

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ

Instituto de Arquitectura Diseño y Arte

**ORDENAMIENTO TERRITORIAL COMUNITARIO PARA EL
APROVECHAMIENTO HIDROLÓGICO EN COLONIA CUSIHUIRIACHI.**

Proyecto de titulación que presenta:

Emmanuel González Aragón

Como requisito parcial para obtener el grado de

Licenciado en Geoinformática

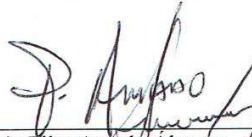
Cd. Cuauhtémoc, Chih.

Mayo de 2014

Este proyecto de titulación fue *aceptado* por el comité revisor designado por la academia del programa de Geoinformática de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, como requisito parcial para optar por el grado de *Licenciado en Geoinformática*.



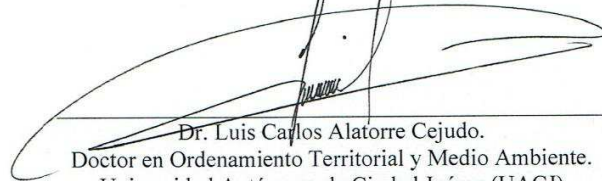
Luis Carlos Bravo Peña
Doctor en Ciencias opción en Desarrollo Regional
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ)
Director del Proyecto de Titulación



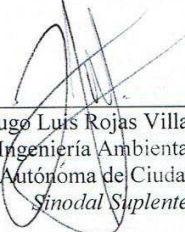
Dr. Jesús Pilar Amado Álvarez.
Doctor Hidrociencia.
Subdirector de Proyecto de Titulación.



Lara Cecilia Wiebe Quintana
Maestra en Ciencias en Ingeniería Electrónica
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ)
Sinodal Titular



Dr. Luis Carlos Alatorre Cejudo.
Doctor en Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente.
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ)
Sinodal Titular.



Hugo Luis Rojas Villalobos
Maestro en Ingeniería Ambiental y Ecosistemas
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ)
Sinodal Suplente

Mayo de 2014

Dedicatoria.

A mis padres.

Por todo su apoyo durante todos estos años de mi formación.

Por darme aliento en los momentos en los que quería tirar la toalla,

Por todo muchas gracias.

A mis hermas y sobrinos.

Por darme la oportunidad de disfrutar de las mejores

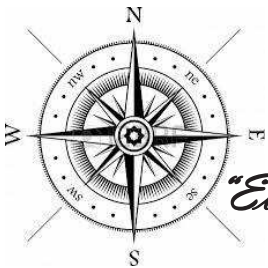
Hermanas, por apoyarme durante estos años, cada momento

Que nos ha conformado como una familia.

A mi novia.

Por todo su apoyo durante estos años por enseñarme a esforzarme al

máximo en todo lo que ago.



"El hombre nunca sabe de qué es capaz hasta que lo intenta"

• Charles Dickens •

Agradecimientos

En primera instancia a mi director de tesis, el doctor Luis Carlos Brano por todo su apoyo durante la el tiempo dentro de mi formación académica, por sus consejos y su gran esfuerzo para que este proyecto se realizara con éxito.

A mi cuerpo de sinodales y sub director el doctor Jesús Pilar Amado, maestra Lara Wiebe, doctor Luis Carlos Alatorre, maestro Hugo Rojas, por sus aportaciones durante mi estancia como alumno.

Al maestro Antonio Villalobos por su apoyo en todo momento. a mis amigos que son muchos y por no olvidar alguno lo dedico en general, gracias ya que durante este tiempo aprendimos tantas experiencias juntas .

A todos ustedes que hicieron posible esto muchas gracias...

Ordenamiento territorial comunitario para el aprovechamiento hidrológico en Colonia Cusihuirichi.

Emmanuel GONZALEZ ARAGON^a,

^a Estudiante de la Licenciatura en Geoinformática, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, División Multidisciplinaria Cuauhtémoc, email: gonzalezemmanuel@live.com.mx

RESUMEN

La escasez de agua en Chihuahua constituye una problemática muy severa. Esta se agrava por la ausencia de planificación hidrológica, en particular para la construcción de obras que permitan la captación superficial de los escurrimientos, y su posterior uso en diversas actividades humanas. Con base en lo anterior, en este trabajo se localizaron zonas con potencial para la creación de represas o embalses de captación de agua superficial, en los terrenos de la Colonia Agrícola Cusihuirichi Chihuahua, con base en una evaluación multi-criterio, que incorpora los conocimientos de los habitantes

rurales en la selección de variables importantes para la ubicación de represas, a fin de minimizar costos, y hacer eficiente el uso del agua superficial. El trabajo explorara el potencial de utilización de los conocimientos empíricos de los pobladores rurales en la selección de sitios para la ubicación de embalses y provee un mapa de zonas con potencial para la captación de agua superficial.

Palabras clave: Planificación hidrológica, evaluación multi-criterio, potencial para la creación de represas y embalses, conocimiento de los habitantes.

Community land management for hydrological use in Colony Cusihuirichi.

ABSTRACT

Water scarcity in Chihuahua is a very severe problem. This is compounded by the lack of water planning, particularly for the construction of works to allow surface runoff capture and reuse in various human activities. Based on the above, in these work areas with potential for building dams or reservoirs to capture surface water, in the grounds of the agricultural community in Cusihuirichi Chihuahua, it is also based on a multi-criteria evaluation that incorporates knowledge. Located of rural inhabitants in the selection of important variables for the Location of dam to minimize costs, and make use of surface

water more efficiently. The work explored the potential of using empirical knowledge of rural people in the selection of sites for the location of reservoirs and provides a map of areas with potential for surface water catchment.

Keywords: Water planning, multi-criteria evaluation, the potential for creating dam and reservoirs, knowledge of the inhabitants.

1. Introducción.

El efecto devastador que recurrentemente causan las sequías, en diferentes partes del mundo, es motivo de alarma y preocupación entre la población y sus

gobernantes. Sin embargo, el estado de alerta persiste poco tiempo (Sivakumar, 1992). La problemática de falta y escasez de agua, es cada día más preocupante en el contexto económico y social (Castillo, 2007). El agua, en un contexto económico y social, implica un factor de mucha importancia debido a que la mayoría de las actividades económicas y diarias de la sociedad requieren de su uso. En el caso de las actividades económicas, como la agricultura y la ganadería, constituye un factor que otorga viabilidad a estas actividades en las diversas economías mundiales.

El estado de Chihuahua destaca en la República Mexicana, como una de las entidades con mayor producción agrícola y ganadera (SEMARNAT, 2004). Dichas actividades incorporan el agua como un insumo productivo, por lo que se han visto afectadas severamente por las sequías recientes. La dependencia de este recurso y las condiciones hidrometeorológicas imperantes, han favorecido la sobreexplotación de los recursos hídricos del estado (Cortés, 2009).

Esta sobreexplotación, hace necesario el desarrollo de estudios que permitan identificar sitios óptimos para la cosecha de agua superficial, a fin de reducir la presión que se ejerce sobre los recursos hídricos del subsuelo, y sostener el desarrollo de las actividades humanas actuales que dependen de estos (agricultura, ganadería, industria, consumo urbano, etc.). La construcción de embalses y repesos, constituye una alternativa viable para asegurar una reserva de agua (Adler, 2006), pero estos deben ubicarse en sitios que sean viables

desde una perspectiva económica, ingenieril, y ambiental.

En relación a lo anterior, se han desarrollado modelos geo-informáticos de evaluación territorial, basados en sistemas de información geográfica (SIG) y técnicas de evaluación multicriterio (EMC), para la selección de sitios con potencial de cosecha de agua (Aguilar et al., 2010). Estos modelos involucran el manejo de información cartográfica relativa a variables físicas como la altitud, pendiente, textura del suelo, cobertura vegetal, y morfometría de cuencas. La aplicación de estos modelos en contextos geográficos específicos, permite la ubicación de sitios óptimos, mediante ejercicios de bajo costo, y en tiempos muy rápidos. Modelos de este tipo podrían aplicarse en regiones como el noroeste de México específicamente el estado de Chihuahua, donde las condiciones de precipitación, altamente recurrencia de sequías y fuerte dependencia de las actividades agropecuarias, demandan con urgencia la búsqueda de alternativas de abastecimiento en el corto plazo.

Un ejemplo de esta situación en Chihuahua, se observa en la Colonia Agrícola Cusihuirachi, pues al igual que otras en el estado, padece un severo problema de escases de agua, en particular durante los últimos años. Para mitigar esta situación los habitantes del poblado han requerido comprar agua de fuentes externas, a fin de abastecer las necesidades agropecuarias locales, como fue el caso del verano del año 2012 (Giner et al., 2012).

Los habitantes de esta localidad sugieren que una solución posible a sus problemas, es la construcción de un repeso para la

retención de agua superficial, pero que no cuentan con recursos para financiar un estudio de corte ingenieril que identifique los mejores sitios para una obra de esta naturaleza, ni para caracterizar las variables físicas que deben considerarse en esta selección (topografía, morfometría de las cuencas de drenaje, geología, tipo de suelo, cubierta vegetal, etc.) Ante esta situación es necesario proponer alternativas viables, ya probadas en otros escenarios para la identificación de sitios óptimos, y para la caracterización de las variables más importantes en la selección de estos. Entre estas alternativas, destaca la provista por los SIG's, que permiten el procesamiento de información geográfica, la caracterización de las variables antedichas, y la selección de los lugares idóneos.

Esta forma de abordar el problema, desde una perspectiva geoespacial, se fortalece, al tomar en cuenta los conocimientos de los habitantes locales, por cuyos antecedentes e historia de vida, poseen conocimientos empíricos para la selección de sitios con potencial de cosecha de agua superficial.

Con base en los elementos anteriores, en el trabajo que aquí se presenta se evaluó la aptitud de los terrenos pertenecientes a la Colonia Agrícola Cusihuiachi, para la habilitación de represas u obras de ingeniería que permitan la cosecha de agua superficial. El trabajo se realizó desde un enfoque geo-espacial, mediante la implementación de un modelo de EMC para la selección de sitios con potencial para la habilitación de estas obras. Dicho modelo, permitió incorporar información geográfica a distintas escalas, útiles para el estudio, y datos e información provista por los pobladores de la Colonia.

El *Objetivo general* de la investigación fue construir una cartografía de áreas con potencial para aprovechamiento hidrológico superficial, mediante el uso de técnicas de evaluación multi-criterio y la generación de capas cartográficas, que incorporaran el conocimiento empírico de los habitantes locales. Todo esto realizado en una plataforma de SIG's.

Los Objetivos específicos para el logro de este objetivo general fueron:

1. Identificar las variables del medio físico o del medio social más importantes, en la ubicación de zonas con potencial para cosecha de agua, para los habitantes

2. Traducir las variables anteriores a capas cartográficas, incorporando técnicas y conocimientos de geoinformática, para darle sentido y validez cartográfica y estadística.

3. Ponderar y evaluar las capas cartográficas anteriores mediante técnicas de evaluación multi-criterio.

2. Área de estudio.

La Colonia Agrícola Cusihuiachi se encuentra ubicada en el municipio de Cusihuiachi, parte central de Chihuahua, México, además está inmersa en la sub-cuenca Laguna de los Mexicanos (680 km²), y forma parte de tres micro-cuencas contenidas en esta: 1) Arroyo de los Charcos 2) Arroyo del Terrero y 3) Arroyo del Chato (Figura 1 A,B y C).

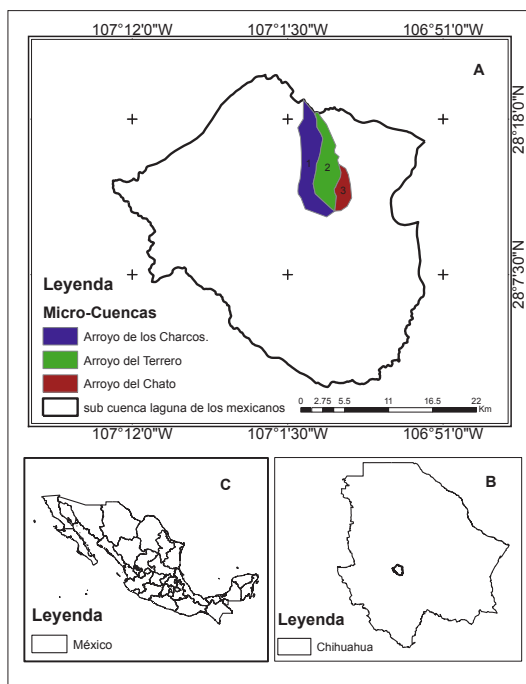


Figura 1. Área de estudio macro localización.

Las micro-cuencas señaladas anteriormente, tienen extensiones territoriales que van de 1.5 a 16.01 km² (Tabla1), y alimentan las escorrentías que pasan por esta Colonia Agrícola (Figura 2 A).

Tabla 1 Área de cada una de las micro-cuencas e identificación.

Micro-cuenca	Área	Nombre
1	11.77 km ²	Arroyo los Charcos.
2	16.01 km ²	Arroyo del Terrero.

3	1.57 km ²	Arroyo del Chato.
---	----------------------	-------------------

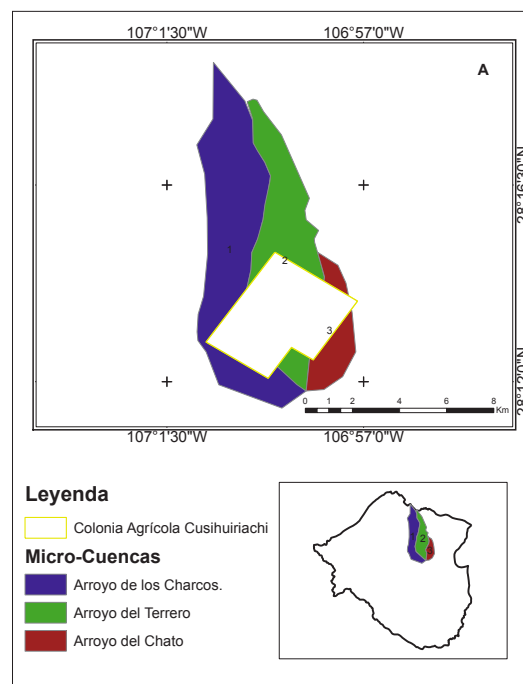


Figura 1 Área de estudio micro localización. Todas las micro-cuencas drenan sus aguas superficiales a la Laguna de Los Mexicanos, cuerpo de agua superficial de carácter estacional, sin ser aprovechadas por los habitantes de la Colonia Agrícola. La Colonia Agrícola comprende una superficie de 1,550 has, caracterizadas por un relieve de lomeríos y llanura, sujetas a distintos usos de carácter agropecuario. Sus terrenos de la Colonia se ubican a una altura promedio de 2,140 metros sobre el nivel del mar. En cuanto a precipitación, la media anual es de 415.7 mm, y se observa un clima semiseco templado, con una temperatura media anual de 14.6⁰C a lo largo del año (CONAGUA, 2010). Estas condiciones fisico-climáticas brindan a la Colonia un elevado potencial para el desarrollo de las

actividades agropecuarias, pero estas actividades se enfrentan constantemente a la escasez de agua superficial.

3. Materiales y métodos.

3.1 Procesos de levantamiento de datos y evaluación multi-criterio. Para el objetivo, información del medio social.

El desarrollo de este estudio involucró una aproximación al problema de trabajo a dos escalas o fases, macro y micro. En la primera escala (macro), se realizó la caracterización morfométrica las micro-cuencas y de las escorrentías superficiales que atraviesan los terrenos de la Colonia Agrícola Cusihuiriachi. Además de la morfometría, estas micro-cuencas fueron también caracterizadas en términos del tipo de suelo y pendientes del terreno, variables que a escala macro aportan una primera idea sobre el potencial para construcción o habilitación de infraestructura para la captación de agua superficial.

En la escala o fase micro, delimitada por el polígono de tenencia de la tierra correspondiente a Colonia Cusihuiriachi, se generaron datos relativos a la aptitud de los sitios con potencial para la captación superficial ubicados a la salida o zonas de emisión de las micro-cuencas caracterizadas en la fase anterior. Esto mediante la consideración de variables físicas importantes a la escala de sitio, desde una perspectiva ingenieril, y la consideración de información adicional levantada a partir de entrevistas a los pobladores de la Colonia (Anexo 1), y su traducción a capas cartográficas.

La información levantada en ambas escalas se procesó y analizó en cada caso por medio de la técnica de la sumatoria

lineal ponderada (Voogd, 1983), (Fórmula 1), tanto a nivel macro como a nivel micro.

$$I = \sum_{j=1}^n W_j X_{ij}$$

Siendo I el índice de susceptibilidad, w_j el peso del factor j, y x_{ij} el peso de la clase i del factor j.

3.2 Descripción de la Fase o escala macro

En la fase macro se caracterizaron las variables que afectan la escorrentía superficial. Para ello, se delimitaron las tres micro-cuencas consideradas en el trabajo, con base en las curvas de nivel, la red hidrográfica de INEGI (2014) y mediante la metodología propuesta por Ayra (2012), la cual se basa en dos pasos:

1. Identificar y cartografiar la red de drenaje del área.
2. Delimitar el parteaguas de las mismas a partir de la identificación de las divisorias de aguas, en base a las curvas de nivel.

A partir de este método se generó el polígono correspondiente a cada una de las tres micro-cuencas (Figura 2). Una vez definidos los polígonos de las micro-cuencas, se calcularon los siguientes factores para cada una de ellas: a) el volumen de captación potencial de agua, a partir de la precipitación, despreciando evaporación e infiltración; b) los parámetros morfométricos que influyen en la escorrentía superficial, y que determinan la capacidad de escurrimiento; c) la distribución espacial y los valores promedio ponderados de variables como la pendiente, y la textura de suelo. Estos factores fueron ordenados de acuerdo a la

importancia para la selección de micro-cuencas susceptibles de albergar un represo, de acuerdo a la ponderación que se indica en la Tabla 2.

Tabla 2. Ponderación de factores en la escala macro.

Factor	Ponderación
Captación potencial de agua.	6
Densidad de drenaje.	4
Índice de Gravelius.	2
Relación de bifurcación.	1
Pendiente.	3
Textura del suelo.	5

Las ponderaciones se obtuvieron, o definieron a partir de la revisión de casos específicos en literatura especializada (Gonzalez, 2013). En los párrafos siguientes se describe cada uno de los elementos anteriores.

3.2.1 Captación potencial de agua.

Este factor se calculó a partir de promediar los valores de precipitación anual, correspondientes al mapa provisto por Téllez (2011), que tiene los valores de precipitación interpolados para todo México, en una malla de 1 km por 1 km. Se siguió el procedimiento propuesto por Méndez (2013), despreciando evaporación e infiltración, porque estos factores implican el conocimiento de una serie de parámetros adicionales, cuyo cálculo escapa a los objetivos de este trabajo.

3.2.2 Densidad de drenaje.

Este factor describe la longitud de las corrientes de escurrimiento superficial, por un área determinada (González, 2013). La densidad de drenaje se calculó a partir de la sumatoria de la longitud de todas las corrientes, que están dentro de cada una de las micro-cuencas, entre el área de las mismas, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$Dd = \sum Li/A$$

Donde:

Dd= Densidad de drenaje Km/ Km²

$\sum Li$ = Sumatoria de longitud de corrientes en Km

A= Área dada en Km²

El factor de densidad de drenaje ayuda a definir los efectos y rapidez con los que el sistema de corrientes drena los escurrimientos de la micro-cuenca (González, 2013), y permite establecer cuál de estas cuenta con una mejor respuesta a la precipitación. Cuanto más rápida la respuesta, existen menos pérdidas por infiltración o evaporación.

3.2.3 Índice de Gravelius.

Este índice permitió determinar la figura de las micro-cuencas a partir de la siguiente fórmula:

$$K = \frac{P}{2\sqrt{\pi + AC}}$$

Donde:

K= Coeficiente de Compacidad,

P = perímetro en km.

Ac = área de la Cuenca en km².

En esta ecuación el valor de K oscila

En teoría, en la medida que la forma de la micro-cuenca se parezca a un círculo perfecto, su valor se aproximará a 1, y mejor será su respuesta a la precipitación (González, 2004). Cuencas más alargadas tienen respuestas más lentas, lo que favorece pérdidas del agua escurrida. , Partiendo de este principio, valores del índice de Gravelius cercanos a la unidad en indican una mejor respuesta a un evento de precipitación.

3.2.4 Relación de bifurcación.

La relación de bifurcación establece la razón entre el número de cauces de orden “i” y los de orden “i+1” (Horton, 1945). Al igual que en el caso anterior, este parámetro se vincula con la velocidad y eficiencia de respuesta de las micro-cuencas frente a un evento de precipitación. Sistemas de drenaje desarrollados, con más bifurcaciones que sistemas de drenaje poco desarrollados, tienen una respuesta más eficiente y rápida. Por otra parte, son más diversos en términos geo-ecológicos (González, 2013), pues la diversidad de sustratos propicia la bifurcación de las corrientes.

Este parámetro se calculó con la siguiente fórmula:

$$R_b = N_i / (N_{i+1})$$

Donde:

R_b = Relación de bifurcación.

N_i = Numero de corrientes de orden i.

N_{i+1} = Numero de corrientes del orden inmediato superior.

En cada micro-cuenca se obtuvieron los valores de bifurcación para cada orden de corrientes, promediándose al final por

micro-cuenca, para obtener un valor promedio.

3.2.5 Pendiente.

El relieve es la configuración física de la superficie de la tierra, incluyendo las irregularidades (elevaciones y depresiones) al considerarlas en su conjunto. El relieve es consecuencia de los procesos de meteorización que actúan sobre los materiales geológicos, y es considerando como factor formador del suelo (Silva, 2007).

Una de las varias características más importantes del relieve es la pendiente, pues esta modifica las condiciones del suelo como el drenaje, la infiltración, la profundidad, la susceptibilidad a la erosión, y las acumulaciones materiales, etc. (Fausac, 2004). Partiendo de su importancia para efectos de respuesta hidrológica, en este estudio se clasificó a la pendiente en tres clases (Koolhaas, 2011), que van desde poco buenas (0° a 5°), medianamente buenas (5° a 10°), y muy buenas, mayores a 10° . A mayor pendiente el tiempo de respuesta de una cuenca es menor, por lo que esta clasificación ayuda a determinar que micro-cuenca tendrá una mejor respuesta a la precipitación.

3.2.6 Textura del suelo.

Los suelos son una mezcla de partículas minerales y materia orgánica de diferentes formas y tamaño, su distribución por tamaño, considerándolos esféricas, se denomina textura (Bienes, 1996).

La textura del suelo es un factor muy importante a tomar en cuenta al momento de realizar un análisis del potencial hidrológico. En este estudio se consideró a

la textura del suelo en cada micro-cuenca, para definir su capacidad potencial de generar una escorrentía. En este caso se parte del supuesto de que a partículas más gruesas menor escorrentía, sucediendo lo contrario en el caso de partículas finas. La textura se obtuvo de la cartografía de INEGI disponible para la zona, subdividida en tres clases texturales, como se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3 Valores texturales.

Valor	Textura
1	Fina.
2	Media.
3	Gruesa.

3.3 Fase o escala micro

3.3.1. Levantamiento de entrevistas.

En esta fase se levantó una encuesta entre 23 pobladores locales o habitantes de la Colonia, considerando los siguientes parámetros para la selección de la muestra: a) que fuera habitante o propietario de terrenos en la Colonia Agrícola, y B) que fuera mayor de edad y trabajara directamente la tierra. En las encuestas se levantó información sobre los siguientes factores, a considerar para la selección de sitios con potencial: a) las variables físicas que en opinión de estos pobladores serían más importantes para la construcción de un represo (pedregosidad del suelo, tipo de suelo, pendiente, y acceso al sitio) b) La zona que en opinión de los pobladores locales tiene más potencial para construir un represo, c) el tamaño del ható ganadero que este podría beneficiar, d) elementos de valor o cultural o social a tomar en cuenta para la selección de un sitio. Estos factores

se describen con mayor detalle en el anexo 1.

En las entrevistas también se validó información cartográfica utilizada en la fase macro, como textura del suelo. Adicionalmente, se levantó información acerca de represas existentes en desuso, a fin de identificar las causas del abandono, y la posibilidad de traducir esta información a capas cartográficas.

3.3.2. Factores físicos considerados en la escala micro.

Puesto que en las entrevistas se identificó la importancia de las condiciones de permeabilidad de los pisos de represo, en la escala micro se consideraron los porcentajes de arcilla y arena, pues definen la permeabilidad del piso de los sitios con potencial de habilitarse con una obra de este tipo. En este caso se incluyeron a partir de un razonamiento distinto al utilizado en la escala macro, pues en aquel caso los elementos considerados se identifican la velocidad de respuesta de las micro-cuencas a la precipitación, mientras que en este evalúan el potencial de almacenar agua, evitando fugas, en el sitio seleccionado.

Estos factores se determinaron directamente en campo, mediante la toma de muestras en 12 sitios, por triplicado, y su análisis granulométrico en laboratorio. Este muestreo fue del tipo aleatorio estratificado (Ebdon, 1982), considerando los estratos como las diferencias de color de suelo en campo. Los resultados de este proceso se indican en el anexo 2.

La ponderación de estos se muestra en la (tabla 4).

Tabla 4 . Ponderación de factores a escala micro.

Factor	Ponderación
Porcentaje de arcilla.	2
Porcentaje de arena.	1

3.4 Reclasificación para la ponderación de los valores a escala macro y micro.

Cada uno de los factores evaluados y caracterizados en ambas escalas, fue subdividido en 3 rangos, con base en su valor mínimo y máximo, y su idoneidad para la instalación un represo, conforme se muestra en la (tabla5).

Tabla 5 Reclasificación para la ponderación de los valores a escala macro y micro.

Escala	Factor	Alto	Medio	Bajo
Macro	Captación potencial de agua (m³/km²).	63866084.66 - 95438812.00	32293357.33 - 63866084.66	720630.00 - 32293357.33
	Densidad de drenaje (km/km²)	2.5 – 3.5	1.5 – 2.5	0 – 1.5
	Índice de Gravelius.	0 – 1	1 – 2	2 – 3
	Relación de bifurcación.	Mayor a 2	1 - 2	Menor a 1
	Pendiente (Grados °).	Mayor a 10	5 - 10	Menor a 5
	Tamaño de partícula del suelo (Fina,Media,Gruesa).	1	2	3
Micro	Porcentaje de arcilla %	Mayor a 50	25-50	0-25
	Porcentaje de arena	Menor a 25	25-50	Mayor a 50

Con estos valores se llenó una ficha descriptiva para cada sitio, en la que se vacían los datos a nivel de micro-cuenca,

y a nivel de área potencial para represo, en el punto de emisión de la misma. Luego, cada factor fue multiplicado por su peso, y

sumado al valor resultante de los factores restantes, como se indica en la metodología de la sumatoria lineal ponderada. Con esto se obtuvo un valor agregado para cada micro-cuenca, y por cada sitio con potencial de retención de agua superficial.

3.5 Estandarización de los valores agregados. Ajuste a una distribución Z.

En cada caso, a nivel micro, y a nivel macro, los valores agregados se transformaron a una distribución Z, con la finalidad de poder subdividir los valores obtenidos, en rangos de aptitud con significado estadístico. Esta operación implica convertir los valores agregados a un valor de Z teórico, que indica la posición relativa de este valor respecto a una media teórica, con base en la siguiente fórmula (Ebdon, 1982) (Fórmula 4.).

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

Donde:

μ = Media de los valores de la población.

x = Valor que toma la observación.

σ = Desviación estándar.

Los valores de Z teóricos muestran la dirección y el grado en el que un valor individual obtenido se aleja de la media en número de desviaciones estándar (DS) (Hernández, 2010). De acuerdo a esto, valores a 1.96 DS a la derecha de la media, o de -1.96 DS a la izquierda, corresponden a excelentes o malas condiciones para instalar el represo respectivamente. Esta evaluación se hace a nivel de micro-cuenca, para diferenciar cuál de ellas tiene más potencial (escala macro), y en qué lugar dentro de estas, las condiciones son más apropiadas (escala micro). Cabe decir que la técnica de estandarización Z se ha utilizado profusamente en diversos ejercicios de evaluación territorial en México. (Almada et al, 2000; Espejel et al., 2004; Rimircom-INE, 2000 y 2002; INE, 2003).

4. Resultados y discusión.

4.1. A Escala macro. Valores de los diferentes índices.

Los valores obtenidos para los diferentes parámetros calculados en la fase macro se indican en la Tabla 6.

Tabla 6 Valores de los diferentes índices.

Factor	Micro-cuenca 1(Arroyo Charcos).	Micro-cuenca 2 (Arroyo del Terrero).	Micro-cuenca 3 (Arroyo del Chato).
Captación de agua superficial. (m³ totales por micro-cuenca, considerando el promedio de PP y el área de la misma).	5,045,799	95,438,812	720,630

Densidad de drenaje. (km/km²)	2.52	2.37	3.61
Índice de Gravelius.	2.70	1.81	1.53
Relación de bifurcación.	1.2	2.86	2.0
Pendiente media. (Grados °).	1.7	3.4	1
Tamaño de partícula del suelo. (Fina, Media, Gruesa).	2.4	2.15	2.02

4.1.1 Valores de captación potencial de agua superficial.

Se obtuvieron valores de captación de agua superficial de cada una de las tres micro-cuencas. Dichos valores oscilan entre los 720,630 m³ totales. y 95,438,812 m³ totales. La micro-cuenca 2 obtuvo el valor más alto mientras que la micro-cuenca 1 y 3 tuvieron los valores más bajos. Estos en relación al área de cada micro-cuenca. Cabe recordar que para el cálculo de este factor, se ha despreciado la evaporación y la infiltración.

4.1.2 Valores de densidad de drenaje.

La densidad de drenaje por micro-cuenca, osciló entre 2.3 y 3.6 km/km². La micro-cuenca 3 tuvo el valor más alto, alcanzando 3.6 km/km². El valor más bajo se obtuvo por la micro-cuenca 2, con 2.37 km/km².

Estos valores aportan una idea de los efectos y rapidez con los que el sistema de corrientes drena los escurrimientos de cada micro-cuenca. Las magnitudes de este parámetro, sugieren que en el caso del área de estudio, la micro-cuenca 3 tiene una respuesta más rápida que las otras

frente a un evento de precipitación, permitiendo la escorrentía a los sitios potenciales de captación en un tiempo más corto. Teóricamente, esto a su vez favorece menos pérdidas por evaporación e infiltración.

4.1.3 Valores de índice de Gravelius.

Los valores del índice de Gravelius estuvieron entre 1.5 y 2.7. La micro-cuenca con un valor más elevado fue la micro-cuenca Arroyo de los Charcos con un valor de 2.7, mientras que la micro-cuenca 3 contó con el valor más bajo, que es de 1.53. Estos valores indican que la micro-cuenca 3 tiene mayor velocidad de respuesta frente a la precipitación de acuerdo a su forma geométrica.

4.1.4 Valores de relación de bifurcación.

Los valores obtenidos en la relación de bifurcación, estuvieron en el rango de 1.2 a 2.66. Con el valor más alto en la micro-cuenca 2 (Arroyo del Terrero), y el más bajo en la micro-cuenca 1 (Arroyo de los Charcos), lo cual sugiere que la micro-cuenca dos obtuvo el mejor valor en este parámetro. La bibliografía indica que los valores generalmente oscilan entre 3 y 5,

siendo valores mayores característicos de cuencas muy inestables geológica y geomorfológicamente, pues se bifurcan con facilidad (González, 2013).

4.1.5 Valores de pendiente.

La pendiente media obtenida para cada una de las microcuencas mostraron valores que van desde 1° a 3.4° con diferencias pequeñas de una micro-cuenca a otra. Esto se debe a que el área de estudio es muy chica, por lo que son muy similares las características.

4.1.6 Valores de textura del suelo para escurrimiento superficial. Los valores obtenidos en la textura del suelo, estuvieron en el rango de 2.a 2.4 lo cual indica que no se cuenta con un valor promedio textural óptimo, cercano a 1, correspondiente suelos finos.

4.2 Aplicación del modelo de sumatoria

lineal ponderada y cálculo del valor de aptitud para repeso por micro-cuenca. Los valores anteriores por micro-cuenca, se reclasificaron con base en el esquema de aptitud mostrado en la tabla 5, y se incorporaron al modelo de sumatoria lineal ponderada mencionado en la sección de métodos. En este caso, como se indicó en los párrafos precedentes, esto se hizo considerando el orden de ponderación mostrado la Tabla 2. A su vez estos fueron estandarizados mediante la técnica de transformación Z. Los resultados obtenidos de las operaciones anteriores se muestran en la Tabla 7 y Figura 3:

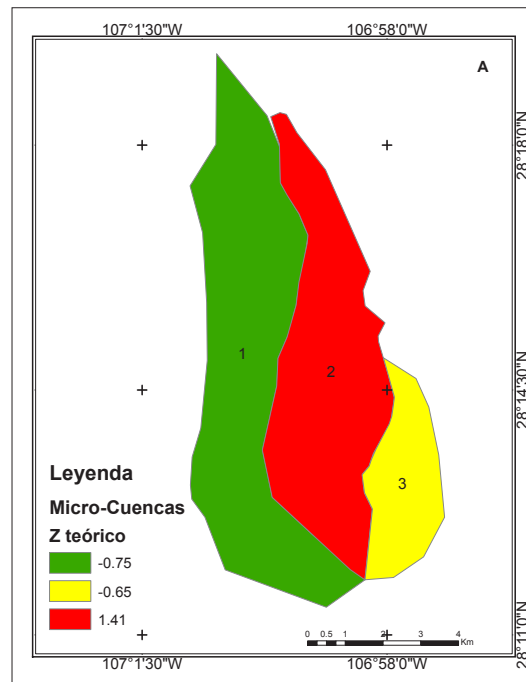


Figura 2 Valores de Z a nivel macro.

Los resultados obtenidos sugieren a la micro-cuenca dos, como la micro-cuenca de mayor aptitud para la habilitación de un repeso que permita captar los escurrimientos superficiales. Por el contrario, las micro-cuencas 1 y 3 alcanzaron valores menores, lo que indica menor aptitud para este propósito.

Tabla 7 Valores de sumatoria lineal ponderada y Z teórico a nivel macro.

Factor	Micro-cuenca 1 (Arroyo los Charcos).	Micro-cuenca 2 (Arroyo del Terrero).	Micro-cuenca 3 (Arroyo del Chato).
Valor Sumatoria	9.8	16	10.1
Valor Z	-0.75	1.41	-0.65

Puesto en términos de valores de Z, ninguna cuenca resultó con aptitud extraordinaria para la habilitación de una obra de captación de agua superficial (todas están entre -1.96 y 1.96 DS a ambos lados de la media), pero la micro-cuenca dos, se aleja, notoriamente más que las

otras, con valor positivo. Esto indica que, si se pusiera en términos de promedio, ninguna de las tres micro-cuencas es extraordinaria, aunque una de ellas tiene más aptitud para el uso considerado que las demás.

Este resultado se deriva a su vez de los valores alcanzados por los distintos parámetros en cada micro-cuenca, pues la micro-cuenca dos destaca en parámetros que tienen alta ponderación, como la captación de agua superficial, la relación de bifurcación, y la pendiente. Estos aspectos aportan una idea del potencial de cosecha de agua, y a su vez de la velocidad de respuesta de la micro-cuenca frente a un evento de precipitación, lo que es muy importante para evitar fugas por evaporación o infiltración. Cabe decir, que en los valores de los parámetros restantes, no hubo grandes diferencias de una micro-cuenca a otra.

4.3 Resultados obtenidos a nivel micro.

La mayoría de los productores (87%) sugiere que los factores más importantes desde una perspectiva de sitio para la ubicación de un represo son, en orden de importancia: a) el suelo del piso del represo, ya que este evitará la infiltración y fuga al acuífero, b) el tamaño de los hatos ganaderos que podrían abreviar en el mismo; c) el número de personas que podrían beneficiarse de una obra de este tipo y d) la accesibilidad.

También señalaron sitios potenciales para instalar un represo, en base a sus conocimientos empíricos de los terrenos de la Colonia. En particular indicaron 3 zonas, ubicadas en el norte, sur, y centro de los terrenos de la misma (Figura 4). Los resultados de las entrevistas se indican con mayor detalle en el anexo 1.

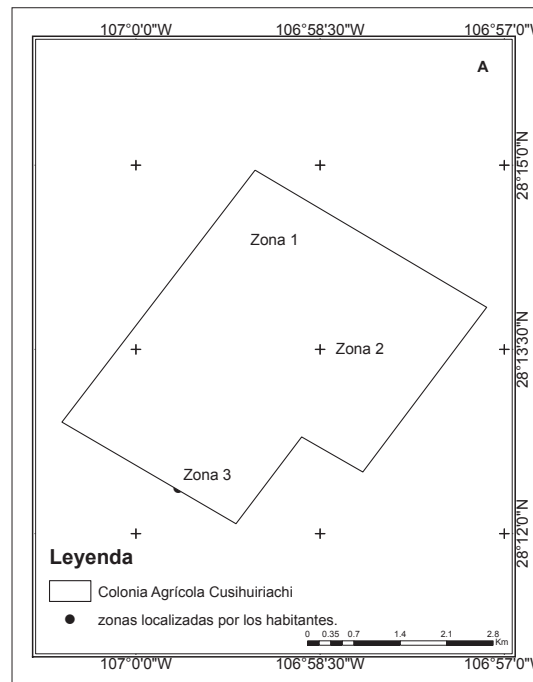


Figura 4 zonas localizadas por los habitantes.

A partir de la información generada en las encuestas, en este trabajo se consideraron aspectos del suelo de piso de represo, específicamente su porcentaje de arena o arcilla; como variables a incluir en el modelo de sumatoria lineal ponderada, a fin de identificar los sitios más apropiados para la instalación de un represo. Las variables como el tamaño de los hatos ganaderos que podrían abreviar en el mismo; el número de personas que podrían beneficiarse de una obra de este tipo y la accesibilidad no se consideraron para el modelo, porque 1) hay inestabilidad en el tamaño del hato de un año a otro, 2) se pueden formular acuerdos internos para equilibrar los beneficios entre los distintos campesinos, aunque sus tierras estén lejos del represo, y 3) los accesos se pueden crear con facilidad, simplemente abriendo nuevas puertas en el cercado que delimita los terrenos de la Colonia.

Excepto los sitios con mayor potencial, identificados en un mapa, no se pudo construir una cartografía a partir de los factores señalados por los pobladores

locales. Esto porque se encontró imprecisión y falta de correspondencia entre información que ellos señalan, como la textura del suelo, y la información de suelos existente para la zona a partir del reconocimiento directo en campo. Esta fue una dificultad importante, aunque debe reconocerse que el ejercicio sirvió para identificar las variables que son más importantes en la escala de sitio. Estas variables deben mapearse por métodos alternos al de la referencia verbal, como se hizo en este caso con el tipo de suelo al generarse información de textura, directamente in situ.

Puesto que a nivel macro la cuenca 2 obtuvo mejor ponderación (más apropiada para represo), a nivel micro se evaluaron 10 puntos en función de su composición de arcilla y arena (Figura 5). Obteniéndose los resultados que se muestran en la Tabla 8.

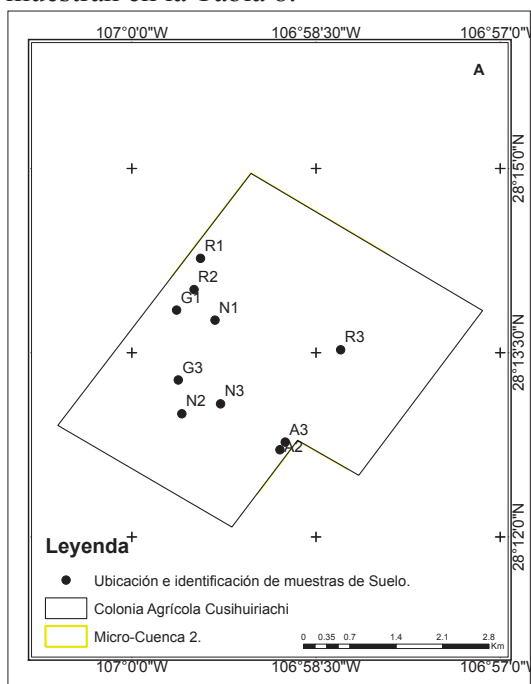


Figura 5 Ubicación e identificación de muestras de Suelo.

Tabla 8 Composición de arcilla y arena, a partir de las muestras.

Muestra	Porcentaje de arena.	Porcentaje de arcilla.
A2	89.58	8.42
A3	85.58	10.42
G1	36.44	39
G3	52.44	29
R1	61.58	24.42
R2	57.58	32.42
R3	47.58	28.42
N1	10.44	71
N2	62.44	27
N3	42.44	39

Estos puntos se incorporaron en el modelo de Evaluación Multicriterio, considerando los pesos y los valores de reclasificación indicados en las tablas 4 y 5. A partir de la aplicación del modelo, se identifica al punto (N1) como el sitio más apropiado para la construcción de un represo.

Tabla 9 Valores se sumatoria lineal ponderada y Z teórico.

Muestra	Valor de sumatoria	Valor de Z teórico.
A2	0	-1.19
A3	0	-1.19
G1	1.5	0.51
G3	1	-0.05
R1	0	-1.19
R2	1	-0.05
R3	1.5	0.51
N1	3	2.21
N2	1	-0.05
N3	1.5	0.51

El sitio seleccionado se ubica en una micro-cuenca apropiada, y a su vez presenta condiciones de permeabilidad que aseguran el almacenamiento del agua. Esto no significa que los otros sitios deban necesariamente descartarse, pero sí que se requerirán mayores gastos para la habilitación de una obra de este tipo.

Pueden requerir de préstamo lateral de tierra, acarreo de esta desde sitios distantes, etc.

Es preciso decir que este resultado se enriquecerá si se hace un reconocimiento ingenieril de mayor detalle, que establezca la altura óptima, la base y la corona de los bordos, en función de las características particulares del sustrato en el sitio seleccionado. En este sentido, el resultado final de este proyecto, auxilia notablemente a la planeación de obras, pues da la pauta para identificar el sitio con características más apropiadas, a partir de sucesivas aproximaciones espaciales. Es después de concluir la valoración en la escala micro, cuando se requiere la participación de un profesional de la ingeniería civil, para que haga el cálculo de costos y de las especificaciones ingenieriles de la obra.

Esto sin duda permite hacer más eficiente el uso de recursos, y abaratar las obras considerando su vida útil futura. Si no se cuenta con una valoración espacial, las obras se planean sin atender el contexto o ubicación geográfica donde estas se van a localizar, y pueden seleccionarse sitios inapropiados para ello. Así, aunque se haga una inversión muy costosa, la obra no necesariamente tendrá el mayor impacto benéfico en términos económicos o sociales. Y quizás ni siquiera la vida útil estimada.

Este último fue el caso de un represo ubicado al interior de los terrenos de la Colonia, que se construyó en un sitio inapropiado al carecer de una evaluación espacial que reconociera el área de construcción desde una perspectiva aérea. Debido a esto, el dique del represo se colapsó al no poder contener los escurrimientos vertidos en un evento de lluvia que duró varias horas (Información derivada de las entrevistas).

6. Conclusiones.

Los resultados de este trabajo permitieron la caracterización de cada una de las micro-cuencas contenidas en la Subcuenca Los Mexicanos, que atraviesan o forman parte de la Colonia Agrícola Cusiuhiriachi. Se identificaron tres micro-cuencas, teniendo una de estas, características más apropiadas para la creación de un represo o embalse que permita la cosecha de agua superficial. Esta corresponde espacialmente a la micro-cuenca 2: Arroyo del Terrero.

En cuanto a las variables de interés para la creación de un represo, estas fueron distintas dependiendo de la escala de análisis. A nivel macro son útiles las variables vinculadas con la morfometría de cuencas (densidad de drenaje, pendiente, índice de Gravelius, Relación de Bifurcación), así como la Captación Potencial de Agua. A nivel micro es determinante la permeabilidad de los sitios con potencial para habilitarse con una obra de este tipo.

En la primera escala se involucran aspectos vinculados con el volumen de agua captada y el tiempo de respuesta de la micro-cuenca, mientras que en la segunda, se involucran aspectos relacionados con la eficiencia del sitio para almacenar el agua captada. Estos criterios determinan a su vez la ponderación de cada factor, en cada escala.

No fue posible incorporar la información señalada por los pobladores locales a capas cartográficas, pues los datos aportados no siempre coinciden con información generada bajo los métodos de la ciencia occidental, como la caracterización de los suelos en laboratorio. Sin embargo puede haber una gran complementariedad entre el levantamiento de datos con los pobladores locales, y la generación de información por otros métodos. En el caso de este trabajo, los datos aportados fueron de

gran apoyo para la selección de las variables más importantes.

Reconociendo la complementariedad anterior, el método puede perfeccionarse en el futuro, con la finalidad de desarrollar procedimientos que permitan la traducción del conocimiento empírico de la gente a capas cartográficas que tengan mayor sentido para la planeación de obras. El trabajar a dos escalas diferentes fue de gran utilidad para la determinación de la zona con mayor potencial para la creación de una obra de retención de agua. Por otra parte, esta zona coincidió espacialmente con la zona que los productores identifican con mayor potencial.

Referencias.

- Adler, F.J. (2004): "Embalse El Cadillar (prov. de Tucumán). Situación actual y futura". CET. Revista de la Fac. de Ciencias Exactas y Tecnología de la Univ. Nac. de Tucumán. N° 25: 48-56.
- Aguilar, N. (2010) Evaluación multicriterio y aptitud agroclimática del cultivo de caña de azúcar en la región de Huasteca (México). Revista Corpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuaria (2010) 11(2), 144-154
- Ayra, M. (12 de 3 de 2012). Procedimiento para Delimitar una Cuenca Hidrográfica o Unidades Hidrográficas. Obtenido de [<http://www.slideshare.net/MIDABA/procedimiento-para-la-delimitacion-cuencas-hidrograficas>]
- Bienes', J. M. (1996). Pérdida de suelo por erosión hídrica: [http://www.magrama.gob.es/es/parques-nacionales-oapn/publicaciones/ecologia_10_06_tcm7-45653.pdf]
- Campos. (1998). Procesos del ciclo hidrológico. UASLP.
- Castillo, R. M. (2007). El agua en el contexto político. Revista Biocenosis.
- Chihuahua, G. D. (s.f.). Obtenido de [http://www.chihuahua.gob.mx/atach2/sdr/canales/Adjuntos/CN_2422CC_3360/agr%C3%ADcultura.pdf]
- CONAGUA (2010). Registro Público de Derechos de Agua, Comisión Nacional del Agua. Recuperado el 15 de Octubre de 2010, de [www.conagua.gob.mx]
- Cortés, I. A. (2009). Problemática del agua en Chihuahua. Recursos Hídricos, 41.
- Ebdon. (1982). Estadística para geógrafos. Vilassar de Mar, Barcelona, España: Oikos-tau.
- Estadística, I. d. (12 de 1 de 2014). [inegi.org.mx.] Obtenido de INEGI: [http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/SIATL/]
- Fausac. (2004). Manual técnico, metodología para la determinación de zonas críticas de recarga hídrica natural. Guatemala. Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 106.
- Geografía, I. N. (2005). INEGI. [<http://www.inegi.org.mx/>]
- Giner, R., Fierro, (2012). Análisis de la problemática de la sequía 2011-2012 y sus efectos en la ganadería y la agricultura de temporal. CONAZA
- González, A. (2004). Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas. Dpto. Geografía, Prehistoria y Arqueología Universidad del País Vasco.
- González, H. (2013). Uso de herramientas informáticas para la caracterización geomorfológica de cuencas hidrográficas. Memorias del III Congreso Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Morelia, 69.
- Hernández. (2010). Metodología de la investigación. McGraw Hill, 299.

- Holguín A. (2004). Chihuahua pasado, presente y futuro. Colección entidades federativas. Tercera edición. Lum K. Los humedales: elemento clave de la respuesta a la crisis del agua. La jornada ecológica. Suplemento de abril. 2005.
- Horton. (1932). Características de drenaje. Transacciones de union geografica de america, 350-361.
- Horton, 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. Bull. Geol. Soc. Am. 56: 275-370
- INEGI. (2011). Panorama Sociodemográfico de México. Obtenido de informacion por identidad Chihuahua: [http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/Chih/Territorio/default.aspx?tema=ME&e=08]
- Almada, F et al (2000), Propuesta de ordenamiento marino del golfo de California, informe técnico final, México, Semarnat.
- INEGI. (12 de 2 de 2014). INEGI. Obtenido de [http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/SIATL/]
- Koolhaas, M. (2011). Canalez [http://www.fagro.edu.uy/~topografia/docs/Canales%20para%20Riego%20y%20Drenaje.pdf]
- Méndez, J. F. (2013). Metodología para la medición de variables hidrometeorológicas que faciliten la implementación de modelos dinámicos de interceptación de lluvia en el contexto Colombiano. Universidad Nacional de Colombia, 174.
- Hernandez, S. M. (2010). [http://www.umar.mx/tesis_HX/TEISIS_UMAR_HUATULCO/HERNANDEZ-MONTES-RI/HERNANDEZ-MONTES-RI.pdf]. Obtenido de Universidad del Mar: [http://www.umar.mx/tesis_HX/TEISIS_UMAR_HUATULCO/HERNANDEZ-MONTES-RI/HERNANDEZ-MONTES-RI.pdf]
- Red Interinstitucional de Manejo Integrado de Recursos Costeros y Marinos (Rimircom) e Instituto Nacional de Ecología (INE) (2000), "Ordenamiento ecológico de la región del golfo de California y Pacífico Norte", informe técnico final.
- Red Interinstitucional de Manejo Integrado de Recursos Costeros y Marinos (Rimircom) e Instituto Nacional de Ecología (INE) (2000), "Ordenamiento ecológico de la región del Golfo de California y Pacífico Norte: ventanas microrregionales", informe técnico final.
- Silva, G. (1998). Hidrología Básica. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia. Facultad.
- Silva, M. (2007). Tesis elaboracion participativa de una metodologia para identificacion de zonas potenciales a recarga hidrica en sub cuencas hidrograficas. Escuela de posgrado centro agronomico tropical de investigacion.
- Sivakumar. (1992). El cambio climático y sus implicaciones para la agricultura en Níger. Cambio Climático, vol., pp. 297-312.
- Téllez, O. (2011). Desarrollo de coberturas digitales climáticas para México. Cambio Climático.
- Voogd, H., (1983). Evaluación Multicriterio para la planificación urbana y regional, Londres PP. 391-405

ANEXO 1.

Encuesta realizada a los pobladores de colonia Cusihiuriachi. Esto se realizó mediante una reunión que se realiza por ellos cada primer domingo del mes, en este caso se realizó el primer domingo del mes de diciembre con una plática anteriormente.

Tomando en cuenta algunas preguntas que nos ayudaron a determinar las variables a considerar en nuestro estudio.



Nombre _____

Edad _____

Lugar de residencia _____

Trabaja Ud. directamente la tierra _____

Desde cuándo _____

Tiene ganado _____

Cuántas cabezas _____

Si Ud. escogiera un lugar para construir un represo cual es el sitio que más le beneficiaría _____

Porque _____

Suelo _____

Pendiente del terreno _____

Distancia al camino _____

Pedregosidad del terreno _____

Que uso le daría _____

Otras características que Ud. considere importantes _____

Si Ud. escogiera un lugar para construir un represo que beneficie a toda la colonia _____

Porque _____

Suelo _____

Pendiente del terreno_____

Distancia al camino_____

Otras características que considere Ud.

Importantes_____

Pedregosidad del terreno_____

Que uso le daría_____

(Opcional)

Qué problema es más importante para la construcción de un
represo_____

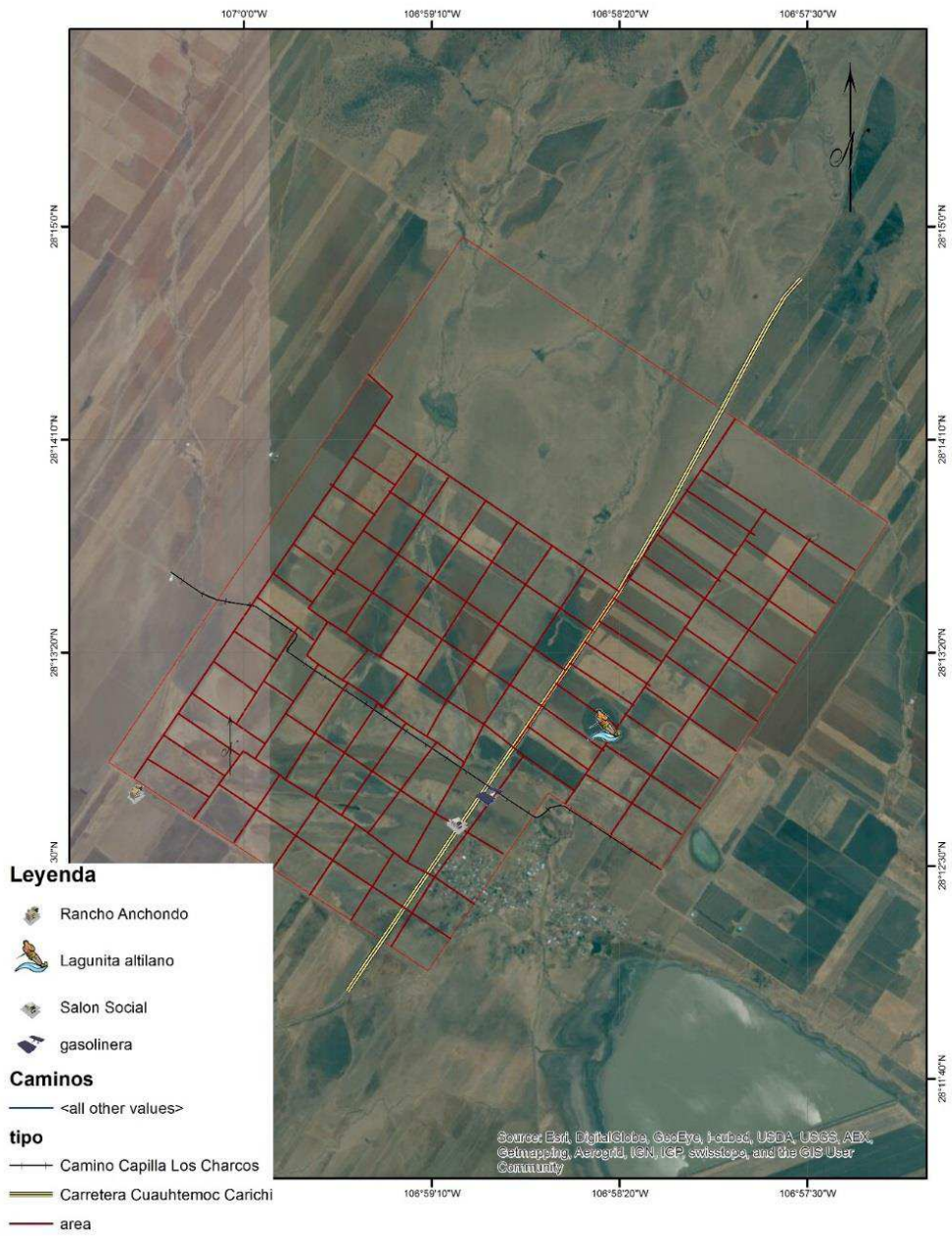
Lo considere bueno o malo_____

porque_____

Comentarios_____

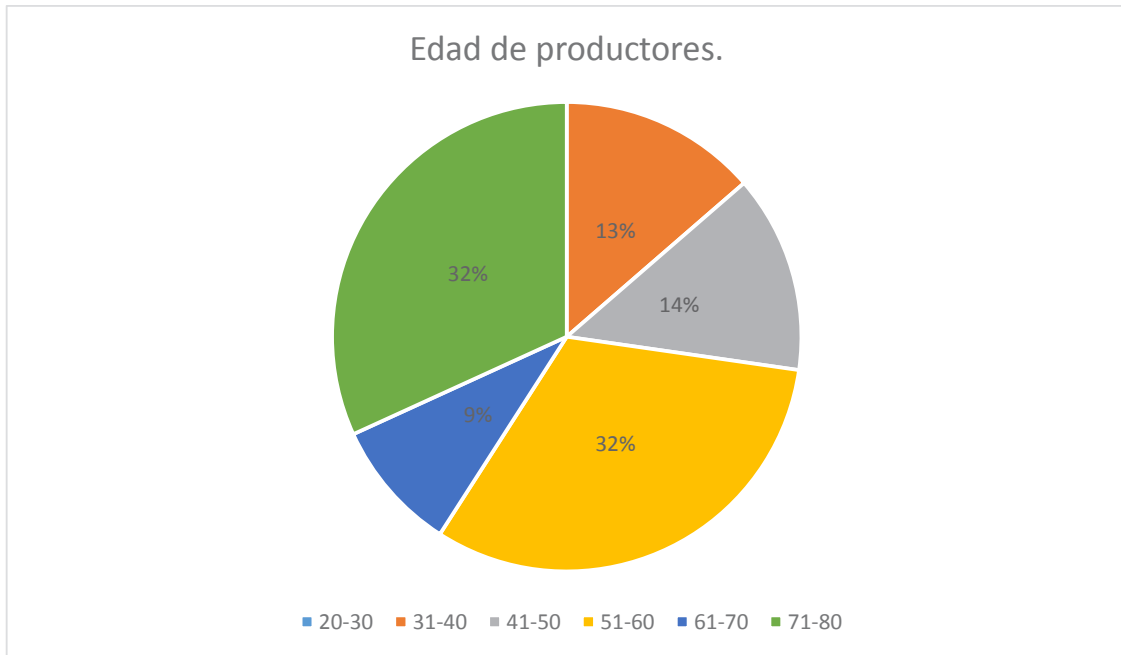
Referencia de cuestionario

Este mapa, se utilizó como referencia para que los pobladores nos indicaran cuales son las zonas que ellos consideran con mayor potencial.



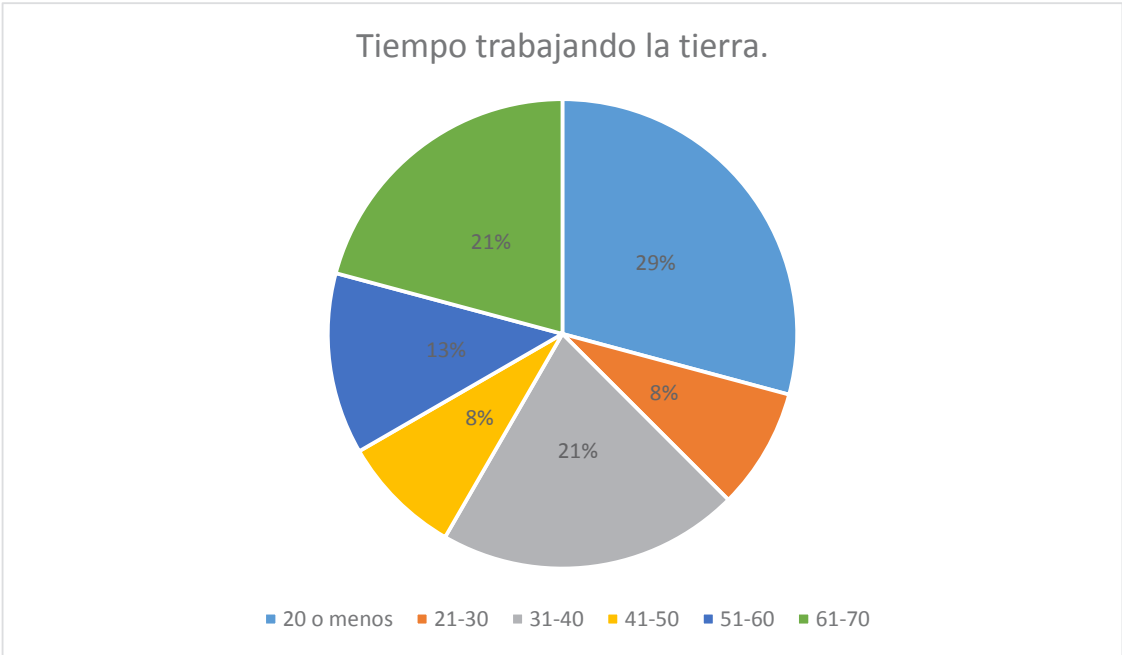
Resultados obtenidos de la encuesta

Esta grafica muestra cual es la edad promedio de los encuestados como observamos los pobladores son en su mayoría personas adultas.

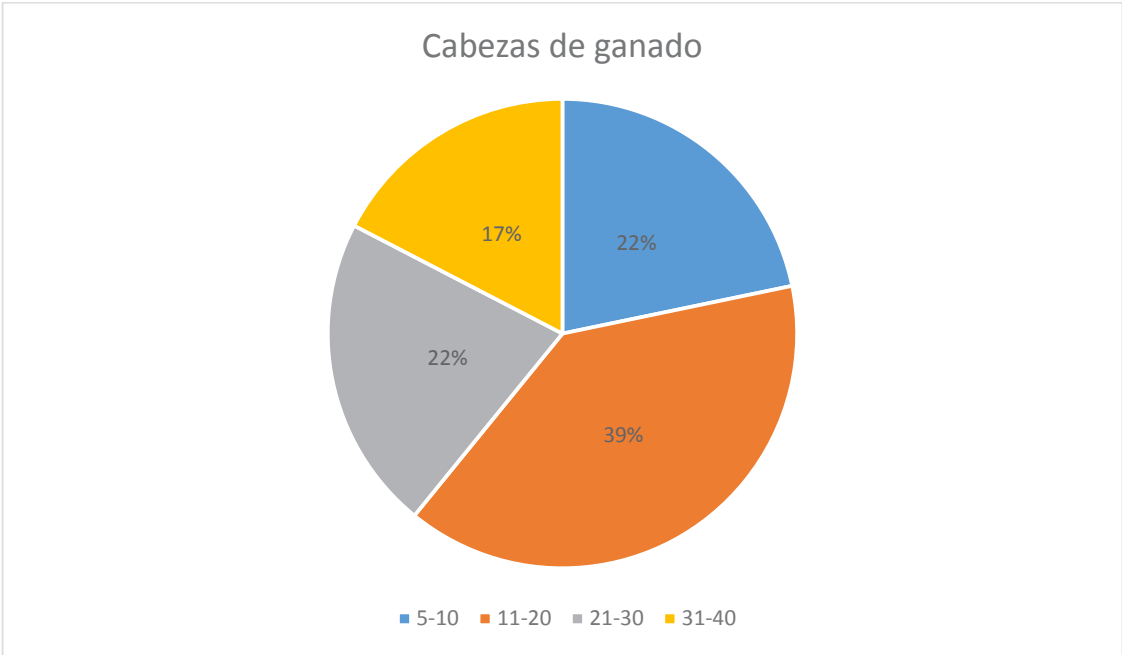


Esta gráfica, nos muestra el tiempo que tienen los encuestados, trabajando la tierra. Este dato es muy importante, ya que da una orientación sobre la experiencia con la que cuentan los pobladores sobre el área de estudio.

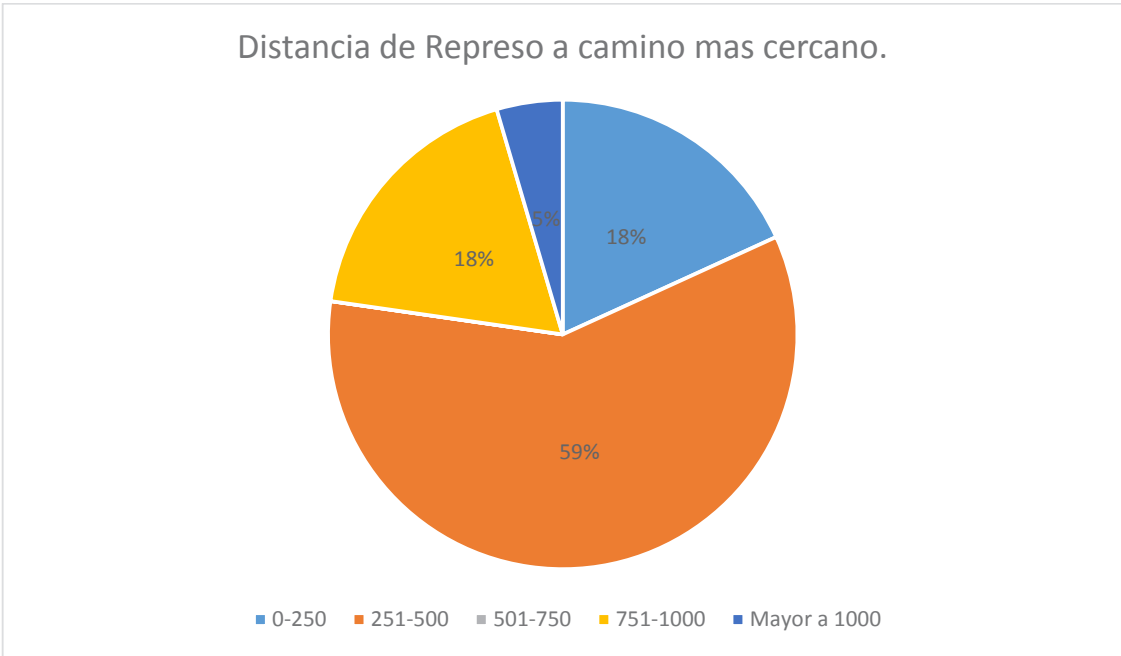
En la siguiente gráfica se observa que los pobladores en su mayoría tienen más de diez años trabajando la tierra por lo que la encuesta toma una validas en conocimientos de los encuestados.



La gráfica que muestra la cantidad de cabezas de ganado lo cual nos ayuda a saber cuál es el uso que se orienta más para el repeso.



Esta gráfica indica, la distancia que los habitantes consideran que se encuentra entre, la zona de ubicación de represo que ellos sugieren y el camino de acceso más cercano.



La siguiente grafica muestra los resultados de la encuesta, en la zona que ellos consideran más apta para la creación de un repeso claramente se observa que la zona 1 es la zona que ellos ubican con mayor aptitud.

