

PROPUESTA METODOLOGICA PARA LA UBICACIÓN DE SITIOS POTENCIALES PARA EL DESARROLLO DE OBRAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA: Una aproximación de parámetros distribuidos

A. Molina-Cortes¹, I. Sánchez-Cohen², G. García-Herrera², L. Moreno-Díaz²

¹ Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. UACH; Apartado Postal No.8, Bermejillo; Dgo. 35230 México.

²CENID-RASPA, Apartado Postal No. 41, Cd. Lerdo, Dgo. 35150 México.

RESUMEN

El presente trabajo constituye un esfuerzo por establecer un algoritmo de seguimiento en el desarrollo de obras de captación de agua de lluvia, considerando la capacidad limitada de información de calidad, donde los Sistemas de Información Geográfica aunados a los modelos de simulación de procesos hidrológicos son de gran utilidad al cuantificar parámetros tomando en cuenta la distribución espacial y temporal de los recursos clima y suelo. El método hace uso de programas computacionales (CALE1 y WXPARM) generadores de parámetros climatológicos considerando los registros del clima y suelo existentes en cada una de las 22 estaciones meteorológicas de la Comarca Lagunera. Los parámetros son introducidos al modelo de simulación "GROWING" el cual es un simulador de procesos hidrológicos con el que se obtienen rendimientos estimados en cada una de las estaciones; posteriormente se hace uso de los Sistemas de Información Geográfica (GIS-IDRISI32 versión Windows) para la generación de mapas que muestran las áreas potenciales para el desarrollo de obras de captación de agua de lluvia.

Palabras Clave: Simulación, GIS, IDRISI, Lluvia, Captación de agua.

SUMMARY

This project is an effort to establish an algorithm in the development of water harvesting systems, considering the limited capacity of good quality information where the Geographic Information System along with simulation models of hydrological processes are of great utility when quantifying parameters of the spatial distribution of climate and soil resources. The method makes use of computer programs (CALE1 Y WXPARM) which are generators of climatological parameters considering the climate records and soil existent in 22 meteorological stations of the Comarca Lagunera; these parameters are introduced to the simulation model "GROWING" for a simulation of hydrological processes and estimation of yields for all of the stations; later on, the Geographic Information System (IDRISI32 for windows) is used for the generation of maps that show the potential areas for the development of water-harvesting systems.

Key words. Simulation, GIS-IDRISI, rain, Water harvesting systems.

INTRODUCCIÓN

En las regiones áridas, debido a la alta variabilidad en tiempo y espacio de la precipitación hacen que la agricultura de temporal sea de alto riesgo y la tecnología disponible para minimizar los efectos de las sequías se circunscribe al uso de variedades resistentes y al manejo del suelo principalmente. Sin embargo, el dominio de aplicación de las recomendaciones requiere de una ampliación de sus fronteras por lo que es necesario el uso de técnicas que consideren la variación espacial y temporal de los recursos naturales. En el presente trabajo se plantea una secuencia metodológica que incluye los estudios mínimos indispensables para la ubicación de sitios potenciales para la construcción de obras de captación de agua de lluvia además del

manejo de modelos de simulación de parámetros distribuidos en combinación con sistemas de información geográfica, con el objetivo final de mejorar las condiciones de vida de los beneficiarios de este tipo de tecnologías.

Arteaga y Vázquez (1997) recomiendan el análisis probabilístico y la evaluación de la precipitación como parte fundamental para la planeación agrícola, así como en la toma de decisiones que ayuden a aprovechar, conservar y eficientizar este recurso. Sánchez (1991) menciona que una alternativa de mejoramiento de estas zonas, es utilizar racionalmente los escurrimientos superficiales para lograr el establecimiento y producción de especies agrícolas, forestales y frutícolas; al igual que otro componente importante lo constituyen las llamadas microcuencas u obras de captación de agua "In situ".

El interés por unir en una sola metodología al GIS (sistemas de información geográfica) y a los Modelos de Simulación, surgió del afán por considerar modelos de parámetros distribuidos sobre superficies extensas, puesto que varios modelos hidrológicos poderosos han sido restringidos en su uso debido a la alta cantidad y nivel de detalle requerido en la obtención de sus parámetros (Sánchez y Tiscareño, 1991). Actualmente existe un IDRISI para trabajar en ambiente Windows, esta versión fue desarrollada por la Universidad de Clark, en Massachusetts, USA. Este nuevo IDRISI32 se adapta para el manejo y despliegue de imágenes raster y vector; además tiene incorporados una serie de programas que ofrecen una gran solución para el análisis geográfico que requieren ambos tipos de mapas.

Sánchez (1991) menciona que las técnicas de simulación de variables hidrológicas permiten el conocimiento *a priori* del éxito de una determinada obra de captación; es decir con datos históricos o generados de precipitación, se está en posibilidad de simular el balance hídrico y tomar la decisión sobre el tipo de reservorio que mejor se ajuste a la realidad climatológica del lugar de interés. Los modelos de simulación de manera general son una herramienta muy importante para la planeación en cuanto a obras de captación de agua de lluvia se refiere, principalmente en las zonas áridas donde ésta es errática y con una distribución aleatoria, limitando el establecimiento de cultivos en dichas zonas (Sánchez y Díaz, 1990).

MATERIALES Y METODOS

Ubicación de áreas potenciales. Para la ubicación de áreas potenciales de escurrimiento es necesario utilizar técnicas de análisis multivariado en donde se analicen conjuntamente las posibilidades de clima y suelo, para tal fin se analizaron los parámetros de las funciones probabilísticas de distribución que caracterizan ambas propiedades (escurrimiento y precipitación). Para cuantificar las variaciones en espacio de la base de datos, se usó el GIS anteriormente descrito en conjunción con los diversos modelos de simulación. La Figura 1 muestra el algoritmo que indica la metodología para la toma de decisiones para este tipo de propuesta.

Obtención de parámetros. Se utilizaron datos de 22 estaciones meteorológicas que se encuentran ubicadas dentro y fuera de La Comarca Lagunera; estos datos fueron a nivel diario y comprendieron diferentes periodos de información. (Cuadro 1).

Textura y tipo de suelo. La clasificación y textura del suelo se obtuvieron, mediante un Modelo Digital de Elevación temático de suelos; esta imagen se desplegó en el GIS-IDRISI; en donde se ubicaron los puntos de referencia geográfica de cada una de las estaciones y de las cuales se extrajo la información (Cuadro 2).

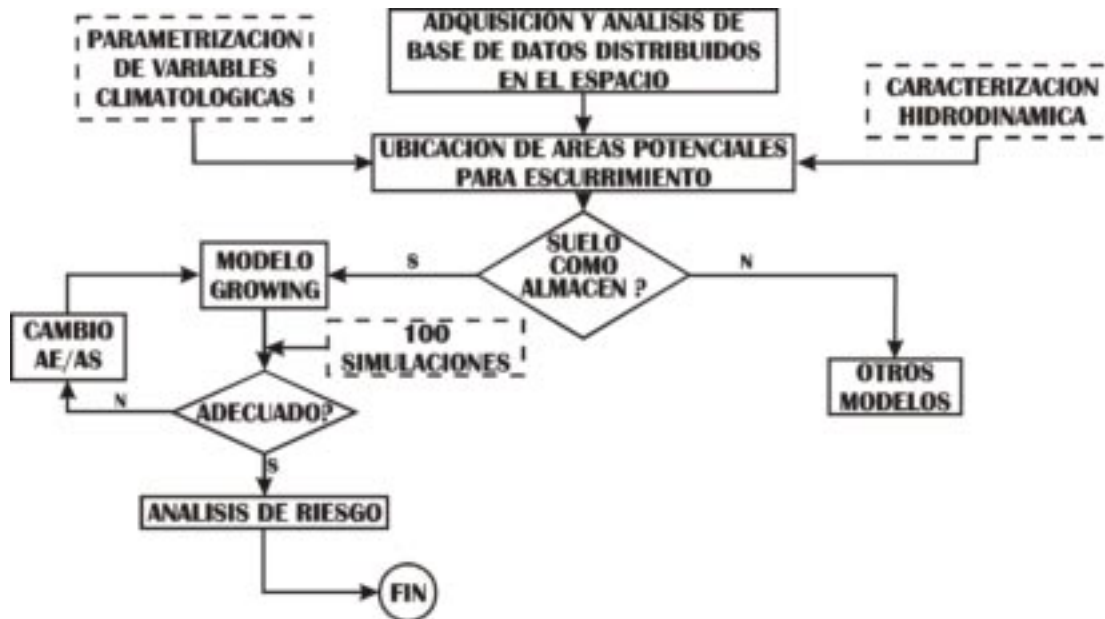


Figura 1. Algoritmo para la toma de decisiones (Sánchez, et al. 1997)

| AGOSTO | | | | | | SEPTIEMBRE | | | | | | OCTUBRE | | | | | | |
|--------|------|------|------|------|------|------------|------|------|------|------|------|---------|------|------|------|------|------|------|
| Pwui | Pdu | Pwid | Pod | Lam | Bu | S Eu | Pwui | Pdu | Pwid | Pod | Lam | Bu | S Eu | Pwui | Pdu | Pwid | Pod | Lam |
| 0.17 | 0.83 | 0.2 | 0.8 | 0.56 | 6.99 | 1.03 | 0.5 | 0.5 | 0.13 | 0.88 | 0.45 | 5.44 | 1.24 | 0 | 1 | 0.07 | 0.93 | 0.55 |
| 0.44 | 0.56 | 0.1 | 0.9 | 0.91 | 6.37 | 0.98 | 0.35 | 0.66 | 0.1 | 0.9 | 0.79 | 5.2 | 0.67 | 0.27 | 0.73 | 0.07 | 0.93 | 1.1 |
| 0.71 | 0.29 | 0.14 | 0.86 | 0.48 | 5.59 | 1.72 | 0.63 | 0.48 | 0.12 | 0.88 | 0.42 | 5.4 | 1.81 | 0.48 | 0.53 | 0.09 | 0.91 | 1.56 |
| 0.32 | 0.68 | 0.15 | 0.85 | 0.58 | 5.59 | 1.06 | 0.39 | 0.61 | 0.11 | 0.89 | 0.15 | 4.68 | 0.91 | 0.3 | 0.7 | 0.05 | 0.95 | 1.25 |
| 0.63 | 0.47 | 0.08 | 0.92 | 0.51 | 3.99 | 0.46 | 0.5 | 0.5 | 0.07 | 0.93 | 0.66 | 3.76 | 0.61 | 0.38 | 0.63 | 0.04 | 0.96 | 0.94 |
| 0.63 | 0.47 | 0.22 | 0.79 | 0.33 | 4.58 | 0.77 | 0.65 | 0.46 | 0.15 | 0.85 | 0.33 | 3.71 | 0.6 | 0.41 | 0.59 | 0.07 | 0.94 | 0.77 |
| 0.46 | 0.55 | 0.15 | 0.85 | 0.65 | 5.18 | 0.84 | 0.48 | 0.52 | 0.13 | 0.87 | 0.49 | 4.34 | 0.58 | 0.4 | 0.61 | 0.06 | 0.94 | 0.58 |
| 0.4 | 0.6 | 0.1 | 0.9 | 0.41 | 6.71 | 1.73 | 0.26 | 0.74 | 0.12 | 0.88 | 0.44 | 5.67 | 1.63 | 0.32 | 0.68 | 0.03 | 0.97 | 0.65 |
| 0.41 | 0.59 | 0.15 | 0.85 | 0.81 | 6.63 | 1.18 | 0.29 | 0.71 | 0.11 | 0.89 | 0.77 | 5.07 | 0.8 | 0.29 | 0.71 | 0.09 | 0.91 | 1.11 |
| 0.51 | 0.49 | 0.18 | 0.83 | 0.42 | 5.98 | 1 | 0.4 | 0.6 | 0.15 | 0.85 | 0.42 | 4.91 | 0.95 | 0.36 | 0.64 | 0.08 | 0.92 | 0.72 |
| 0.26 | 0.74 | 0.08 | 0.92 | 1.91 | 6.29 | 1.55 | 0.28 | 0.72 | 0.64 | 0.94 | 1.39 | 4.59 | 1.28 | 0.3 | 0.7 | 0.06 | 0.94 | 1.48 |
| 0.47 | 0.53 | 0.19 | 0.82 | 0.49 | 5.18 | 1.24 | 0.48 | 0.52 | 0.18 | 0.82 | 0.44 | 3.92 | 0.9 | 0.33 | 0.67 | 0.09 | 0.91 | 0.6 |
| 0.43 | 0.57 | 0.17 | 0.83 | 0.39 | 4.47 | 1.67 | 0.29 | 0.71 | 0.22 | 0.78 | 0.33 | 4.63 | 1.6 | 0.2 | 0.8 | 0.15 | 0.85 | 0.69 |
| 0.49 | 0.51 | 0.14 | 0.86 | 0.34 | 6.09 | 1.32 | 0.48 | 0.52 | 0.23 | 0.77 | 0.41 | 5.08 | 1.31 | 0.48 | 0.53 | 0.08 | 0.92 | 0.7 |
| 0.43 | 0.57 | 0.11 | 0.89 | 0.61 | 5.54 | 1.08 | 0.3 | 0.7 | 0.1 | 0.9 | 0.6 | 4.55 | 0.84 | 0.24 | 0.76 | 0.08 | 0.92 | 0.89 |
| 0.67 | 0.33 | 0.27 | 0.73 | 0.34 | 5.58 | 1.24 | 0.51 | 0.49 | 0.19 | 0.81 | 0.33 | 4.67 | 1.36 | 0.42 | 0.58 | 0.09 | 0.92 | 0.59 |
| 0.35 | 0.65 | 0.18 | 0.82 | 0.42 | 4.52 | 0.61 | 0.33 | 0.67 | 0.15 | 0.85 | 0.45 | 3.7 | 0.92 | 0.37 | 0.63 | 0.07 | 0.93 | 0.71 |
| 0.54 | 0.46 | 0.13 | 0.87 | 0.35 | 6.78 | 1.12 | 0.42 | 0.58 | 0.14 | 0.86 | 0.42 | 4.79 | 1.15 | 0.28 | 0.72 | 0.1 | 0.9 | 0.65 |
| 0.55 | 0.45 | 0.11 | 0.89 | 0.5 | 4.31 | 1.4 | 0.59 | 0.41 | 0.1 | 0.9 | 0.48 | 3.11 | 1.84 | 0.35 | 0.69 | 0.06 | 0.94 | 0.79 |
| 0.46 | 0.54 | 0.15 | 0.85 | 0.89 | 7.03 | 1.03 | 0.39 | 0.61 | 0.13 | 0.87 | 0.93 | 5.46 | 1.1 | 0.32 | 0.68 | 0.07 | 0.93 | 0.82 |
| 0.31 | 0.69 | 0.16 | 0.84 | 0.68 | 7.41 | 1.09 | 0.39 | 0.61 | 0.13 | 0.87 | 0.91 | 5.68 | 1.23 | 0.39 | 0.61 | 0.04 | 0.96 | 0.73 |
| 0.5 | 0.5 | 0.07 | 0.93 | 0.94 | 6.78 | 1.28 | 0 | 1 | 0.03 | 0.97 | 0.8 | 5.54 | 0.87 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1.74 |

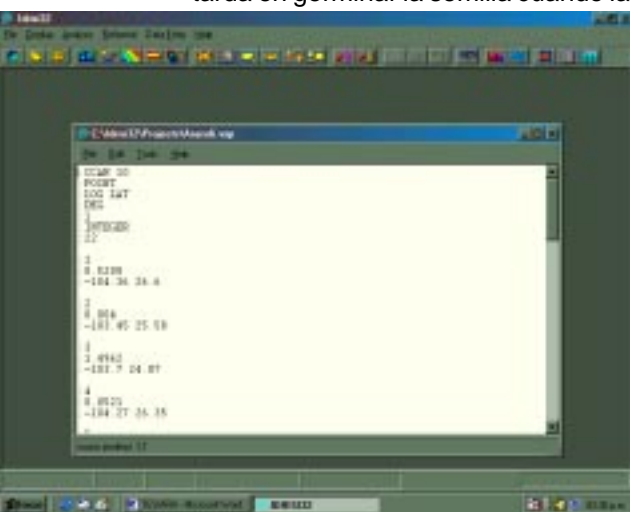
Cuadro 2. Rendimientos de maíz obtenidos con el modelo de simulación "GROWING".

| ESTACION | LAT | LONG | AÑOS | | | TEXTURA | TIPO | C.C.A.R. (RENDIMIENTO TON H ₂ O-1) | | | | | |
|------------|-------|---------|--------|-----|-------|-------------|--------|-----------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | | INICIO | FIN | TOTAL | | | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
| CEBALLOS | 26.6 | 104.36 | 61 | 81 | 19 | MIG-ARC | MEDIO | 0.5206 | 0.8969 | 1.3959 | 1.2759 | 1.36 | 1.4245 |
| CENID | 25.58 | 103.45 | 76 | 94 | 17 | MIG-ARC-ARE | LIGERO | 0.004 | 0.0182 | 0.029 | 0.0529 | 0.0406 | 0.0429 |
| CUENCAME | 24.87 | 103.7 | 75 | 92 | 16 | MIG-ARC | MEDIO | 1.4962 | 1.9084 | 2.0629 | 2.1399 | 2.1878 | 2.2205 |
| DERRAME | 26.35 | 104.27 | 75 | 93 | 17 | MIG-ARC | MEDIO | 0.0521 | 0.1421 | 0.2122 | 0.2883 | 0.2984 | 0.3193 |
| INDE | 25.9 | 105.22 | 79 | 91 | 11 | MIG-ARC | MEDIO | 0.1532 | 0.3029 | 0.3948 | 0.4318 | 0.4606 | 0.4799 |
| JRIO | 24.8 | 104.47 | 75 | 92 | 16 | MIG-ARC | MEDIO | 2.5541 | 2.7603 | 2.8109 | 2.8302 | 2.8397 | 2.8489 |
| LERDO | 25.55 | 103.52 | 63 | 90 | 26 | MIG-ARC-ARE | LIGERO | 0.201 | 0.2988 | 0.3504 | 0.3871 | 0.4104 | 0.4279 |
| MAPIMI | 25.83 | 103.85 | 76 | 91 | 14 | MIG-ARC-ARE | LIGERO | 0.3993 | 0.5825 | 0.6691 | 0.7116 | 0.7364 | 0.7561 |
| MATAMOROS | 25.53 | 103.23 | 75 | 92 | 16 | MIG-ARC | MEDIO | 0.0543 | 0.1566 | 0.2426 | 0.3119 | 0.368 | 0.4096 |
| NAZAS | 25.22 | 104.1 | 75 | 91 | 15 | MIG-ARC | MEDIO | 1.7695 | 2.2821 | 2.4603 | 2.5443 | 2.601 | 2.6349 |
| NIEVES | 25.75 | 102 | 76 | 90 | 13 | MIG-ARC | MEDIO | 0 | 0 | 0 | 0.0018 | 0.0032 | 0.0052 |
| PARRAS | 25.47 | 102.23 | 76 | 93 | 16 | MIG-ARC | MEDIO | 1.6032 | 2.0968 | 2.2899 | 2.3747 | 2.4224 | 2.4571 |
| PBLANCO | 24.78 | 104.03 | 77 | 93 | 15 | MIG-ARC | MEDIO | 2.033 | 2.4227 | 2.5462 | 2.5969 | 2.6256 | 2.6466 |
| P GALLO | 25.57 | 102.77 | 76 | 91 | 14 | MIG-ARC-ARE | LIGERO | 1.2839 | 1.5307 | 1.6345 | 1.691 | 1.7272 | 1.749 |
| PREGPE | 25.57 | 103.22 | 71 | 91 | 19 | MIG-ARC-ARE | LIGERO | 0.0847 | 0.1495 | 0.1826 | 0.1961 | 0.2069 | 0.2162 |
| RODEO | 25.18 | 104.55 | 75 | 91 | 15 | MIG-ARC | MEDIO | 3.3085 | 3.5588 | 3.6303 | 3.6567 | 3.6711 | 3.6812 |
| SJUAN | 24.62 | 102.77 | 75 | 90 | 14 | MIG-ARC | MEDIO | 0.8953 | 1.2206 | 1.375 | 1.442 | 1.478 | 1.4974 |
| SLUIS | 25.42 | 104.28 | 77 | 91 | 13 | MIG-ARC | MEDIO | 1.2329 | 1.5915 | 1.7525 | 1.8416 | 1.8819 | 1.9124 |
| SMARIA | 25.95 | 1085.35 | 77 | 93 | 15 | MIG-ARC | MEDIO | 0.616 | 0.8298 | 0.9205 | 1.0207 | 1.057 | 1.0801 |
| SPEDRO | 25.75 | 102.98 | 63 | 90 | 26 | MIG-ARC-ARE | LIGERO | 0.0132 | 0.0384 | 0.0608 | 0.0746 | 0.0851 | 0.0941 |
| TLAHUALILO | 26.1 | 103.43 | 63 | 89 | 25 | MIG-ARC | MEDIO | 0.052 | 0.1473 | 0.2206 | 0.2658 | 0.3265 | 0.361 |
| VESCA | 25.77 | 102.8 | 74 | 91 | 16 | MIG-ARC | MEDIO | 0.0025 | 0.0168 | 0.0316 | 0.0433 | 0.0555 | 0.0678 |

Parámetros del clima. La base de datos del clima que se utilizó para obtener los parámetros de entrada al modelo de simulación GROWING es la que ha sido conformada por el SICA y los parámetros se obtuvieron mediante el procesamiento de la información de los registros de cada una de las estaciones con los programas CALE1 y WXPARM (Cuadro 1).

Modelo de simulación "GROWING". Este modelo es útil para dimensionar la relación área de escurrimiento/ área de siembra (AE/AS) dadas las características de suelo, clima y cultivo del lugar de interés, de igual manera permite realizar un análisis de riesgo físico y económico (Sánchez, 1994). Con este modelo se simuló 100 estaciones de crecimiento del cultivo en las que se plantearon diferentes escenarios hipotéticos (condiciones climáticas y edáficas) y se evaluó el comportamiento del cultivo en cada una de ellas logrando definir la relación AE/AS más óptima para cada condición.

Estimación del rendimiento. Los parámetros de entrada que requiere el modelo de simulación GROWING son datos de clima y suelo, así como el tipo de cultivo que para este caso se maneja maíz, a 8 días de emergencia bajo el supuesto que es el tiempo que tarda en germinar la semilla cuando las condiciones de las estaciones se tienen en cuenta. El valor inicial de escurrimiento se toma como un valor de cero; las coordenadas que se



Pantalla 1.- Creación de la base de datos

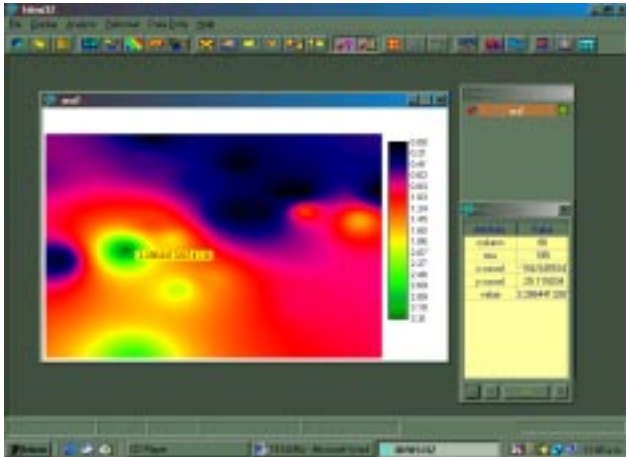
SIG - IDRISI32 Versión Windows. La creación de la base de datos para el proceso de interpolación en el SIG IDRISI32 se hace desde la pantalla del editor (EDIT). En la barra de herramientas se despliega el menú "Data Entry" para acceder al comando EDIT, con este comando se despliega una pantalla (Pantalla 1) que es donde se crea la base de datos; que se encuentra conformada por valores de las 22 estaciones meteorológicas y cada una incluye el valor del rendimiento obtenido con el modelo de simulación GROWING; se guarda el archivo con el comando "guardar como (save as)" con la extensión *.VXP; lo que indica que se está generando un archivo tipo vector para exportar.

En la pantalla 2 se indica como se exporta el archivo vector que se generó anteriormente (*.VXP) para convertirlo a un archivo vector con extensión *.VCT; este archivo contiene la identificación y las coordenadas que definen los rasgos del vector. Para esto se abre el menú de Archivo (File) y se abre el comando "Export" y en este se seleccionan las herramienta de "Software-Specific formats" y de "Vector Export Format". Después de generar el archivo con extensión *.VCT, se procede a realizar el análisis de la información utilizando la interpolación de los valores, para esto se abre el menú de "Analysis" y se selecciona la herramienta de "Surface Analysis" y aquí se despliega otro submenú de herramientas y se selecciona "Interpolation" cuando se despliega la lista de comandos se selecciona "INTERPOL", tal como se muestra en la pantalla 2.



Pantalla 2.- Proceso para acceder a la ventana de interpolación.

En la pantalla 3, se muestra la imagen generada con el proceso de interpolación, en esta se pueden conocer las propiedades de cada uno de los puntos de la base de datos y de las áreas que han sido creadas en la interpolación, esto es posible utilizando el comando de "Feature Properties".



Pantalla 3.- Imagen generada con el proceso de interpolación.

En la pantalla 4, se despliega la imagen reclasificada; mostrando las áreas que cumplen con los valores asignados; siendo para este caso de cero hasta todos aquellos valores que van desde cero hasta justamente los que están debajo que 1; de 1 a todos aquellos que van de 1 hasta justamente debajo de 2 y de 2 a todos aquellos valores que van desde 2 hasta los que están justamente debajo de 4. Quedando definidas las categorías 0, 1 y 2 para zonas sin potencial, mediano potencial y con potencial respectivamente.

Pantalla 4.-Imagen reclasificada; indicando las áreas de acuerdo a su potencial.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento por estación meteorológica

En el Cuadro 2 se muestran los rendimientos obtenidos en cada una de las estaciones meteorológicas, también se indican las relaciones área de escurrimiento / área de siembra que se utilizaron siendo 1:10, 1:20, 1:30, 1:40, 1:50 y :60. Para la relación 1:10 los rendimientos oscilan de 0 a 3.30 ton ha⁻¹; para la relación 1:30 van de 0 a 3.63 ton ha⁻¹ y en la relación 1:60 van de 0 a 3.68 ton ha⁻¹ para las estaciones de Nieves y Rodeo que muestran el rendimiento más bajo y el rendimiento más alto respectivamente.

Los lugares con mayor potencial para el desarrollo de obras de captación de agua de lluvia en base a los rendimientos estimados por el modelo de simulación para todas las relaciones AE/AS; fueron principalmente los que se ubican cerca de la sierra siendo estos San Pedro del Gallo, San Luis del Cordero, Rodeo, Nazas, San Juan del Río, Cuencame y Peñón Blanco para el estado de Durango; y para la parte del estado de Coahuila únicamente se registro Parras. Se mencionan estos lugares por que son los que presentan mejores rendimientos en la relación 1:10 y en las subsecuentes.

A medida que se incrementa la relación AE/AS aumenta el rendimiento pero no proporcionalmente y de igual manera se incrementan las áreas con potencial para el desarrollo de obras de captación, esto se puede apreciar en los mapas y en el cuadro 2 que se obtuvieron al utilizar el modelo de simulación GROWING y el SIG-IDRISI32.

Mapas resultantes

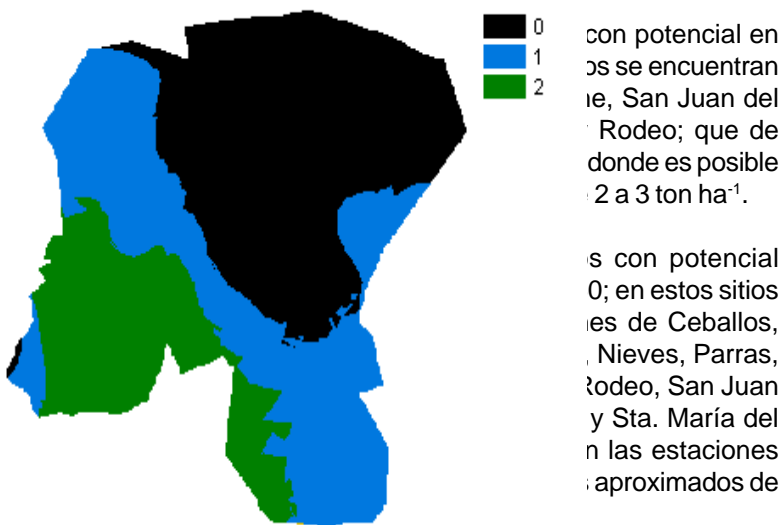
El Mapa 1 muestra los sitios con potencial en la relación AE/AS de 1:10; en estos sitios se encuentran ubicadas las estaciones de San Juan del Río, Peñón Blanco y Rodeo; que de acuerdo a los resultados obtenidos por el modelo de simulación es posible obtener rendimientos aproximados de 2 a 3 ton ha⁻¹. Para saber con precisión la ubicación de cada estación, en el programa IDRISI con ayuda del mouse se posiciona en cualquier punto de la imagen y se da un clic con el botón derecho y aparecen los datos de georeferenciación de ese punto y por consiguiente se sabe que estación se encuentra ubicada en ese lugar.

SITIOS POTENCIALES CON RELACION 1:10

SITIOS POTENCIALES CON RELACION 1:30

Mapa 1.- Sitios potenciales con relación 1:10

Mapa 2.- Sitios potenciales con relación 1:30



SITIOS POTENCIALES CON RELACION 1:60

Mapa 3.- Sitios con potencial en relación 1:60

CONCLUSIONES

Se ha establecido una propuesta metodológica que ayuda a la toma de decisiones en proyectos que involucren el desarrollo de obras de captación de agua de lluvia con el propósito de establecer cultivos en las regiones donde la alta variabilidad en tiempo y espacio de la precipitación pluvial hacen que la agricultura de temporal sea de alto riesgo.

Las técnicas de captación de agua de lluvia constituyen una buena opción al vincularse con los modelos de simulación de parámetros distribuidos y de esta manera detectar áreas con potencial para el desarrollo de sistemas de captación; la metodología permite hacer la investigación más eficiente y dirigida con el mínimo costo y de igual manera es necesario realizar análisis de confiabilidad de la base de datos tanto del clima como del suelo que son los principales parámetros que requiere el modelo de simulación; todo ello con la finalidad de obtener una base de datos confiable extraída del modelo; ya que los modelos de simulación son tan confiables como confiable sea la estructura de la base de datos.

Las bondades del GIS en su integración al modelado de procesos hidrológicos son cuantiosas. La principal ventaja con respecto a procedimientos convencionales es que el manejo de base de datos es simultáneo sobre extensas áreas.

Los resultados son presentados en forma de capas o niveles en mapas para su observación directa en pantalla. Este procedimiento es de invaluable ayuda en la toma de decisiones dentro de modelos integrados de manejo.

LITERATURA CITADA

- Arteaga, R. R. y M. Vázquez, 1997. Análisis probabilístico de la lluvia con fines de planeación In: IV Reunión Nacional Sobre Sistemas de Captación de Agua de Lluvia. Torreón, Coah. México.
- Sánchez C., I. y L.M. Tiscareño; 1991. Modelación y simulación estocástica de procesos hidrológicos para Sistemas de Información Geográfica. INIFAP-CENID-RASPA; Gómez Palacio; Dgo.
- Sánchez C., I., y L.M. Díaz, 1990. Aprovechamiento integral del agua de lluvia en zonas de temporal. Informe de Investigación, CENID-RASPA, 5(III), 359-378.
- Sánchez C., I. 1991. Cosecha de agua de lluvia *In situ* una alternativa para zonas de escaso y errático régimen pluvial. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo Delegación Laguna. Publicación No. 7. Serie Temas Didácticos.
- Sánchez C., I. 1994. Evaluating strip farming systems for arid ecosystems – a stochastic approach, PhD dissertation, Univ. of Arizona, Tucson, Ariz.
- Sánchez C., I.; V. L. López; D. C. Slack y M. M. Fogel. 1997. Water balance Model for Small-Scale Water Harvesting Systems. Journal of Irrigation and Drainage. Engineer inj., Vol. 123, No. 2. p. 123-128.