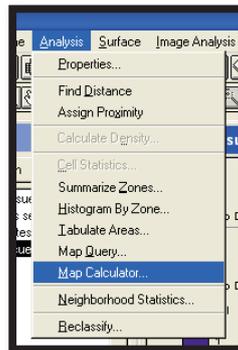


Mapa de bosque correspondiente a la tabla de bosque.



DETERMINACION DEL PARÁMETRO APARTIR DE LOS MAPAS EN FORMATO GRID

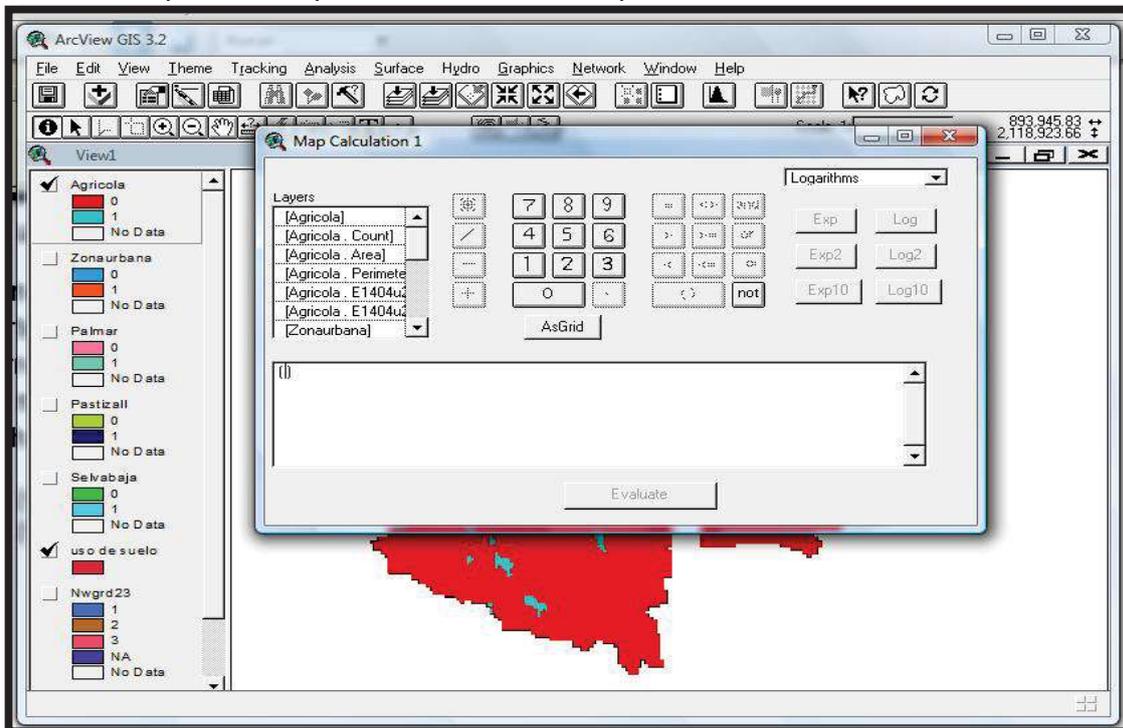
Obtenidos los mapas anteriores realizar el cálculo de mapas para los diferentes usos de suelos bajo el siguiente esquema. Abrir la ventana Analysis_Map calculator



Pestaña correspondiente de “Map-Calculator”

En este proceso se multiplicaran los mapas obtenidos en formato Grid. El algoritmo se la multiplicación se realizara de la siguiente forma: Mapa de uso con el uso de suelo obtenido al inicio de este capítulo.

Aclarando que la multiplicación se obtendrá para cada uso de suelo.



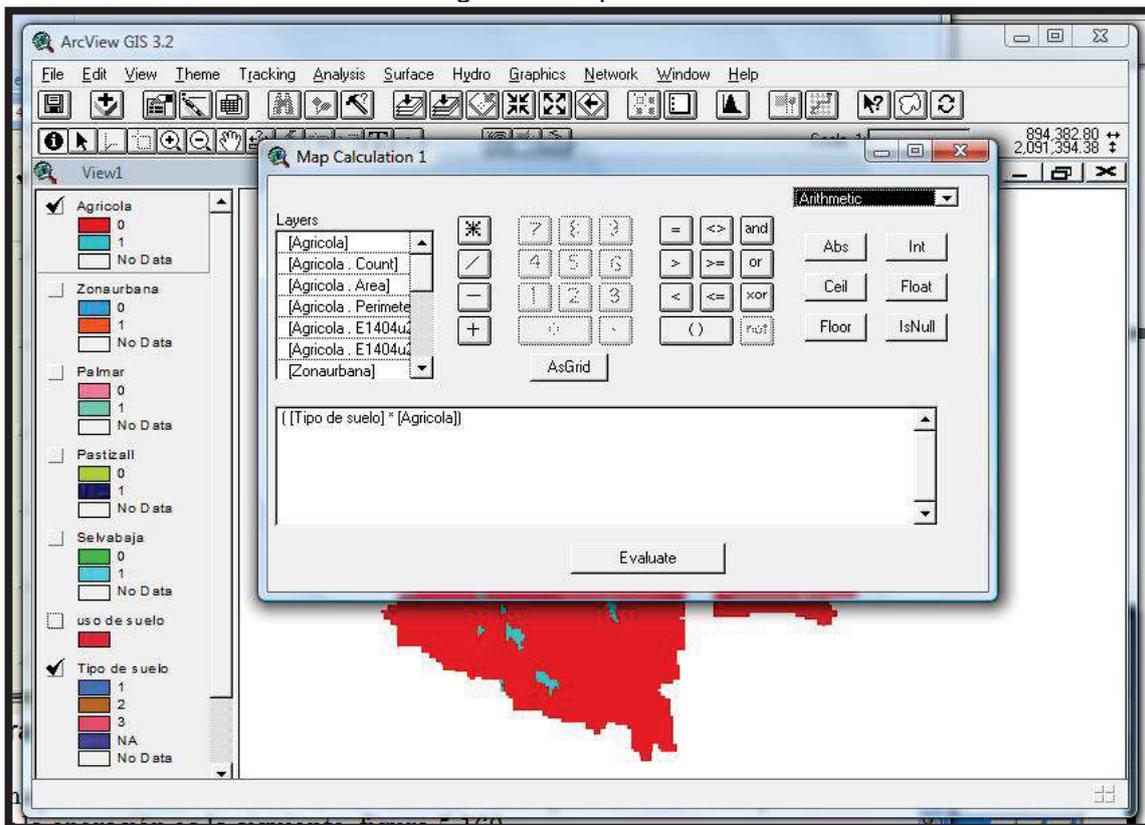
Ventana de Map Calculator



Conocido la interfaz de la figura 16, seleccionar los mapas que aparecen en la parte izquierda de la ventana (layers) para ejecutar la operación la operación correspondiente, en esta operación se realiza una multiplicación de los dos tipos de mapas obtenidos con anterioridad, a continuación se muestra el ejemplo de dicha operación.

- 1.- (Geología)*(Pastizal)
- 2.- (Geología)*(Selva)

De esta forma se obtendrá las siguientes operaciones restantes.

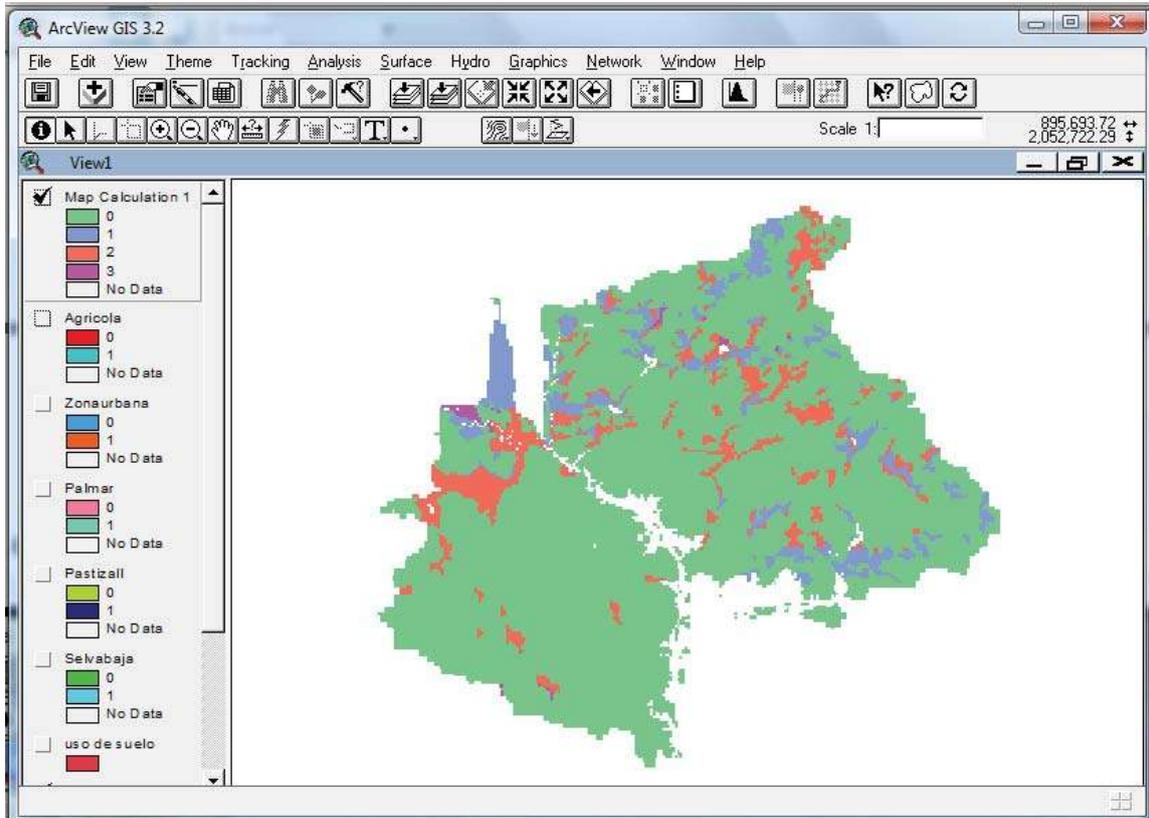


Algoritmo de multiplicación.

Realizado el proceso anterior de escribir correctamente el algoritmo dar clic “Evaluate”. Hecha esta operación el programa arrojará un mapa con el nombre “Map Calculation”.



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona “Area Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo”

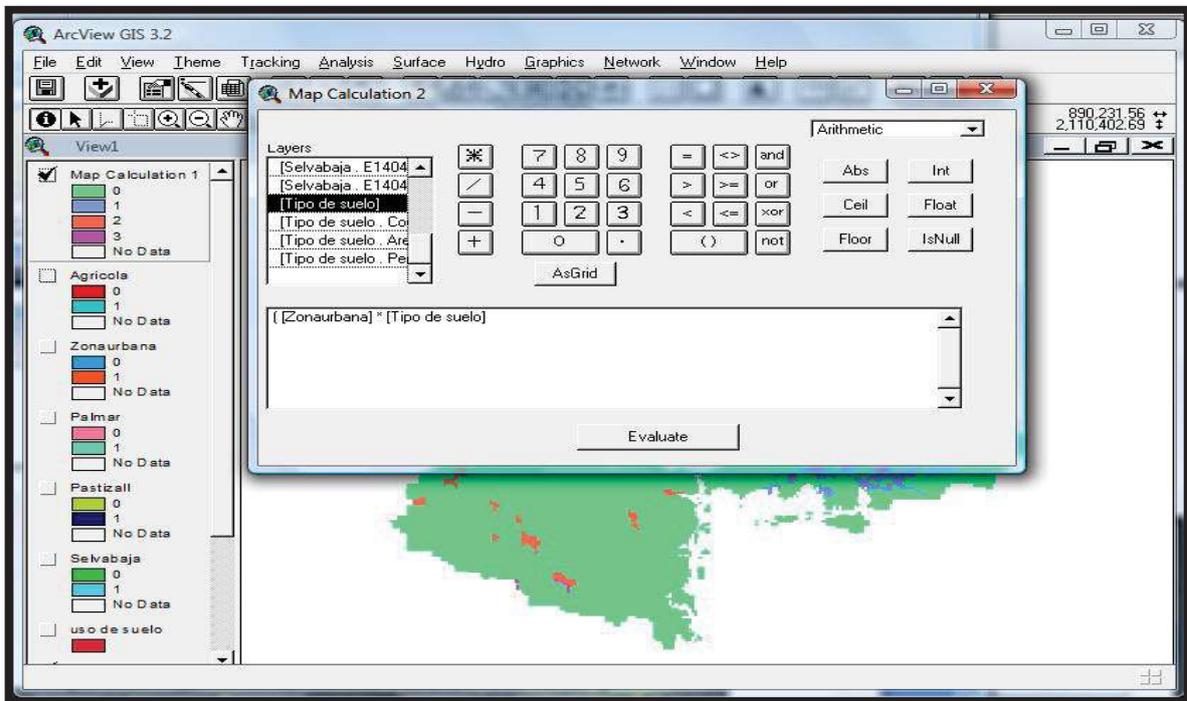


Ventana de Map Calculation. Nótese que cada color representa una porción de suelo de acuerdo a la clasificación correspondiente al tipo de suelo. Este grid corresponde al mapa de Área Agrícola.

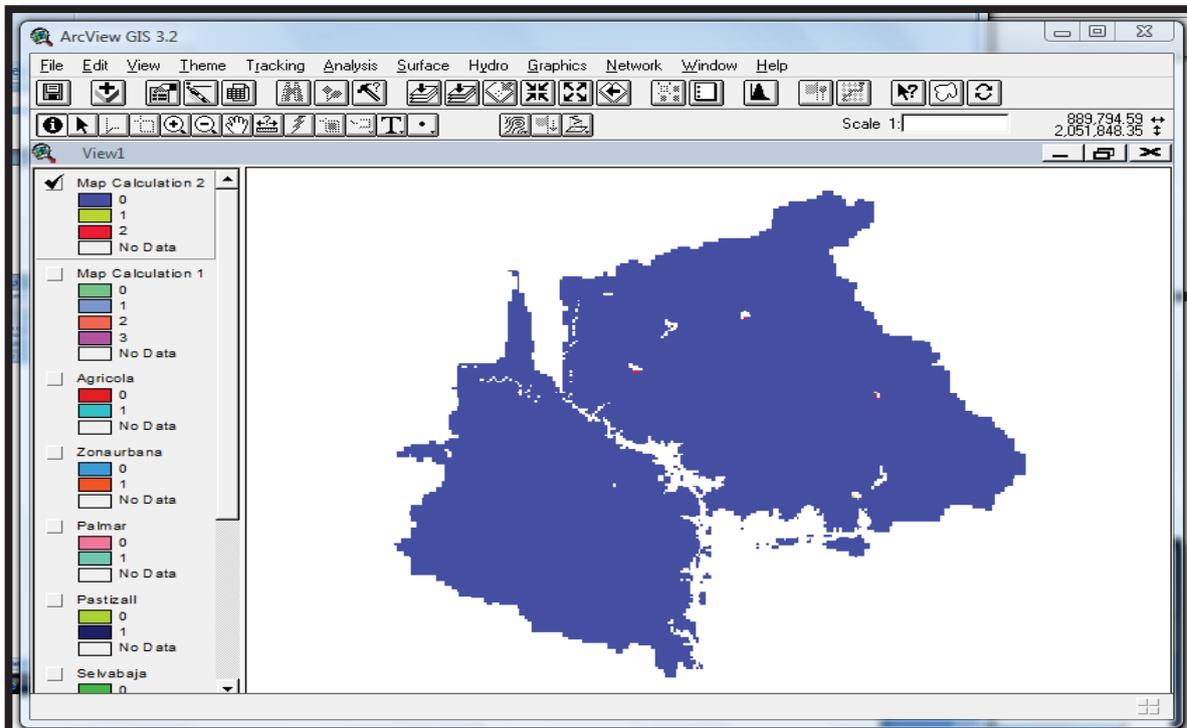
Para los siguientes mapa la operación es la misma, la única diferencia es que se ira cambiando el mapa de uso de suelo.



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona “Area Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo”



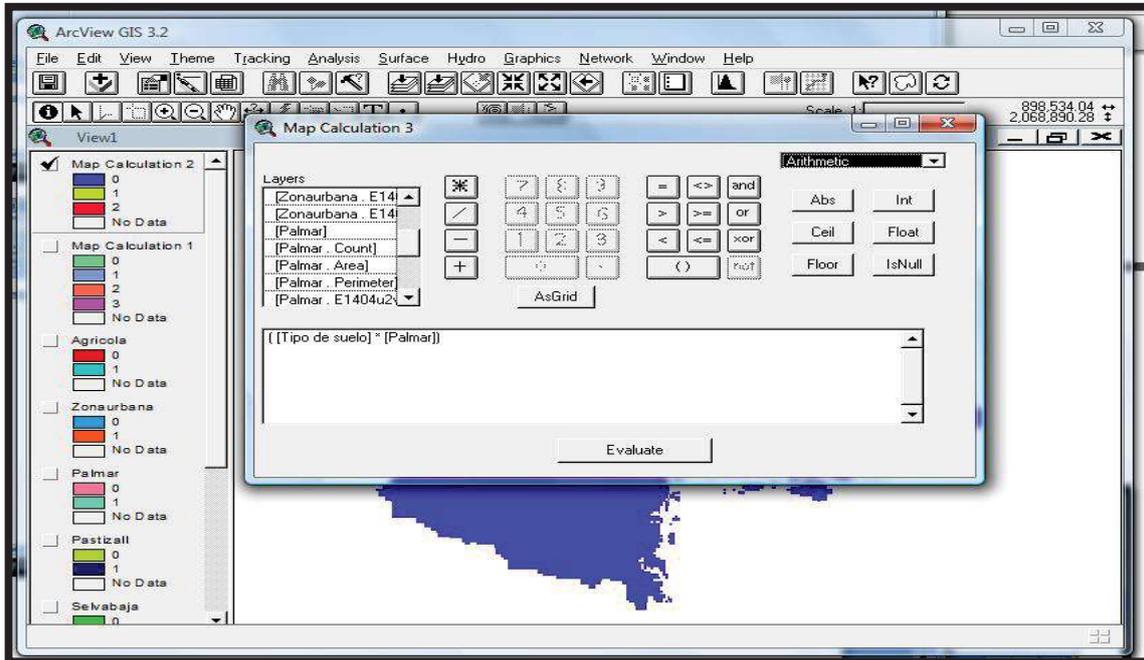
Algoritmo de multiplicación “zona urbana”



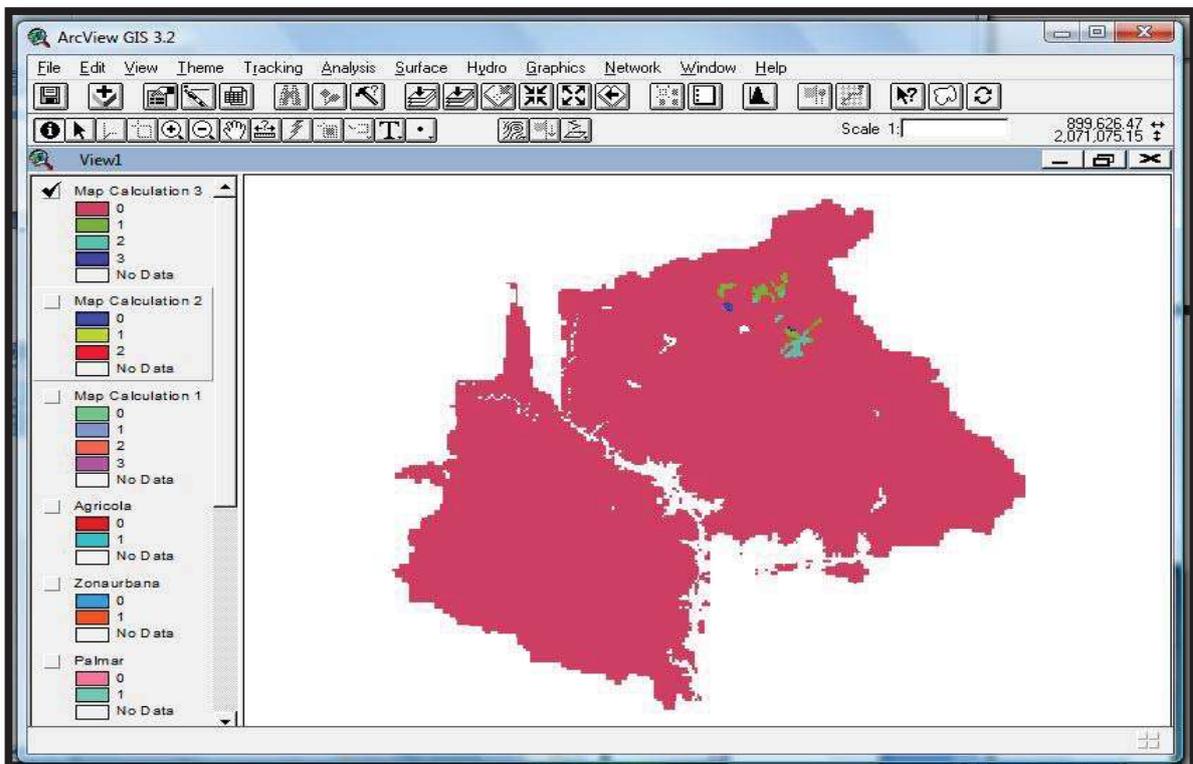
Ventana Map Calculation. Note en las partes pequeñas es la parte que representa el uso de suelo correspondiente a la Zona Urbana.



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona “Area Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo”



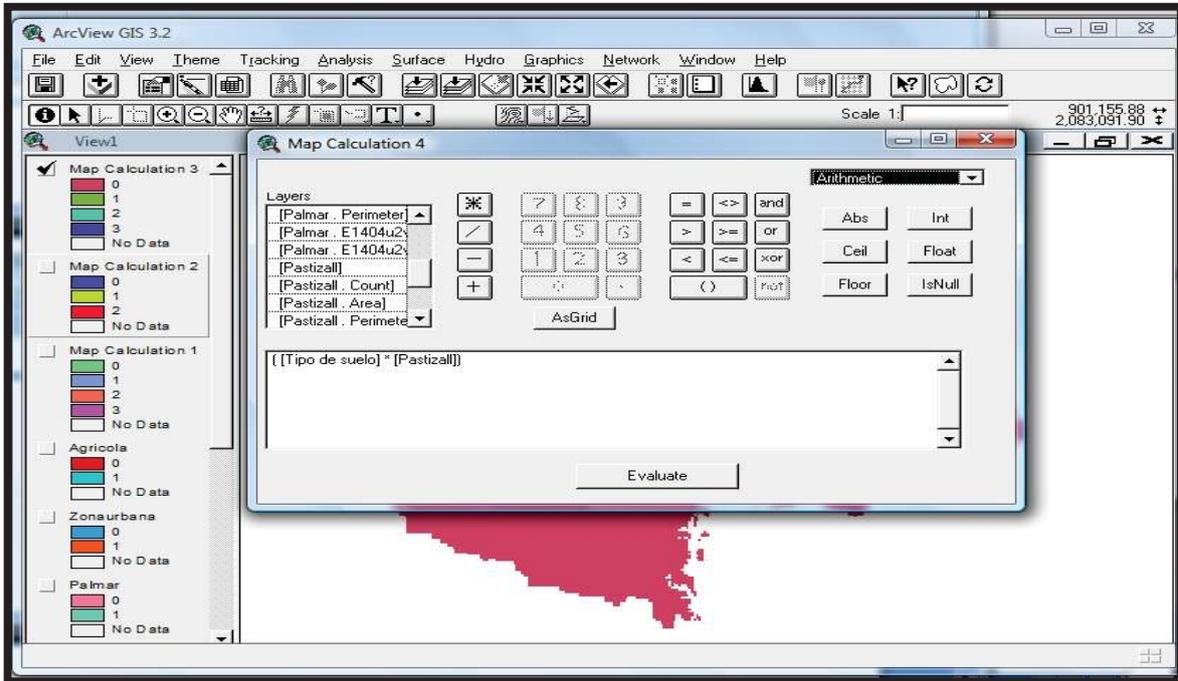
Algoritmo de multiplicación “Palmar”



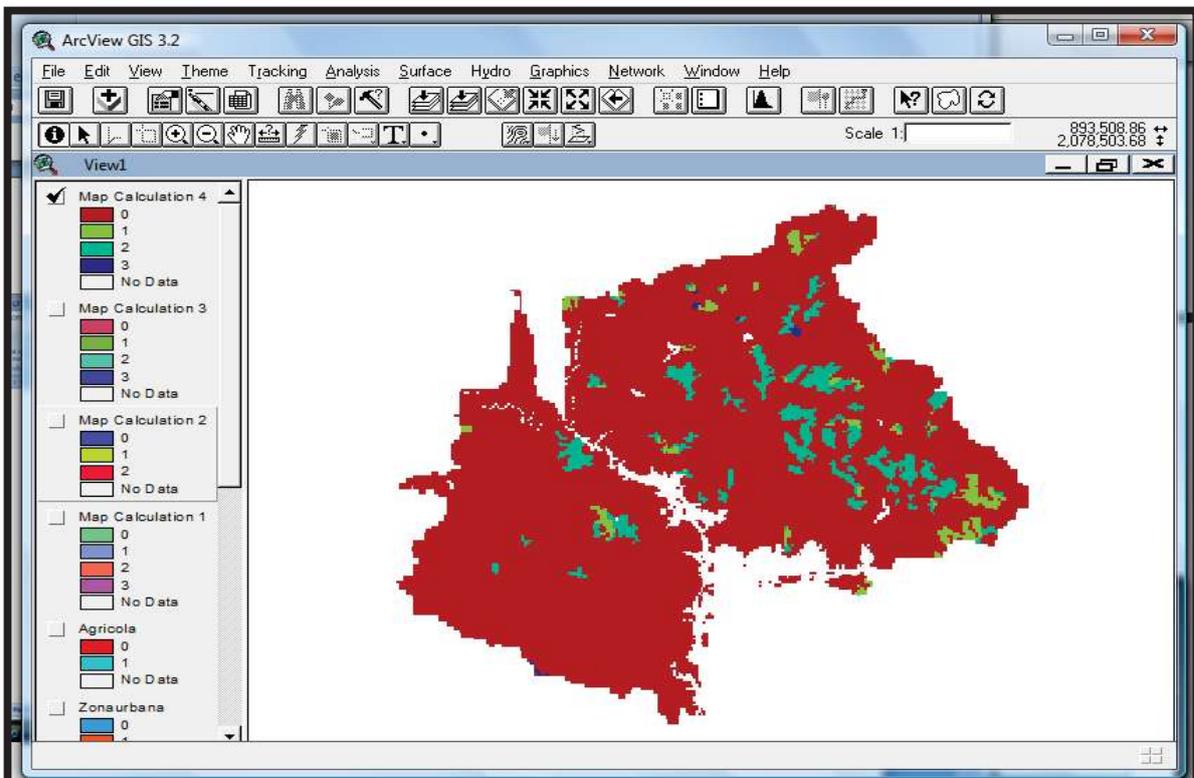
Ventana de Map Calculation. Note en la parte superior lo correspondiente al uso de suelo denominado Palmar.



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona “Área Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo”



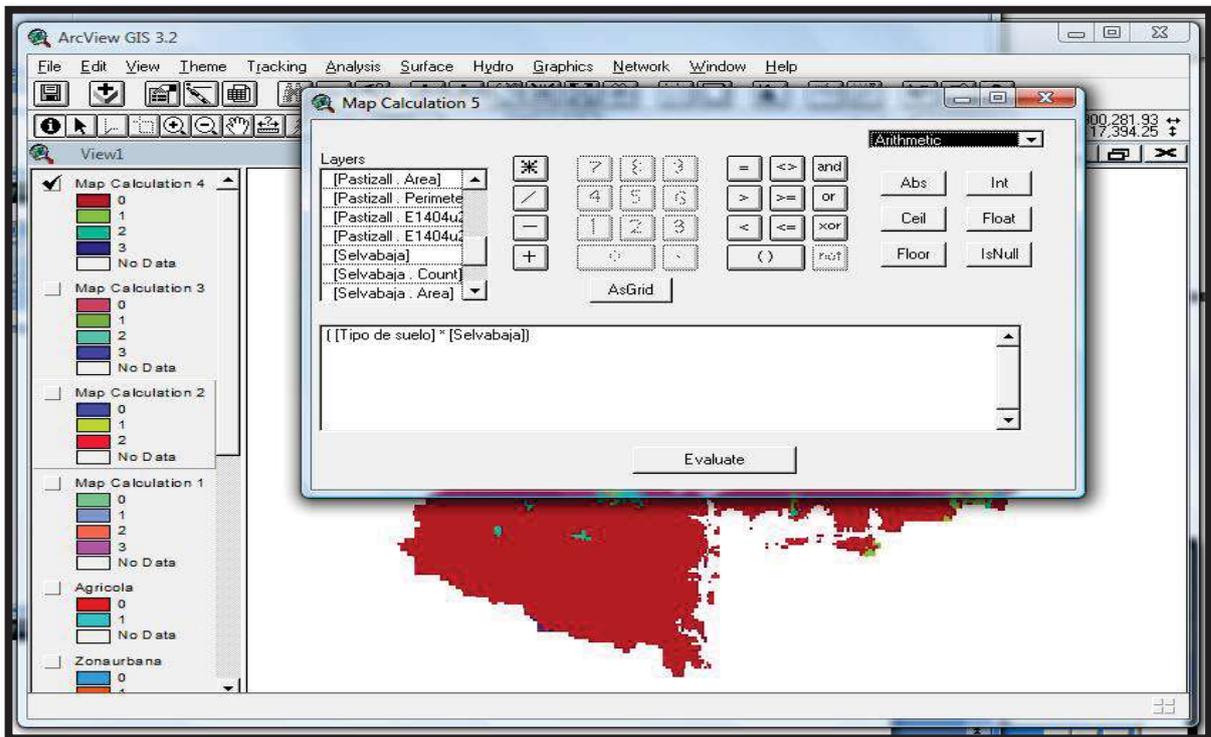
Algoritmo de multiplicación “Pastizal”



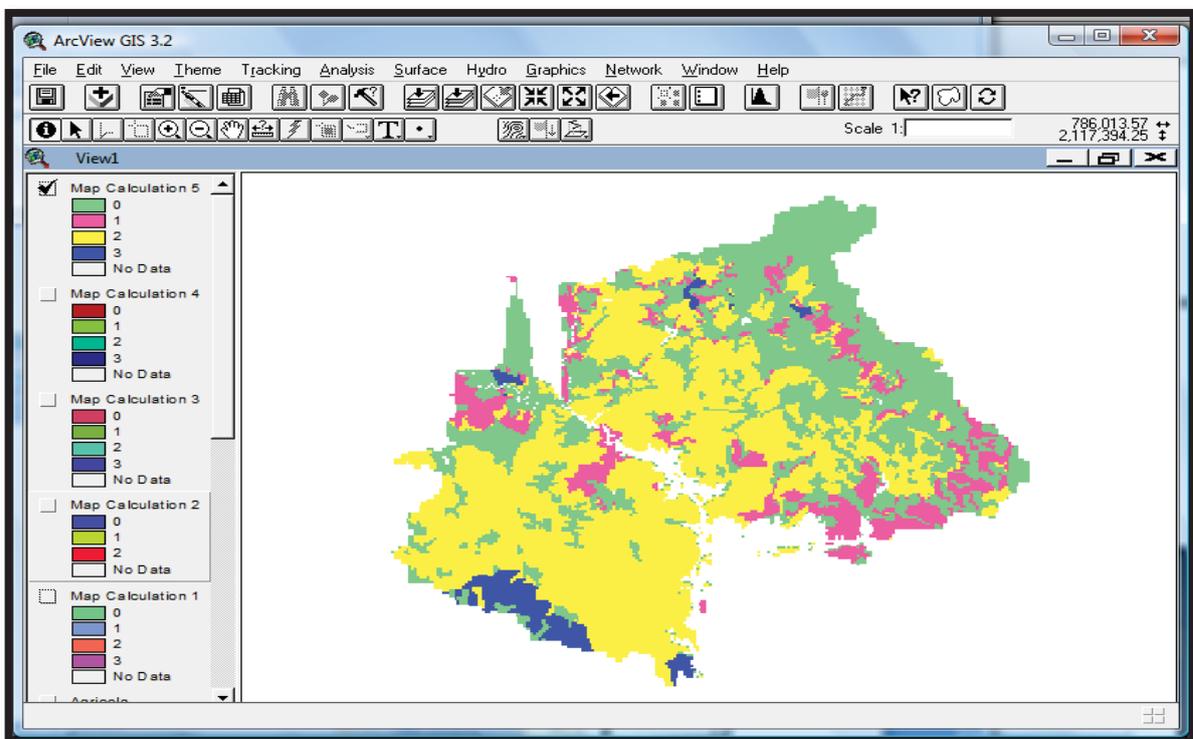
Grid correspondiente a pastizal.



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona “Area Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo”



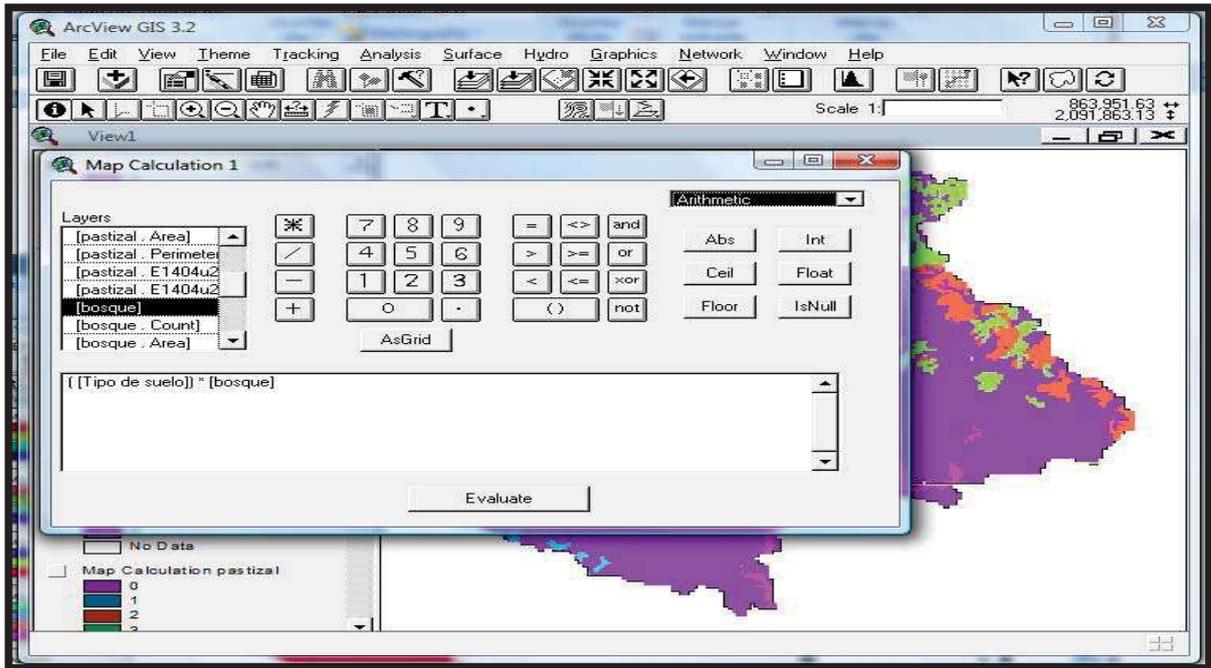
Algoritmo de multiplicación “selva”



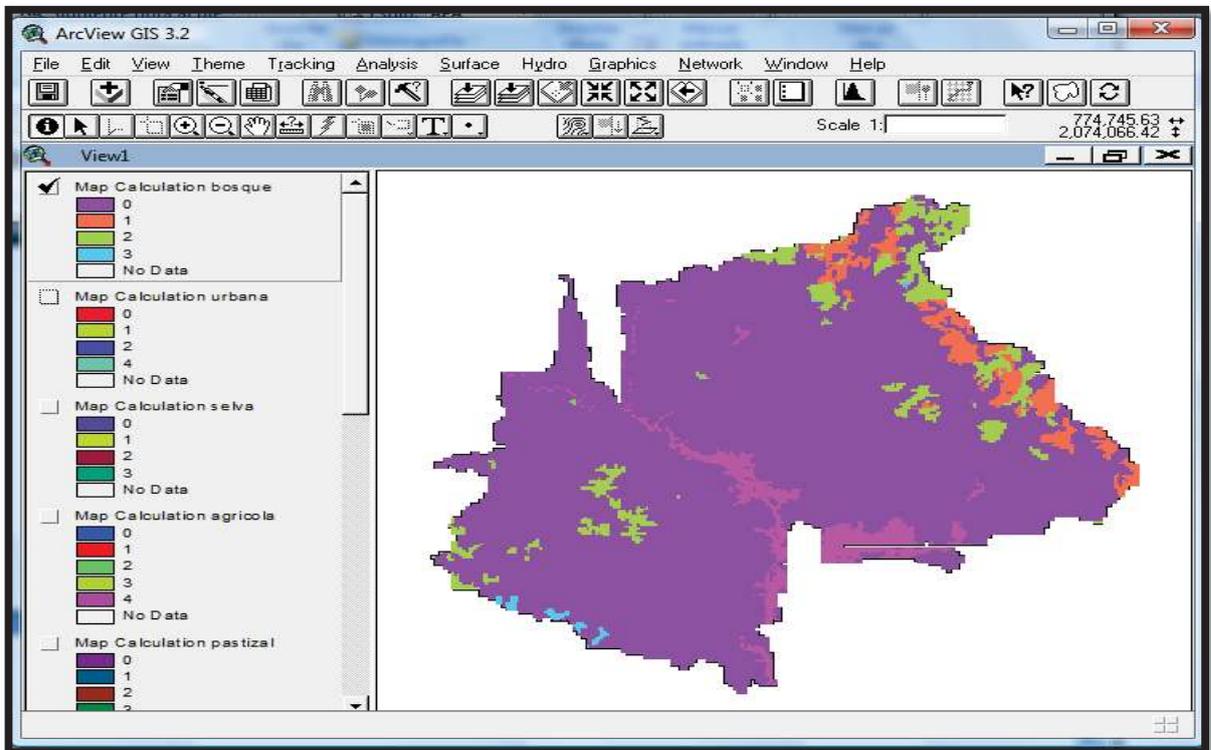
Grid correspondiente a Selva.



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona “Area Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo”



Algoritmo de multiplicación “Bosque”



Grid correspondiente a Bosque.



A todos los Mapas obtenidos por el Map Calculation, se recomienda cambiarlos de nombre para no tener confusiones en procedimientos posteriores, esto se logra en menú Theme- properties, en Theme name modificar nombre.

Hasta aquí ya se reúne con todos los mapas necesarios para dicho cálculo, el siguiente paso es reclasificar los mapas obtenidos de acuerdo a la clasificación propuesta por la comisión nacional de agua en su norma 011.

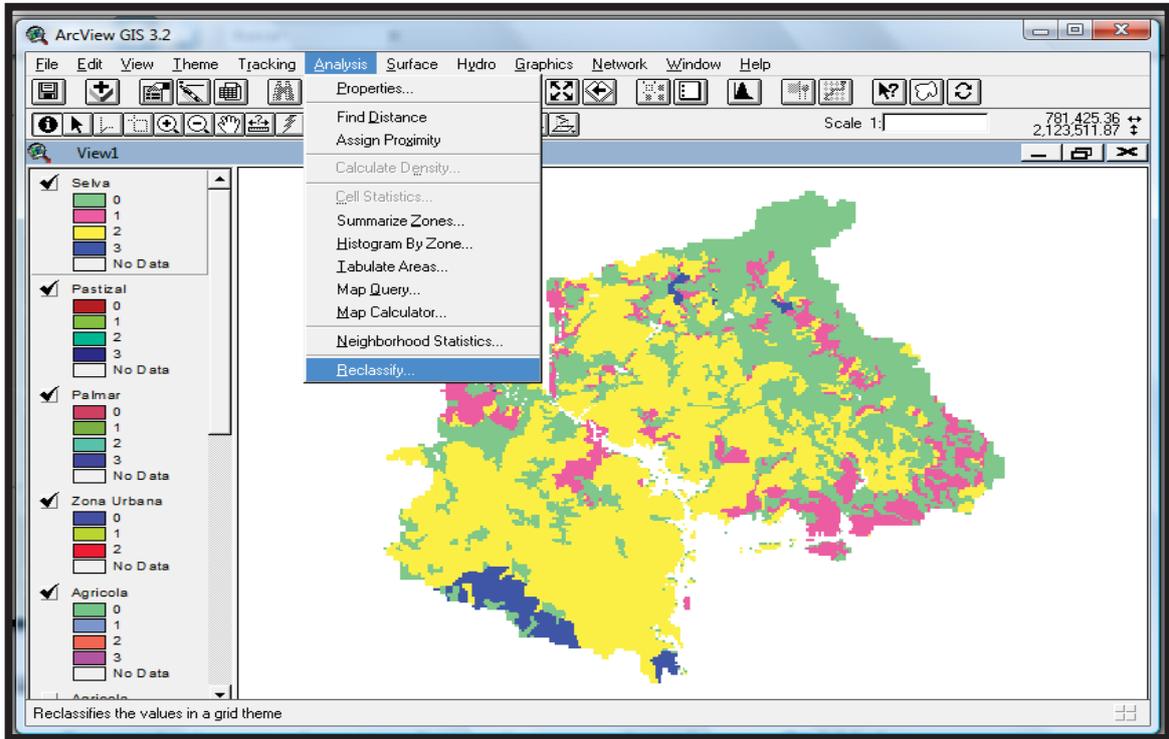
USO DE SUELO	TIPO DE SUELO		
	A	B	C
Barbecho, áreas incultas y desnudas	0.26	0.28	0.3
cultivos			
En Hilera	0.24	0.27	0.3
Legumbres o rotación de pradera	0.24	0.27	0.3
granos pequeños	0.24	0.27	0.3
Pastizal			
% del suelo cubierto o pastoreo			
Mas del 75% -poco-	0.14	0.2	0.28
Del 50 al 75% - regular-	0.2	0.24	0.3
Menos del 50% -excesivo-	0.24	0.28	0.3
Bosque:			
Cubierto más del 75%	0.07	0.16	0.24
Cubierto del 50 al 75 %	0.12	0.22	0.26
cubierto del 25 al 50%	0.17	0.26	0.28
Cubierto menos del 25%	0.22	0.28	0.3
zonas urbanas	0.26	0.29	0.32
caminos	0.27	0.3	0.33
Pradera permanente	0.18	0.24	0.3

Valores del parámetro K.

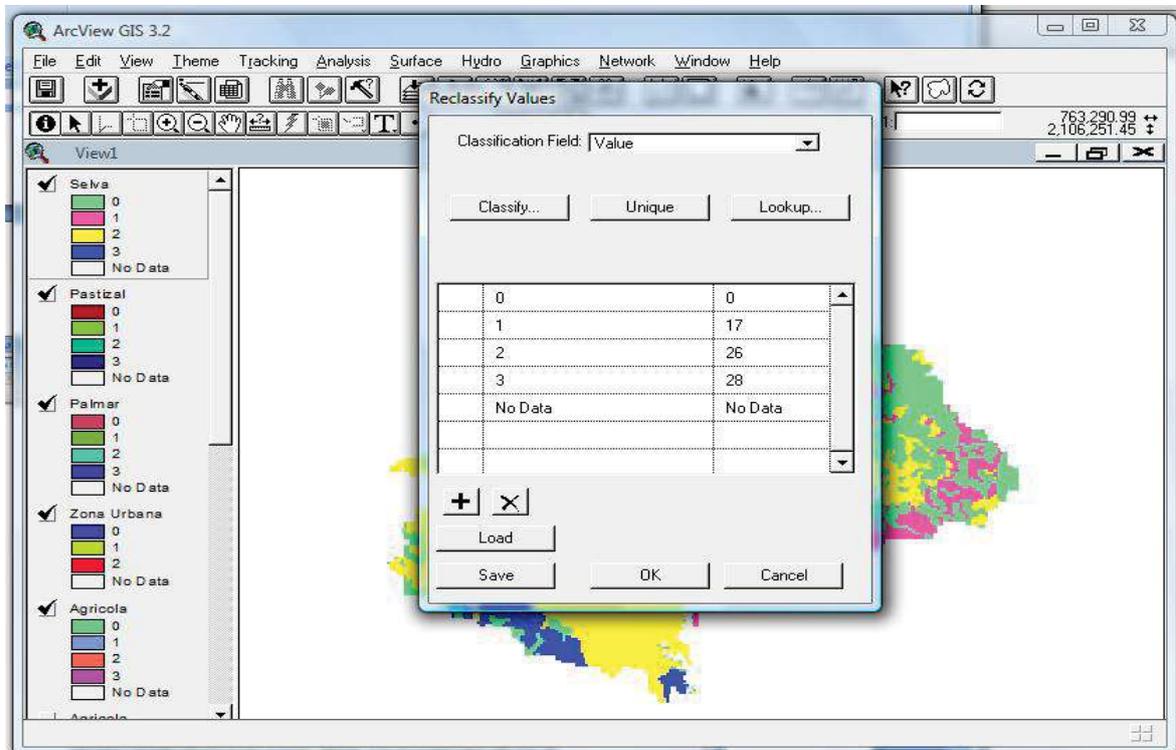
La reclasificación se tendrá a bien de la siguiente forma, en view abrir la pestaña Analysis – Reclassify. Observe la figura siguiente.



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona “Area Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo”



Pestaña de “Analysis-Reclassify”.

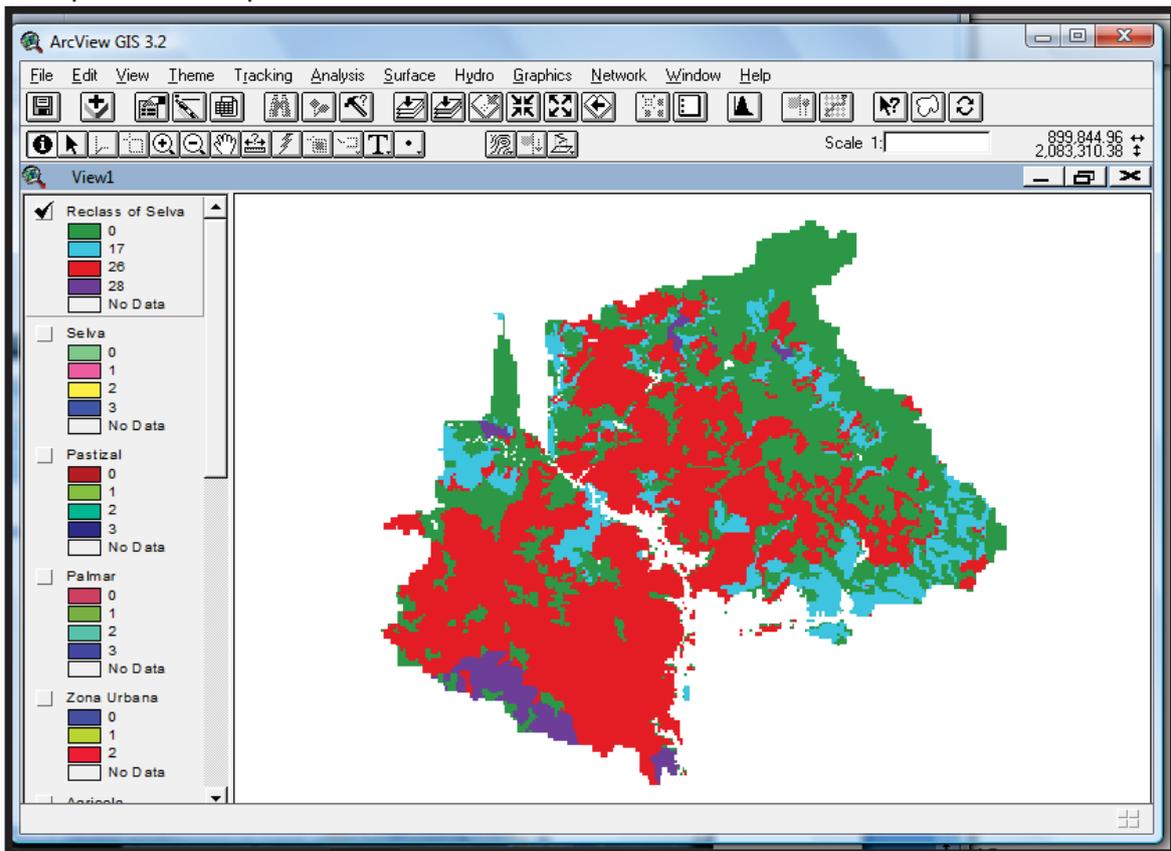


Ventana de “Reclassify values”



El grafico anterior se observa dos columnas, la primera Old Values que corresponden al tipo de suelo y en la siguiente columna se tiene New Value, esta columna permite introducir los nuevos valores que se quiere para efectos de dichos procedimientos.

Nota importante. En este ejemplo se trabajó una reclasificación de acuerdo a la tabla 4 para efectos de un buen manejo de la información los valores de la tabla se multiplican todos por 100.

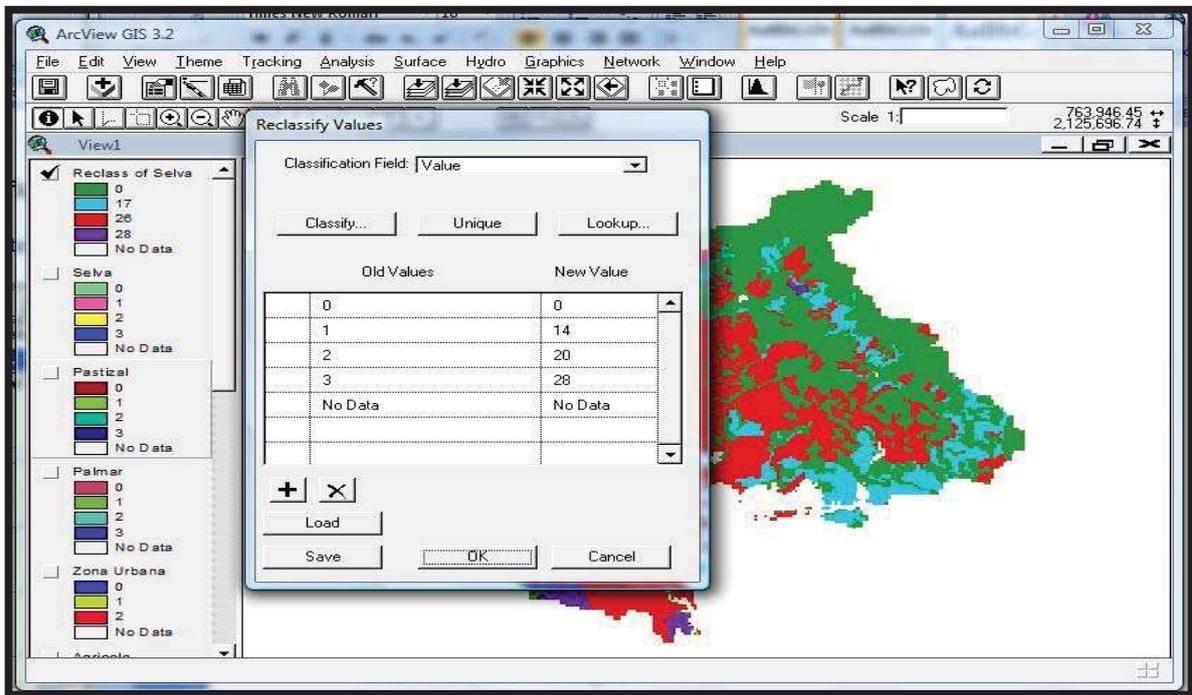


Mapa reclasificado correspondiente a selva

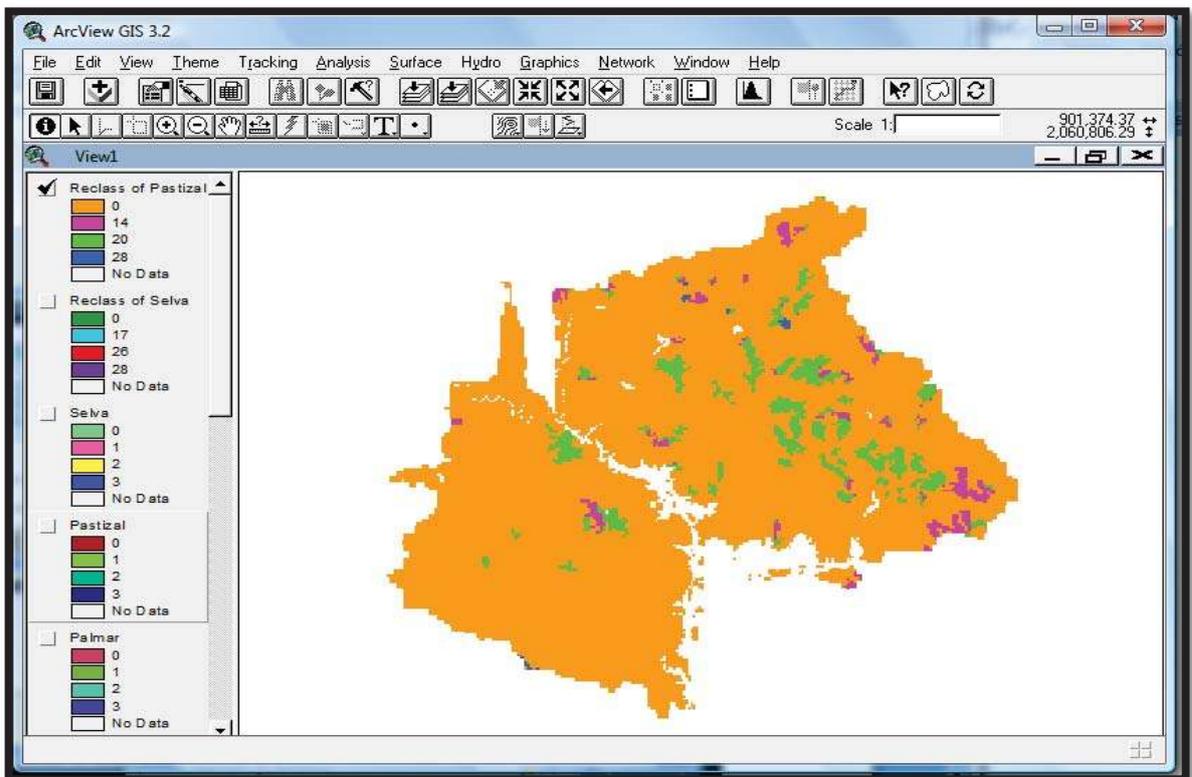
Los siguientes gráficos muestran la reclasificación para el uso y tipo de suelo faltante.



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona "Área Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo"



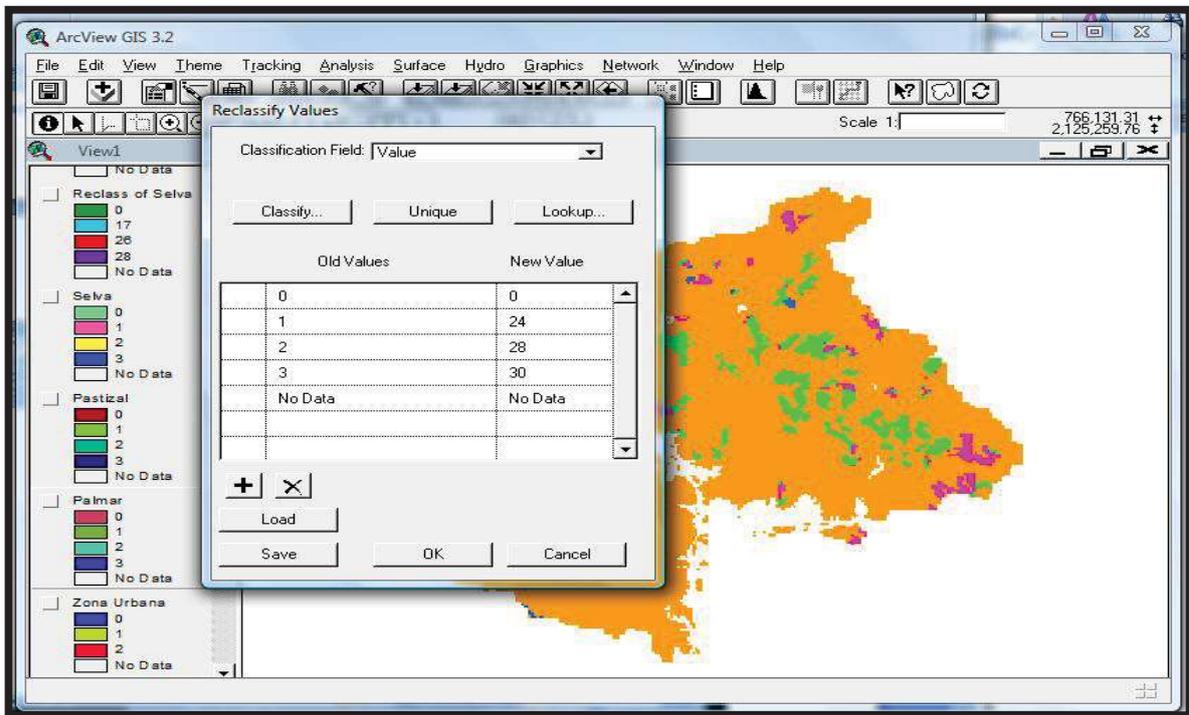
Reclasificación correspondiente a Pastizal



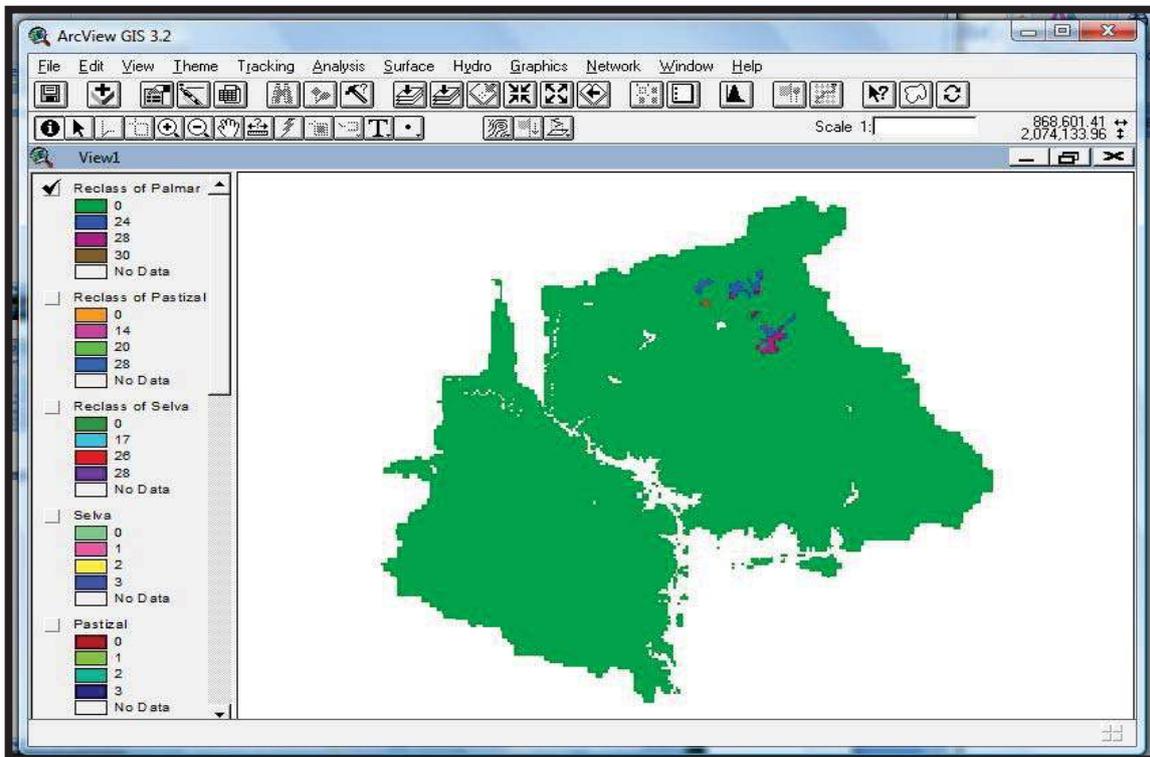
Mapa reclasificado de pastizal.



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona "Área Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo"



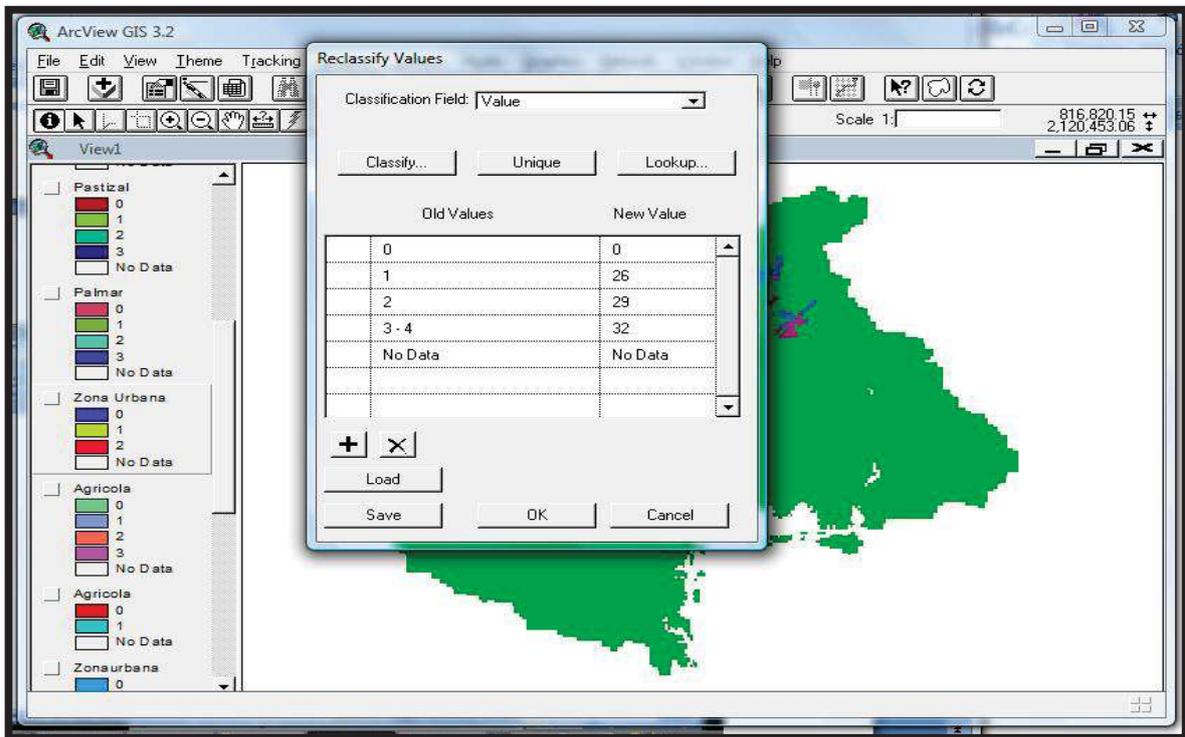
Reclasificación correspondiente a palmar



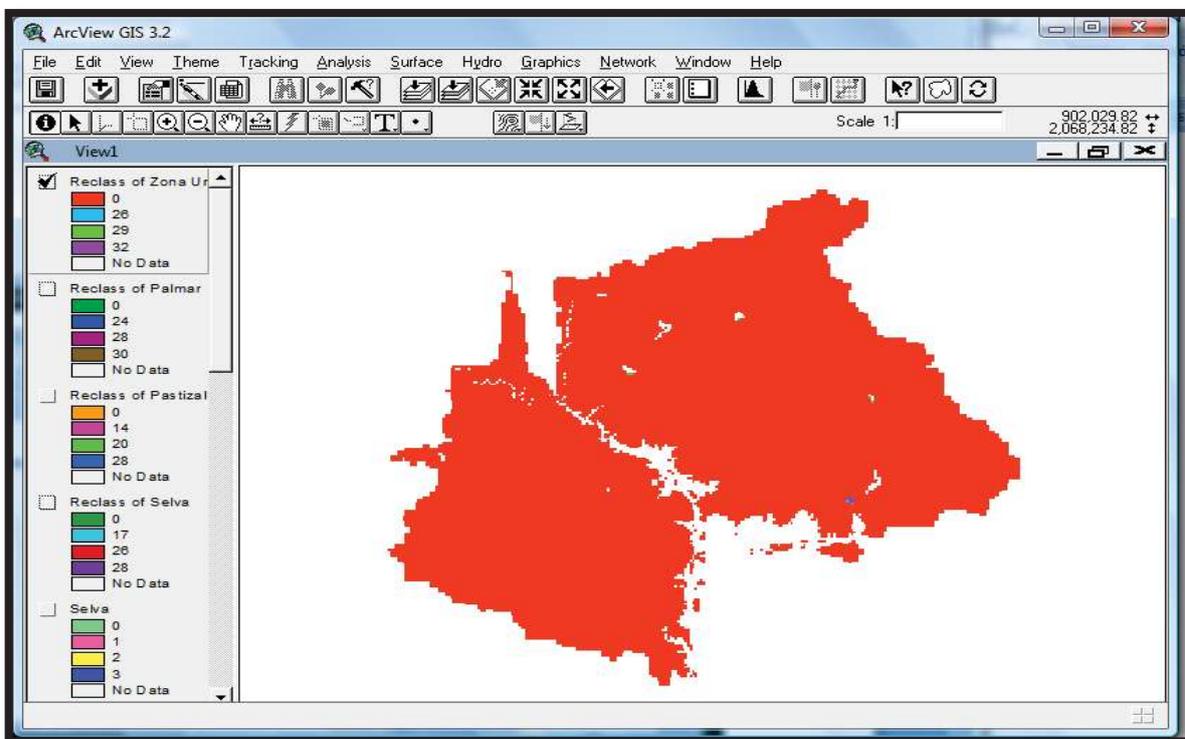
Mapa reclasificado correspondiente a Palmar.



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona “Area Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo”



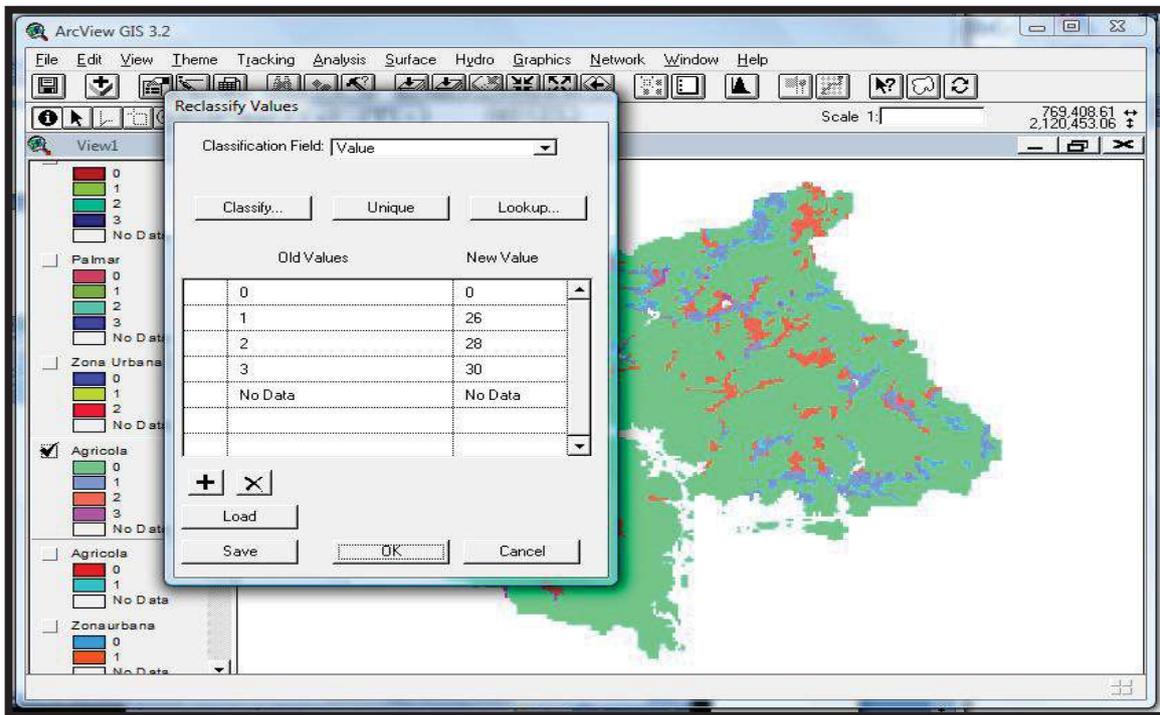
Reclasificación correspondiente a Zona Urbana



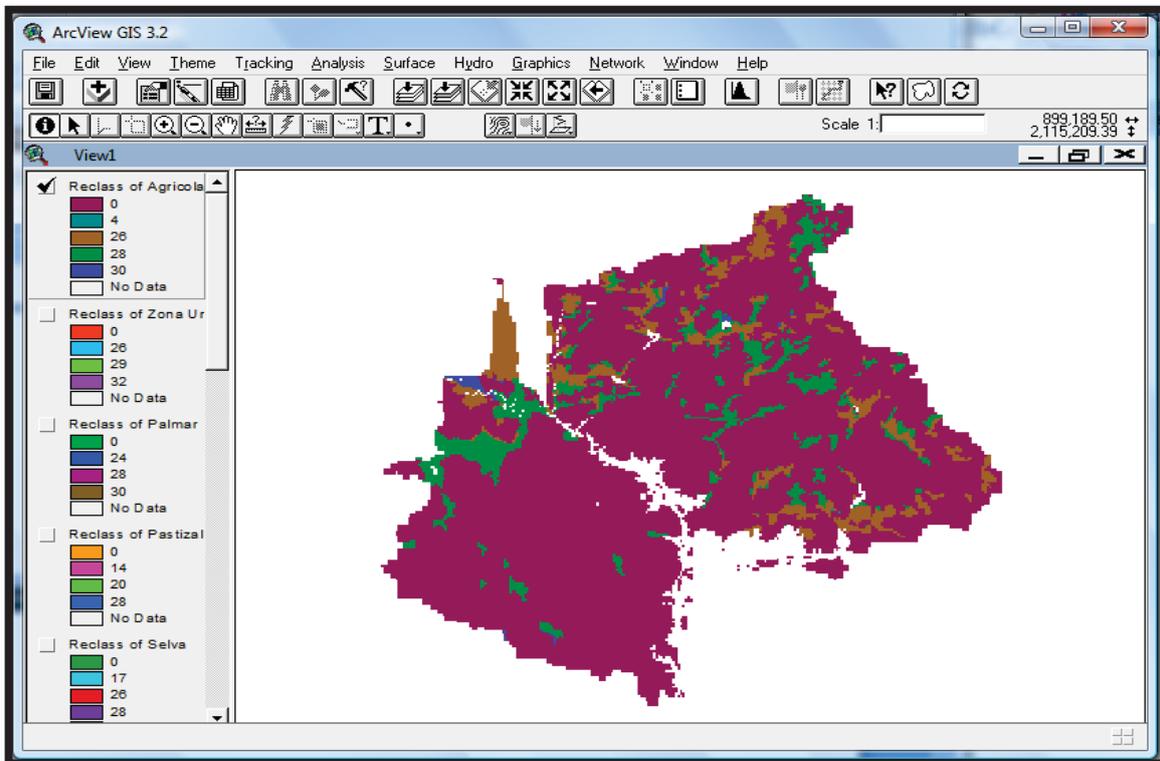
Mapa reclasificado correspondiente a la Zona Urbana.



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona "Área Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo"



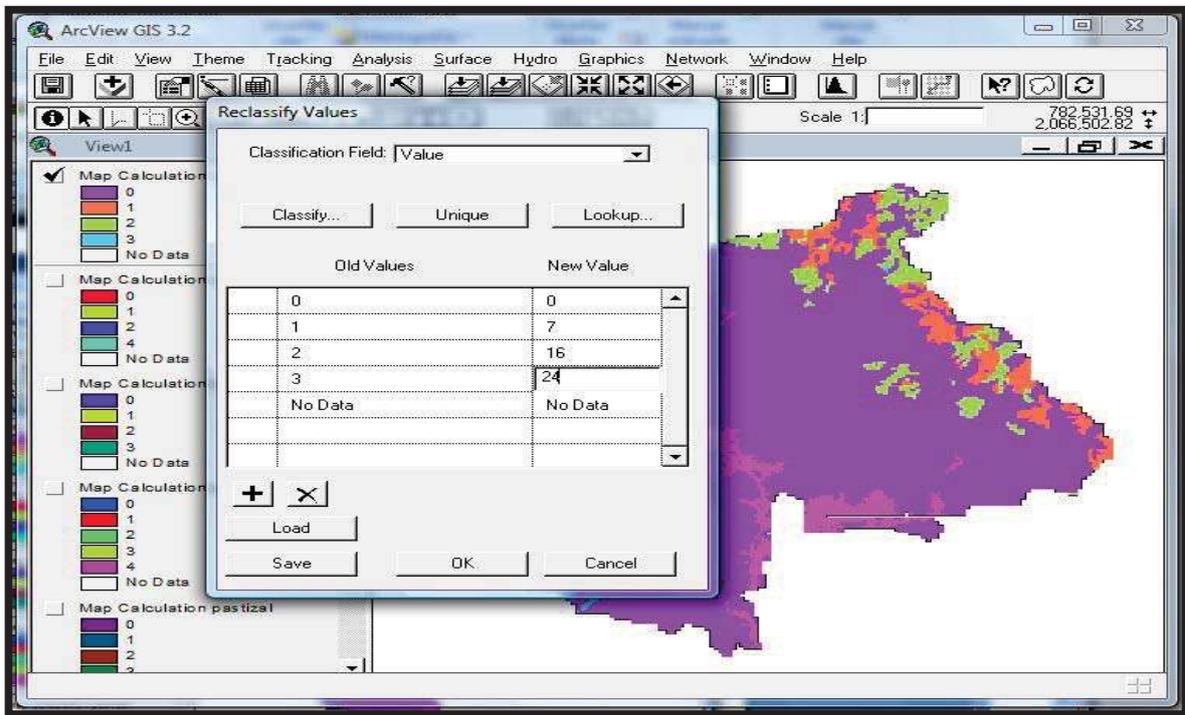
Reclasificación correspondiente a uso de suelos Agrícola.



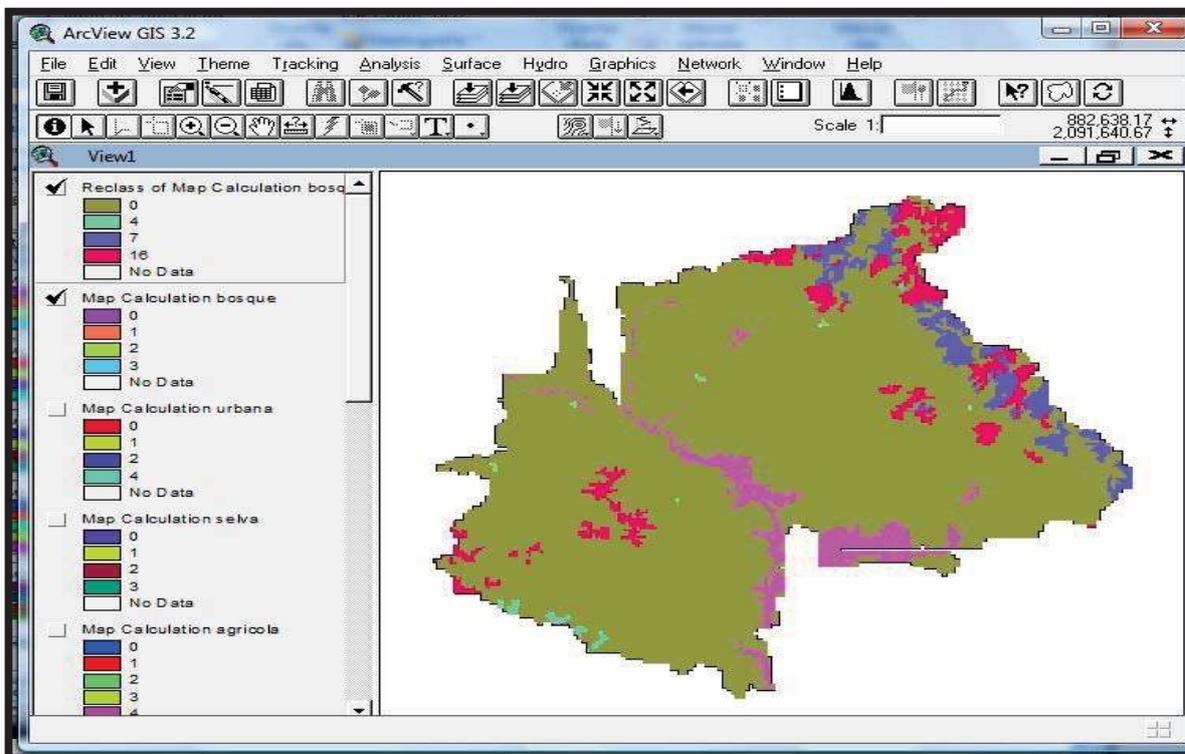
Mapa correspondiente al área agrícola.



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona "Área Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo"



Reclasificación correspondiente a Bosque.



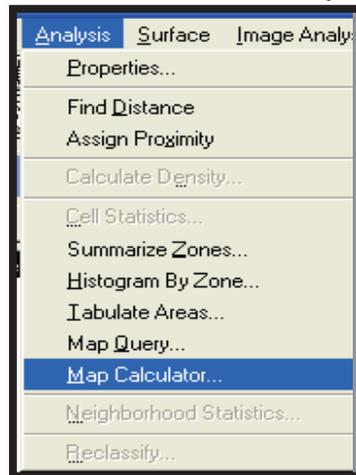
Mapa reclasificado correspondiente a Bosque.



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona “Area Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo”

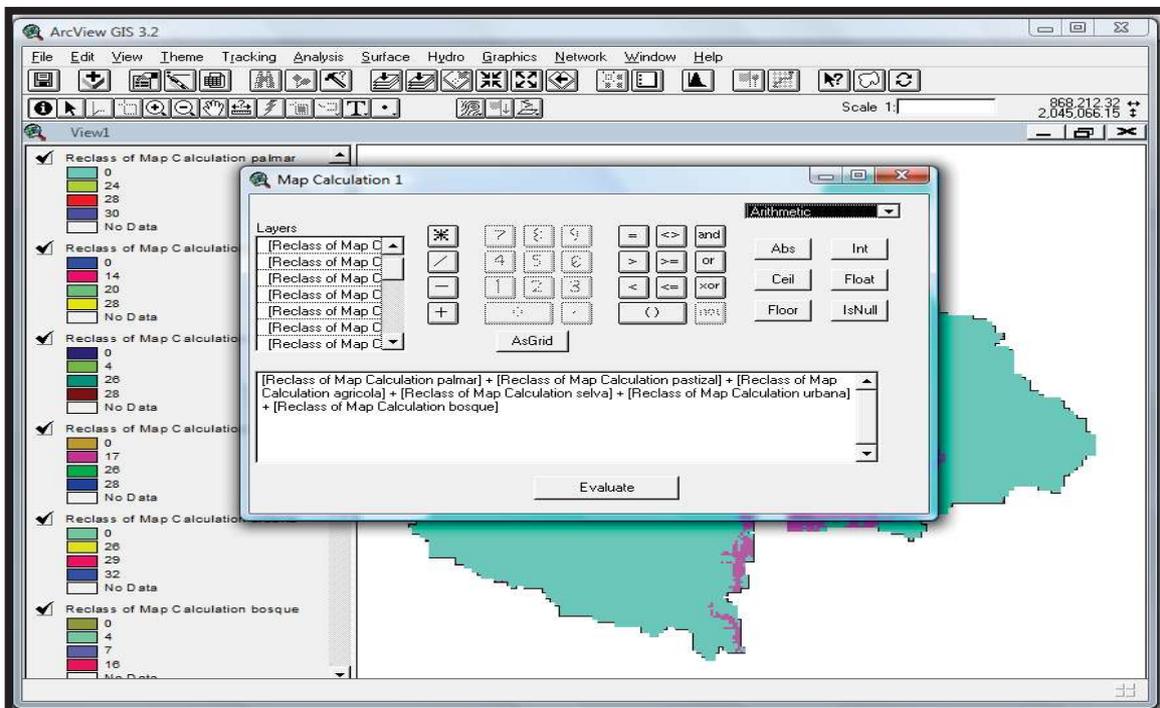


Concluida esta operación para todos los usos de suelo, se procede a hacer una operación final, esta operación dará el mapa final objetivo. La operación es la siguiente, abrir la ventana “Analysis – Map Calculator”



Pestaña de “Map Calculator”

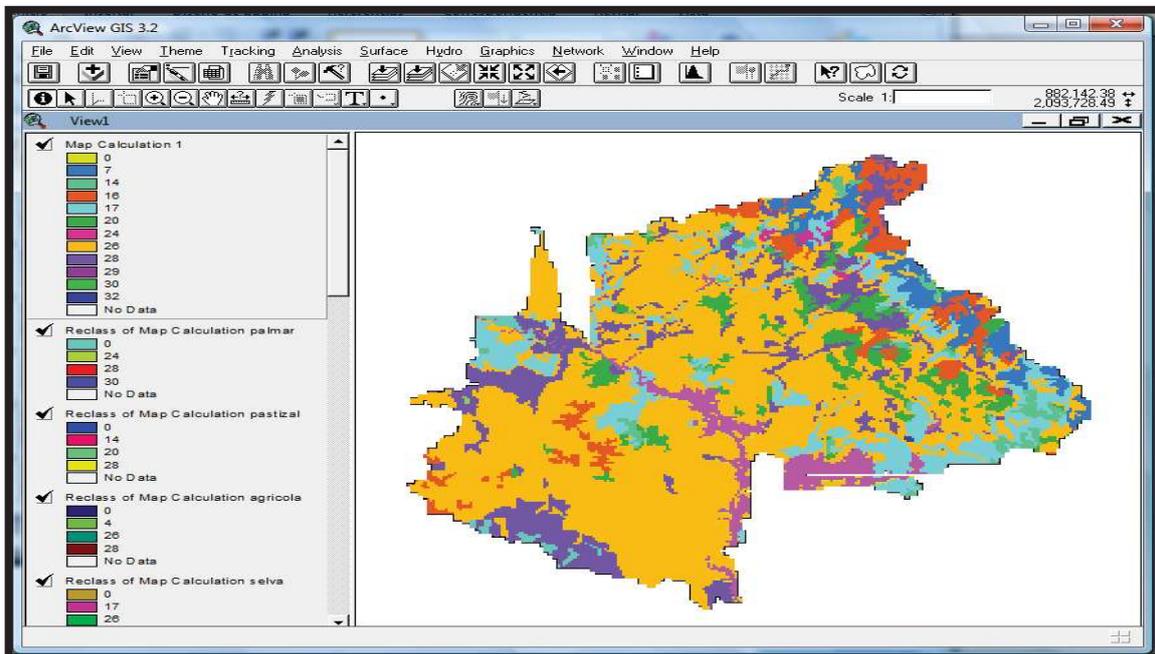
Aparece la ventana de “Map Calculation”, es la misma ventana que se utiliza para multiplicar el uso de suelo y tipo de suelo, en esta ocasión se hará una suma de todas las reclasificaciones obtenidas con anterioridad.



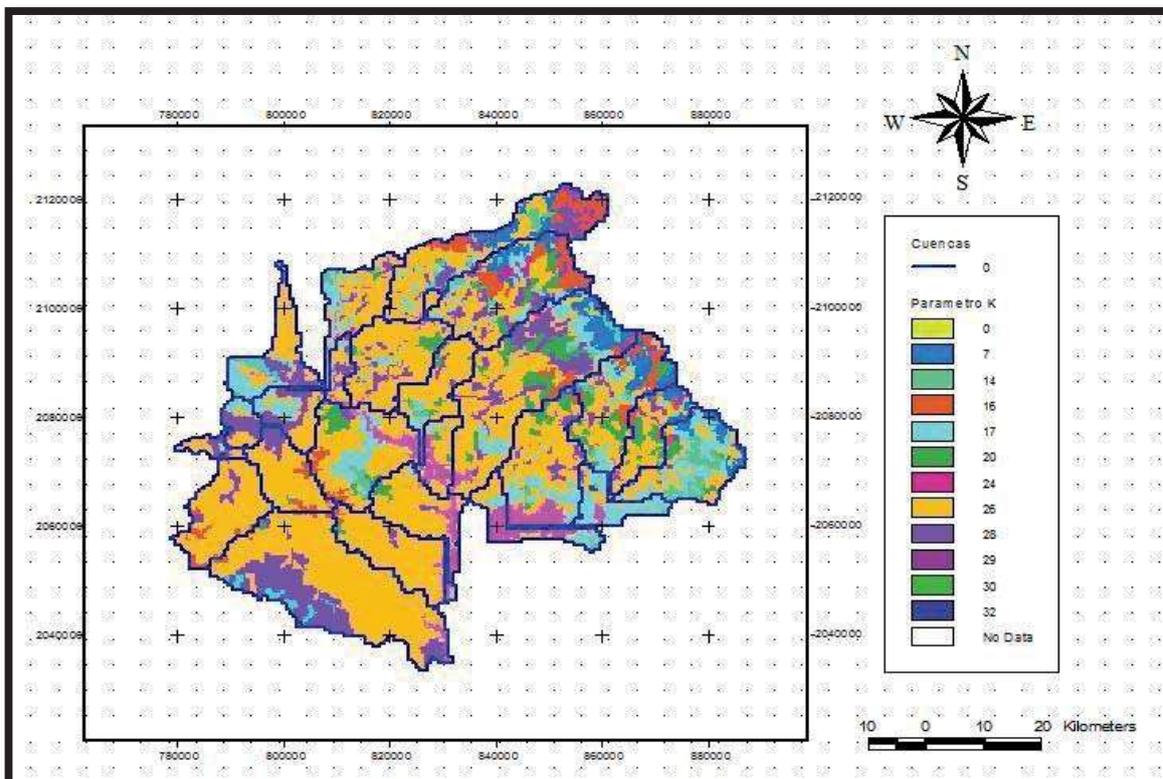
Algoritmo correspondiente ala suma de las reclasificaciones.



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona "Área Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo"



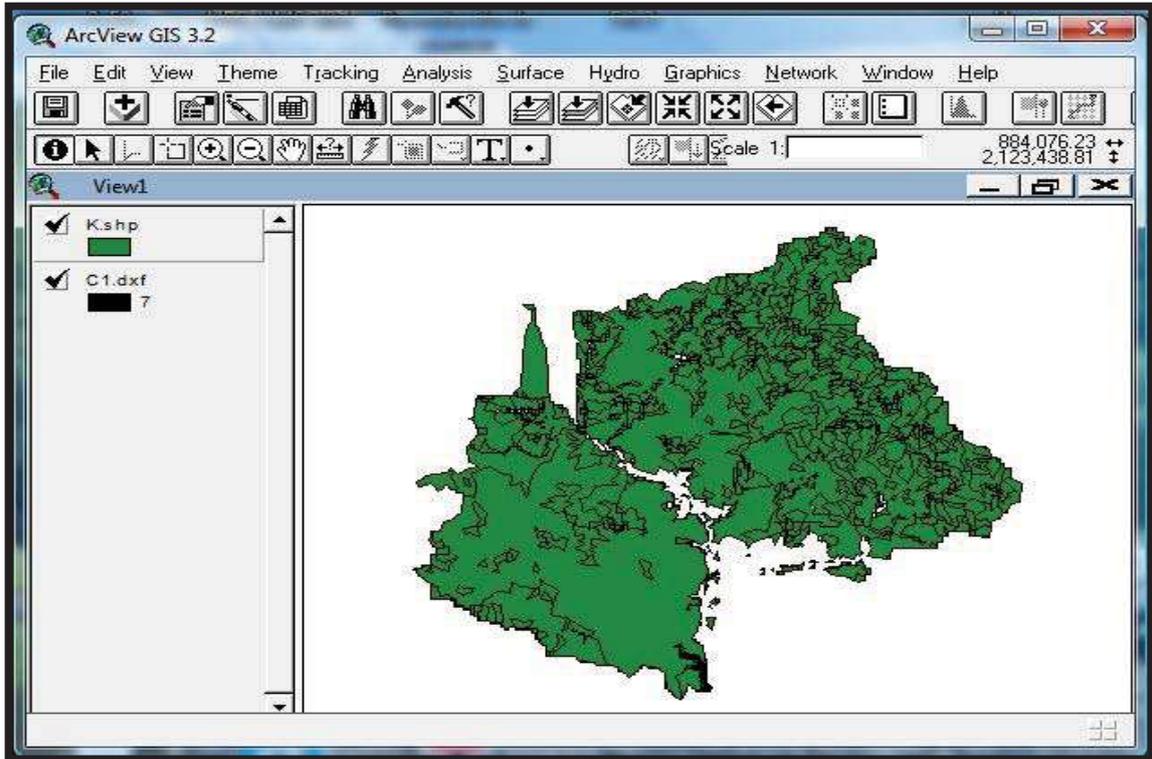
Mapa final resultante, mapa objetivo. En este grafico se observa la zonificación del parámetro K en función de los usos de suelo.



Mapa resultante del parámetro K en el ANP



Finalmente para calcular el parámetro K de cada cuenca, es necesario que el mapa final del parámetro K se convierta en un Shapefile que permita hacer recortes del mapa final para cada cuenca.

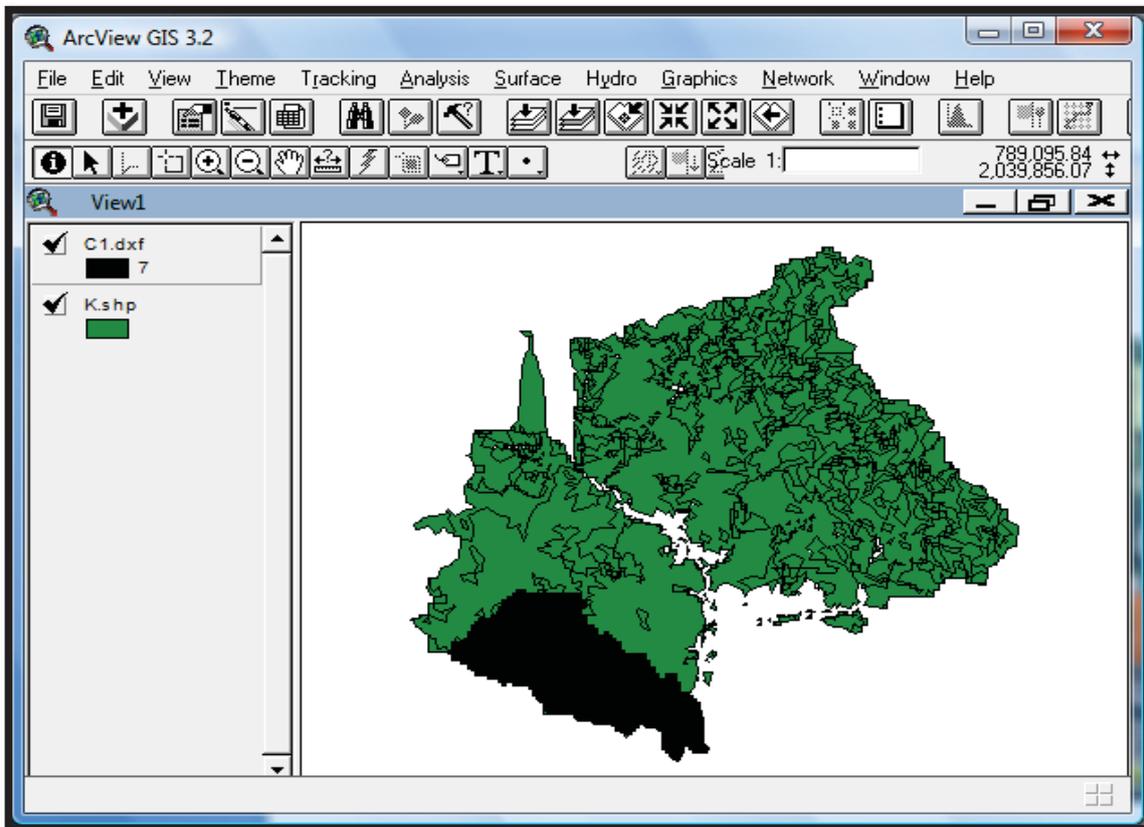


Mapa final del parámetro K en formato Shape.

Con el proceso anterior y el polígono de la cuenca en cuestión que para esta ilustración es la cuenca 1, se realiza un GeoProcessing, entrando en la pestaña de View – GeoProcessing, realizando un recorte (clip) del mapa del parámetro k correspondiente a la cuenca 1.



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona “Área Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo”

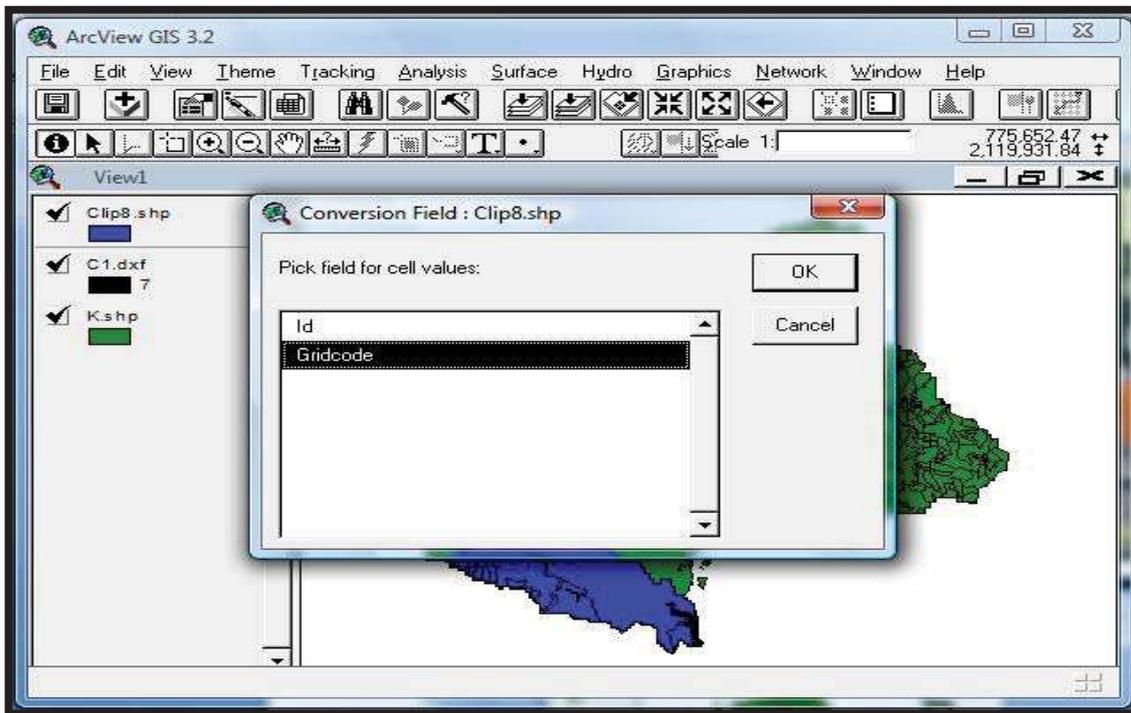


Polígono de la cuenca 1

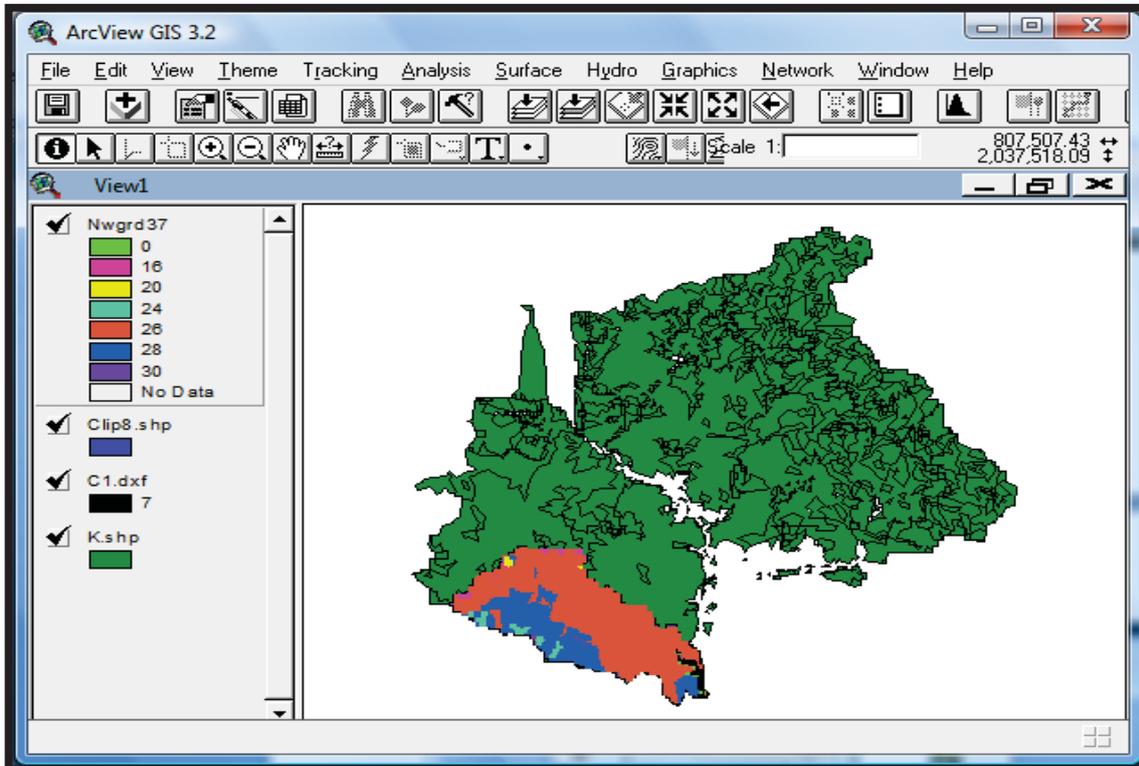
Obtenido el recorte de la cuenca 1 con las características del parámetro K, se procede a convertirlo en formato Grid, donde los valores correspondientes a las celdas del Grid deben ser del Gridcode.



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona “Area Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo”



Ventana de conversión de formato Shape a formato Grid.

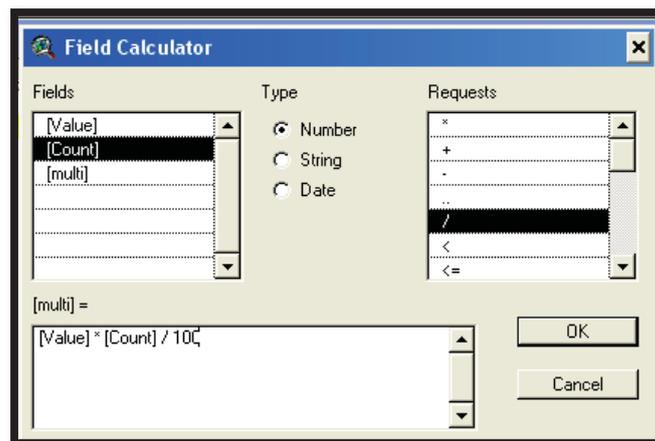


Grid de la cuenca 1.



Finalmente obtenido el grid del parámetro k de la cuenca 1, se procede a calcular dicho parámetro, para esto es necesario trabajar con "Field Calculator", esto siempre y cuando se tenga activa la tabla de atributos; dentro de la tabla de atributos se anexa una columna que se le asignara el nombre de "multi", esto con fin de poder realizar una operación y la primera es la multiplicación del área y el coeficiente K, recordemos que la generación de columnas ya se había realizado anteriormente, para encontrar la ventana de "Field Calculator" abrir el menú "Field" y en este seleccionar "Calculate", en seguida en la parte izquierda de la ventana seleccionar con doble clic una de las 2 columnas a multiplicar y en la parte derecha seleccionar el cálculo a realizar, para este caso se refiere a una multiplicación, la ecuación así como la ventana en la cual se realizan los cálculos se puede observar en la figura siguiente.

Nota: A este algoritmo se divide entre 100 con objeto devolver el coeficiente como está establecido en la tabla correspondiente al valor de K editado por la CNA, recordar que en la reclasificación el coeficiente se afecto multiplicándolo por 100.



Algoritmo de multiplicación del área con su respectivo coeficiente "K"

El resultado de la multiplicación lo podemos observar en la siguiente imagen.

Attributes Of kCUENCA1			
Value	Count	/d'	MULTI
0	12	930	0
16	49	855	784
20	15	845	300
24	88	919	2112
26	2518	908	65468
28	901	928	25228
30	14	918	420

Resultado de la multiplicación



Paso seguido realizar una sumatoria (procedimiento anteriormente realizado), la sumatoria será de la columna de "multiplicación" y otra de la columna de "Count", al realizar lo anterior, se debe dividir la suma de la columna de "multiplicación" entre la columna de "Count", el resultado final será el mostrado en la figura siguiente.

SUMA	Count	Sum_Count	Sum_MULT	K
0	7	3597.0000	94312.0000	0.262

Resultado final. Muestra el coeficiente K total de la cuenca 1 (La Pareja)

En las siguientes tablas se mostrará el resultado de parámetro K para cada cuenca.

SUMA	Count	Sum_Count	Sum_MULT	k
0.000	4	1230.0000	307.3000	0.250

Parámetro K para la cuenca Caramicuas

SUMA	Count	Sum_Count	Sum_MULT	K
0.000	4	873.0000	218.8200	0.251

Parámetro K para la cuenca Esfuerzo Campesino

SUMA	Count	Sum_Count	Sum_MULT	K
0.000	6	1129.0000	287.2000	0.254

Parámetro K para la cuenca La vinata

SUMA	Count	Sum_Count	Sum_MULT	K
0.000	6	813.0000	20529.0000	0.253



Parámetro K para la cuenca Los Ponicitos

sum1.dbf				
SUMA	Count	Sum_Count	Sum_MULT	K
0.000	4	303.0000	62.6000	0.207

Parámetro K para la Cuenca Cueramato

sum1.dbf				
SUMA	Count	Sum_Count	Sum_MULT	K
0.000	7	514.0000	9828.0000	0.191

Parámetro K para la Cuenca Llano de ojo de agua

sum1.dbf				
SUMA	Count	Sum_Count	Sum_MULT	K
0.000	8	1414.0000	247.8100	0.175

Parámetro K para la Cuenca Churumuco y sus anexos

sum1.dbf				
SUMA	Count	Sum_Count	Sum_MULT	K
0.000	8	809.0000	169.0200	0.209

Parámetro K para la Cuenca El Salitre y sus anexos

sum1.dbf				
SUMA	Count	Sum_Count	Sum_MULT	K
0.000	8	809.0000	169.0200	0.209

Parámetro K para la Cuenca Palma de Guaro

sum1.dbf				
SUMA	Count	Sum_Count	Sum_MULT	K
0.000	5	304.0000	7154.0000	0.235

Parámetro K para la Cuenca Las estancias



sum1.dbf				
SUMA	Count	Sum_Count	Sum_MULTI	K
0.000	7	1537.0000	344.9800	0.224

Parámetro K para la Cuenca San Francisco

sum1.dbf				
SUMA	Count	Sum_Count	Sum_MULTI	K
0.000	5	581.0000	14124.0000	0.243

Parámetro K para la Cuenca Chilar

sum1.dbf				
SUMA	Count	Ave_Count	Ave_MULTI	K
0.000	3	110.6667	27.8833	0.252

Parámetro K para la Cuenca Potrillo

sum1.dbf				
SUMA	Count	Sum_Count	Sum_MULTI	K
0.000	2	203.0000	54.2800	0.267

Parámetro K para la Cuenca Las Cruces

sum1.dbf				
SUMA	Count	Sum_Count	Sum_MULTI	K
0.000	5	890.0000	218.7700	0.246

Parámetro K para la Cuenca Los olivos

sum1.dbf				
SUMA	Count	Sum_Count	Sum_MULTI	K
0.000	5	249.0000	63.4300	0.255

Parámetro K para la Cuenca Chauz



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona "Área Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo"



sum1.dbf				
SUMA	Count	Sum_Count	Sum_MULTI	K
0.000	7	1401.0000	356.4200	0.254

Parámetro K para la Cuenca Conguripo

sum1.dbf				
SUMA	Count	Sum_Count	Sum_MULTI	K
0.000	5	811.0000	199.0800	0.245

Parámetro K para la Cuenca Ichami

sum1.dbf				
SUMA	Count	Sum_Count	Sum_MULTI	K
0.000	9	3302.0000	732.8100	0.222

Parámetro K para la Cuenca Arrojadero

sum2.dbf				
SUMA	Count	Sum_Count	Sum_MULTI	K
0.000	9	1555.0000	291.1900	0.187

Parámetro K para la Cuenca Higuierita

sum3.dbf				
SUMA	Count	Sum_Count	Sum_MULTI	K
0.000	5	890.0000	210.1400	0.236

Parámetro K para la Cuenca Naranja de Zirizicuaro

sum1.dbf				
SUMA	Count	Sum_Count	Sum_MULTI	K
0.000	11	2042.0000	409.0000	0.200

Parámetro K para la Cuenca La Huacana



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona "Área Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo"



sum1.dbf				
SUMA	Count	Sum_Count	Sum_MULT1	K
0.000	10	1869.0000	368.4400	0.197

Parámetro K para la Cuenca El Ciruelo

En los gráficos anteriores se presenta el valor del parámetro K para cada cuenca, resultado obtenido por medio de un SIG en la tabla siguiente se tiene el resumen de los valores anteriores.

Cuenca	Nombre	Parámetro
		K
1	La pareja	0.26
2	Caramicuas	0.25
3	Esfuerzo Campesino	0.25
4	la vinata	0.25
5	Los Poncitos	0.25
6	Cueramato	0.21
7	Llano de ojo de agua	0.19
8	Churumuco y sus anexos	0.18
9	El salitre y sus anexos	0.21
10	Palma de Guaro	0.24
11	Las estancias	0.24
12	San Fransisco	0.22
13	Chilar	0.24
14	Potreriillo	0.25
15	Las cruces	0.27
16	Los olivos	0.25
17	Chauz	0.26
18	Conguripo	0.25
19	Ichami	0.25
20	Arrojadero	0.22
21	Higuerita	0.19
22	Naranjo de Zirizicuaro	0.24
23	La Huacana	0.20
24	El ciruelo	0.20

Valores del parámetro K obtenido por Arc View



Determinación de volumen de escurrimiento.

De acuerdo a lo descrito en lo apartado de generalidades, tenemos que el volumen de escurrimiento calculado para este estudio es por el método indirecto de Precipitación – escurrimiento.

$$V_{EMA} = P_{MA} A_C C_E$$

- V_{EMA} Volumen medio anual de escurrimiento natural
 C_E Coeficiente de escurrimiento
 A_C Área de la cuenca en m^2
 P_{MA} Precipitación media anual en m

En los apartados anteriores determinamos el área de aportación de la cuenca, la precipitación media anual y el coeficiente de escurrimiento, siendo que para este cálculo se utilizó el coeficiente de escurrimiento por el método de autocad.

En las siguientes tablas se presenta el volumen de escurrimiento anual para cada cuenca.

Área de aportación	Ce	Precipitación Media	Volumen de escurrimiento
476,124,350 m ²	0.10	680.82 mm	33,348,297.17 m ³

Volumen de escurrimiento de la cuenca La pareja

Área de aportación	Ce	Precipitación Media	Volumen de escurrimiento
116,156,072 m ²	0.06	811.89 mm	1,849,390.33 m ³

Volumen de escurrimiento de la cuenca Esfuerzo Campesino

Area de aportación	Ce	Precipitación Media	Volumen de escurrimiento
38,319,375 m ²	0.06	801.53 mm	5,761,663.31 m ³

Volumen de escurrimiento de la cuenca Caramicuas

Área de aportación	Ce	Precipitación Media	Volumen de escurrimiento
161,749,534 m ²	0.05	670.88 mm	5,329,002.66 m ³

Volumen de escurrimiento de la cuenca La vinata



Área de aportación	Ce	Precipitación Media	Volumen de escurrimiento
119,700,180 m ²	0.13	665.81 mm	74,015,120 m ³

Volumen de escurrimiento de la cuenca Los Poncitos

Área de aportación	Ce	Precipitación Media	Volumen de escurrimiento
20,555,857 m ²	0.13	594.18 mm	21,311,579 m ³

Volumen de escurrimiento de la cuenca Cueraamo

Área de aportación	Ce	Precipitación Media	Volumen de escurrimiento
1,579,226 m ²	0.09	640.85 mm	826,762 m ³

Volumen de escurrimiento de la cuenca Llano de ojo de agua

Área de aportación	Ce	Precipitación Media	Volumen de escurrimiento
16,949,200 m ²	0.09	679.20 mm	15,894,843 m ³

Volumen de escurrimiento de la cuenca Churumuco y sus anexos

Área de aportación	Ce	Precipitación Media	Volumen de escurrimiento
41,594,219 m ²	0.12	643.02 mm	30,744,365 m ³

Volumen de escurrimiento de la cuenca El Salitre y sus anexos

Área de aportación	Ce	Precipitación Media	Volumen de escurrimiento
164,108,897 m ²	0.11	565.13 mm	83,732,956 m ³

Volumen de escurrimiento de la cuenca Palma de Guaro

Área de aportación	Ce	Precipitación Media	Volumen de escurrimiento
72,933,603 m ²	11	537.26 mm	15,006,466 m ³

Volumen de escurrimiento de la cuenca Las Estancias

Área de aportación	Ce	Precipitación Media	Volumen de escurrimiento
251,428,456 m ²	0.12	644.79 mm	136,659,877 m ³

Volumen de escurrimiento de la cuenca San Francisco



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona "Área Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo"



Área de aportación	Ce	Precipitación Media	Volumen de escurrimiento
54,835,160 m ²	0.14	719.16 mm	54,923,118 m ³

Volumen de escurrimiento de la cuenca Chilar

Área de aportación	Ce	Precipitación Media	Volumen de escurrimiento
3,301,847 m ²	0.15	752.25 mm	3,761,129 m ³

Volumen de escurrimiento de la cuenca Potrerillo

Área de aportación	Ce	Precipitación Media	Volumen de escurrimiento
3,876,172 m ²	0.15	788.82 mm	4,617,591 m ³

Volumen de escurrimiento de la cuenca Las Cruces

Área de aportación	Ce	Precipitación Media	Volumen de escurrimiento
10,466,592 m ²	0.15	710.58 mm	11,217,119 m ³

Volumen de escurrimiento de la cuenca Los Olivos

Área de aportación	Ce	Precipitación Media	Volumen de escurrimiento
2,106,742 m ²	0.14	680.05 mm	1,618,043 m ³

Volumen de escurrimiento de la cuenca Chauz

Área de aportación	Ce	Precipitación Media	Volumen de escurrimiento
138,287,505 m ²	0.12	616.95 mm	102,169,124 m ³

Volumen de escurrimiento de la cuenca Conguripo

Área de aportación	Ce	Precipitación Media	Volumen de escurrimiento
129,065,748 m ²	0.10	537.80 mm	72,996,001 m ³

Volumen de escurrimiento de la cuenca Ichami

Área de aportación	Ce	Precipitación Media	Volumen de escurrimiento
304,574,983 m ²	0.12	656.01 mm	239,985,512 m ³

Volumen de escurrimiento de la cuenca Arrojadero

Área de aportación	Ce	Precipitación Media	Volumen de escurrimiento
--------------------	----	---------------------	--------------------------



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona "Área Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo"



52,541,549 m²	0.10	667.35 mm	36,765,950 m³
---------------------------------	-------------	------------------	---------------------------------

Volumen de escurrimiento de la cuenca Higuerita

Área de aportación	Ce	Precipitación Media	Volumen de escurrimiento
23,657,657 m²	0.14	695.06 mm	21,817,012 m³

Volumen de escurrimiento de la cuenca Zirizicuaro

Área de aportación	Ce	Precipitación Media	Volumen de escurrimiento
66,042,129 m²	0.14	899.71 mm	83,463,540 m³

Volumen de escurrimiento de la cuenca Huacana

Área de aportación	Ce	Precipitación Media	Volumen de escurrimiento
45,094,939 m²	0.12	941.54 mm	5,092,121 m³

Volumen de escurrimiento de la cuenca El Ciruelo

En las tablas anteriores se presentó el volumen de escurrimiento de cada cuenca, así como su área de aportación correspondiente al ANP; en la siguiente tabla se mostrará un resumen de lo antes mencionado.

Cuenca	Nombre	Área de Aportación	Ce	Vol. Anual (m ³)
1	La pareja	476,124,350 m ²	0.1	33,348,297.17
2	Caramicuas	38,319,375 m ²	0.06	1,849,390.33
3	Esfuerzo Campesino	116,156,072 m ²	0.06	5,761,663.31
4	la vinata	161,749,534 m ²	0.05	5,329,002.66
5	Los Poncitos	119,700,180 m ²	0.13	10,152,582.72
6	Cueramato	20,555,857 m ²	0.13	1,544,612.62
7	Llano de ojo de agua	1,579,226 m ²	0.09	90,740.64
8	Churumuco y sus anexos	16,949,200 m ²	0.09	472,013.76
9	El salitre y sus anexos	41,594,219 m ²	0.12	3,097,058.60
10	Palma de Guaro	164,108,897 m ²	0.11	10,600,639.84
11	Las estancias	72,933,603 m ²	0.11	4,336,770.73
12	San Francisco	251,428,456 m ²	0.12	18,808,144.08



Estudio hidrológico haciendo uso de sistemas de información,
Zona "Área Nacional Protegida, Zicuirán-Infiernillo"



Cuenca	Nombre	Área de Aportación	Ce	Vol. Anual (m3)
13	Chilar	54,835,160 m2	0.14	5,652,464.94
14	Potreriillo	3,301,847 m2	0.15	367,119.25
15	Las cruces	3,876,172 m2	0.15	467,015.82
16	Los olivos	10,466,592 m2	0.15	1,124,134.75
17	Chauz	2,106,742 m2	0.14	197,793.71
18	Conguripo	138,287,505 m2	0.12	10,326,460.59
19	Ichami	129,065,748 m2	0.1	7,124,618.09
20	Arrojadero	304,574,983 m2	0.12	23,460,857.92
21	Higuerita	52,541,549 m2	0.1	3,552,902.38
22	Naranjo de Ziritzicuaro	23,657,657 m2	0.14	2,303,437.58
23	La Huacana	66,042,129 m2	0.14	8,197,729.09
24	El ciruelo	45,094,939 m2	0.12	5,211,241.72

Área de aportación = 2,315,049,992 m2

Volumen de escurrimiento Anual = 169,853,332 m3



Análisis de resultados

Método Auto CAD frente al método Arc View

Cuenca	Nombre	Área de Aportación Km2	Parámetro K		% de error
			Autocad	Arc View	
1	La pareja	476.12	0.23	0.26	12.2
2	Caramicuas	38.32	0.17	0.25	32.0
3	Esfuerzo Campesino	116.16	0.17	0.25	32.3
4	la vinata	161.75	0.17	0.25	33.1
5	Los Poncitos	119.70	0.26	0.25	2.8
6	Cueramato	20.56	0.27	0.21	30.4
7	Llano de ojo de agua	1.58	0.22	0.19	15.2
8	Churumuco y sus anexos	16.95	0.16	0.18	8.6
9	El salitre y sus anexos	41.59	0.25	0.21	19.6
10	Palma de Guaro	164.11	0.26	0.24	10.2
11	Las estancias	72.93	0.26	0.24	10.6
12	San Fransisco	251.43	0.25	0.22	11.6
13	Chilar	54.84	0.27	0.24	11.1
14	Potreriillo	3.30	0.27	0.25	7.1
15	Las cruces	3.88	0.27	0.27	1.1
16	Los olivos	10.47	0.28	0.25	13.8
17	Chauz	2.11	0.27	0.26	5.9
18	Conguripo	138.29	0.26	0.25	2.4
19	Ichami	129.07	0.25	0.25	2.0
20	Arrojadero	304.57	0.25	0.22	12.6
21	Higuerita	52.54	0.23	0.19	23.0
22	Naranja de Ziritzicuaro	23.66	0.27	0.24	14.4
23	La Huacana	66.04	0.24	0.20	20.0
24	El ciruelo	45.09	0.22	0.20	11.7

Tabla comparativa del parámetro K y su respectivo porcentaje de error.

En la tabla anterior se muestra los resultados del parámetro K obtenido por los dos métodos antes presentados.



Es de vital importancia analizar los porcentajes de error que en ellos se presenta y encontrar la explicación correspondiente al mismo.

Se puede observar que el porcentaje de error varía desde 1.1 hasta 33.1% considerando este como el más desfavorable, teniendo así un promedio de error de 11.7%, el cual es un porcentaje elevado que podría poner de manifiesto algunos errores de cálculo por alguno de los métodos empleados.

Para el procedimiento por Arc View, los posibles errores surgen al momento de la reclasificación de valores, en este apartado es importante que el hidrólogo tenga conocimiento del tipo de vegetación que se está utilizando, así como una equivalencia adecuada respecto a la tabla de uso y tipo de suelo presentada por la CNA en su norma correspondiente (NOM011), esta es la parte fundamental que se debe cuidar para evitar datos erróneos.

Dentro del procedimiento por el método de AutoCad, la situación es más desfavorable, teniendo en cuenta que es un método empírico donde el propio proyectista puede cometer errores manuales al momento del cálculo.

En este método es importante mencionar que al momento de la cuantificación del tipo y uso de suelo, se presentan poligonales muy pequeñas y una basta cantidad de datos que cuantificar, lo desfavorable de este método radica cuando las cuencas en estudio son de gran magnitud, donde existe la mayor probabilidad de cometer errores por la cantidad de datos que se presenta, y el basto número de polígonos que obtener su área correspondiente a tipo de suelo y uso.

Con las aclaraciones antes mencionadas se puede dar explicación a los porcentajes de error que se presenta en la tabla de resultados

Volumen de escurrimiento

Cuenca	Nombre	Volumen de Escurrimiento (m ³)		% de error
		Autocad	Arc View	
1	La pareja	33,348,297.17	42,498,042.59	21.5
2	Caramicuas	1,849,390.33	4,165,058.30	55.6
3	Esfuerzo Campesino	5,761,663.31	13,000,377.90	55.7
4	la vinata	5,329,002.66	13,324,077.64	60.0
5	Los Poncitos	10,152,582.72	9,664,673.33	5.0



Cuenca	Nombre	Volumen de Esgurrimiento (m ³)		% de error
		Autocad	Arc View	
6	Cueramato	1,544,612.62	899,213.30	71.8
7	Llano de ojo de agua	90,740.64	65,438.73	38.7
8	Churumuco y sus anexos	472,013.76	624,188.62	24.4
9	El salitre y sus anexos	3,097,058.60	2,150,504.84	44.0
10	Palma de Guaro	10,600,639.84	8,766,025.92	20.9
11	Las estancias	4,336,770.73	3,543,003.28	22.4
12	San Fransisco	18,808,144.08	15,166,069.82	24.0
13	Chilar	5,652,464.94	4,692,868.00	20.4
14	Potrerrillo	367,119.25	326,085.82	12.6
15	Las cruces	467,015.82	458,429.44	1.9
16	Los olivos	1,124,134.75	897,322.23	25.3
17	Chauz	197,793.71	178,845.75	10.6
18	Conguripo	10,326,460.59	9,891,273.20	4.4
19	Ichami	7,124,618.09	6,843,301.44	4.1
20	Arrojadero	23,460,857.92	18,595,419.75	26.2
21	Higuerita	3,552,902.38	2,233,131.68	59.1
22	Naranja de Ziritzicuaro	2,303,437.58	1,806,309.84	27.5
23	La Huacana	8,197,729.09	5,841,127.67	40.3
24	El ciruelo	5,211,241.72	4,222,542.44	23.4
Total		163,376,692.31	169,853,331.50	

En la tabla anterior se muestran como resultados el volumen de escurrimiento superficial calculado para ambos métodos de determinación del parámetro K, es importante notar los porcentajes de error que se presenta.

Rango del porcentaje de error oscila de entre el 4.1% hasta 71.8% como un valor extremadamente alejado de los posibles datos aceptables.

De ahí la importancia que se tenga un buena aproximación del parámetro, cuyo valor repercute ponderadamente en el valor final de volumen de escurrimiento, donde este valor es de vital importancia sobre todo en el dimensionamiento de muchas de las obras hidráulicas.



Conclusiones

En base al análisis de resultados presentados anteriormente y por la magnitud de la importancia que tiene este Parámetro K dentro de la determinación del volumen de escurrimiento recomiendo utilizar el valor obtenido por el método Arc View. Bajo las siguientes ventajas:

Una mayor posibilidad de anular errores en el momento de la cuantificación de áreas gracias a que se puede tener mayor exactitud en la delimitación de las poligonales de uso y tipo de suelo

El tiempo en se obtiene el parámetro es relativamente corto comparado con el método de Autocad, por citar este trabajo cabe mencionar los tiempos utilizados para dicho parámetro, por el método de Auto Cad tomo un tiempo aproximado de una semana, comparado con el método de Arc View que solo tomo 3 horas, esto argumento viene a sumar unas de las importantes ventajas que yo personalmente encuentro dentro de este método, la optimización de tiempos.

Cabe destacar que en la actualidad los sistemas de información son una herramienta con gran influencia en el medio y en base a ello y por la globalización de la tecnología, el ingeniero civil tiene y debe utilizar estas tecnologías para un mejor desempeño laboral.

Con esta tesis quiero aportar una metodología que se suma como una herramienta de trabajo útil al ingeniero o estudiante de ingeniería al desarrollo de una manera más eficaz de una parte de la hidrología superficial.



Bibliografía

Campos Aranda, Daniel Fco. 1998. Procesos del ciclo hidrológico. Tercera reimpresión. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, México.

Agúndez, B.C.I. 1, Vargas, T.V. Gutiérrez, L.J. y Plácido, D.C.J. 1 Unidad de Geomática. UAM Agronomía y Ciencias. UAT Cd. Victoria, Tam.

Jorge Alejandro Kurczyn-Robledo, Thomas Kretzschmar T y Alejandro Hinojosa-Corona. Dep. Geología CECISE. Ensenada, Baja California, México.

PROYECTO DE NORMA OFICIAL MEXICANA PROY-NOM-011-CNA-2000, “CONSERVACIÓN DEL RECURSO AGUA - QUE ESTABLECE LAS ESPECIFICACIONES Y EL MÉTODO PARA DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE LAS AGUAS NACIONALES”.

UMSNH, Instituto de Ecología A.C., Instituto de investigaciones económicas y empresariales. Julio 2006. Estudio Previo Justificativo para el establecimiento del Área Nacional Protegida, Reserva de la Biosfera “Zicuirán –Infiernillo” Michoacán. Morelia, Michoacán.

Aparicio Mijares, Francisco J. 1992. Fundamentos de hidrología de Superficie. Primera reimpresión. Editorial Limusa. Mexico.

Casas Gonzalez, Silvia. Villarreal González, José María, Denux, Jean Phillippe. Gay, Michel. 2003. Sistema de información para la gestión del agua en el norte de Tamaulipas (SIGAT). Boletín informativo de la Unión Geofísica Mexicana, A.C. Revista GEOS, Vol 23. No2.

Chow, Vente. 1994. Hidrologia Aplicada.