



**FIDEICOMISO PARA EL CUIDADO DEL AGUA
EN EL MUNICIPIO DE CHIHUAHUA**

INFORME TÉCNICO

Proyecto presa filtrante de gaviones FRANCISCO I. MADERO (CALABACILLAS)

Chihuahua, Chih. Marzo 2024

ÍNDICE

ÍNDICE.....	1
ÍNDICE DE TABLAS.....	3
ÍNDICE DE FIGURAS.....	4
1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1. ANTECEDENTES.....	5
1.2. ALCANCES Y OBJETIVOS.....	5
1.3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	6
2. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO.....	8
2.1. CLIMA.....	8
2.2. FISIOGRAFÍA.....	9
2.3. GEOLOGÍA.....	10
2.4. USO DE SUELO Y VEGETACIÓN.....	11
2.5. EDAFOLOGÍA.....	13
3. ESTUDIO HIDROLÓGICO.....	14
3.1. DESCRIPCIÓN FISIOGRAFICA DE LA CUENCA.....	14
3.1.1 ÁREA.....	14
3.1.2. PERÍMETRO.....	14
3.1.3. HIDROGRAFÍA.....	14
3.1.3.1. CAUCE PRINCIPAL.....	15
3.1.3.2. ORDEN DE CORRIENTE.....	16
3.1.4. CARACTERÍSTICAS DESCRIPTIVAS DE LA CUENCA.....	17
3.1.4.1. ÍNDICE DE PENDIENTE (I_p).....	17
3.1.4.2. COEFICIENTE DE COMPACIDAD (C_c).....	18
3.1.4.3. FACTOR DE FORMA (F_f).....	18
3.1.4.4. DENSIDAD DE DRENAJE (D_d).....	19
3.1.4.5. RELACIÓN DE BIFURCACIÓN (R_b).....	20
3.1.4.6. RELACIÓN DE ELONGACIÓN (R_e).....	21
3.1.5. PENDIENTE DE LA CUENCA.....	21
3.2. CÁLCULO DE CAUDALES DE DISEÑO.....	22
3.2.1. CURVAS INTENSIDAD DURACIÓN PERÍODO DE RETORNO.....	22
3.2.2. TIEMPOS DE CONCENTRACIÓN.....	24
3.2.2.1. FÓRMULA DE KIRPICH.....	25

3.2.2.2. FÓRMULA DE TEMEZ	26
3.2.2.3. FÓRMULA DE PASSINI	26
3.2.2.4. FÓRMULA DE VEN TE CHOW	26
3.2.2.5. FÓRMULA DE ROWE.....	26
3.2.2.6. FÓRMULA DEL UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA).....	27
3.2.3. CÁLCULO DEL NÚMERO DE ESCURRIMIENTO N.....	27
3.2.4. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO C	29
3.2.5. PERÍODO DE RETORNO DE DISEÑO.....	30
3.2.6. CÁLCULO DEL GASTO MÁXIMO	31
3.2.6.1. FÓRMULA RACIONAL	31
3.2.6.2. HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR	32
3.2.6.3. MÉTODO DEL TR-55	32
4. ESTUDIO TOPOGRÁFICO	35
5. DISEÑO DE LA PRESA FILTRANTE DE GAVIONES	37
6. ESTIMACIÓN DE VOLUMENES DE OBRA Y CATÁLOGO DE CONCEPTOS.....	39
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	40
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de las cuencas de acuerdo a su tamaño. Fuente: (Campos Aranda, 1992).....	14
Tabla 2. Clasificación de la cuenca de acuerdo al Factor de Forma. Fuente: (Estrada Gutiérrez, 2019).....	19
Tabla 3. Registros de lluvia máxima en 1 y 24 horas de la estación Chihuahua 8165. Fuente: CONAGUA 2020	23
Tabla 4. Tiempos de concentración para la cuenca de estudio.....	25
Tabla 5. Número de la curva N de escurrimiento. Fuente: (Campos Aranda, 2010)	28
Tabla 6. Valores del coeficiente de escurrimiento. Tabla obtenida de (Aparicio, 1987)	30
Tabla 7. Gastos máximos obtenidos para la cuenca de estudio.....	31
Tabla 8. Tabla de parámetros para el cálculo del gasto pico unitario, función del tipo de tormenta y del cociente I_a/P_c para la república mexicana, excepto la península de Baja California, la costa del Golfo de México y sureste mexicano. Fuente: (Campos Aranda, 2010)	34
Tabla 10. Memoria de puntos de levantamiento topográfico	35
Tabla 11. Catálogo de conceptos y volúmenes de obra.....	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia	
Figura 2. Mapa de grupos climáticos de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia a partir de 'Climas' (clasificación de Köppen, modificado por García). Escala 1:1000000 de México. (García & CONABIO, 2001)	8
Figura 3. Mapa de fisiografía de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia a partir de (Cervantes-Zamora et al., 1990).....	9
Figura 4. Mapa de geología de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia a partir de la carta de geología escala 1:1000000 INEGI	10
Figura 5. Mapa de uso de suelo y cobertura vegetal de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia a partir de (INEGI, 2016)	12
Figura 6. Mapa de edafología de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia a partir de (INIFAP & CONABIO, 2001)	13
Figura 7. Mapa de la hidrografía de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia a partir de (Maderey-R & Torres-Ruata, 1990)	15
Figura 8. Mapa del orden de corriente de la red hidrográfica de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.....	17
Figura 9. Localización de puntos de control terrestre	
Figura 10. Planta topográfica del área levantada con GPS RTK y eje de proyecto	37

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

El municipio de Chihuahua, ubicado en el centro del estado homónimo, presenta un clima caracterizado por su aridez y semiaridez, con notables variaciones en los patrones de precipitación y temperaturas extremas. Esta condición conlleva a una disponibilidad limitada de recursos hídricos en condiciones naturales.

El suministro de agua potable en la región proviene principalmente de fuentes subterráneas, siendo los acuíferos El Sauz-Encinillas, Chihuahua-Sacramento y Tabalaopa-Aldama los principales proveedores. Sin embargo, según el "Acuerdo para la actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos" publicado en el Diario Oficial de la Federación el 17 de septiembre de 2020 (SEMARNAT & CONAGUA, 2020), estos acuíferos se encuentran en un estado de déficit.

Ante esta situación, es crucial implementar medidas que contribuyan a restablecer el equilibrio hídrico. Entre las acciones viables, destacan dos enfoques principales: la reducción del aprovechamiento de agua subterránea y el incremento del volumen de recarga artificial de los acuíferos. Entre las alternativas para esta última, se destacan las presas filtrantes de gaviones, las cuales son estructuras hidráulicas que facilitan la infiltración de agua al subsuelo. Estas presas se ubican estratégicamente en áreas de recarga natural.

Además de su función principal, estas obras desempeñan otros roles beneficiosos, como la disminución de la velocidad del escurrimiento superficial, la prevención de la erosión hídrica y la retención de sedimentos, lo que contribuye a la conservación del suelo. Asimismo, protegen las zonas aguas abajo de donde están situadas, actuando como elementos clave en la conservación de los recursos hídricos y la mitigación de impactos ambientales.

El ejido Francisco I. Madero (Calabacillas), en su compromiso con la conservación del suelo y la promoción de la recarga artificial de los acuíferos que abastecen a la ciudad de Chihuahua, ha presentado una solicitud para la construcción de una presa filtrante de gaviones al Fideicomiso para el Cuidado del Agua en el Municipio de Chihuahua.

1.2. ALCANCES Y OBJETIVOS

Los alcances y objetivos de este estudio se centran en el diseño de una presa filtrante de gaviones con el propósito específico de conservar los suelos en el área de interés. Esta estructura se concibe para facilitar la infiltración del agua al subsuelo, manteniendo así la humedad en las zonas circundantes al vaso de la presa. Además, se busca preservar la vegetación existente y fomentar el crecimiento de nueva vegetación en el entorno.

1.3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El emplazamiento seleccionado para la presa filtrante de gaviones se encuentra ubicado en las coordenadas UTM 370055.00 m E 3181951.00 m N , según el sistema de proyección Universal Transversal de Mercator (UTM).

Este sitio está ubicado dentro del área del Ejido Francisco I. Madero (Calabacillas).

El Ejido Francisco I. Madero (Calabacillas) está compuesto por 79 ejidatarios, mientras que la población total en el área es de 17 personas. De estas, 10 son hombres y 7 es mujer. En términos demográficos, la población se divide en 4 menores de edad y 13 adultos, entre los cuales 5 superan los 60 años de edad.

Mapa de localización

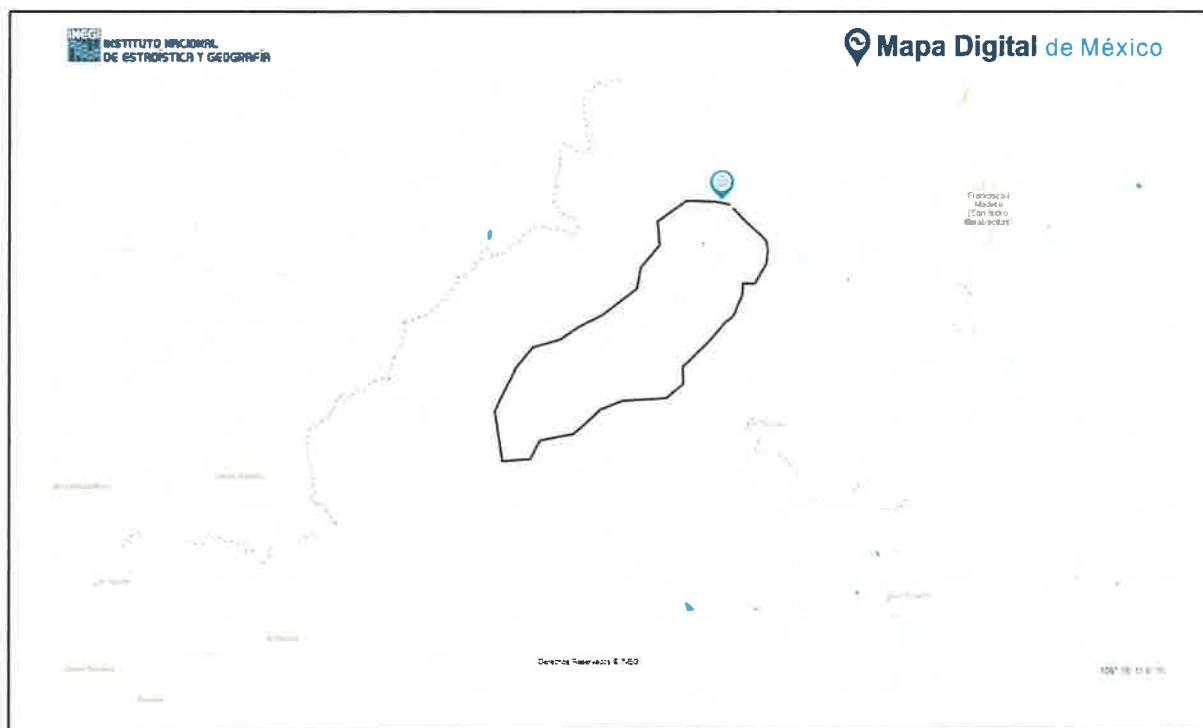
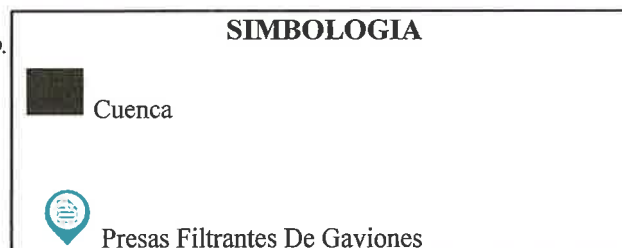


Figura 1. Mapa de localización de la zona de estudio.



2. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO

2.1. CLIMA

Con base en la clasificación de climas de Köppen, la zona de estudio se encuentra conformada por los siguientes grupos climáticos:

- **Semiseco:** Los climas secos y semisecos se caracterizan por una precipitación media anual de 300 a 600 mm, tiene dos variantes: la caliente con temperatura media anual superior a 18 °C y la fría, cuando es menor.

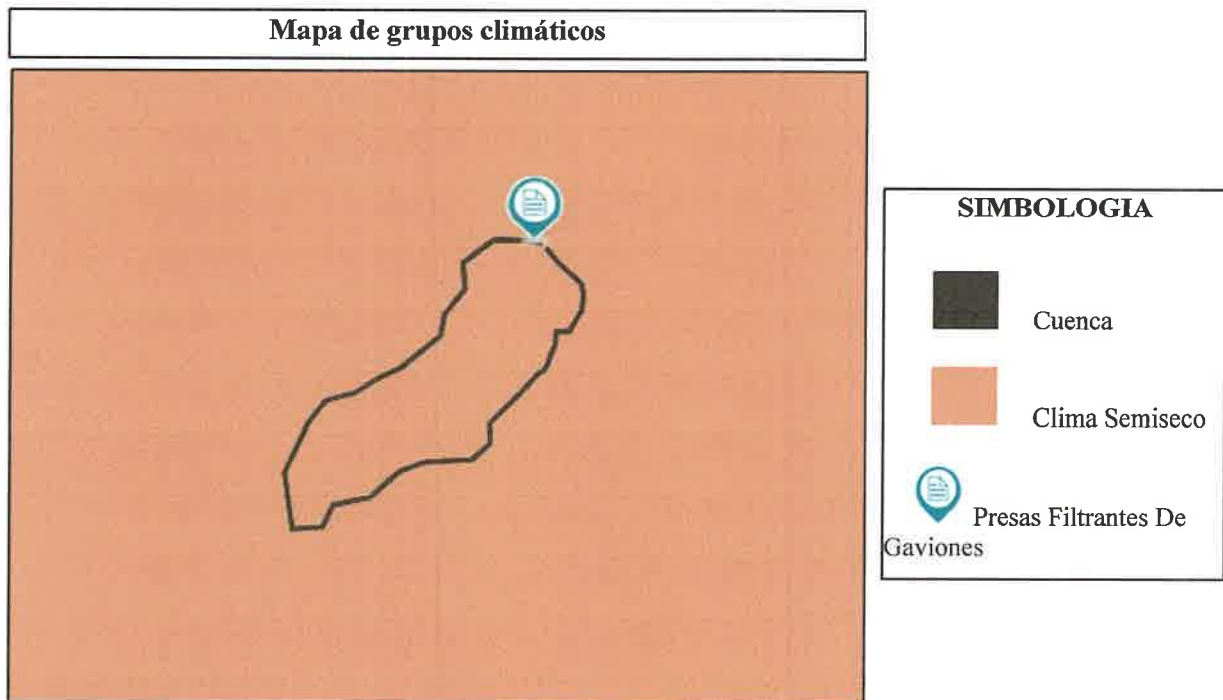


Figura 1. Mapa de grupos climáticos de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia a partir de 'Climas' (clasificación de Köppen, modificado por García). Escala 1:1000000 de México. (García & CONABIO, 2001)

2.2. FISIOGRAFÍA

La zona de estudio se sitúa en la subprovincia de Sierras y Llanuras Tarahumaras, localizada en el centro-oeste del estado de Chihuahua, abarcando aproximadamente el 10,51% del territorio estatal. Esta subprovincia está enclavada dentro de la provincia de la Sierra Madre Occidental.

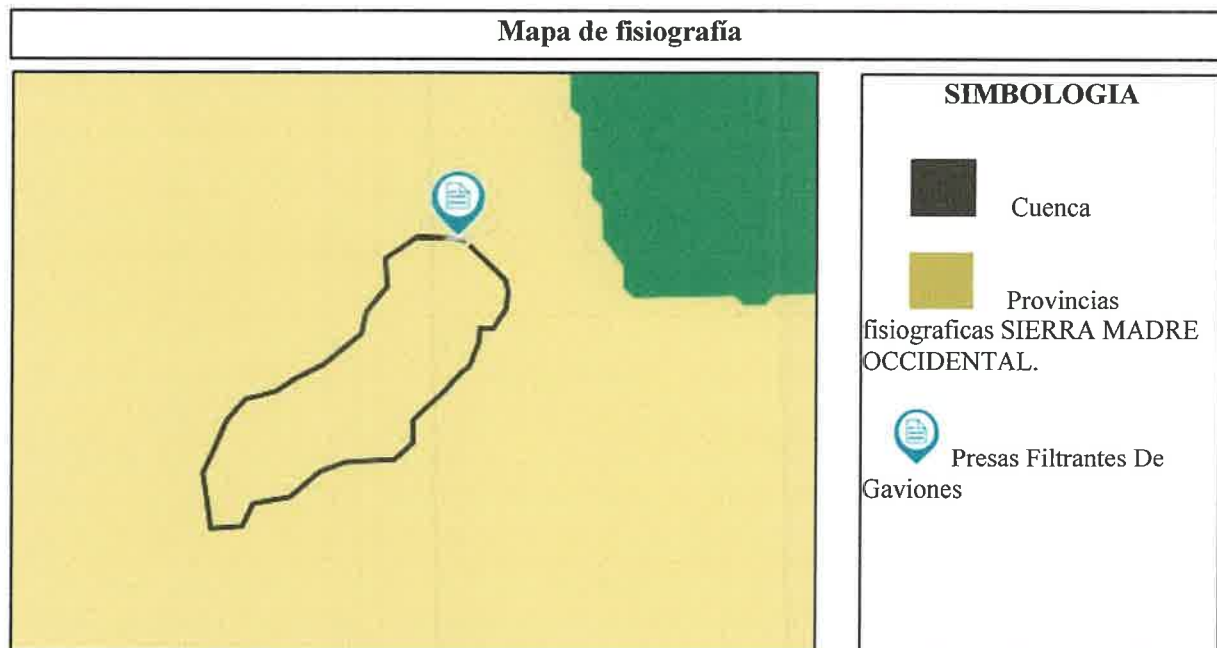


Figura 2. Mapa de fisiografía de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia a partir de (Cervantes-Zamora et al., 1990)

2.3. GEOLOGÍA

Las rocas que constituyen a la zona de estudio se definen a continuación:

- **Rocas Ígnea extrusiva** Los piroclásticos (del griego pyro, fuego, y klastos, quebrado), son producto de las erupciones volcánicas explosivas y contienen fragmentos de roca de diferentes orígenes, pueden ser de muchas formas y tamaños.

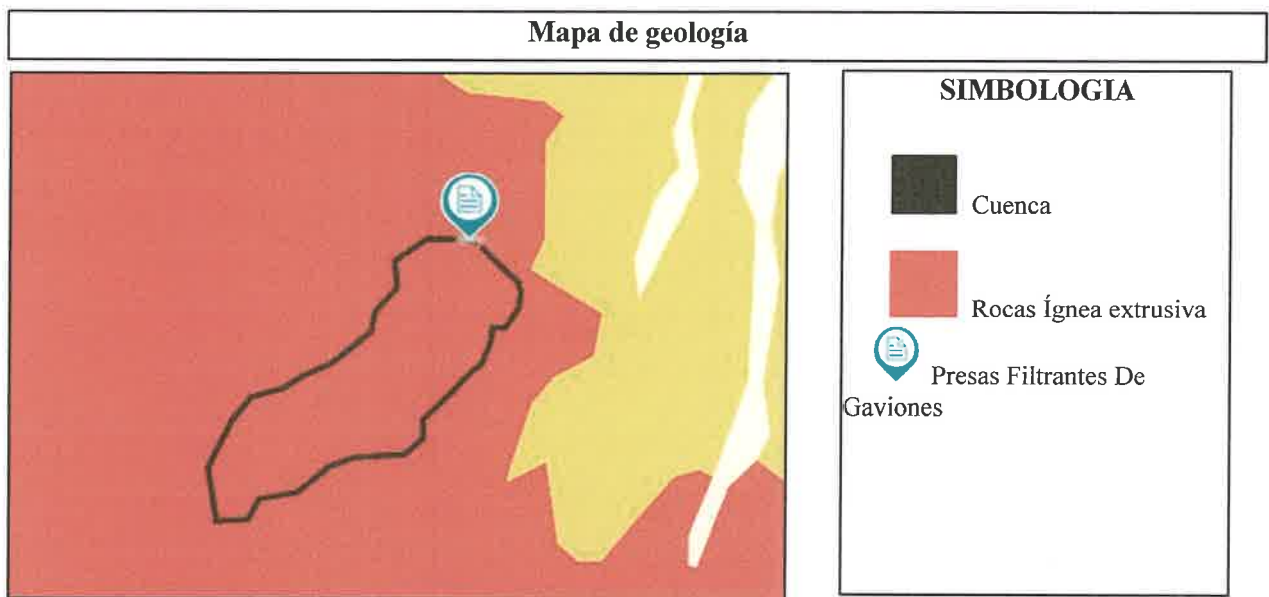


Figura 3. Mapa de geología de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia a partir de la carta de geología escala 1:1000000 INEGI

2.4. USO DE SUELO Y VEGETACIÓN

Las unidades de vegetación existentes en la zona de estudio de acuerdo a la clasificación que elaboró el INEGI basada en las clasificaciones de (Miranda & Hernández X, 1963; Rzedowski, 1978) se definen a continuación:

- **BOSQUE DE ENCINO:** Chihuahua posee la mayor superficie de bosque de coníferas y de bosque de encino, con 37,082.98 km² y 32,107.81 km².

Comunidades arbóreas, subarbóreas u ocasionalmente arborescentes integradas por múltiples especies del género *Quercus* (encinos, robles) que en México, salvo condiciones muy áridas se ubican prácticamente desde los 300 hasta los 2 800 m. Se encuentra muy relacionado con los bosques de pino, formando una serie de bosques mixtos con especies de ambos géneros.

- **PASTIZAL:** Los pastizales naturales constituyen un tipo de vegetación caracterizada por su predominio de gramíneas, como pastos y zacates. Estos ecosistemas se encuentran típicamente en regiones semiáridas y de clima templado frío. Su presencia está determinada por una combinación específica de condiciones climáticas, edáficas y bióticas. En México, estos pastizales se ubican principalmente en áreas de transición entre bosques y matorrales, y son comúnmente destinados para actividades ganaderas. Los pastizales naturales tienden a desarrollarse preferentemente en suelos de profundidad media, localizados en mesetas, fondos de valles y pendientes suavemente inclinadas. Estos ecosistemas son conocidos también por diversos nombres según la región, como estepas, pampas, sabanas o praderas.
- **MATORRAL XERÓFILO:** El matorral xerófilo o semidesierto es un ecosistema conformado por matorrales en zonas de escasas precipitaciones, por lo que predomina

la vegetación xerófila. El WWF lo considera un bioma denominado desiertos y matorrales xerófilos y lo agrupa conjuntamente con los ecosistemas de desierto.

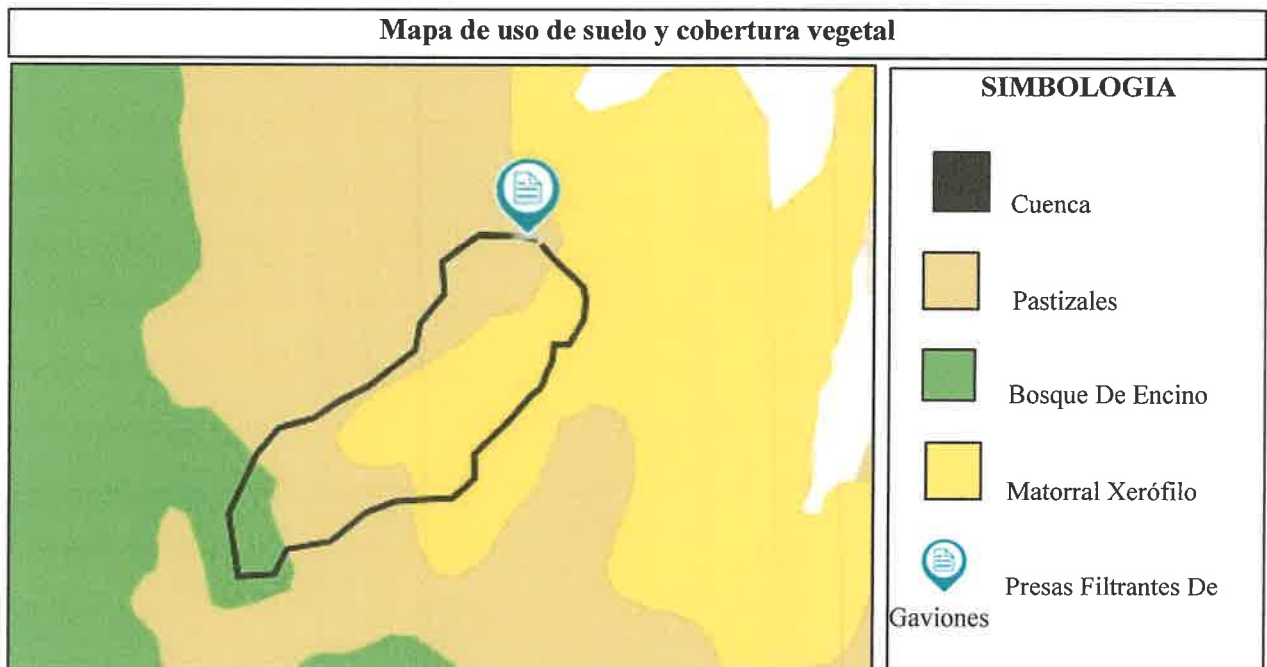


Figura 4. Mapa de uso de suelo y cobertura vegetal de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia a partir de (INEGI, 2016)

2.5. EDAFOLOGÍA

La zona de estudio se encuentra constituida en su totalidad por una sola unidad edafológica, correspondiente a los Leptosoles. Los leptosoles son suelos extremadamente jóvenes y delgados. Pueden considerarse como el primer estadio de formación de un suelo sobre rocas duras. Los leptosoles se encuentran en zonas donde las condiciones ambientales no favorecen el desarrollo de los suelos, o en áreas que han sufrido una erosión importante. Habitualmente suelen carecer de horizonte B y limitarse a un espesor de algunos centímetros.

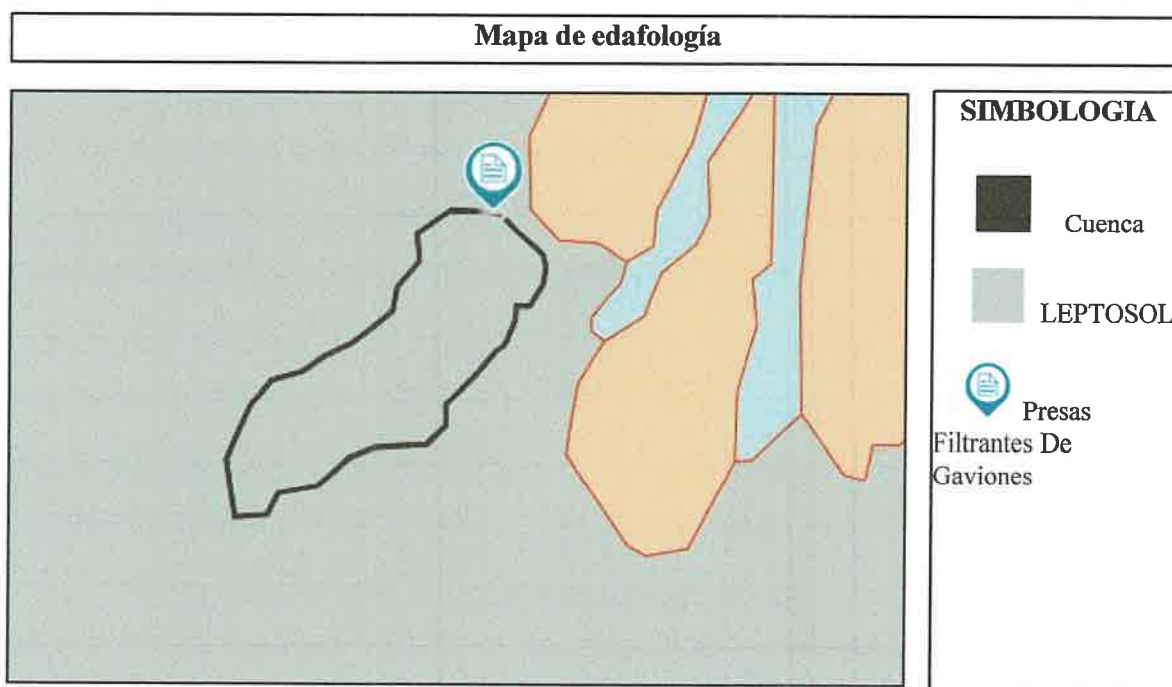


Figura 5. Mapa de edafología de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia a partir de (INIFAP & CONABIO, 2001)

3. ESTUDIO HIDROLÓGICO

3.1. DESCRIPCIÓN FISIAGRÁFICA DE LA CUENCA

3.1.1 ÁREA

La cuenca de estudio cuenta con un área de 4.12 km², misma que se puede clasificar como una cuenca muy pequeña de acuerdo a la clasificación obtenida de la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de las cuencas de acuerdo a su tamaño. Fuente: (Campos Aranda, 1992)

TAMAÑO DE LA CUENCA (Km ²)	DESCRIPCIÓN
<25	Muy pequeña
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia-Pequeña
500 a 2,500	Grande
>5,000	Muy grande

3.1.2. PERÍMETRO

El perímetro de la cuenca de estudio es de 9.31 kilómetros.

3.1.3. HIDROGRAFÍA

La zona de estudio se encuentra localizada dentro de la Región Hidrológica Número 24 Bravo-Conchos, siendo esta la región hidrológica de mayor relevancia en el Estado de Chihuahua, ya que incluye la corriente superficial más importante, el río Conchos. Esta, se encuentra conformada por corrientes que desembocan en el río Bravo, teniendo un drenaje poco definido con algunas porciones donde es dendrítico y otras subparalelo (INEGI, 2019). Dentro del municipio de Chihuahua, la RH24 se conforma principalmente por las cuencas del río Conchos-Presa El Granero y río San Pedro, se identifican con las letras K para la primera y N para la segunda. Estas cuencas a su vez, se dividen en subcuencas conformadas por las cuencas del río Chuviscar, Sacramento, Presa Chihuahua y arroyo Bachimba para la cuenca río Conchos-Presa El Granero y por las cuencas de la Presa Francisco I. Madero, río Santa Isabel y río San Lorenzo para la cuenca del río San Pedro (INEGI, 2015).

La cuenca de estudio se localiza específicamente en la microcuenca Cañón de Majalca que pertenece a la cuenca del río Sacramento, misma que presenta una red de drenaje de naturaleza dendrítica sobre rocas de dureza débil uniforme. La escorrentía superficial tiene la capacidad de originar una erosión edáfica de alto impacto en casos en donde la cubierta vegetal herbácea y arbórea sea afectada y disminuida (SEMARNAT & CONANP, 2016).

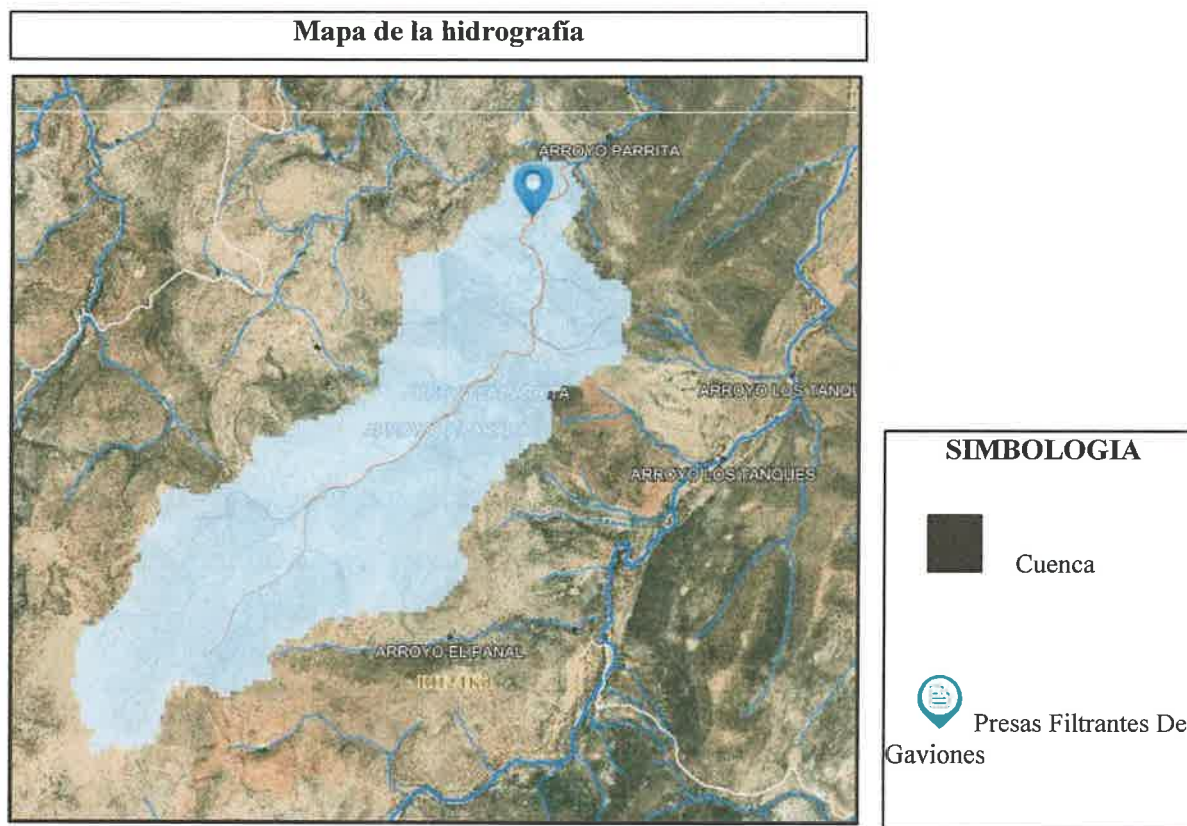


Figura 6. Mapa de la hidrografía de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia a partir de (Maderrey-R & Torres-Ruata, 1990)

3.1.3.1. CAUCE PRINCIPAL

El cauce principal de una cuenca se define como la corriente que pasa por el punto de desfogue de esta, considerando una cuenca exorreica. Esta corriente tendrá el orden mayor, los cauces de orden menor hasta llegar a uno se denominan cauces tributarios (Aparicio, 1987).

Para determinar el cauce principal se deberá partir del punto de desfogue hacia aguas arriba, siguiendo la corriente de más alto orden hasta llegar a la bifurcación de dos corrientes de igual orden; de esta manera, el cauce que tenga un área mayor de aporte se podrá definir como un segmento del cauce principal, repitiendo este procedimiento hasta llegar a un cauce tributario de orden uno. En la Figura 7 se resalta el cauce principal de la cuenca de estudio, el cual tiene una longitud de 4.273 kilómetros.

3.1.3.2. ORDEN DE CORRIENTE

El orden de corriente puede definirse como el reflejo del grado de ramificación dentro de una cuenca. Las corrientes de orden uno son las más pequeñas debido a que no están ramificadas, las corrientes de orden dos cuentan con ramificaciones de primer orden; para calcular el orden de los cauces subsecuentes se utiliza esta misma lógica.

Entre mayor sea el grado de bifurcación de un sistema de drenaje en la cuenca, esta tendrá una respuesta más rápida a la precipitación. De esta manera, el orden de corriente de una cuenca será igual al de la corriente principal en el punto de desfogue.

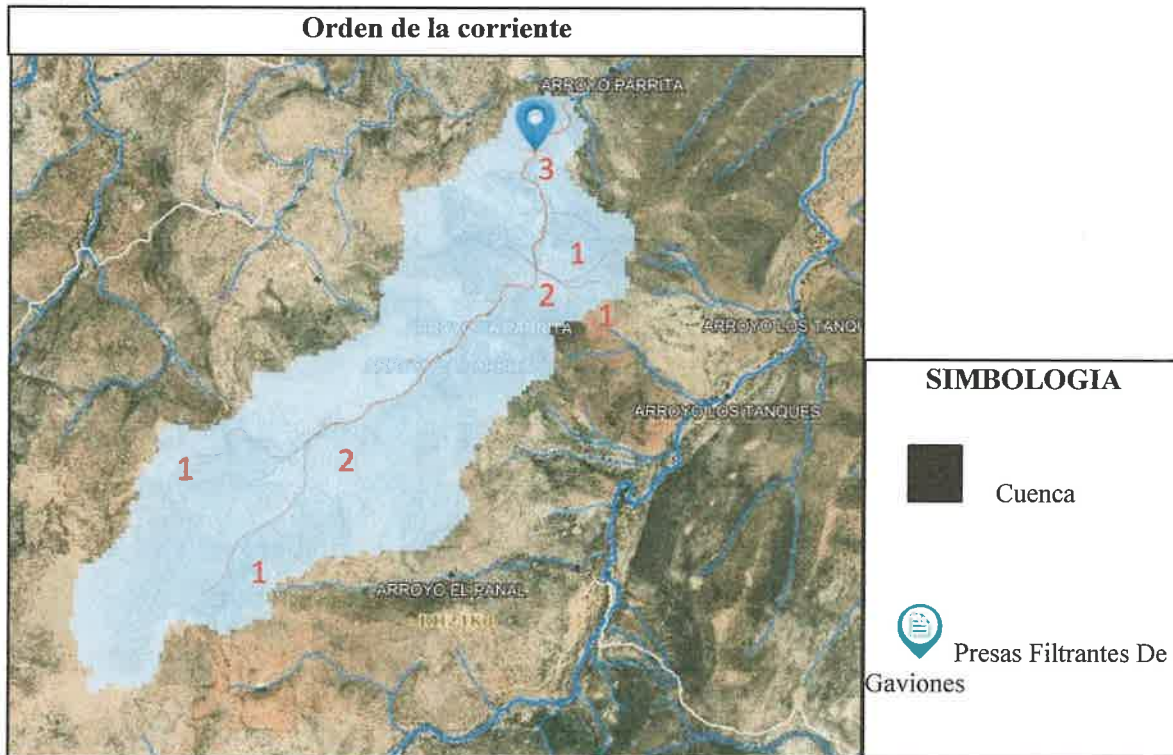


Figura 7. Mapa del orden de corriente de la red hidrográfica de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia

3.1.4. CARACTERÍSTICAS DESCRIPTIVAS DE LA CUENCA

3.1.4.1. ÍNDICE DE PENDIENTE (I_p)

El índice de pendiente es la relación entre el desnivel de la cota del punto de inicio y del punto final del cauce principal, con respecto a la longitud del mismo (Estrada Gutiérrez, 2019), definido por la siguiente expresión:

$$I_p = \left(\frac{H}{L}\right)^{\frac{1}{2}} * 100 = \left(\frac{H_2 - H_1}{L}\right) * 100 \quad 1$$

Donde:

I_p : Índice de pendiente, %

H_2 : Cota inicial (más alta) del cauce principal, m

H_1 : Cota final (más bajo) del cauce principal, m

L : Longitud del cauce principal, m

El índice de pendiente de la cuenca de estudio es del 2.17%.

3.1.4.2. COEFICIENTE DE COMPACIDAD (Cc)

El Coeficiente de Compacidad (Cc) fue definido por H. Gravelius y establece la forma de la cuenca, clasificándola como circular, alargada o asimétrica. Se determina por el cociente adimensional entre el perímetro de la cuenca (P) y la circunferencia (Pc) de un círculo con área igual al tamaño (A) de la cuenca, en km² (Campos Aranda, 1992). El valor mínimo que puede calcularse será 1, indicando que se trata de una cuenca circular, conforme el valor crece, indicará una forma más distorsionada. Se define por la siguiente expresión:

$$Cc = \frac{P}{P_c} = 0.282P/\sqrt{A}^2$$

Donde:

Cc: Coeficiente de Compacidad, adimensional

P: Perímetro de la cuenca, km

Pc: Perímetro de un círculo con área igual al tamaño A de la cuenca, km

El coeficiente de compacidad de la cuenca de estudio es de 1.29

3.1.4.3. FACTOR DE FORMA (Ff)

El factor de forma fue definido por Horton como el cociente entre el ancho promedio de la cuenca y la longitud proyectada del cauce principal. Se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$Ff = \frac{A}{Lc^2}^3$$

Donde:

A: Área de la cuenca, km²

Lc: Longitud de la cuenca, definido como la distancia entre la salida y el punto más alejado, cercano a la cabecera del cauce principal, medida en línea recta, km

La cuenca se clasificará de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 2. Clasificación de la cuenca de acuerdo al Factor de Forma. Fuente: (Estrada Gutiérrez, 2019)

VALORES APROXIMADOS	FORMA DE LA CUENCA
>0.22	Muy alargada
0.22-0.30	Alargada
0.30-0.37	Ligeramente alargada
0.37-0.45	Ni alargada ni ensanchada
0.45-0.60	Ensanchada
0.60-0.80	Muy ensanchada
0.80-1.20	Rodeando el desagüe

El factor de forma para la cuenca de estudio es de 0.22, por lo tanto, se puede considerar que la cuenca tiene una forma alargada. Si se observa la Figura 1, podrá confirmarse dicha interpretación, observando que la cuenca se abre hacia los lados considerando como punto de referencia el punto de desfogue.

3.1.4.4. DENSIDAD DE DRENAJE (Dd)

La densidad de drenaje puede definirse como la suma de la longitud de los cauces tributarios dentro de la cuenca, dividida entre el área total de drenaje y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Ds = \frac{Ns}{A} \quad 4$$

Donde:

Ds: Densidad de drenaje, km/km²

Ns: Suma de las longitudes de los cauces tributarios, km

A: Área de la cuenca, km²

Para clasificar la cuenca respecto a su densidad de drenaje se pueden considerar los siguientes parámetros (Estrada Gutiérrez, 2019):

$D_s > 500 \text{ km/km}^2$, combinación de un régimen pluvial alto con una litología fácilmente erosionable

$D_s < 5 \text{ km/km}^2$, régimen pluvial de poco valor o resistencia del material litológico de gran magnitud, no se producen erosiones relevantes.

Aplicando la fórmula descrita, para la cuenca de estudio se obtiene una densidad de drenaje de 0.32 km/km^2 , considerando que resulta ser una cuenca muy pequeña, con una red hidrográfica de poca longitud.

3.1.4.5. RELACIÓN DE BIFURCACIÓN (R_b)

La relación de bifurcación la definió R.E. Horton como el cociente entre el número de cauces de cualquier orden y el número de corrientes del orden inmediato superior, expresado mediante la siguiente fórmula:

$$R_b = N_u / N_{u+1}$$

Donde:

R_b : Relación de bifurcación

N_u : Número de segmentos de cauce del orden u

N_{u+1} : Número de segmentos de cauce del orden inmediato superior

Las relaciones de bifurcación varían entre 3.0 y 5.0 para cuencas en las cuales las estructuras geológicas no distorsionan el modelo de drenaje (Campos Aranda, 1992).

Aplicando la fórmula descrita, se obtiene una relación de bifurcación de 3.0.

3.1.4.6. RELACIÓN DE ELONGACIÓN (Re)

La relación de elongación es el cociente adimensional entre el diámetro de un círculo de área igual al área de la cuenca y la longitud máxima de esta, medida desde la desembocadura hasta el parteaguas de manera paralela al cauce principal.

Se calcula por la siguiente expresión:

$$Re = 1.1284\sqrt{A}/Lc^6$$

Donde:

Re: Relación de elongación, adimensional

A: Área de la cuenca, km²

Lc: Longitud medida desde la salida hasta el parteaguas, paralela al cauce principal, km

Los valores de la relación de elongación se encontrarán entre el intervalo de 0.60 llegando hasta la unidad, clasificando a los valores que se encuentren entre 0.6 y 0.8 como cuencas con relieve marcado y a los cercanos a 1 como cuencas con relieve bajo.

El cálculo del relieve es importante debido a que una cuenca con relieve alto tiene una respuesta mucho más rápida al escurrimiento debido a que disminuyen los tiempos de concentración.

La relación de elongación obtenida para la cuenca de estudio es de 0.53

3.1.5. PENDIENTE DE LA CUENCA

La pendiente de la cuenca se relaciona directamente con la infiltración, el escurrimiento superficial, ya que afecta la duración del flujo sobre el terreno, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea al flujo en los cauces. Influye también en la magnitud de las avenidas (Campos Aranda, 1992; Estrada Gutierrez, 2008).

La pendiente de la cuenca de estudio fue obtenida a partir del método de la pendiente media que proporciona ArcGIS 10.3, teniendo un valor del 40.10%.

3.2. CÁLCULO DE CAUDALES DE DISEÑO

3.2.1. CURVAS INTENSIDAD DURACIÓN PERÍODO DE RETORNO

La lluvia se encuentra definida a partir de tres variables (Campos Aranda & Gómez de Luna, 1990):

- Magnitud: Precipitación total ocurrida medida en milímetros en la duración de la tormenta.
- Duración: Duración de la tormenta expresada en minutos.
- Frecuencia: Se encuentra expresada por el período de retorno de la lluvia o por el promedio en años en el cual el evento puede ser igualado o excedido por lo menos una vez en promedio.

Con estas variables, es posible construir las curvas intensidad-duración-período de retorno, mismas que forman una gráfica en donde se concentran las características de las tormentas de la zona o región.

El método utilizado fue el de la fórmula de Cheng-Lung Chen (Chen, 1983) con el ajuste probabilístico de Gumbel. Esta fórmula es útil para estimaciones $\frac{1}{7}$ ro de un intervalo de 5 minutos a 24 horas y períodos de retorno mayores de un año y requiere el conocimiento de los cocientes lluvia-duración ($R=P_1^{Tr}/P_{24}^{Tr}$) y lluvia-período de retorno ($F=P_t^{100}/P_t^{10}$). Se describe por la siguiente expresión, considerando la lluvia en milímetros de duración t (minutos) y período de retorno Tr (años):

$$i_t^{Tr} = \frac{a \cdot P_{60}^{10} \log(10^{2-F} \cdot Tr^{F-1})}{(D + b)^c} \quad 32$$

Donde:

P_{60}^{10} : Lluvia de duración de una hora y período de retorno de 10 años, milímetros.

a, b y c: Parámetro función del cociente R.

Para el presente estudio, se utilizaron los datos de precipitación máxima en 24 horas y precipitación máxima en 1 hora de la estación Chihuahua con clave QIJCH 8165, proporcionados por la CONAGUA (Véase Tabla 3).

Tabla 3. Registros de lluvia máxima en 1 y 24 horas de la estación Chihuahua 8165. Fuente: CONAGUA 2020

Estación Chihuahua 8165		
Año	Precipitación máxima en 24 horas	Precipitación máxima en 1 hora
1983	27	18
1984	19.9	12.8
1985	56	25
1986	40.5	37
1987	52.2	35.2
1988	35	24
1989	65.9	51.7
1990	80	32.6
1991	37.80	16.1
1992	44.30	22
1993	28.20	13
1994	32.20	28.2
1995	112.90	22.1
1996	85.30	49
1997	32.60	17.3
1998	30.40	18.8
1999	71.30	15.2
2000	60.00	47.4
2001	61.00	38
2002	33.00	31
2003	45.00	23
2004	91.40	65
2005	62.10	29
2006	27.00	21
2007	28.20	11.5
2008	47.50	39.5
2009	26.70	15
2010	60.00	43.2
2011	38.80	32
2012	64.70	37.8
2013	92.00	18.5
2014	50.50	31.00

2015	35.00	17.10
2016	56.40	26.20
2017	54.90	23.50
2018	24.40	10.90
2019	44.80	35.60

Los resultados obtenidos al aplicar el procedimiento para la fórmula de Cheng-Lung-Chen fueron los siguientes:

a	35.7871844
b	11.3550188
c	0.85798748
F	1.57611378
P_{10}^{60}	48.2653017

Sustituyendo estos valores en la fórmula, se obtiene la siguiente expresión para fines de diseño de la presente presa filtrante de gaviones:

$$i_D^{Tr} = \frac{35.78 \cdot 48.26 \log(10^{2-1.576} \cdot T_r^{1.576-1})}{(D + 11.355)^{0.857}} \quad 8$$

3.2.2. TIEMPOS DE CONCENTRACIÓN

El tiempo de concentración se define como el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca estén aportando agua de escorrentía de forma simultánea al punto de cierre. Este parámetro se encuentra determinado por el tiempo que tarda en llegar a la salida de la cuenca el agua que procede del punto hidrológicamente más alejado, y representa el momento a partir del cual el caudal de escorrentía es constante.

El tiempo de concentración de la cuenca es muy importante porque en los modelos que representan a la precipitación contra el escurrimiento, la duración de la precipitación se asume igual al tiempo de concentración de la cuenca, puesto que es para esta duración cuando

la totalidad de la cuenca está aportando al proceso de escorrentía, por lo cual se espera que se presenten los caudales máximos.

Existen muchas expresiones para el cálculo del tiempo de concentración propuestas por distintos autores, para el caso de este proyecto se utilizaron seis de estas, entre las que se encuentran Kirpich, Temez, Passini, Ven Te Chow, Rowe y la fórmula establecida por el United States Department of Agriculture (USDA).

En la Tabla 4 se muestran los tiempos de concentración calculados a partir de las cinco formulas aplicadas.

El método seleccionado fue el de Kirpich, teniendo para la cuenca un tiempo de concentración de 1.119 horas.

En los Apartados subsecuentes se definen cada uno de los métodos aplicados.

Tabla 4. Tiempos de concentración para la cuenca de estudio

TIEMPOS DE CONCENTRACIÓN (Hr)	
Método	Valor obtenido
Kirpich	0.641
Temez	1.597
Passini	0.726
Ven Te Chow	1.808
Rowe	0.430
USDA	0.432

3.2.2.1. FÓRMULA DE KIRPICH

$$T_c = 0.0662 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad 9$$

Donde:

Tc= Tiempo de concentración, horas

L=Longitud del cauce principal, km

S= Pendiente del cauce principal, decimal

3.2.2.2. FÓRMULA DE TEMEZ

$$T_c = 0.3 \left(\frac{L}{s^{0.25}} \right)^{0.76} \quad 10$$

Donde:

L=Longitud del cauce principal, km

S= Pendiente media de la cuenca, decimal

3.2.2.3. FÓRMULA DE PASSINI

$$T_c = \frac{0.108(A*L)^{1/7}}{s^{0.5}} \quad 11$$

Donde:

A= Área de la cuenca, km²

L= Longitud del cauce principal, km

S= Pendiente del cauce principal, decimal

3.2.2.4. FÓRMULA DE VEN TE CHOW

$$T_c = 0.274 \left(\frac{L}{\sqrt{s}} \right)^{0.64} \quad 12$$

Donde:

L= Longitud del cauce principal, km

S= Pendiente del cauce principal, decimal

3.2.2.5. FÓRMULA DE ROWE

$$T_c = \left(\frac{0.87L^3}{H} \right)^{0.385} \quad 13$$

Donde:

L= Longitud del cauce principal, km

H=Desnivel total del cauce principal, m

3.2.2.6. FÓRMULA DEL UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA)

$$T_c = 0.0195k^{0.77} \quad 14$$

Donde

$$k = \sqrt{\frac{L^3}{H}}, m \quad 15$$

T_c=Tiempo de concentración, min

L=Longitud del recorrido del agua desde el punto hidrológicamente más alejado, m

H=Diferencia de altitudes entre cotas extremas

3.2.3. CÁLCULO DEL NÚMERO DE ESCURRIMIENTO N

Para el cálculo del número de escurrimiento N se consideró la información de uso de suelo y vegetación, edafología y litología, clasificando las cubiertas vegetales según su condición hidrológica en la Tabla 5. De esta manera, se obtuvo un número de escurrimiento N para la cuenca de 60.37.

Tabla 5. Número de la curva N de escurrimiento. Fuente: (Campos Aranda, 2010)

USO DE SUELO Y VEGETACIÓN (INEGI)	GRUPO HIDROLÓGICO			
	A	B	C	D
AGRICULTURA (De humedales, de riego de temporal)				
Condición hidrológica mala	72	81	88	91
Condición hidrológica regular	67	76	83	86
Condición hidrológica buena	62	71	78	81
ÁREAS SIN VEGETACIÓN APARENTE	77	86	91	94
ASENTAMIENTOS HUMANOS				
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios				
Condición hidrológica regular	49	69	79	84
Condición hidrológica buena	39	61	74	80
Residencial 50% o más impermeable	77	85	90	92
Residencial 50% o menos área impermeable	61	75	83	87
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Parques industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Áreas de estacionamiento pavimentados, techos, accesos, etc	98	98	98	98
Calles y carreteras (pavimentadas, con cunetas y alcantarillas)	98	98	98	98
Calles y carreteras de grava	76	85	89	91
Calles y carreteras de tierra	72	82	87	89
BOSQUES (Cultivado, de Encino-Pino, de Oyamel, de Pino, de Tásate, Mesófilo de montaña)				
Condición hidrológica mala	45	66	77	83
Condición hidrológica regular	36	60	73	79
Condición hidrológica buena	25	55	70	77
CARDONAL	54	71	80	89
CHAPARRAL (ARBUSTOS)	20	48	65	73
MANGLAR	100	100	100	100
MATORRAL (Con Izotes, con Rosetófilos, Acaules, Cracicaule, Desértico Micrófilo, Desértico Rosetófilo, Espinoso, Inerme, Subineme, Subtropical)				
Condición hidrológica mala	48	67	77	83
Condición hidrológica regular	34	58	71	78
Condición hidrológica buena	20	48	65	72
MEZQUITAL	68	79	86	92
NOPALERA	39	61	74	84
PALMAR	45	66	77	83
PASTIZAL (Cultivado, Halófilo, Inducido, Natural, Natural-Huizachal)				
Condición hidrológica mala	68	79	86	89
Condición hidrológica regular	49	69	79	84
Condición hidrológica buena	39	61	74	80
PLANTACIÓN FORESTAL				
Condición hidrológica mala	55	73	82	86
Condición hidrológica regular	44	65	76	82
Condición hidrológica buena	32	58	72	79
PRADERA DE ALTA MONTAÑA	30	58	71	78
SABANA	45	66	77	83
TULAR	68	66	77	83
SELVA (Baja Caducifolia, Baja Caducifolia y Subcaducifolia, Baja espinosa, Mediana Subcaducifolia)	45	66	77	83
VEGETACIÓN HALÓFILA	68	79	100	100
VEGETACIÓN SECUNDARIA	68	79	86	89

Descripción de condición hidrológica:

- Suelos agrícolas:

MALA: Tiene menos del 25% del terreno cubierto

REGULAR: Tiene entre el 25 y el 50% del terreno cubierto

BUENA: Tiene más del 50% del terreno cubierto

- Para uso forestal:

MALA: Tiene menos del 30% del terreno cubierto

REGULAR: Tiene entre el 30 y el 70% del terreno cubierto

BUENA: Tiene más del 70% del terreno cubierto

3.2.4. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO C

Para el cálculo del coeficiente de escurrimiento C se consideró la información de uso de suelo y vegetación, edafología y litología, clasificando las cubiertas vegetales según su condición hidrológica en la Tabla 6. De esta manera, se obtuvo un coeficiente de escurrimiento C para la cuenca de 0.34.

Tabla 6. Valores del coeficiente de escurrimiento. Tabla obtenida de (Aparicio, 1987)

TIPO DE AREA DRENADA	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO	
	MÍNIMO	MÁXIMO
Zonas Comerciales		
Zona Comercial	0.75	0.95
Zonas mercantiles	0.7	0.9
Vecindarios	0.5	0.7
Zonas Residenciales		
Unifamiliares	0.3	0.5
Multifamiliares, espaciados	0.4	0.6
Multifamiliares, compactos	0.6	0.75
Semiurbanas	0.25	0.4
Casas habitación	0.5	0.7
Zonas Industriales		
Espaciado	0.5	0.8
Compacto	0.6	0.9
Cementerios y Parques	0.1	0.25
Campos de juego	0.2	0.35
Patios de ferrocarril y terrenos sin construir	0.2	0.4
Zonas Suburbanas	0.1	0.3
Calles		
Asfaltadas	0.7	0.95
De concreto hidráulico	0.8	0.95
Adoquinadas o empedradas, juntas con cemento	0.7	0.85
Adoquín sin juntar	0.5	0.7
Terracerías	0.25	0.6
Estacionamientos	0.75	0.85
Techados	0.75	0.95
Praderas		
Suelos arenosos planos (pendientes <0.02)	0.05	0.1
Suelos arenosos con pendientes medias (0.02-0.07)	0.1	0.15
Suelos arenosos escarpados (0.07 o más)	0.15	0.2
Suelos arcillosos planos (0.02 o menos)	0.13	0.17
Suelos arcillosos con pendientes medias (0.02-0.07)	0.18	0.22
Suelos arcillosos escarpados (0.07 o más)	0.25	0.35

3.2.5. PERÍODO DE RETORNO DE DISEÑO

El período de retorno se define como el número de años en que, en promedio, se presentará un evento determinado de la misma magnitud o mayor (Aparicio, 1987).

Los lineamientos de diseño para la selección de período de retorno para el diseño de infraestructura hidráulica según la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) establecen períodos de entre 10 y 25 años para obras de desvío temporal o pequeñas presas derivadoras, en este caso, podría considerarse esta obra dentro de esta clasificación considerando que la estructura funciona estructuralmente hasta el momento de su azolvamiento, preservando aun así su capacidad de infiltración (CONAGUA, 2002).

3.2.6. CÁLCULO DEL GASTO MÁXIMO

Para la estimación del gasto máximo de diseño, se emplearon los métodos de la Fórmula Racional, el Hidrograma Unitario Triangular y el método del TR-55, empleando un valor de 60.939 m³/s para el diseño de la estructura considerando un período de retorno de diseño de 500 años.

Tabla 7. Gastos máximos obtenidos para la cuenca de estudio

GASTOS MÁXIMOS (m ³ /s)			
MÉTODO	VALOR OBTENIDO		
Tiempo de retorno (años)	500	1000	10000
Hidrograma Unitario Triangular	215.16	246.87	357.27
Fórmula Racional	236.68	271.56	90.73
TR-55	83.69	90.73	114.10

3.2.6.1. FÓRMULA RACIONAL

La fórmula racional es de los métodos más antiguos de la relación lluvia-escurrimiento. Su origen se remonta 1851 a 1889. Este modelo toma en cuenta, además del área de la cuenca, la altura o intensidad de la precipitación y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Qp = 0.278CiAcKa^{16}$$

Donde:

Qp= Caudal máximo posible que puede producirse con una lluvia de intensidad i, en m³/s

C= Coeficiente C de escurrimiento que representa la fracción de la lluvia que escurre de forma directa, adimensional

I= Intensidad de la lluvia en el tiempo de concentración, mm/hr

Ac= Área de la cuenca, km²

Ka= Factor de corrección por área. Si $A < 1 \text{ km}^2$; 1, Si $1 \text{ km}^2 < A < 3000 \text{ km}^2$; $1 - \log \frac{Ac}{15}$

3.2.6.2. HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR

El cálculo del gasto pico por medio del hidrograma unitario triangular es un método en el cual se requiere conocer las características fisiográficas de la cuenca. Ha sido desarrollado para cuencas pequeñas y la forma del hidrograma, muestra un triángulo donde el punto más alto es el gasto pico calculado en base al tiempo de concentración que se tiene en la cuenca.

La expresión para calcular el gasto pico es la siguiente:

$$Qp = 0.556 \frac{h_{pe} A}{n T_p} \quad 17$$

Donde:

h_{pe} = Lámina de lluvia efectiva (Us Soil Conservation Service 1957) (mm). $h_{pe} =$

$$\frac{10 \left(\frac{h_p}{10} \frac{508}{N} + 5.08 \right)^2}{\left(\frac{h_p}{10} + \frac{2032}{N} - 20.32 \right)} \quad (h_p = \text{Altura de precipitación para una duración igual al } T_c \text{ en mm})$$

A= Área de la cuenca (km²)

n=Factor de corrección por área. Para cuencas donde $A \leq 250 \text{ km}^2$, n=2

T_p = Tiempo pico (hr). Para cuencas pequeñas $T_p = \frac{T_c}{2} + 0.6 T_c$

3.2.6.3. MÉTODO DEL TR-55

El método del TR-55 fue propuesto por el Natural Resources Conservation Service (NRCS) para calcular el gasto pico en cuencas pequeñas y medianas ya sean urbanas o rurales con

tiempos de concentración entre 6 minutos y 10 horas. Se calcula por medio de la siguiente expresión (Campos Aranda, 2010):

$$Q = q_u P_e F_p A$$

Donde:

q_u = Gasto pico unitario (m^3/s por cm de lluvia en exceso y km^2 de área de cuenca, $m^3/s/cm/km^2$).

P_e = Precipitación en exceso correspondiente a lluvia de 24 horas de duración y periodo de retorno de diseño, corregida por tamaño de cuenca (cm).

A = Área de la cuenca (km^2).

F_p = Factor de ajuste por estanques y pantanos en la cuenca según el porcentaje (Para cuencas donde no existen pantanos o estanques el valor será de 1)

El gasto pico unitario (q_u) se calcula con la siguiente expresión:

19

$$\log(q_u) = C_0 + C_1 \log(T_c) + C_2 [\log(T_c)]^2 - 2.366$$

Donde:

T_c = Tiempo de concentración de la cuenca (horas)

C_0 , C_1 y C_2 = Coeficientes que se obtienen de la Tabla 35 en función del tipo de tormenta NCRCS y del cociente I_a/P_c donde:

I_a = Pérdidas iniciales durante la tormenta, función del número N (mm)

P_c = Lluvia de 24 horas de duración y T_r de diseño corregida por tamaño de la cuenca (mm)

Tabla 8. Tabla de parámetros para el cálculo del gasto pico unitario, función del tipo de tormenta y del cociente Ia/Pc para la república mexicana, excepto la península de Baja California, la costa del Golfo de México y sureste mexicano. Fuente: (Campos Aranda, 2010)

Ia/Pc	Co	$C1$	$C2$
0.10	2.55323	-0.61512	-0.16403
0.15	2.53125	-0.61698	-0.15217
0.20	2.50928	-0.61885	-0.14030
0.25	2.48730	-0.62071	-0.12844
0.30	2.46532	-0.62257	-0.11657
0.35	2.41896	-0.61594	-0.08820
0.40	2.36409	-0.59857	-0.05621
0.45	2.29238	-0.57005	-0.2281
0.50	2.20282	-0.51599	-0.01259

El valor de Ia se calcula con las siguientes ecuaciones:

$$Ia = 0.2S^{20}$$

$$S = \left(\frac{25400}{N} - 254 \right)^{21}$$

Donde:

S = Retención máxima potencial (mm)

N = Numero de la curva de escurrimiento del SCS

La precipitación en 24 horas debe ser corregida por magnitud de cuenca mediante el factor de reducción de área (FRA) según el U.S. Army Corps of Engineers con la siguiente expresión:

$$FRA = 1.0 - 0.091293 * (1.0 - e^{-0.005794 * A})^{22}$$

$$Pc = FRA * P^{23}$$

4. ESTUDIO TOPOGRÁFICO

El levantamiento topográfico fue realizado empleando estación total marca Sokia de manera que fue posible obtener curvas de nivel de terreno natural a cada 20 cm.

En la Figura 10 es posible observar el plano de la planta topográfica y el eje de proyecto, de igual manera, en la siguiente tabla se anexa la memoria de puntos pertenecientes al levantamiento.

Tabla 9. Memoria de puntos de levantamiento topográfico

NOMBRE	X	Y	Z
1	100000.00	1000000.00	100.00
2	99995.67	1000003.31	98.68
3	100000.36	999990.03	104.68
4	100000.38	999990.08	104.67
5	99989.12	1000028.83	104.66
6	99990.77	1000025.19	103.57
7	99992.68	1000021.01	102.73
8	99994.17	1000017.51	101.48
9	99994.09	1000012.88	100.13
10	99995.43	1000010.03	99.31
11	99996.37	1000006.24	98.89
12	99996.61	1000004.29	98.62
13	99997.29	999999.89	99.66
14	99999.42	999995.64	101.62
15	100000.08	999992.24	103.53
16	100006.13	999989.44	104.42
17	100006.07	999992.14	103.06
18	100005.97	999994.30	101.86
19	100006.99	999996.36	100.94
20	100006.76	1000000.44	99.98
21	100006.38	1000003.90	99.48
22	100004.89	1000007.34	98.99
23	100003.18	1000011.40	98.41
24	100001.67	1000015.21	99.18
25	100000.84	1000019.12	100.61
26	100000.45	1000022.91	102.14
27	99998.13	1000027.11	103.44
28	99997.32	1000030.44	104.77
29	99982.75	1000027.35	104.78
30	99983.46	1000024.52	103.89
31	99984.74	1000020.60	103.17

32	99986.64	1000016.15	102.34
33	99987.05	1000012.62	101.30
34	99987.41	1000009.52	100.31
35	99988.90	1000005.80	99.61
36	99990.63	1000002.59	99.00
37	99992.33	1000000.03	98.71
38	99993.73	999995.73	100.98
39	99995.43	999990.04	104.92
40	99987.41	999991.77	101.58
41	99979.13	999987.71	100.00
42	99964.64	999976.98	103.38
43	99954.43	999970.92	104.87
44	99939.67	999968.45	106.80
45	99923.34	999980.09	104.67
46	99906.96	999987.40	103.76
47	99899.29	999991.71	105.61
48	99896.83	999997.84	104.39
49	99940.55	999983.23	101.26
50	99940.92	999985.54	101.13
51	99940.33	999994.66	103.04
52	99940.23	1000001.97	103.67
53	99941.74	1000005.13	104.86
54	99954.67	1000013.26	105.17
55	99966.93	1000020.26	105.61
56	99965.81	1000005.01	102.24
57	99965.35	999990.69	101.22
58	99965.73	999987.89	100.57
59	99968.16	999986.02	100.36
60	99980.34	1000002.67	100.29
61	99984.87	999999.34	99.89
62	99986.30	999997.98	99.05
63	99987.44	999995.94	99.08
64	99987.21	999995.01	100.82

DISEÑO DE LA PRESA FILTRANTE DE GAVIONES

4.1. DISEÑO HIDRÁULICO DEL VERTEDOR

El vertedor de una presa filtrante de gaviones va diseñado en función del caudal máximo de diseño, considerando que este tipo de estructura cuenta con un vertedor rectangular de cresta ancha.

La expresión por la cual se diseña este elemento hidráulico se define a continuación:

$$Q = CLH^{1.5} \quad 24$$

Figura 8. Planta topográfica del área levantada con GPS RTK y eje de proyecto

Donde:

Q: Caudal máximo de diseño, m³/s

C: Coeficiente de descarga, 1.45 para vertedores de cresta ancha

L: Longitud del vertedor, m

H: Carga hidráulica sobre el vertedor

Para el caso de estudio, considerando una longitud del vertedor de 20 m, se obtuvo una carga hidráulica de 1.0 m, a esta carga hidráulica se le deberá agregar un libre bordo para obtener la altura total del vertedor, el cuál de acuerdo al Manual de SAGARPA para Presas de Gaviones (SAGARPA, 2009), la altura mínima del bordo libre será de 1.0 m, con lo que se obtiene una altura total del vertedor de 1.0 m.

4.2. DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA PRESA FILTRANTE DE GAVIONES

En una estructura que actúa por gravedad, se pueden presentar tres tipos de fallas estructurales: volteo, deslizamiento y esfuerzo del suelo.

La revisión al volteo se realiza al dividir el valor del momento resistente entre el valor del momento actuante que generan todas las fuerzas sobre la cortina. Esta relación debe cumplir con un factor de seguridad igual o mayor a 2.0, lo que supone que los momentos causados por el peso propio de la estructura deben ser dos o mas veces mayores que los momentos que actuarán sobre la cortina a causa de fuerzas externas.

25

$$\frac{M.R.}{M.A.} = \frac{20.32 \text{ ton/mts}}{2.17 \text{ ton/mts}} = 9.39 > 2.0$$

La revisión al deslizamiento se realiza al dividir el valor de la fuerza resistente entre el valor de la fuerza actuante, siendo esta relación mayor o igual que 1.5 como factor de seguridad. Las fuerzas horizontales ejercidas sobre la cortina tienden a desplazar a la presa en dirección horizontal. Esta tendencia es soportada por la resistencia del cortante del concreto o de la cimentación. Es común analizar la estabilidad de la cortina al deslizamiento considerando un bloque rígido que asume una distribución de tensión uniforme sobre la estructura.

En casos en los cuales el coeficiente de seguridad al deslizamiento no alcanza los valores recomendados se pueden plantear varias soluciones. La primera es modificar las dimensiones de la cortina, brindando mas peso a la estructura para poder soportar las fuerzas de deslizamiento; también, puede construirse un dentellón que implique un volumen adicional de materiales de cimentación que deben moverse antes de que la estructura pueda deslizarse.

26

$$\frac{F.R.}{F.A.} = \frac{7.85 \text{ ton}}{3.21 \text{ ton}} = 2.44 > 1.5$$

Se debe revisar que la carga que la estructura mande al suelo donde se encuentra desplantada la cortina, no exceda la carga admisible del terreno. La capacidad de carga del terreno se considera de hasta 15 ton/m² y de acuerdo al cálculo de esfuerzos sobre el terreno, se obtiene

un valor de 6.79 ton/m² que ejercerá la estructura sobre el suelo, por lo que se encuentra que la capacidad de carga del terreno es factible para el emplazamiento de la presa.

6. ESTIMACIÓN DE VOLUMENES DE OBRA Y CATÁLOGO DE CONCEPTOS

En la Tabla 11 se presenta el catálogo de conceptos, volúmenes de obra y precios unitarios correspondientes a la presa filtrante de gaviones diseñada.

Tabla 10. Catálogo de conceptos y volúmenes de obra

No.	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	IMPORTE
GAVION 1					
1	Trazo y nivelación con aparato topográfico estableciendo ejes de referencia y bancos de nivel. Incluye: suministro de materiales, mano de obra, herramienta, limpieza, acarreo, descargas y almacenamiento dentro y fuera de la obra, especificaciones y/o indicaciones por parte de la dependencia para su correcta ejecución.	m2	322.90	\$ 7.76	\$ 2,505.70
2	Limpieza y desentrañe de terreno con maquinaria. Incluye: acarreo del material producto de la limpieza fuera del área de trabajo, mano de obra, equipo, acarreo, limpieza y todo lo necesario para su correcta ejecución.	m2	322.90	\$ 136.58	\$ 44,101.68
3	Excavación en material "C" por medios manuales. Incluye: herramienta, mano de obra, acarreo de material hasta 1 km y todo lo necesario para su correcta ejecución.	m3	53.78	\$ 939.14	\$ 50,506.95
4	Excavación en material "B" profundidad hasta 1.5 metros por medios manuales. Incluye: herramienta, mano de obra, acarreo de material hasta 1 km y todo lo necesario para su correcta ejecución.	m3	88.00	\$ 241.84	\$ 21,281.92
5	Carga y acarreo de material sobrante producto de corte o desmonte, a una distancia de 5 km promedio.	m3	184.31	\$ 93.98	\$ 17,321.83
6	Mampostería juntada con mortero cemento-arena 1:3 incluye materiales, mano de obra, equipo, herramienta y todo lo necesario para su correcta ejecución.	m3	43.21	\$ 2,962.30	\$ 128,000.98
7	Suministro de gavión fabricado con malla metálica de triple torsión de alambre galvanizado clase III, escuadría tipo 8x10 de acuerdo a norma NMX-085-CANACERO-2005.	pza/m3	494.00	\$ 857.75	\$ 423,728.50
8	Instalación de gavión, nivelado, llenado de piedra de 10 a 20 cms de diámetro equivalente y cosido de tapas, incluye todo lo necesario para su correcta ejecución.	m3	494.00	\$ 2,347.64	\$ 1,159,734.16

9	Suministro y colocación de cartel para señalización hecho a base de perfil cuadrado PTR de 2"x2" Blanco Cal. 12 (24.9 pza-6.10 mts/pza) y Perfil cuadrado PTR de 2"x2" Verde Cal. 11 (28.3 kg/pza-6.10 mts/pza). Incluye dados de concreto f'c=200 kg/cm2 TMA armado con varilla 3/8", lámina galvanizada lisa de 4'x8' Cal. 20, soldado con soldadura 6013-1/8 (25.5 gr/electrodo, 14" longitud/electrodo #39 pza/kg)	pieza	1.00	\$ 20,880.00	\$ 20,880.00
10	HORAS MÁQUINA CON TRACTOR DE CARRILES TOPADOR, MOTOR A DIÉSEL, 6 CILINDROS POTENCIA 180 HP. DIMENSIONES DE LA PALA FRONTAL DE 10 A 12 PIES DE LARGO Y DE 3 A 4 PIES DE ANCHO. INCLUYE OPERADOR, COMBUSTIBLE, MANTENIMIENTO GENERAL DE EQUIPO, FLETES Y/O TRASLADOS REQUERIDOS.	hora maquina	56.00	\$ 2,691.20	\$ 150,707.20

\$ 2,018,768.93

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Es posible concluir que, considerando las condiciones de disponibilidad hídrica en el municipio de Chihuahua, este tipo de obras son de gran utilidad para la disminución de la velocidad del escurrimiento, lo que incrementa la capacidad de infiltración de la zona donde se encuentran emplazadas.

Las presas filtrantes de gaviones en conjunto con obras de control de suelos como las presas de piedra acomodadas, barreras a curvas de nivel, trabajos de reforestación, entre otros a partir de la discretización de microcuencas como unidad de trabajo, son componentes fundamentales para la conservación de los recursos hídricos.

Se recomienda ampliamente que se sigan trabajando este tipo de acciones en coordinación con distintas instituciones, de manera que se trabaje en la disminución del déficit existente en las fuentes de abastecimiento del municipio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aparicio, F. (1987). *Fundamentos de hidrología de superficie*.

Campos Aranda, D. F. (1992). *Procesos del Ciclo Hidrológico*.

Campos Aranda, D. F. (2010). *Introducción a la Hidrología Urbana*.

Campos Aranda, D. F., & Gómez de Luna, R. (1990). Procedimiento para obtener curvas ID-Tr a partir de registros pluviométricos. *Ingeniería Hidráulica En México*, 2, 39–52.
<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Procedimiento+para+obtener+curvas+I-D-Tr+a+partir+de+registros+pluviométricos#0>

Cervantes-Zamora, Y., Lucero, Márquez, R., Espinoza-Rodríguez, J. M., Miranda-Viquez, E., & Pineda-Velázquez, A. (1990). “Provincias Fisiográficas de México”. Extraído de *Clasificación de Regiones Naturales de México II, IV.10.2. Atlas Nacional de México. Vol. II. Escala 1:4000000. Instituto de Geografía, UNAM. México.*

Chen, C.-L. (1983). Rainfall intensity-duration-frequency formulas. *Journal of Hydraulic Engineering*, 109, 1603–1621.

CONAGUA. (2002). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Alcantarillado pluvial.*

Estrada Gutierrez, G. (2008). *Conceptos básicos de hidrología* (Primera ed). Textos Universitarios.

Estrada Gutiérrez, G. (2019). *Apuntes de clase, Hidrología de Cuencas. Maestría en Ingeniería en Hidrología-Universidad Autónoma de Chihuahua.*

García, E., & CONABIO. (2001). “Climas” (*clasificación de Koppen, modificado por García*). *Escala 1:1000000. México.*

INEGI. (2015). *Chihuahua Estado de Chihuahua Cuaderno Estadístico Municipal.*

INEGI. (2016). “*Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación. Escala 1:250 000. Serie VI (Capa Union)*”, escala: 1:250 000. edición: 1. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

INEGI. (2017). Guía para la interpretación de cartografía uso de suelo y vegetación. *Scale 1:250,000: Series VI*, 204.

INEGI. (2019). *Síntesis de información geográfica del estado de Chihuahua.*

INIFAP, & CONABIO. (2001). “*Edafología*”. *Escalas 1:250000 y 1:1000000. México.*

Maderey-R, L. E., & Torres-Ruata, C. (1990). “*Hidrografía*”. Extraído de *Hidrografía e hidrometría*,

IV.6.1 (A). *Atlas Nacional de México. Vol. II. Escala 1: 4000000. Instituto de Geografía, UNAM. México.*

Miranda, F., & Hernández X, E. (1963). *Los tipos de vegetación de México y su clasificación.*

<https://es.scribd.com/doc/208224437/Miranda-y-Hernandez-X-1963-BSBM28-29-176->

Sobretiro-e

PAOT. (1996). *Informe de la situación general en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente.* <http://www.paot.org.mx/centro/inegi/amb1997/>

Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México.* LIMUSA.

SAGARPA. (2009). *Presas de gaviones.* 14.

SEMARNAT, & CONAGUA. (2020). *ACUERDO por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, mismos que forman parte de las regiones hidrológico-administrativas que se indican.* Diario Oficial de la Federación.

SEMARNAT, & CONANP. (2016). *Programa de Manejo Parque Nacional Cumbres de Majalca* (Primera). <http://library1.nida.ac.th/termpaper6/sd/2554/19755.pdf>

ANEXOS

- Plano ejecutivo presa filtrante de gaviones