

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**  
**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO**



Evaluación de Presas Filtrantes de Gaviones en el Ejido Benito Juárez

Por:

**FRANCISCO JAVIER LORENZO CASTELLANOS**

**TESIS:**

**Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:**

**INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL**

Saltillo, Coahuila, México

Noviembre de 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO

Evaluación de Presas Filtrantes de Gaviones en el Ejido Benito Juárez

Por:

**FRANCISCO JAVIER LORENZO CASTELLANOS**

TESIS:


Que somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito  
para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL.**

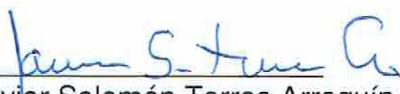
Aprobada por:



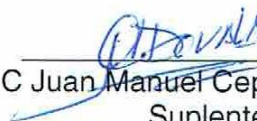
Dr. José de Jesús Rodríguez Sahagún  
Asesor principal



Ing. Víctor Gabriel Tapia González  
Asesor



M.C. Javier Salomón Torres Arreguín  
Asesor



M.C. Juan Manuel Cepeda Dovala  
Suplente

Universidad Autónoma Agraria  
"Antonio Narro"



Coordinación de la División  
de Ingeniería



Dr. Luis Samaniego Moreno  
Coordinador de la división de ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila México. Noviembre, 2017

## *DEDICATORIA*

*A mí ser superior Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi vida y carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado.*

*Mis padres Susana Castellanos Galván y Javier Lorenzo Solís por darme el regalo más valioso, la vida y porque me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega,*

*A mis amigos aquellos que siempre han estado conmigo en todo momento y el trato es como hermanos, pues eso en realidad eso son.*

## *AGRADECIMIENTOS*

*En especial al Dr. José de Jesús Rodríguez Sahagún por brindarme sus conocimientos, apoyo y tiempo incondicional durante la elaboración de esta tesis. ·*

*Al Ing. Víctor Gabriel Tapía González por creer en mí, por sus consejos y apoyo constante incondicional como si fuera un segundo padre.*

*Al MC. Juan Manuel Cepeda Dovala que siempre estuvo atento y dispuesto a colaborar con mígo y con el resto de mis compañeros*

*Al MC. Javier Salomón Torres Arreguín por ser parte de este trabajo y dar persistencia para una buena presentación de este.*

*Agradezco a mí Alma Terra Mater por haberme aceptado para formar parte de ella y brindado el Camino hacia el éxito de un ingeniero Agrícola y Ambiental. Así como también a todos profesores durante esta carrera a quienes les debo gran parte de mis conocimientos, gracias a su paciencia y enseñanza*

# ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO .....	1
ÍNDICE DE CUADROS .....	3
ÍNDICE DE FIGURAS .....	4
RESUMEN .....	6
I INTRODUCCIÓN .....	8
OBJETIVOS .....	10
GENERAL .....	10
ESPECÍFICO .....	10
HIPOTESIS .....	10
II REVISIÓN DE LITERATURA .....	11
2.1. Erosión de los suelos .....	11
2.1.1. Agentes de la erosión .....	11
2.1.2. Erosión Hídrica .....	13
2.1.3. Factores que intervienen en el proceso de la erosión hídrica .....	13
2.1.4. Formas de Erosión Hídrica .....	16
2.2. Cárcava .....	18
2.2.3. Clasificación de las cárcavas .....	18
2.2.4. Daños causados por las cárcavas (CP, 1991) .....	19
2.3. Límites Permisibles de Erosión (LPE) .....	19
2.4. Infiltración del suelo .....	21
2.4.1. Velocidad de infiltración .....	22
2.4.3. Factores que Afectan a la Infiltración. ....	23
2.5. Conductividad hidráulica del suelo .....	24
2.5.2. Factores que afectan la conductividad hidráulica del suelo .....	25
2.5.1. Clasificación de la conductividad hidráulica .....	26
III MATERIALES Y MÉTODOS .....	27
3.1. Localización de área de estudio .....	27
3.1.2. Clima .....	28
3.1.3 Diagrama ombrotermico de Gaussen .....	30

3.1.4. Delimitación edafológica.....	32
3.1.6. Delimitación geológica .....	38
3.1.7. Delimitación uso del suelo .....	44
3.1.8. Determinación de uso potencial del suelo.....	50
3.2. Trabajo de campo .....	56
3.2.1. Levantamiento topográfico actual de la cárcava .....	57
3.2.2. Procedimiento del muestreo .....	58
3.2.3. Determinación de la Densidad aparente .....	61
3.3. Trabajo de laboratorio .....	62
3.3.1. Granulometría .....	62
3.3.2. Conductividad hidráulica.....	63
3.3.3. Materia orgánica .....	64
3.4. Trabajo de gabinete .....	65
3.4.1. Área de estudio .....	65
3.4.2. Estudio de la cuenca.....	66
3.4.3. Espaciamiento de presas.....	67
3.4.4. Altura efectiva de la presa. ....	68
3.4.5. Gasto máximo .....	69
3.4.5. Diseño del vertedor.....	70
3.4.6 Delantal o colchón hidráulico.....	71
3.4.7. Protección de los taludes .....	71
3.4.9. Cálculo estructural del diseño.....	73
3.4.10. Evaluación del azolve acumulado en las presas filtrantes de gaviones .....	75
IV. RESULTADOS .....	79
4.1. Escurrimiento superficial .....	79
4.2. Volumen de azolve acumulado .....	79
4.3. Contenido de materia orgánica en el azolve.....	79
4.4. Análisis granulométrico.....	80
4.5. Valores de conductividad hidráulica (K).....	81
V. DISCUSIÓN .....	83
VI. CONCLUSIÓN.....	85
VIII. RECOMENDACIONES.....	86
BIBLIOGRAFÍA.....	87

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Aumento de erosión dependiendo del tipo de cobertura .....	16
Cuadro 2. Clasificación de las cárcavas según su profundidad y área drenada.....	19
Cuadro 3. Tasas de erosión máximas permisible (Mg ha-1 año-1).....	21
Cuadro 4. Taza de infiltración .....	23
Cuadro 5. Clasificación de la conductividad hidráulica .....	26
Cuadro 6. Precipitación anual mensual .....	28
Cuadro 7. Historial de temperaturas en °C.....	29
Cuadro 8. Evaporación mensual en mm .....	29
Cuadro 9. Datos históricos del clima en el Ejido Benito Juárez .....	30
Cuadro 10. Delimitación edafológica de la cuenca .....	34
Cuadro 11. Delimitación edafológica del área de exclusión.....	35
Cuadro 12. Simbología de la unidad de suelo y textura .....	36
Cuadro 13. Delimitación geológica de la cuenca .....	40
Cuadro 14. Delimitación geológica del área de exclusión .....	41
Cuadro 15. Simbología del tipo de roca.....	42
Cuadro 16. Delimitación del uso del suelo de la cuenca.....	46
Cuadro 17. Delimitación del uso del suelo del área de exclusión .....	47
Cuadro 18. Simbología del uso del suelo .....	48
Cuadro 19. Delimitación del uso potencial de la cuenca .....	52
Cuadro 20. Delimitación edafológica del área de exclusión.....	53
Cuadro 21. Simbología de las limitaciones del Uso potencial del suelo .....	55
Cuadro 22. Indicadores del cauce principal de la cuenca .....	67
Cuadro 23. Tamaño de gaviones comerciales con sus volúmenes.....	71
Cuadro 24. Acumulamiento de azolve en cada una de las presas filtrantes .....	79
Cuadro 25. Fracciones de materia orgánica en el azolve.....	80

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Clasificación de las cárcavas según su sección transversal. ....	18
<b>Figura 2.</b> Ubicación geográfica del ejido Benito Juárez, Saltillo, Coahuila. ....	27
<b>Figura 3.</b> Duración e Intensidad del Período de la Sequía. ....	31
<b>Figura 4.</b> Mapa edafológico del área de la cuenca. Escala: 1:20000 .....	32
<b>Figura 5.</b> Mapa edafológico del área de exclusión. Escala: 1:15000 .....	33
<b>Figura 6.</b> Representación gráfica de la delimitación edafológica de la cuenca.....	34
<b>Figura 7.</b> Representación gráfica de la delimitación edafológica del área de exclusión.....	35
<b>Figura 8.</b> Mapa geológico del área de la cuenca. Escala: 1:20000.....	38
<b>Figura 9.</b> Mapa geológico del área de exclusión. Escala: 1:15000 .....	39
<b>Figura 10.</b> Representación gráfica de la delimitación geológica de la cuenca.....	40
<b>Figura 11.</b> Representación gráfica de la delimitación geológica del área de exclusión.....	41
<b>Figura 12.</b> Mapa uso del suelo de la cuenca. Escala: 1:20000. ....	44
<b>Figura 13.</b> Mapa uso del suelo del área de exclusión. Escala: 1:15000. ....	45
<b>Figura 14.</b> Representación gráfica del uso del suelo en la cuenca.....	46
<b>Figura 15.</b> Representación gráfica de la delimitación del uso del suelo en el área de exclusión.....	47
<b>Figura 16.</b> Mapa uso potencial de la cuenca. Escala: 1:20000.....	50
<b>Figura 17.</b> Mapa uso potencial del área de exclusión. Escala: 1:15000. ....	51
<b>Figura 18.</b> Representación gráfica de la delimitación uso potencial del suelo en la cuenca. ....	52
<b>Figura 19.</b> Representación gráfica de la delimitación edafológica del área de exclusión. ....	53
<b>Figura 20.</b> Representación de la clasificación de clases para el uso potencial del suelo. ....	54
<b>Figura 21.</b> Selección de los sitios para la construcción de las presas de gaviones. ....	56
<b>Figura 22.</b> Levantamiento topográfico del cauce de la cárcava y unión de las presas a un banco de nivel.....	57
<b>Figura 23.</b> Levantamiento topográfico actual (presa 10), el cual muestra el azolve acumulado.....	58
<b>Figura 24.</b> Delimitación del área de exclusión. ....	59
<b>Figura 25.</b> Localización de las presas.....	59
<b>Figura 26.</b> Extracción de la muestra del azolve.....	60
<b>Figura 27.</b> Excavación de un cubo de 10 x 10 x 10 cm.....	61
<b>Figura 28.</b> Uso de Tamices para la separación de tamaño de partículas. ....	62
<b>Figura 29.</b> Determinación de la conductividad hidráulica. ....	63
<b>Figura 30.</b> Determinación de materia orgánica. ....	64
<b>Figura 31.</b> Representación de la cuenca.....	66
<b>Figura 32.</b> Espaciamiento entre presas por el método "pie- cabeza". ....	68
<b>Figura 33.</b> Vertedor de cresta ancha.....	70
<b>Figura 34.</b> Vista de frente y de planta del diseño de la colocación de gaviones de la presa filtrante 10, de acuerdo con el perfil natural.....	72
<b>Figura 35.</b> Vista de perfil de la estructura y del delantal con alerones de la presa filtrante 10. ....	72
<b>Figura 36.</b> Vista de planta que representa la distribución de cada una de las presas y la longitud de la cárcava.....	76



<b>Figura 37.</b> La línea roja representa el perfil natural de la cárcava, la amarilla indica el actual y la línea rosa delimita el área que se consideró para el cálculo del volumen.....	77
<b>Figura 38.</b> Perfil longitudinal que representa el azolve. La línea amarilla el perfil actual y la línea rojo el natural presa 9. ....	78
<b>Figura 39.</b> Distribución del tamaño de las partículas del azolve acumulado de cada una de las presas filtrantes. ....	81
<b>Figura 40.</b> Resultados de la conductividad hidráulica de cada una de las presas. ....	82

## RESUMEN

El presente trabajo se realizó en el ejido Benito Juárez perteneciente al municipio de Saltillo Coahuila con el objetivo de reducir los efectos de la erosión con la implementación de presas filtrantes de gaviones y evaluar cuantitativamente su efecto y eficiencia por un periodo de tiempo de tres años. Esta investigación se realizó en tres fases.

La primera fue la de la construcción de las presas filtrantes. El trabajo comenzó con el reconocimiento del área mediante recorridos de campo, delimitarlo el área de exclusión con GPS y con ayuda de la información cartográfica y temática de la zona se delimitaron los dientes tipos de suelo, roca, vegetación y su uso potencial. El siguiente paso fue el estudio de la cuenca mediante el simulador de flujos de agua de cuencas hidrográficas (INEGI). Para medir la magnitud de la cárcava se realizó un levantamiento topográfico utilizando el nivel motado y a partir de los datos obtenidos en campo se decidió el número y espaciamiento de presas a construir (10 presas). Para el diseño y cálculo estructural de las presas se utilizaron como herramientas el software AutoCAD 2013 y Excel 2013. Una vez obtenidos el diseño particular de cada presa llevó a cabo la ejecución de la obra para la recuperación de la cárcava

La segunda fase fue evaluar cuantitativamente su efecto y eficiencia, etapa que consistió en realizar un segundo levantamiento topográfico el cual fue comparado con el primero tomando como referencia la cota menor de ambos perfiles para obtener el incremento de azolve acumulado

La tercera fase fue de laboratorio, donde se realizaron determinación de los parámetros físicos del azolve como: densidad aparente (se pesó el suelo extraído del cubo), conductividad hidráulica (permeámetro de carga constante), granulometría (a través de 6 tamices de diferente diámetro) y un parámetro químico contenido de materia orgánica (Walkley y Black),

Los resultados de gabinete y de laboratorio demuestran que, la implementación de presas filtrantes de gaviones, acumuló un volumen significativo de azolve, a lo largo de la cárcava. La prueba granulométrica indicó que el diámetro de las partículas menores a 2 mm representan el 59.2 %, mientras que la prueba de materia orgánica indica valores medios de 3.81%.esto justifica los valores extremadamente lentos de la conductividad hidráulica obtenidos, debido a un alto porcentaje de materiales finos y a un alto contenido de materia orgánica

**Palabras Clave: Erosión Hídrica, Cárcava, Presas filtrantes, Azolve, Gavión**

## I INTRODUCCIÓN

La degradación del suelo es un proceso inducido por el hombre y las actividades que realiza, tanto la agricultura como la ganadería son responsables del deterioro de las propiedades físicas y químicas de este recurso. Este tipo de erosión es acelerada o inducida la cual se presenta cuando el hombre modifica la superficie terrestre, manipulando la capa arable y la cobertura vegetal en los terrenos agrícolas, promoviendo la sobreutilización de agostaderos o al deforestar áreas arboladas de arbustos (Loredo *et al.*, 2007). La degradación del suelo en el ejido Benito Juárez, es particularmente importante, el proceso de erosión es producido por las condiciones edáficas que imperan en la región y las principales actividades generadoras de ingreso como la producción de agostaderos para el pastoreo de cabras. De la superficie 4571.7086 ha; el 96 % es decir 4384.7086 ha se destinan a agostadero, donde pastan 585 especies diversas.

La forma más común de degradación es la que provoca el agua, este es un proceso físico que consiste en el desprendimiento, transporte y deposición de las partículas del suelo por efectos de la acción del agua erosiona al suelo de dos maneras: la primera por el impacto de la lluvia y la segunda por la fricción del escurrimiento superficial sobre el terreno. Este proceso se desencadena básicamente cuando el hombre provoca con sus actividades el deterioro de la cobertura vegetal. (Becerra, 2005).

Después de una precipitación el escurrimiento superficial se mueve de manera laminar, al acumularse en las zonas más bajas del terreno forma pequeños arroyos o surcos. Esto ocurre cuando la esorrentía se concentra en algunos sitios hasta adquirir volumen y velocidad suficientes para hacer cortes y formar canalículos que se manifiestan en la superficie (Suárez, 1980). Cuando la intensidad de agua que corre por los surcos con el paso del tiempo agranda sus dimensiones forman cárcavas (Honorato, 2000). Es la forma producida por la socavación repetida sobre el terreno debido al flujo incontrolado de los escurrimientos superficiales (Colegio de Posgraduados, 1991)

Para contrarrestar este desastre ambiental es de importancia emprender acciones inmediatas como realizan obras y prácticas para la restauración de suelos que son elegidas en función de las condiciones de degradación que se presenten en el área a restaurar, las características del suelo, la disponibilidad de los materiales a utilizar, (CONAFOR, 2009).

Las soluciones deben partir de la recuperación de cárcavas mediante el repoblamiento de la ladera con vegetación permanente (pastos, arbustos o árboles). Para detener el escurrimiento del agua y del suelo, se pueden construir diferentes tipos de presas, como, de llantas, mampostería, gaviones o de piedra acomodada, (CONAFOR, 2009). El control de cárcavas debe estar dentro del plan de manejo de una zona de producción, conservación y protección y debe considerarse como un sistema de recuperación de zonas degradadas

Con el propósito de conocer si las presas filtrantes de gaviones construías como parte del proyecto estratégico para el desarrollo de las zonas áridas en el año 2013 son eficientes, el presente trabajo muestra la construcción y eficiencia de las presas filtrantes de gaviones en el ejido Benito Juárez perteneciente al municipio de Saltillo Coahuila a través de la cuantificación del volumen de azolve acumulado, su equivalencia en peso y sus principales características en cada una de las presas filtrantes.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

Evaluar cuantitativamente el efecto y eficiencia de la implementación de presas filtrantes de gaviones en zonas áridas situadas en el ejido Benito Juárez, Municipio de Saltillo, Coahuila

### **ESPECÍFICO**

- Calcular el escurrimiento superficial de la cuenca donde está ubicada el área de exclusión
- Determinar la capacidad de retención del azolve de cada una de las presas
- Realizar pruebas de granulometría, contenido de materia orgánica y conductividad hidráulica del azolve
- Comprobar la situación actual de la cárcava

## **HIPOTESIS**

Las presas filtrantes de gaviones funcionan eficazmente para estabilizar y evitar el crecimiento de las cárcavas por los efectos de la erosión hídrica, a través del acumulamiento de materiales conservando los recursos suelo y agua

## II REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Erosión de los suelos

Se considera a la erosión como un fenómeno que implica desprendimiento arrastre y depósito de los sedimentos, por la gravedad o el hombre. En tanto este proceso erosivo debe entenderse como la conjunción de agentes (lluvia, viento), de factores erosivos (pendiente, vegetación) que producen un desgaste o degradación del medio físico, manifestando el desequilibrio y la inestabilidad del relieve (Vanchapaxi y Pozo, 1993). De acuerdo con el Colegio de Posgraduados, (CP, 1991), es el proceso relativo al desprendimiento y arrastre de los materiales del suelo, causados por el agua y viento. Si este proceso se lleva a cabo en condiciones naturales se denomina erosión geológica pudiendo ser considerada como una forma de conservación de relieve y formación de suelos (Kirkby y Morgan, 1984). Si la tasa de erosión se incrementa por las actividades humanas, se manifiesta la erosión acelerada o inducida, la cual se presenta cuando el hombre modifica la superficie terrestre, manipulando la capa arable y la cobertura vegetal en los terrenos agrícolas, promoviendo la sobreutilización de agostaderos o al deforestar áreas arboladas de arbustos (Loredo *et al.*, 2007).

#### 2.1.1. Agentes de la erosión

El impacto de la erosión depende de factores como la agresividad de los agentes erosivos, la pendiente del terreno y la naturaleza de la cobertura vegetal, así como la susceptibilidad del suelo al ser erosionado (Moreno *et al.*, 2000). Según Hudson (2006) y el Colegio de Postgraduados (1997), los principales agentes de erosión son el agua, el viento, los cambios de temperatura y los procesos biológicos, de los cuales los dos primeros son los que revisten mayor importancia.

**Agua:** es el agente de la erosión más importante ya que la acción de las gotas de lluvia al hacer impacto sobre la superficie del suelo y al sobrevenir el escurrimiento superficial, producen grandes pérdidas del suelo.

**Viento:** es un agente climático que según su intensidad produce también erosión y afecta la formación de los suelos a través del desprendimiento, transporte, deposición

y mezclado del suelo. El viento no erosiona por sí mismo a las rocas, si no que la abrasión provocada por las partículas del suelo que él transporta.

**Los cambios de temperatura.** Cuando se considera la erosión geológica, el paso del tiempo apenas se nota, y aun cambios pequeños o muy lentos se vuelven perceptibles hasta después de un largo tiempo.

**Los agentes biológicos.** El proceso erosivo también está influenciado por los organismos vivos en forma directa o indirecta.

**Suelo.** Desde el punto de vista de la erosión, resulta necesario conocer tres factores que son importantes:

- La cantidad de agua que el suelo puede retener
- La velocidad de absorción del suelo
- La resistencia del suelo a la erosión, una vez que ya absorbido toda el agua que pueda retener

Si un suelo pudiera retener toda el agua a medida que va lloviendo, no existiría la erosión pero son previsiblelluvias torrenciales y, por lo tanto, las pendientes no protegidas están expuestas a este fenómeno (Orquera, 1996). Partiendo de la premisa de que los suelos difieren en cuanto al agua que pueden absorber y a la velocidad con que la absorben, resulta evidente que la magnitud de la erosión será variable.

Para indicar la susceptibilidad de un suelo a la erosión se emplea el termino erodabilidad o erodibilidad, que viene determinada por las características como: textura, densidad de las partículas, estructura del suelo, materia orgánica, profundidad del suelo, características del subsuelo y la fertilidad del suelo (Orquera, 1996).

**El hombre.** En general, el término erosión del suelo se usa para significar erosión acelerada, es decir, aquella erosión que resulta como consecuencia de la perturbación del paisaje natural, usualmente producida por el hombre. Por otro lado las actividades



agrícolas, como las quemadas, pastoreo excesivo, tala de bosques y cultivos inadecuados, son actividades que alteran el equilibrio ecológico, aumentando el peligro de la erosión del suelo (Hudson, 1982).

La tierra es un agente dinámico, sujeto a cambios físico-químico-biológicos. Cuando el equilibrio natural no se ha perturbado, los procesos se desarrollan a un ritmo en que la remoción de las partículas se equilibra con la formación de un nuevo suelo. Cuando, la relación hombre-suelo no es adecuada, este equilibrio se rompe, produciendo erosión, degradación y pérdida de fertilidad (Carvajal, 1990).

### **2.1.2. Erosión Hídrica**

La erosión hídrica es un proceso físico que consiste en el desprendimiento, transporte y deposición de las partículas del suelo por efectos de la acción del agua. Como agente activo, el agua erosiona al suelo de dos maneras: la primera por el impacto de la lluvia y la segunda por la fricción del escurrimiento superficial sobre el terreno, ambos mecanismos actúan simultáneamente durante una tormenta. Este proceso se desencadena básicamente cuando el hombre provoca con sus actividades el deterioro de la cobertura vegetal (Becerra, 2005).

Suárez, (1980) indica que la cantidad, intensidad y distribución de la lluvia, depende el volumen del flujo que se desliza en capas uniformes sobre la tierra, llevando en suspensión las partículas de suelo y por consiguiente iones solubles y minerales, que se concentran como parte del flujo del agua de escorrentía formando canales y cárcavas que cortan la superficie del suelo.

### **2.1.3. Factores que intervienen en el proceso de la erosión hídrica**

**Precipitación.** Es el principal factor climático que influye en la erosión hídrica por su energía cinética. Dentro de la caracterización de las lluvias es necesario conocer: cantidad y distribución, ya que la precipitación media y su distribución indican los períodos críticos en cuanto a la ocurrencia de tormentas erosivas; e intensidad, la cual define la energía cinética que desencadena los procesos de desprendimiento y

escurrimiento (Cisneros *et al.*, 2012). Según Suárez (1980, citado por Pizarro, 2005), el factor climático que más influye en la erosión es la precipitación. De su cantidad, intensidad y distribución depende el volumen del flujo que se desliza en capa uniforme sobre la tierra, llevando en suspensión los minerales. La capacidad erosiva del impacto de las gotas de lluvia depende de su carga de energía, que es función de la distribución de tamaño de gota y de la velocidad con la que impacta sobre la superficie del suelo (Hunson, 1971). Por otra parte, el poder erosivo efectivo del impacto de las gotas va a depender no solo de las propiedades de las gotas, sino también de las propiedades del suelo y de la interacción entre ellas (Park *et al.*, 1982).

**Topografía.** La inclinación y la longitud de la pendiente del terreno juegan un papel fundamental en el proceso de erosión hídrica; así a mayor inclinación y longitud de pendiente suele existir una mayor erosión (Dumas, 2012). Según Mardones (2007), la erosión se va incrementando a medida que aumenta la pendiente del terreno ya que también lo hacen la cantidad y la energía de la escorrentía superficial. En una superficie plana, las gotas de lluvia salpican las partículas de suelo en todas direcciones. Estadísticamente cuando se observa al efecto de la erosión por salpicamiento en un terreno inclinado, las partículas de suelo tienden a desplazarse hacia abajo, aumentando la proporción en función de la pendiente.

**Edáficos.** La erosionabilidad o erodabilidad del suelo es una medida de la susceptibilidad al desprendimiento y transporte por los agentes de la erosión (Cisneros *et al.*, 2012). La misma está determinada por la naturaleza de los materiales que forman el suelo, su textura, estructura y permeabilidad. Ésta se puede definir como la susceptibilidad o vulnerabilidad de un suelo a sufrir procesos de erosión, se relaciona directamente con las propiedades físico químicas del suelo. La erosionabilidad afecta directamente a la facilidad de absorber agua. Por consiguiente, para que un perfil continúe infiltrando después de haberse saturado el suelo es preciso que tenga una textura media. La estructura del suelo, relacionada con los contenidos de humus, es otro factor determinante en la infiltración, por el efecto en la mayor cantidad de poros (Ayres, 1960).

**La vegetación.** Presente en el suelo actúa disminuyendo la erosión ya que protege y sujeta el suelo, y además atenúa la escorrentía favoreciendo la sedimentación de las partículas transportadas (Dumas, 2012). Es comúnmente aceptado que la cobertura vegetal, como los bosques ayudan a regular el caudal y a reducir la escorrentía. Aunque esto es cierto, los ecosistemas utilizan y requieren mucho del recurso agua (FAO 2003). Aunque varios autores reconocen que la cobertura forestal disminuye caudales anuales, Stadtmüller (1994) indica que el bosque garantiza, la estabilidad del flujo sub superficial y brinda una adecuada protección al suelo. Este es un aspecto muy importante, sobre todo en áreas tropicales y subtropicales, donde la norma general es contar con precipitaciones de intensidades muy erosivas (INB 2003).

**Sistema de producción o uso del suelo.** Es un factor primordial condicionante de la erosión ya que modifica las condiciones naturales del suelo. La erosión dependerá en gran medida del manejo y del tipo de cultivo implantado (Dumas, 2012). Al convertir un bosque a pastizal (o a otro tipo de cultivo) puede explicarse en función del efecto que tiene el dosel de la vegetación sobre los componentes del balance hídrico. El agua en el bosque se pierde a la atmósfera por evapotranspiración. Al mismo tiempo, los pastizales (con menores índices de área foliar y pérdidas por evapotranspiración) pasan directamente al suelo para alimentar la escorrentía. Si esta salida de agua aumenta al tiempo que disminuyen la vegetación y el contenido de agua del suelo, el retorno de agua a la atmósfera por evapotranspiración local disminuirá a largo plazo. Por ende, también se reduce la precipitación, especialmente cuando es de tipo convectivo (Cavelier y Vargas 2002). En el Cuadro 1 se puede observar que según el tipo de vegetación determina el grado de protección de la tierra (FAO-MAG 1996).

**Cuadro 1. Aumento de erosión dependiendo del tipo de cobertura**

Tipo de cobertura	Aumento de la erosión
Bosque	1
Pasto mejorado o de corte	16
Vegetación natural baja	24
Cacao	80
Banano	124
Café con sombra	140
Café sin sombra	220
Caña de azúcar	553
Tomate o chile dulce	1004
Maíz	1060
Papa – zanaoria	1170
Papa - cebolla	1370

La eliminación de la vegetación, el sobrepastoreo o la quema indiscriminada son factores que aceleran los procesos erosivos, e incrementan las tasas de sedimentación. La sobreexplotación de áridos (arena para la construcción), o la minería a cielo abierto en ambientes serranos, son otros de los factores que implican serios impactos ambientales negativos, en la degradación del recurso agua y en la probable contaminación (Cisneros *et al.*, 2012).

#### **2.1.4. Formas de Erosión Hídrica**

Es posible distinguir distintas formas de erosión hídrica las cuales se pueden encontrar combinadas en terreno. La definición de las formas, normalmente se presenta en un orden creciente en función del daño producido al suelo.

**Erosión por impacto.** El efecto de la gota de lluvia sobre el suelo desnudo se denomina erosión por impacto o salpicadura. Cuando la gota cae a través de la atmósfera, sufre cambios en su tamaño por condensación o evaporación; ésta cae por gravedad y al no encontrarse con obstáculos, golpea al suelo de forma directa con una fuerza considerable, disgregando así las partículas terrosas (García, 1999).

**Erosión laminar.** Según Honorato (2000), la erosión laminar se define como el movimiento uniforme y difuso de una capa delgada de suelo sobre las laderas, como consecuencia del escurrimiento del agua. El flujo laminar sobre la superficie del suelo ocurre principalmente cuando es lisa y de pendiente uniforme (FAO, 1978). Este tipo de erosión es altamente perjudicial, debido a que aporta grandes cantidades de sedimentos a los cursos de agua, además de remover la capa más fina de suelo, lo que se traduce en una notable disminución en la fertilidad (Mintegui y López, 1990). La erosión laminar deja al descubierto nuevas capas.

**Erosión por surcos o regueros.** La erosión por surcos ocurre cuando por pequeñas irregularidades del terreno, la escorrentía se concentra en algunos sitios hasta adquirir volumen y velocidad suficientes para hacer cortes y formar canalículos que se manifiestan en la superficie (Suárez, 1980). Este tipo de erosión se puede eliminar con la labranza (Honorato, 2000). No existe ningún límite definido que señale el final de la erosión laminar y el comienzo de la erosión en surcos (FAO, 1978). El desprendimiento y el transporte de partículas de suelo son mayores en la erosión en surcos que en la laminar. Ello se debe a la aceleración de la velocidad del agua en movimiento cuando se concentra y desplaza en surcos. En la erosión en surcos, el desprendimiento se origina principalmente por la energía del flujo de agua y no por el choque de las gotas de agua de lluvia, como ocurre en la erosión laminar (FAO, 1978).

**Erosión en cárcavas.** Está representada por un estado avanzado de erosión; su formación es compleja y ha estado precedida por los tipos de erosión descritos anteriormente. La erosión en cárcavas se genera por una gran concentración de escorrentía y se manifiesta por profundas incisiones en el terreno. Esto ocurre como consecuencia del flujo de agua que amplía y profundiza el surco o por la concentración del escurrimiento de varios surcos en uno, que posteriormente se agranda por socavamiento y por aceleración del proceso en dirección de la pendiente (Honorato, 2000).

## 2.2. Cárcava

Es la forma producida por la socavación repetida sobre el terreno debido al flujo incontrolado de los escurrimientos superficiales (CP, 1991)

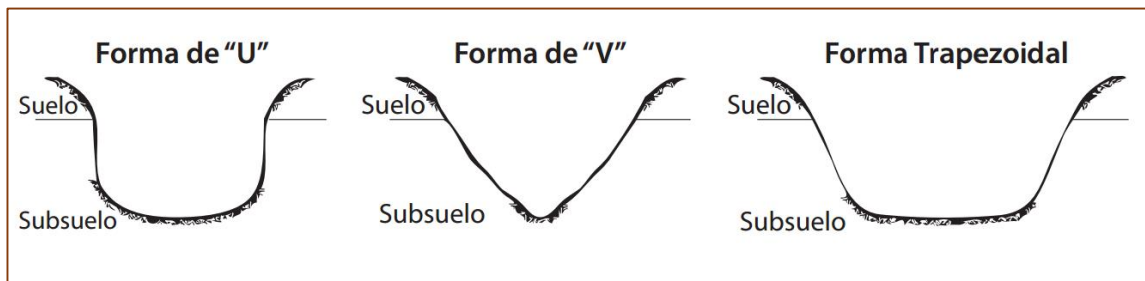
### 2.2.1 Principales causas que originan la formación de las cárcavas

- Mala manejo del suelo y agua
- Falta de cubierta vegetal sobre el suelo
- Presencia de depresiones naturales en el terreno
- Falta de protección de caminos, veredas y paso de ganado
- Ruptura de canales y terrazas

### 2.2.3. Clasificación de las cárcavas

Según la SAGARPA (2009) y el Colegio de Posgraduados (1992), las cárcavas se pueden clasificar por la forma de la sección transversal (Figura 1), profundidad, área de drenaje y por su continuidad a lo largo de la pendiente.

**Sección transversal.** La cárcavas se clasifican por la forma de la sección transversal en tipo U que se forman cuando el suelo superficial tiene la misma resistencia que el subsuelo; el tipo V que se forma cuando el subsuelo tiene más resistencia que el suelo superficial y el tipo trapezoidal se forma cuando el suelo es muy resistentes a la erosión como sucede en las zonas de tepetates.



**Figura 1.** Clasificación de las cárcavas según su sección trasversal.

**Profundidad y área de drenaje de las cárcavas.** A este respecto, las cárcavas se agrupan en pequeñas, medianas y grandes de acuerdo con los valores que se muestran a continuación (Cuadro 2).

**Cuadro 2. Clasificación de las cárcavas según su profundidad y área drenada**

<b>Cárcava</b>	<b>Tamaño</b> (profundidad en m)	<b>Área drenada</b> (ha)
Pequeña	< 1	< 2
Mediana	1 a 5	2 a 5
Grande	> 5	>5

**Continuidad.** Continúas: conforman un sistema de drenaje superficial bien definido. Tienen una cárcava principal en la que confluyen las cárcavas secundarias conformando un sistema de drenaje o varios sistemas de drenaje. No continúas: se presentan en forma aislada y son provocadas por los movimientos en masa de un terreno o por la concentración de escurrimiento en una ladera pero no conforman un sistema de cárcavas, sino que están aisladas. Generalmente la descarga de los escurrimientos, se presenta en áreas planas y la cárcava tiende a desaparecer.

#### **2.2.4. Daños causados por las cárcavas (CP, 1991)**

- Propician el arrastre del suelo fértil.
- Inducen el azolve de las obras del almacenamiento y estructuras de conducción.
- Dificultan el uso de maquinaria agrícola.
- Reducen el área útil del cultivo.
- Favorecen a la destrucción de caminos vecinales.

### **2.3. Límites Permisibles de Erosión (LPE)**

La formación de suelo fértil, susceptible de ser económicamente productivo, mediante la alteración del material original, es un proceso sumamente lento medible únicamente

en una escala de tiempo geológico (Duchafour, 1987). La formación de apenas 5 cm de suelo puede necesitar el transcurso de cientos e incluso miles de años, mientras que los procesos erosivos pueden actuar rápida y drásticamente.

El equivalente a esos 5 cm de espesor de la capa superficial de suelo puede ser eliminado durante una única tormenta (Lal, 1990). En consecuencia, desde una perspectiva conservacionista debe asumirse el objetivo de mantener, de forma indefinida, el potencial productivo de los suelos y, con ello, asegurar la sostenibilidad de las explotaciones agro-forestales (Wischmeier y Smith 1978; FAO, 1983). Con tal fin, es necesario conocer los límites tolerables de pérdida del suelo que no supongan una degradación progresiva, es decir, cuando la tasa de pérdida de suelo no sea superior a la de su formación.

Según Morgan (1997), en cuanto a las pérdidas tolerables, resulta que es complicado definir el nivel de tolerancia de erosión de suelo, ya que las velocidades de formación de suelo son tan lentas que no pueden determinarse con facilidad. Según Buold *et al.*, (1973), las velocidades de formación de suelo en el mundo varían entre 0.01 y 7.7 mm año<sup>-1</sup>. No obstante, los valores más altos son excepcionales y la media se sitúa alrededor de 0.1 mm año<sup>-1</sup> (Zachar, 1982). De forma generalizada, se considera la cantidad 11.2 Mg ha<sup>-1</sup> como el límite máximo de tolerancia de erosión anual (Schmidt *et al.*, 1982; FAO, 1988). Esta cantidad corresponde a una capa de suelo de 1 mm de espesor removida uniformemente de la superficie, tomando como valor medio de densidad aparente del suelo 1.12 g cm<sup>-3</sup>. No obstante, dicho límite tolerable de pérdida de suelo varía de manera importante para los distintos tipos de suelos, en función de su estado de conservación, profundidad y propiedades físicas y químicas. De igual forma Morgan (1997) menciona que una aproximación alternativa que evita la necesidad de medir directamente la velocidad de formación del nuevo suelo, es estimar la velocidad requerida para igualar la pérdida de suelo por erosión de áreas donde puede presumirse que existe equilibrio. Utilizando datos de cuencas pequeñas con bosques y vegetación herbácea (Cuadro 1).



Figuroa *et al* (1991), menciona que los LPE se basan en los siguientes aspectos: que las pérdidas de suelo sean igual o menores a la velocidad de formación del suelo; que las pérdidas del suelo se mantengan a un nivel que evite la formación de cárcavas y las pérdidas del suelo permitan mantener una profundidad de suelo adecuada. Los LPE son variables para diferentes sitios, ya que son una función de la profundidad, tipo y procesos formadores de suelo, así como del clima.

El Servicio de Conservación de Suelos de EEUU (SCS, 1973 en McCormack *et al.*, 1982) adoptó para la evaluación de las distintas alternativas de manejo, los valores máximos de tolerancia de pérdida de suelo que se recogen (Cuadro 3). Estos varían en función de la profundidad efectiva del suelo entre 11.2 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (suelos con profundidad efectiva superior a 150 cm) y 2.2 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (profundidad es inferior a 25 cm). Además, la tolerancia disminuye cuando el substrato sobre el que se desarrolla el suelo resulta desfavorable para su formación, incluso aun cuando se apliquen prácticas de manejo tales como enmiendas orgánicas o aportes de fertilizantes químicos.

**Cuadro 3. Tasas de erosión máximas permisible (Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>)**

Profundidad efectiva (cm)	Servicio de conservación de suelos de EEUU	
	Substrato favorable	Substrato desfavorable
0-25	2.2	2.2
25-50	4.5	2.2
50-100	6.7	4.5
100-150	9.0	6.7
>150	11.2	11.2

#### **2.4. Infiltración del suelo**

La infiltración se refiere a la entrada descendente o movimiento del agua a través de la superficie del suelo (Narro, 1994). Según Aparicio (2004) define como “el movimiento del agua, a través de la superficie del suelo y hacia dentro del mismo, producido por la acción de las fuerzas gravitacionales y capilares”.

La infiltración es por ello, un parámetro físico utilizado tanto para el diseño como para la evaluación del desempeño de los métodos de riego. La infiltración es uno de los parámetros físicos más difíciles de medir en campo, la importancia de sus valores combinados con la dificultad de obtener datos representativos sugieren que las técnicas de campo lleven un considerable periodo de tiempo para evaluar adecuadamente la infiltración. Se han propuesto diferentes metodologías como la del surco bloqueado (bondurant, 1957. Mencionado por Walker, 1989) o el infiltrometro de recirculación (mencionado por Walker 1989), que tiene la ventaja de que tanto las condiciones geométricas como hidráulicas. La metodología de mayor uso es la del doble anillo infiltrometro (Haise *et al*, 1956, mencionado por Grassi 1998), que permite conocer de forma practica la infiltración básica del suelo. Según Kramer (1974) la infiltración es el proceso por el cual el agua penetra en los estratos de la superficie del suelo y se mueve hacia el manto freático. El agua primero satisface la deficiencia de humedad del suelo y después cualquier proceso pasa a ser parte del agua subterránea.

#### **2.4.1. Velocidad de infiltración**

Hille (1971) define la velocidad de infiltración como la entrada vertical del agua, de la superficie hacia el interior del suelo, en una unidad de tiempo, no depende solo del volumen de poros, sino también de la facilidad con que el agua se transmite a las capas próximas, y ello depende del tamaño y la disposición de los poros. Según González (1999) la velocidad de infiltración “es la relación entre la lámina de agua que se infiltra y el tiempo que tarda en hacerlo”. Según De La Peña (1977) considera que la velocidad de infiltración es la capacidad del suelo de absorber agua.

La velocidad de infiltración se mide en  $\text{mm hr}^{-1}$  o en  $\text{cm hr}^{-1}$ . Cuando el suelo está bastante seco la velocidad de infiltración es alta, pero disminuye rápidamente a medida que las arcillas se expanden y taponan parcialmente los poros, hasta llegar a una situación en que se estabiliza. Este valor constante se llama velocidad de infiltración estabilizada, que depende fundamentalmente de la textura del suelo. De un modo

general, los valores de la velocidad de infiltración (Cuadro 4) son los siguientes (Fuentes, 1999):

**Cuadro 4. Taza de infiltración**

<b>Textura</b>	<b>Velocidad de infiltración</b>
Arcilloso	< 5 mm/hora
Franco-arcilloso	5-10 mm/hora
Franco	10-20 mm/hora
Franco-arenoso	20-30 mm/hora
Arenoso	>30 mm//hora

Cuando la cantidad de agua aportada por la precipitación o el riego sobre pasan la velocidad de infiltración, el exceso de agua forma charcos en la superficie del suelo o se produce escorrentía superficial. (Calvache, 2003)

#### **2.4.3. Factores que Afectan a la Infiltración.**

Aparicio (2005) y Llamas *et al*, (2001) mencionan que los factores que determinan la entrada de agua a los suelos, son: Textura del suelo, permeabilidad, cobertura vegetal, contenido de humedad, compactación, uso del suelo, tipo de poro, homogeneidad del perfil, ,materiales hidrofóbicos, y calor específico.

**El contenido de humedad** que presente el suelo al momento de hacer la valoración: a mayor contenido de humedad, menor será la velocidad de infiltración.

**La permeabilidad:** depende del arreglo morfológico del suelo facilitando o dificultando el movimiento del agua dentro del perfil.

**El tipo de poros:** si en el suelo predominan los poros finos, la infiltración será baja y está relacionado con texturas finas y/o poco desarrollo estructural, así como con problemas de compactación.

**La homogeneidad del perfil:** suelos de perfil homogéneo se presenta una alta continuidad en el espacio poroso, la cual facilita el movimiento del agua y su infiltración.

**La presencia de materiales hidrofóbicos en el suelo:** la velocidad de infiltración se ve menguada en la medida en que se presenten en el suelo materiales repelentes al agua como: resinas aceites, ceras, polímeros, hidrocarburos (Ritsema *et al.*, 1996).

**La pendiente del terreno** influye en el sentido de mantener durante más o menor tiempo una lámina de agua de cierto espesor sobre él.

**La densidad de la cobertura vegetal** y los tratamientos agrícolas influirán también en la infiltración.

**El calor específico** del suelo, el cual afecta la temperatura del fluido que se infiltra y por tanto a su viscosidad.

## 2.5. Conductividad hidráulica del suelo

Esta propiedad es la que define las posibilidades que tiene el agua de moverse dentro del suelo; la cual se representa como **Ks** o simplemente **K**; por su definición, se relaciona estrechamente con el drenaje del suelo. La conductividad hidráulica del suelo es fuertemente dependiente de su contenido de humedad y puede disminuir varios órdenes de magnitud al pasar del estado de saturación a punto de marchitez permanente (Hanks y Ashcroft, 1980).

Ureña (1993), menciona que la conductividad hidráulica se define como la constante de proporcionalidad (**K**) de la ley de Darcy la cual representa: “la velocidad de flujo aparente por unidad de gradiente hidráulico”. Este factor depende de las propiedades del fluido (agua) y del medio poroso (suelo). Mientras que para Childs (1990) y Tun (1995), indican que la **K** es la constante de la ley de Darcy que expresa una interacción entre el cuerpo poroso y el fluido que pasa y expresa la facilidad de ese cuerpo en

particular, para dejar que el líquido fluya a través de él, bajo un determinado gradiente de potencial.

### **2.5.2. Factores que afectan la conductividad hidráulica del suelo**

Una baja conductividad hidráulica puede ser provocada por un bajo contenido de materia orgánica, combinada con un alto contenido de sodio, particularmente en suelos de textura fina. Un suelo que contiene más de 5% de sodio intercambiable reportan baja conductividad hidráulica. Para que estos suelos mejoren su productividad no basta adicionar solo fertilizantes, sino que requieren la aplicación de un mejorador como fuente de calcio y/o de abonos orgánicos (Childs, 1990). La conductividad hidráulica se ve afectada por diversos factores inherentes tanto al suelo como a características del agua circulante, los principales factores son:

**Características del fluido.** De acuerdo a las investigaciones realizadas y compiladas por Hernández y Zapata (1992) se concluye que la influencia de la temperatura en las mediciones de la **K** fue semejante a las predicciones de cambio de viscosidad en la mayoría de los puntos medidos; Childs (1990) indica que un cambio en el fluido puede variar profundamente la conductividad hidráulica, por el cambio de viscosidad

**Porosidad.** Dado que el agua es conducida y contenida por los poros del suelo, la **K** es directamente proporcional a la porosidad del suelo ya que, mientras más grandes sean las partículas más amplio será el diámetro de los poros y por lo tanto la **K** representará un valor mayor (Herrera, 1977)

**Textura.** Ésta característica del suelo tiene una relación general con la **K** y la retención del agua. En general la textura gruesa de los suelos tienen alta conductividad hidráulica y baja capacidad de retención de agua que la textura más fina (USDA, 1984)

**Estructura.** Childs (1990), el tipo y estabilidad de estructura influye en la continuidad de poros, lo que da como resultado suelos altamente conductivos, por el espacio

poroso textural. Cuando la **K** depende principalmente de la estructura del suelo, la estabilidad es de esencial importancia.

**Salinidad y sodicidad.** Dentro de las propiedades físicas del suelo una de las de mayor importancia que puede ser modificada por las sales es la **K**, ya que es la que determina la efectividad o duración de los procesos de recuperación de suelos.

Conforme el agua penetra en el suelo la **K** cambia, debido a que hay interacción entre las partículas del suelo, principalmente las arcillas, y las sales que están disueltas en el agua, haciendo que cambie su porosidad. Esto ocurre debido a que algunas partículas de arcilla, sobre todo las expandibles acomodadas dentro de los macro poros, se hinchan y producen una reducción de la macro porosidad (Aceves, 1979).

Alto contenido de sodio intercambiable causa la floculación de las partículas de suelo y por consiguiente los requerimientos de drenaje se incrementan (USDA, 1984).

### 2.5.1. Clasificación de la conductividad hidráulica

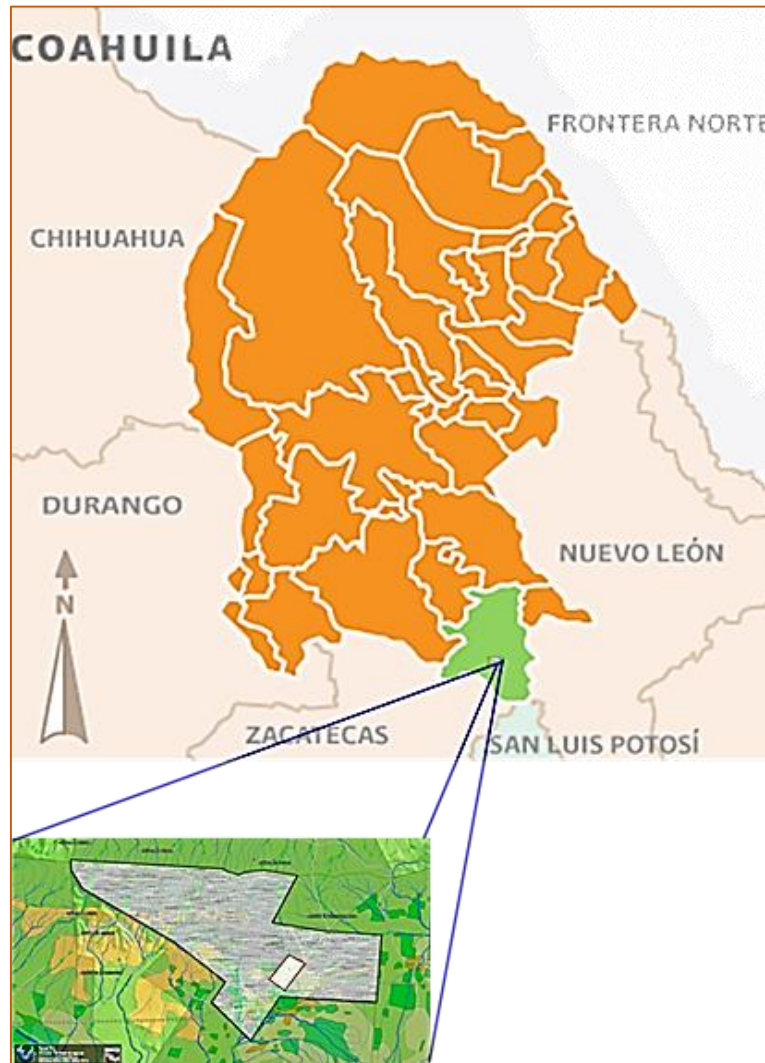
Puede ser clasificada en función de su rapidez como se puede observar (Cuadro 5) dado por O' Neal y Uhaland.

**Cuadro 5. Clasificación de la conductividad hidráulica**

<b>Clase</b>	<b>cm/hora</b>	<b>m/hora</b>
Extremadamente lenta	Menos de 0.125	Menos de 0.03
Muy lenta	0.125 – 0.50	0.03 – 0.12
Lenta	0.50 – 2.00	0.12 – 0.48
Moderada	2.00 – 6.25	0.48 – 1.50
Rápida	6.25 – 12.50	1.50 – 3.12
Muy rápida	12.50 – 25.0	3.12 – 6.00
Extremadamente rápida	Más de 25	Más de 6

### III MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Localización de área de estudio



**Figura 2.** Ubicación geográfica del ejido Benito Juárez, Saltillo, Coahuila.

El ejido Benito Juárez se localiza al sur en el municipio de Saltillo Coahuila a una distancia de 61 km. Sobre la carretera 54 y circulando por terracería 15 km (Figura 2). A una altitud media de 1892 msnm cuenta con una población total de 109 habitantes (INEGI, 2010) de los cuales 57 son mujeres y 52 hombres. De acuerdo a las condiciones edáficas que imperan en la región presenta serios problemas de erosión; del total de la superficie 4571.7086 HAS; el 96 % es decir 4384.7086 se destinan a

agostadero, donde pastan 585 semovientes de diversas especies. La explotación de la ganadería se ve deteriorada por escasas de agua, afectando la producción que trae consigo pérdida de vegetación que es consumo de los animales que lo habitan. En sistemas extensivos como lo es el ejido Benito Juárez las praderas asociadas con arbustos son la base del sistema de pastoreo; sin embargo dependen de las condiciones climatológicas como la lluvia y la temperatura para la germinación crecimiento y producción de forraje; el tipo de erosión que más afecta a el ejido es del tipo hídrico puesto que en las temporadas de lluvias características de la región son de alta intensidad mal distribuidas y poco frecuentes.

### 3.1.2. Clima

El clima en el Ejido Benito Juárez, durante el invierno es frío seco y puede llegar a nevar. El verano, históricamente era de calor moderado; recientemente se ha incrementado hasta alcanzar temperaturas de 38°C. Las precipitaciones (Cuadro 6) son escasas y se presentan altos valores de temperatura y evaporación (Cuadro 7 y 8).

**Cuadro 6. Precipitación anual mensual**

AÑO*	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	ACUM.	MEDIA	MESES
1993	10.00	0.00	0.00	12.00	16.00	71.00	15.00	83.50		11.00	109.00	10.90	338.4	30.8	11
1994	0.00	0.00	11.00	0.00	20.00	42.00	29.00	96.00	68.00	39.00	0.00	55.00	360.0	30.0	12
1995	4.00	11.00		0.00	27.00	27.00	33.00		5.00	4.00	4.00	54.00	169.0	16.9	10
1996	2.00	9.00	0.00	0.00	2.50	104.00	34.00	46.00		5.00	7.00		209.5	21.0	10
1997	11.00	7.00	69.00	66.00	52.00	72.00	93.00	58.00	68.00	50.60	41.00	0.00	587.6	49.0	12
1998	0.00	6.00	6.00	2.50		72.50	63.50	55.00	32.50	5.00	7.50	0.00	250.5	22.8	11
1999	0.00	0.00	2.00		1.00		55.00	33.00	8.00	22.00	0.00		121.0	13.4	9
2000	907.00	0.00	0.00	6.00	113.00	163.00	38.00	111.00	22.00	149.00	31.00	26.00	1,566.0	130.5	12
2001	100.00	10.00	20.00	67.00	23.70	19.50	112.00	164.00	48.00	12.00	77.00	12.00	665.2	55.4	12
2002	19.00	20.00	85.00	6.00	29.00	71.00	76.00	53.00	42.00	112.00	43.00	2.00	558.0	46.5	12
2003	24.00	60.00	0.00	15.00	40.00	175.00	74.00	32.00	217.00	69.00	6.00	60.00	772.0	64.3	12
2004	24.00	20.00	40.00		70.00	132.00	52.00	90.00	87.00	8.00	18.00	0.00	541.0	49.2	11
2005	12.00	61.00	9.00	8.00	9.00	6.00		53.00	45.00	41.00	0.00	0.00	244.0	22.2	11
2006	33.00	0.00		14.00	40.00	28.00	193.00	99.00	109.00	48.00		33.00	597.0	59.7	10
2007	22.00	12.00	42.00	9.00	46.00	49.00	123.00	38.00	17.00	0.00	21.00	0.00	379.0	31.6	12
PRECIPITACIÓN PLUVIAL MEDIA NORMAL, (MM).	62.80	17.10	12.80	22.10	40.70	62.90	64.10	65.50	59.50	32.60	19.90	22.80	482.8		
AÑOS CON DATOS	28	28	26	26	28	28	28	27	27	29	26	27			PERIODO: 1951-2010
* Mas Recientes															



**Cuadro 7. Historial de temperaturas en °C**

AÑO*	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	ACUM.	MEDIA	MESES
1993	12.258	14.214	14.324	17.483	19.074	21.150	22.112	21.661		17.596	15.120	14.946	189.9	17.3	11
1994	11.387	15.053	16.338	18.200	20.080	21.050	21.145	20.000	18.666	17.838	17.366	13.000	210.1	17.5	12
1995	11.709	13.785		18.133	22.387	21.816	20.790		20.166	17.500	15.050	12.741	174.1	17.4	10
1996	11.612	14.689	14.016	17.700	22.112	21.633	21.790	20.532		17.516	14.266		175.9	17.6	10
1997	11.919	13.071	12.693	13.833	17.483	21.700	22.000	21.838	20.250	16.451	14.966	10.500	196.7	16.4	12
1998	11.193	11.642	15.016	19.133		23.966	22.225	21.112	19.683	18.758	16.933	14.215	193.9	17.6	11
1999	11.338	14.838	15.790		21.871		20.838	20.967	19.936	16.371	12.955		154.9	17.2	9
2000	12.725	14.859	17.385	19.078	21.225	20.607	20.887	19.258	19.268	17.596	14.968	11.080	208.9	17.4	12
2001	12.387	13.464	12.629	20.455	19.290	20.533	21.826	21.032	18.821	17.129	13.814	11.362	202.7	16.9	12
2002	11.983	12.717	16.306	19.349	20.596	20.303	20.116	20.483	19.460	17.887	13.580	11.419	204.2	17.0	12
2003	10.419	13.679	14.580	17.844	21.645	21.369	19.682	19.967	18.991	15.645	14.427	10.548	198.8	16.6	12
2004	10.629	11.580	16.096		19.806	20.359	20.338	20.258	18.710	18.145	12.721	11.935	180.6	16.4	11
2005	11.693	12.839	13.516	17.380	19.951	21.546		20.354	16.767	17.806	13.924	11.288	177.1	16.1	11
2006	11.725	13.390		19.722	20.371	20.240	20.209	19.774	18.971	16.887		11.548	172.8	17.3	10
2007	11.354	12.527	15.725	18.029	19.483	20.732	20.016	20.403	19.401	17.467	14.532	13.177	202.8	16.9	12
TEMPERATURA MEDIA NORMAL (°C)	11.60	13.30	15.40	18.40	20.80	21.70	21.20	20.90	19.50	17.90	14.70	12.50	17.3		
ÑOS CON DATOS	28	28	26	26	27	28	28	27	27	29	26	27		PERIODO: 1951-2010	
* Mas Recientes															

**Cuadro 8. Evaporación mensual en mm**

AÑO*	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	ACUM.	MEDIA	MESES
1988	73.90	100.50	139.71	163.20	203.75	178.85	132.45	140.60	103.80	142.10	116.60	119.00	1,614.5	134.5	12
1989	121.20												121.2	121.2	1
1990													0.0	0	0
1991			210.95	23.10	97.19	141.81							473.1	118.3	4
1992													0.0	0	0
1993						118.98							119.0	119.0	1
1994	124.50	139.60	194.15	220.65	131.68	123.85	140.50		122.40	105.91	122.01	72.22	1,497.5	136.1	11
1995	106.05	250.14		240.80	248.97	224.00	174.00		160.59	107.57	111.56		1,623.7	180.4	9
1996	129.26	150.77											280.0	140.0	2
1997				169.65	144.51	187.33	100.99	105.38	71.44	52.92			832.2	118.9	7
1998	89.10	92.97	174.70		200.13	178.93	121.26	119.80	127.55	108.58	164.70		1,377.7	137.8	10
1999	113.00	151.00	132.10		253.60		170.80	158.20	120.20	141.08	115.55		1,355.5	150.6	9
2000	123.65	117.60	199.35		96.00		300.46	132.59	155.20	153.10	131.70		1,409.7	156.6	9
2001	125.20	148.71		185.27		197.00	165.75	122.00	146.00	111.80	74.72		1,276.5	141.8	9
2002	116.00	104.00	321.10	158.00	163.00	161.00	186.10	307.30	112.80	144.00	176.80	246.30	2,196.4	183.0	12
2003	92.00	149.70	177.00	189.60	196.00	166.00	143.00	270.50	166.20	210.90	182.20		1,943.1	176.6	11
2004													0.0	0	0
2005													0.0	0	0
2006													0.0	0	0
2007	82.00	116.00	175.00	174.90	206.80	197.20	170.00	172.50	75.00	184.00	131.00	121.00	1,805.4	150.5	12
EVAPORACIÓN TOTAL NORMAL (MM)	102.60	129.40	178.40	182.70	175.70	178.30	166.90	175.10	136.30	147.20	122.70	114.90	1,810.2		
OS CON DATOS	16	16	14	11	14	13	14	16	15	17	15	12		PERIODO: 1951-2010	
* Mas Recientes															

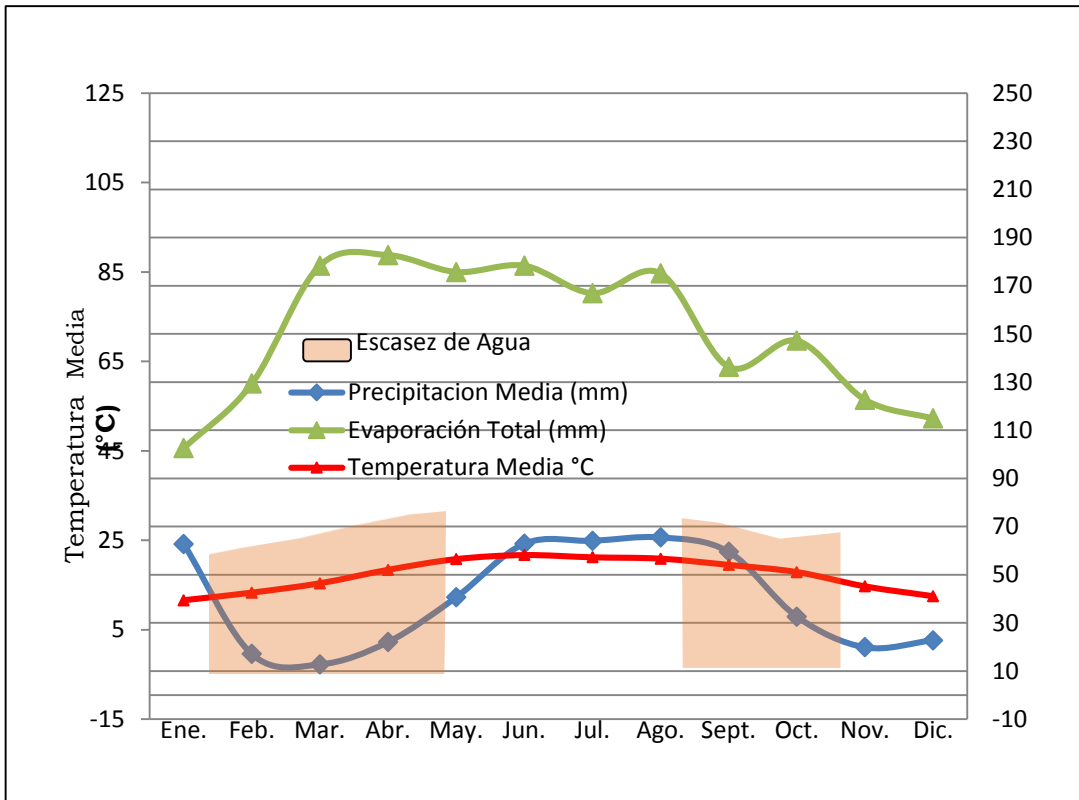
### 3.1.3 Diagrama ombrotermico de Gausсен

El diagrama ombrotérmico de Gausсен permite identificar el período seco (Cuadro 9) en el cual la precipitación es inferior a dos veces la temperatura media (como aproximación a la sequedad estacional considerando  $2 \cdot t_m$  una estimación de la evapotranspiración). Para su representación, en el eje X se ponen los doce meses del año y en un doble eje Y se pone en un lado las precipitaciones medias mensuales (en mm) y en el otro las temperaturas medias mensuales (en °C). Se debe considerar que la escala de precipitaciones debe ser doble que la de temperaturas. Esto es, por cada °C en temperatura se toma un par de mm en precipitación. Así a un valor de 20°C le corresponde en la misma línea el valor de 40 mm.

Si  $P \leq 2 \cdot t_m$  la curva de precipitaciones estará por debajo de la curva de temperaturas y el área comprendida entre las dos curvas nos indicará la duración e intensidad del período de sequía (Figura 3).

**Cuadro 9. Datos históricos del clima en el Ejido Benito Juárez**

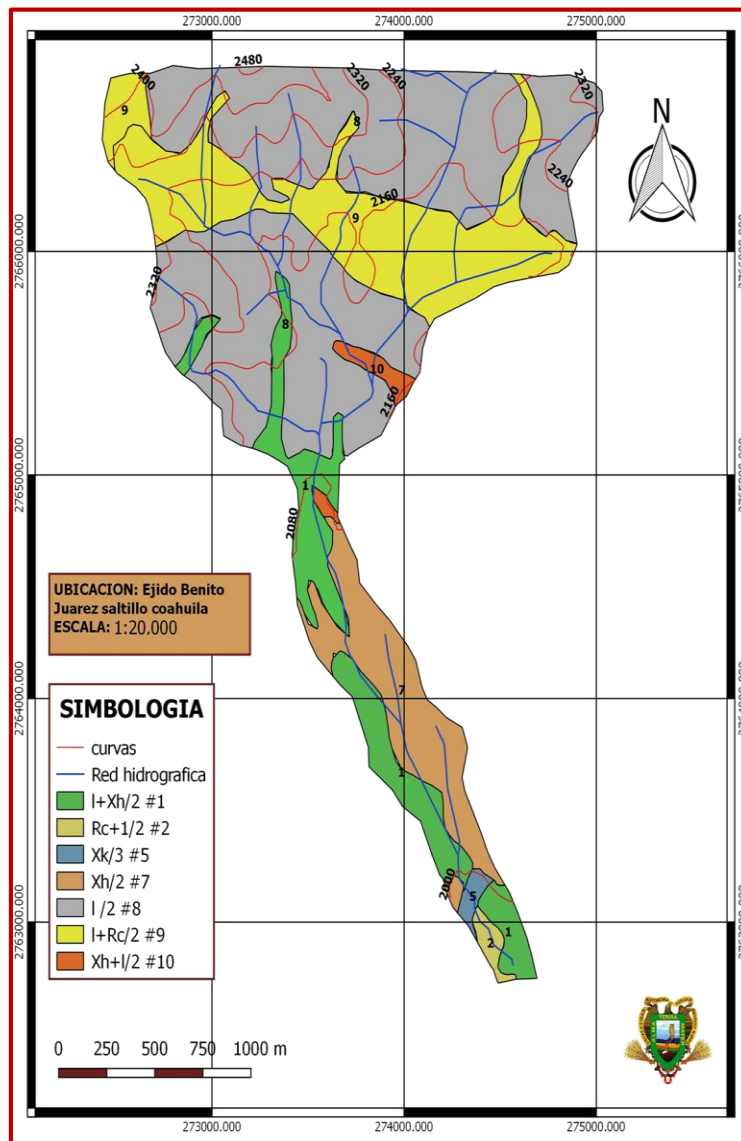
Meses	Temperatura Media °C	Precipitacion Media (mm)	Evaporación Total (mm)
Ene.	11.6	62.8	102.6
Feb.	13.3	17.1	129.4
Mar.	15.4	12.8	178.4
Abr.	18.4	22.1	182.7
May.	20.8	40.7	175.7
Jun.	21.7	62.9	178.3
Jul.	21.2	64.1	166.9
Ago.	20.9	65.5	175.1
Sept.	19.5	59.5	136.3
Oct.	17.9	32.6	147.2
Nov.	14.7	19.9	122.7
Dic.	12.5	22.8	114.9
$\bar{X}$	<b>17.3</b>	<b>482.8</b>	<b>1,810.20</b>



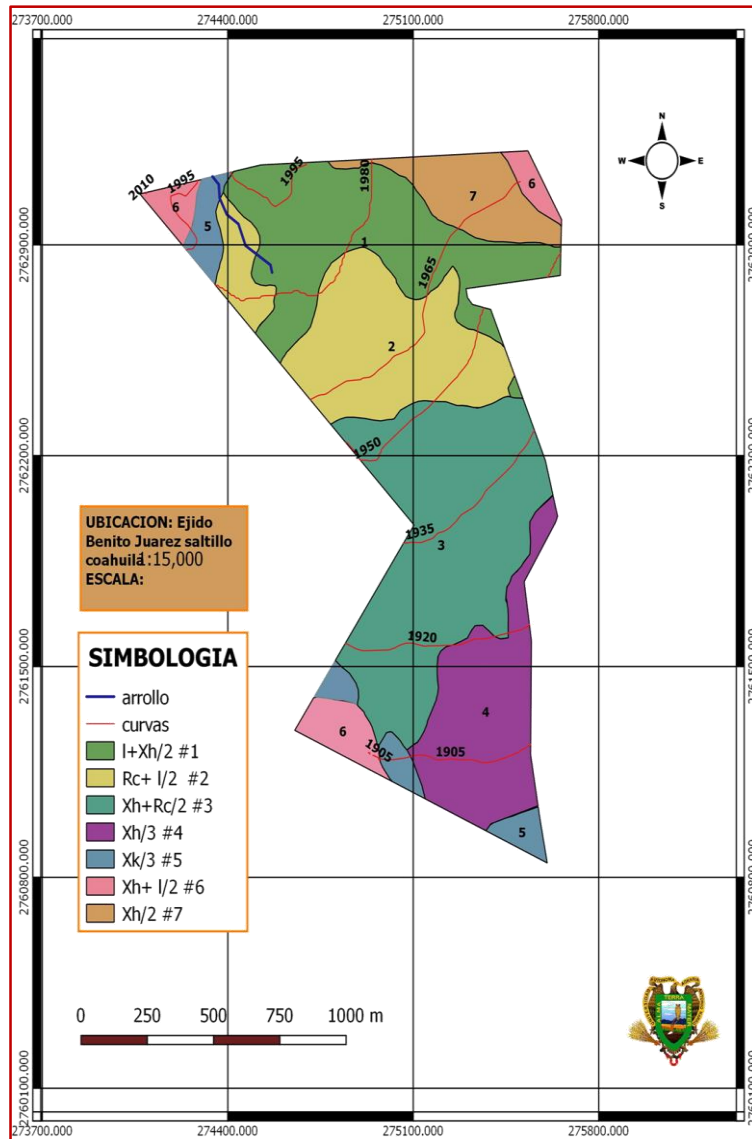
**Figura 3.** Duración e Intensidad del Período de la Sequía.

### 3.1.4. Delimitación edafológica

En la delimitación edafológica de la cuenca (Figura 4) se puede observar que la unidad de suelo con mayor superficie es el litosol, cubriendo una superficie de 210.97 ha (Cuadro 10), lo que representa el 53.04% de la superficie total (Figura 6). Mientras en el área de exclusión (Figura 5) predominan casi en partes iguales el conjunto de unidades litosol más xerosol haplico y el regosol calcarico (Cuadro 11) representando ambos conjuntos más del 80% de la superficie total (Figura 7)



**Figura 4.** Mapa edafológico del área de la cuenca.  
Escala: 1:20000

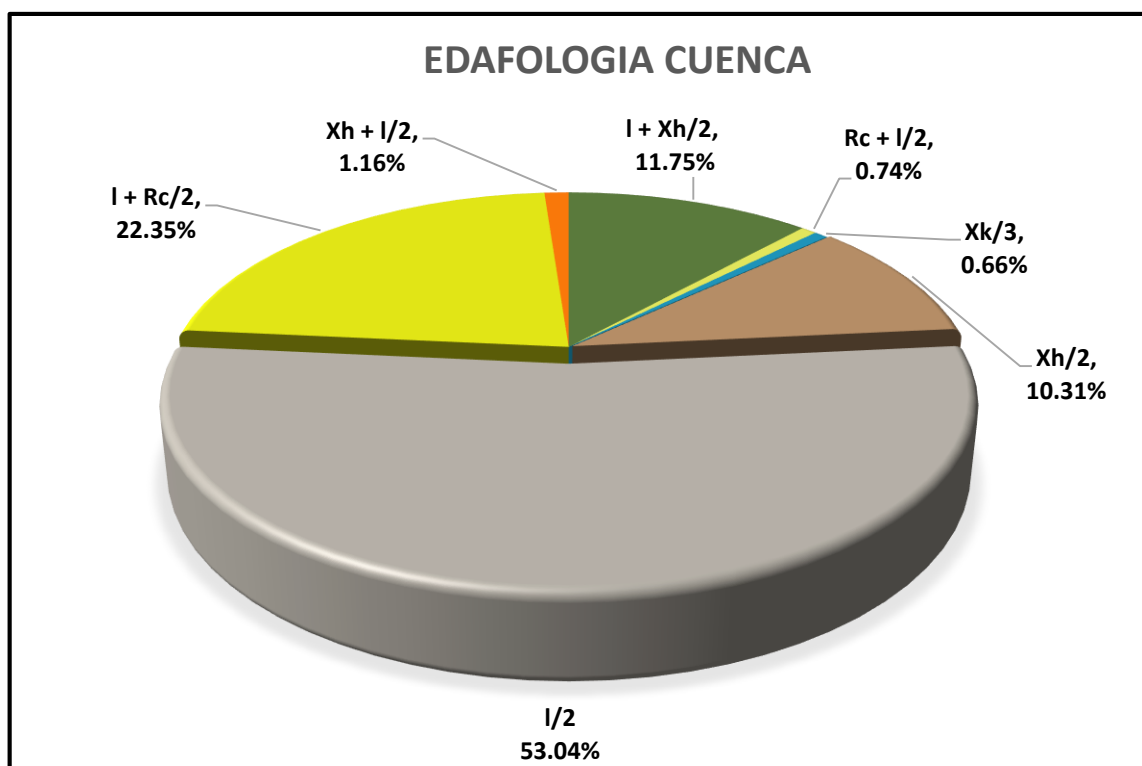


**Figura 5.** Mapa edafológico del área de exclusión.  
 Escala: 1:15000

A continuación se detallan en el Cuadro 10 y Figura 6 las áreas y porcentajes de cada uno de las unidades de suelos encontrados en el área de exclusión y la cuenca.

**Cuadro 10. Delimitación edafológica de la cuenca**

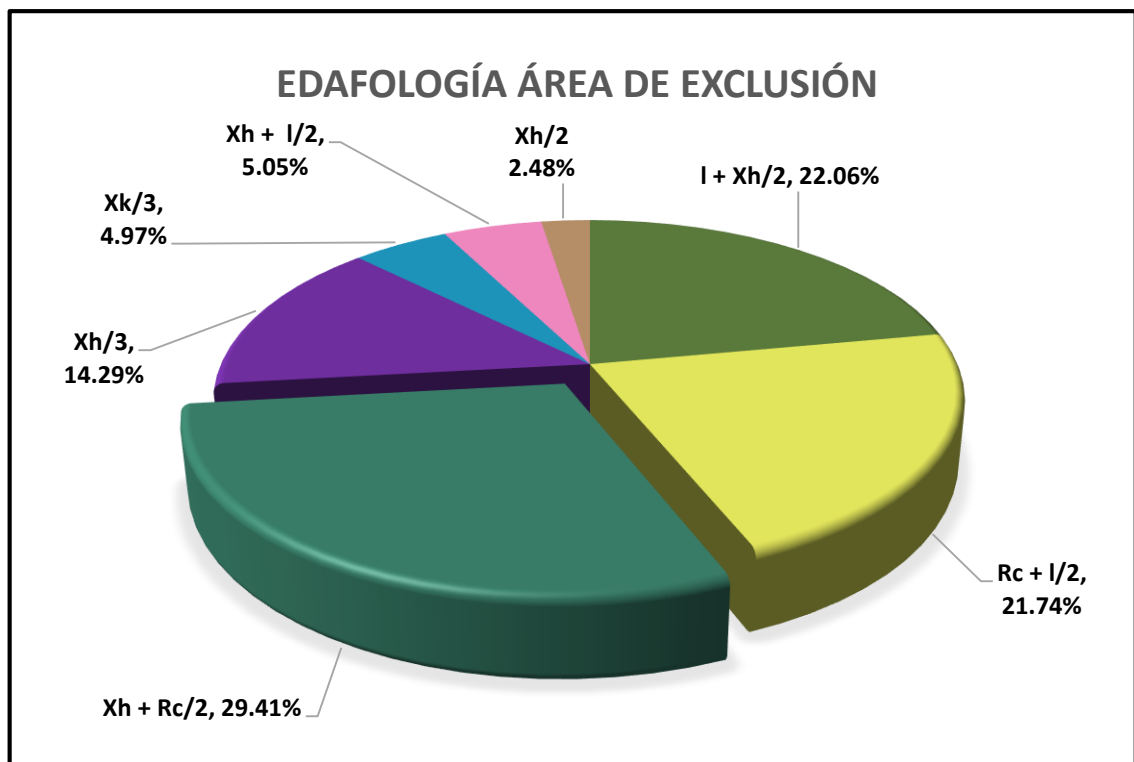
Número	Simbología	Superficie en ha	Superficie en %
1	I + Xh/2	46.72	11.75%
2	Rc + I/2	2.94	0.74%
5	Xk/3	2.62	0.66%
7	Xh/2	41	10.31%
8	I/2	210.97	53.04%
9	I + Rc/2	88.91	22.35%
10	Xh + I/2	4.61	1.16%
<b>TOTAL</b>		<b>397.77</b>	<b>100.00%</b>



**Figura 6.** Representación gráfica de la delimitación edafológica de la cuenca.

**Cuadro 11. Delimitación edafológica del área de exclusión**

Número	Simbología	Superficie en ha	Superficie en %
1	I + Xh/2	40.95	22.06%
2	Rc + I/2	40.37	21.74%
3	Xh + Rc/2	54.61	29.41%
4	Xh/3	26.53	14.29%
5	Xk/3	9.23	4.97%
6	Xh + I/2	9.37	5.05%
7	Xh/2	4.6	2.48%
<b>TOTAL</b>		<b>185.66</b>	<b>100.00%</b>



**Figura 7.** Representación gráfica de la delimitación edafológica del área de exclusión.

### 3.1.5.1. Descripción de la carta edafológica

En el Cuadro 12 se muestra de manera detallada la simbología que representa cada una de las unidades de suelo encontrados en la cuenca y área de exclusión.

**Cuadro 12. Simbología de la unidad de suelo y textura**

Unidades de suelo		Textura	
simbología	nombre	simbología	topo
I	Litosol	1	Gruesa
Xh	Háplico	2	Media
Rc	Calcarico	3	Fina
Xk	Cálcico		

**Litosol (I):** Del griego lithos: piedra. Literalmente, suelo de piedra. Son los suelos más abundantes del país pues ocupan 22 de cada 100 hectáreas de suelo. Se encuentran en todos los climas y con muy diversos tipos de vegetación, en todas las sierras de México, barrancas, lamerías y en algunos terrenos planos. Se caracterizan por su profundidad menor de 10 centímetros, limitada por la presencia de roca, tepetate o caliche endurecido.

**Xerosol háplico (Xh):** Xerosol Del griego xeros: seco. Literalmente, suelo seco. Se localizan en las zonas áridas y semiáridas del centro y norte de México. Su vegetación natural es de matorral y pastizal. Y son el tercer tipo de suelo más importante por su extensión en el país (9.5%). Tienen por lo general una capa superficial de color claro por el bajo contenido de materia orgánica. Debajo de esta capa puede haber un subsuelo rico en arcillas, o bien, muy semejante a la capa superficial. Muchas veces presentan a cierta profundidad manchas, aglomeraciones de cal, cristales de yeso o caliche con algún grado de dureza. Su rendimiento agrícola está en función a la disponibilidad de agua para riego.



Del griego **haplos**: simple. Suelos que no presentan características de otras subunidades existentes en ciertos tipos de suelo. Unidades de suelo Xeroso.

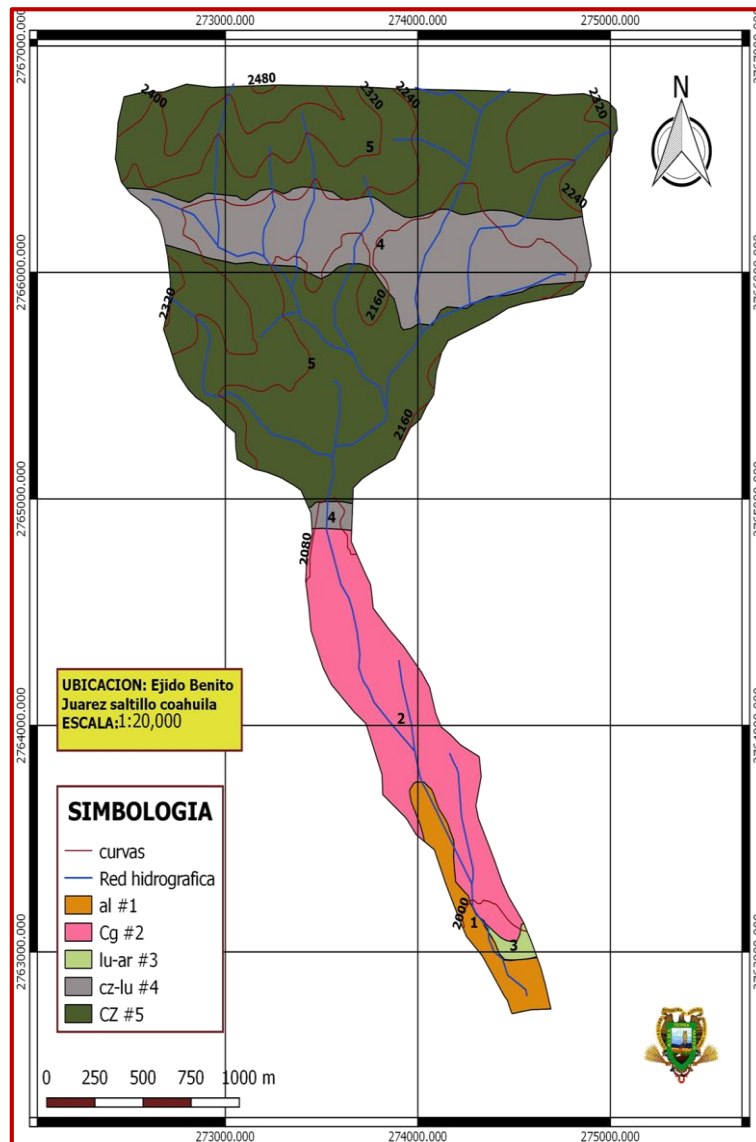
**Regosol calcarico (Rc)**: Del griego reghos: manto, cobija o capa de material suelto que cubre a la roca. Suelos ubicados en muy diversos tipos de clima, vegetación y relieve. Tienen poco desarrollo y por ello no presentan capas muy diferenciadas entre sí. En general son claros o pobres en materia orgánica, se parecen bastante a la roca que les da origen En México constituyen el segundo tipo de suelo más importante por su extensión (19.2%). Muchas veces están asociados con Litosoles y con afloramientos de roca o tepetate. Frecuentemente son someros, su fertilidad es variable y su productividad está condicionada a la profundidad y pedregosidad

Los suelos **calcáreos** contienen frecuentemente más de 15% de  $\text{CaCO}_3$  en el suelo que pueden ocurrir en distintas formas (pulverulento, nódulos, costras etc.). Los suelos con un alto contenido de  $\text{CaCO}_3$  pertenecen al grupo de Suelos de Referencia (WRB) Calcisoles y a otros subgrupos cálcicos relacionados. Se encuentran en las zonas áridas de la tierra.

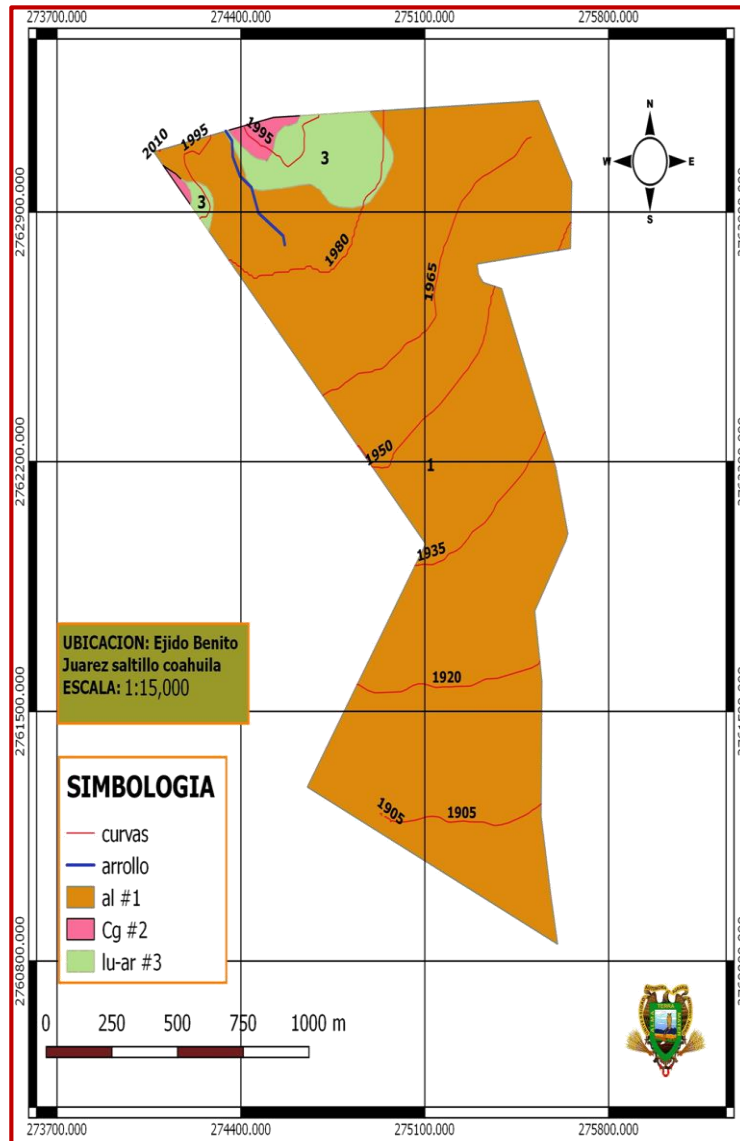
**Xerosol cálcico (Xk)**: El horizonte cálcico (del L. calxis, calcáreo) es un horizonte en el cual se ha acumulado carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) secundario o bien en forma difusa (carbonato de calcio presente sólo en forma de partículas finas de 1 mm o menos, dispersado en la matriz) o como concentraciones discontinuas (pseudomicelios, cutanes, nódulos blandos y duros, o venas)

### 3.1.6. Delimitación geológica

En la delimitación geológica de la cuenca (Figura 8) se puede observar que el tipo de roca con mayor superficie es la caliza, cubriendo una superficie de 241.03 ha (Cuadro 13), lo que representa el 60.60% de la superficie total (Figura 10). Mientras en el área de exclusión (Figura 9) predominan materiales aluviales con una superficie de 172.65 (Cuadro 14) representando 92.99% de la superficie total (Figura 11).



**Figura 8.** Mapa geológico del área de la cuenca. Escala: 1:20000

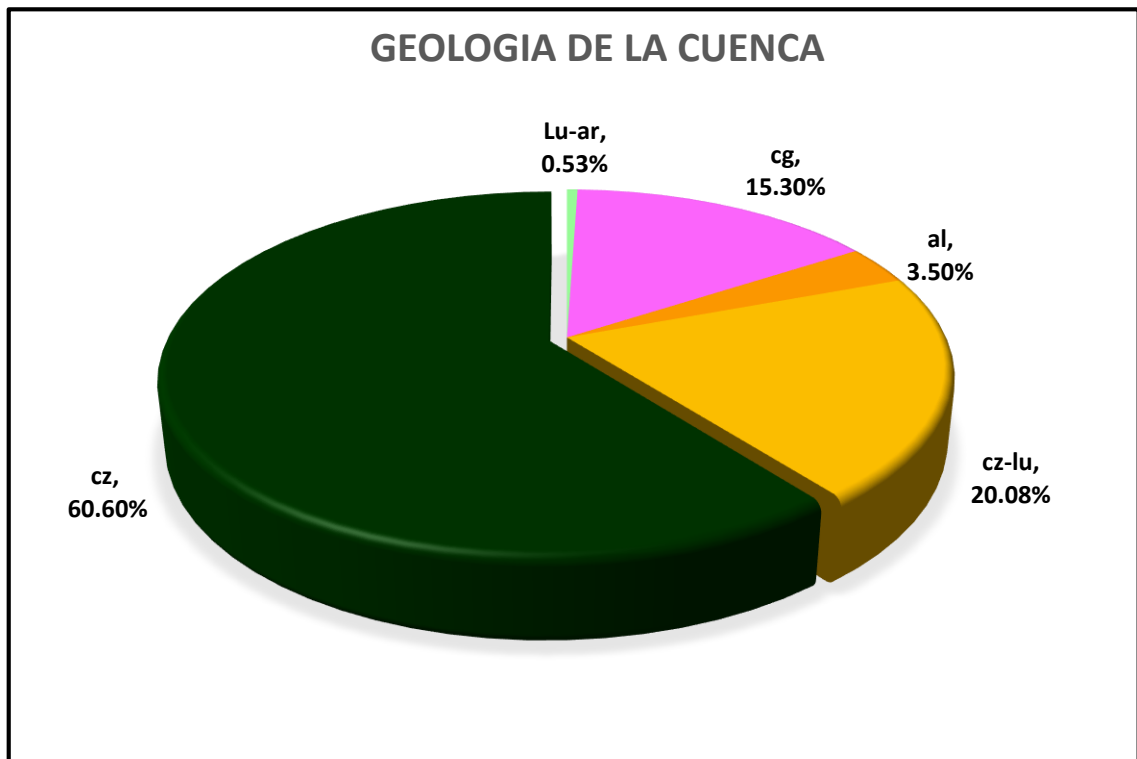


**Figura 9.** Mapa geológico del área de exclusión.  
Escala: 1:15000

En los Cuadros 13-14 y Figuras 10-11 se presentan las áreas y porcentajes de cada uno de los tipos de roca encontrados en el área de exclusión y de la cuenca.

**Cuadro 13. Delimitación geológica de la cuenca**

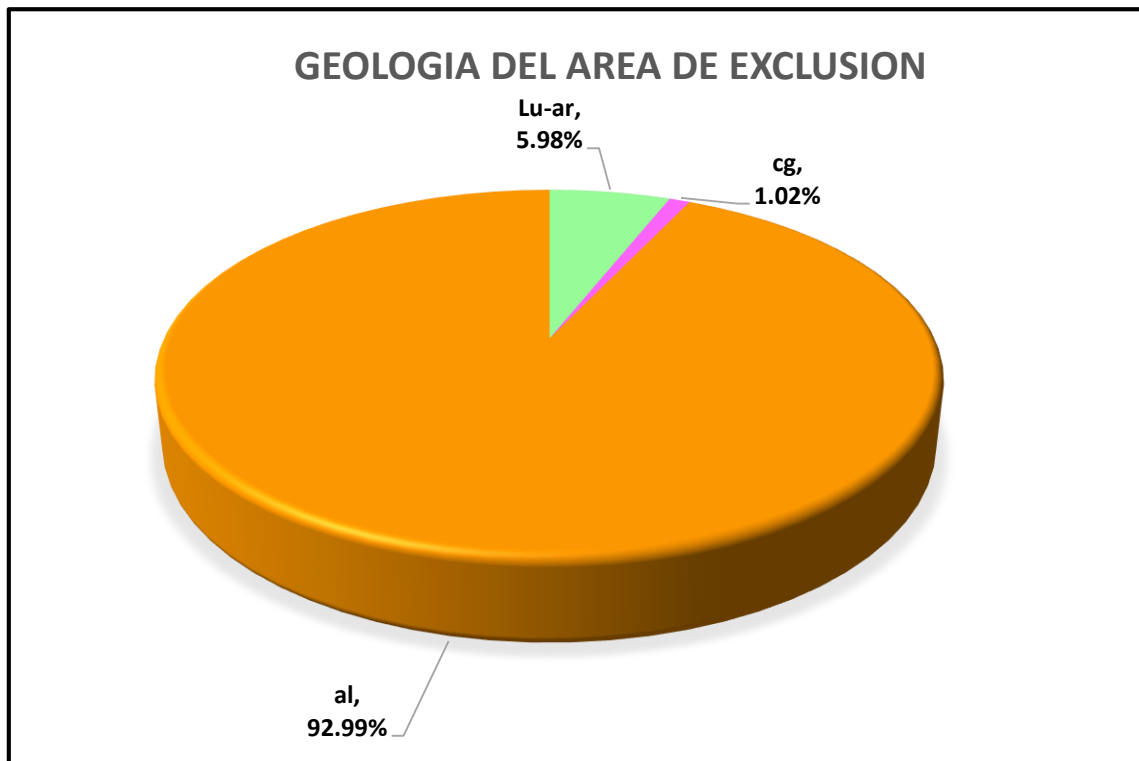
Número	Simbología	Superficie en ha	Superficie en %
1	Lu-ar	2.1	0.53%
2	cg	60.85	15.30%
3	al	13.92	3.50%
4	cz-lu	79.87	20.08%
5	cz	241.03	60.60%
<b>TOTAL</b>		<b>397.77</b>	<b>100.00%</b>



**Figura 10.** Representación gráfica de la delimitación geológica de la cuenca.

**Cuadro 14. Delimitación geológica del área de exclusión**

Número	Simbología	Superficie en ha	Superficie en %
1	Lu-ar	11.11	5.98%
2	cg	1.9	1.02%
3	al	172.65	92.99%
<b>TOTAL</b>		<b>185.66</b>	<b>100.00%</b>



**Figura 11.** Representación gráfica de la delimitación geológica del área de exclusión.

### 3.1.6.1. Descripción de la carta edafológica

En el cuadro 15 se muestra de manera detallada la simbología que representa cada uno de los tipos de roca encontrados en la cuenca y área de exclusión.

**Cuadro 15. Simbología del tipo de roca**

Simbología	Nombre
lu	Lutita
ar	Arenisca
cz	Caliza
cg	Conglomerado
al	Aluvial

**Lutita (lu):** Son las rocas sedimentarias que menos se han estudiado. En general son fácilmente alterables y relativamente blandas, por lo que muy frecuentemente están cubiertas por vegetación y afloran en malas condiciones. Además debido a su tamaño tan fino su estudio tiene que realizarse mediante técnicas más sofisticadas. Los rasgos que hay que describir de una lutita son: color, grado de fisibilidad, estructuras sedimentarias, contenido mineral, contenido orgánico y contenido fosilífero. Las lutitas pueden presentar distintas estructuras sedimentarias como: laminación, estructuras de corriente (ripples, flasher y lenticular, parting lineation), generalmente de pequeña escala. Otras lutitas son masivas por transporte o modificación posterior. La composición media de una lutita es de: 30% de cuarzo, 10 % de Feldespatos, 50 % de minerales de la arcilla (filosilicatos) y el restante 10% carbonatos y/u óxidos.

**Areniscas (ar):** La mayoría están compuestas principalmente de granos de cuarzo y arcilla en pequeñas cantidades. Pueden ser, por su composición, arcosa, si son ricas en feldespatos; cuarzosas, ricas en  $\text{SiO}_4$ ; grawacas, ricas en ferro magnesianos, y micazas ricas en micas. También las areniscas se denominan, por la matriz cementante, así: ferruginosa, silicosa, arcillosa y calcárea. Las areniscas son útiles en construcción, revestimientos y fabricación de vidrio.

**Calizas (cz).** Pueden ser de agua dulce o de origen marino, y componerse de material químicamente precipitado, orgánico o detrítico. La mayoría de las calizas se formaron en aguas poco profundas y las condiciones de turbulencia o de ambiente tranquilo se reflejan en la existencia del soporte de grano con relleno de calcita cementante en el primer caso, o la existencia de espacios porosos rellenos con lodo carbonatado, en el segundo. Las calizas son la materia prima de la cal y el cemento, complementando el proceso con arcillas ferruginosas. Las calizas fosfóricas son útiles como materia prima para fertilizantes. Hay calizas útiles en litografía (detrítica de ambiente marino) y para productos refractarios (organógena marina).

**Los conglomerados (cg)** (o pudingas) son gravas litificadas formadas por clastos cuyo diámetro es superior a 2 mm y que son redondeados a subangulosos. Se distinguen de las brechas (significa cascote y con ellas se describe una roca formada por fragmentos angulosos; dicha angulosidad significa una cantidad mínima de transporte, razón por la cual la fuente está cercana y puede estar asociada a arrecifes de coral, fósil y moderno.) por la naturaleza redondeada de sus clastos. Si los clastos se tocan entre sí se dice que es clastosoportado y se sabe que ha sido depositado en condiciones de alta energía, como puede ser el contexto de playa o la llanura de inundación de un gran río no sujeto a períodos de desecación. Si es matriz soportado, caso en que los clastos más grandes se separan por una matriz fina de arena y arcilla, indica que el material sedimentario fue transportado y depositado rápidamente sin dar lugar a la clasificación del depósito. Tal es el caso de los conos aluviales con inundaciones rápidas.

**Aluvial (al)** es un depósito de sedimentos, gravas, arena y sedimentos más finos (patton *et al*, 1970), que se acumulan en la base más llana de un frente montañoso o en el interior de un área montañosa, allí donde el relieve se amplía y disminuye la pendiente de un torrente.

### 3.1.7. Delimitación uso del suelo

En la delimitación del uso de suelo de la cuenca (Figura 12) se puede observar que el conjunto de cubierta vegetativa que cubre al suelo es Crasi-rosulifolios espinosos, Matorral inerte e izotal, con una superficie de 264.84 ha (Cuadro 16), lo que representa el 66.58% de la superficie total (Figura 14). Mientras en el área de exclusión (Figura 13) predomina Matorral inerte, nopalera y Crasi-rosulifolios espinosos con una superficie de 158.13 ha (Cuadro 17) representando 85.17% de la superficie total (Figura 15)

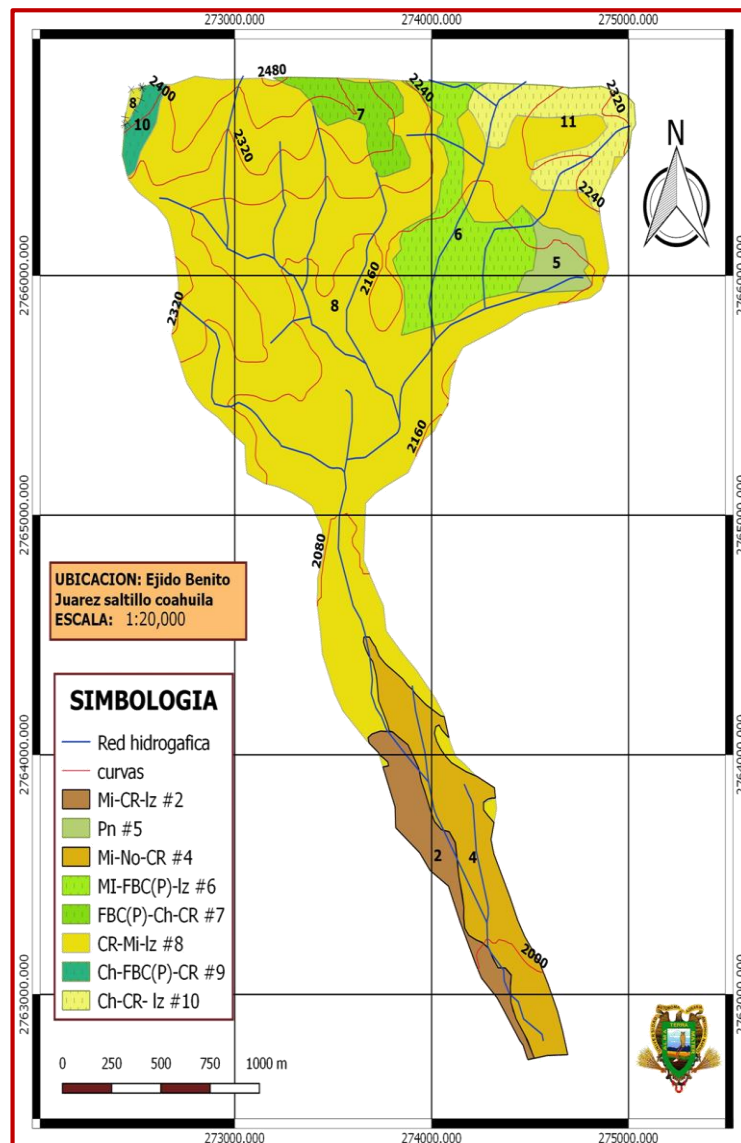
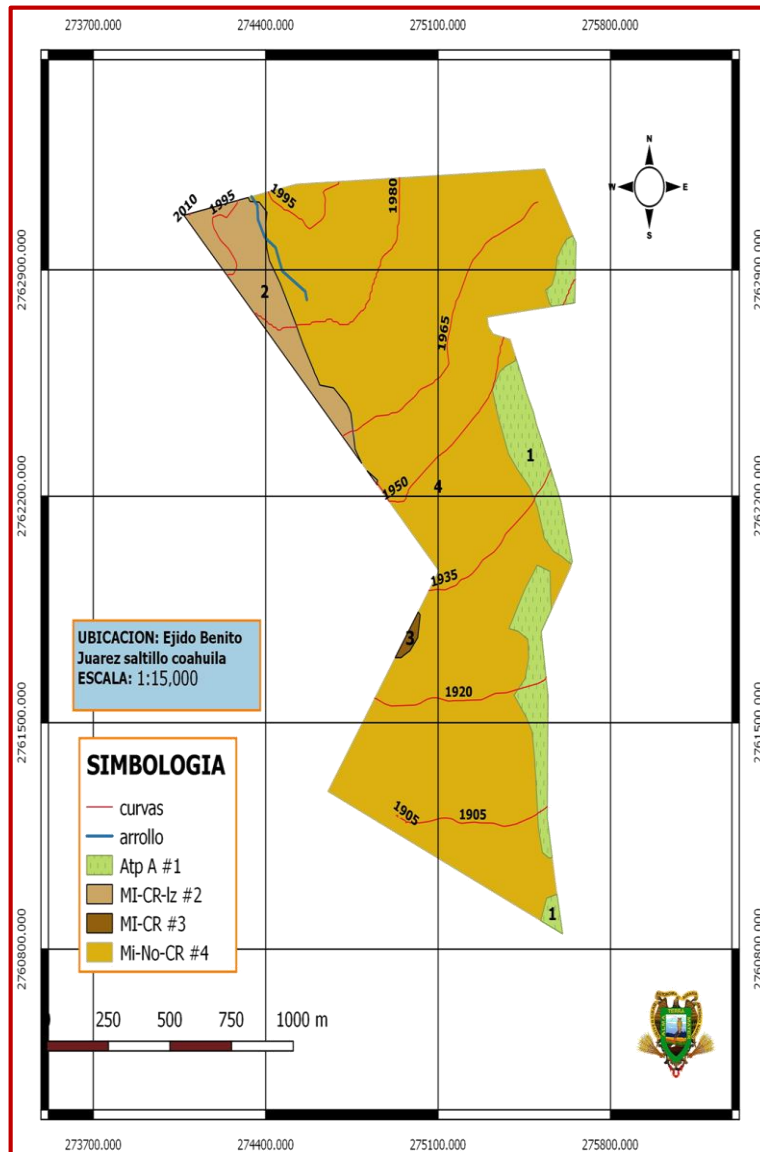


Figura 12. Mapa uso del suelo de la cuenca. Escala: 1:20000.



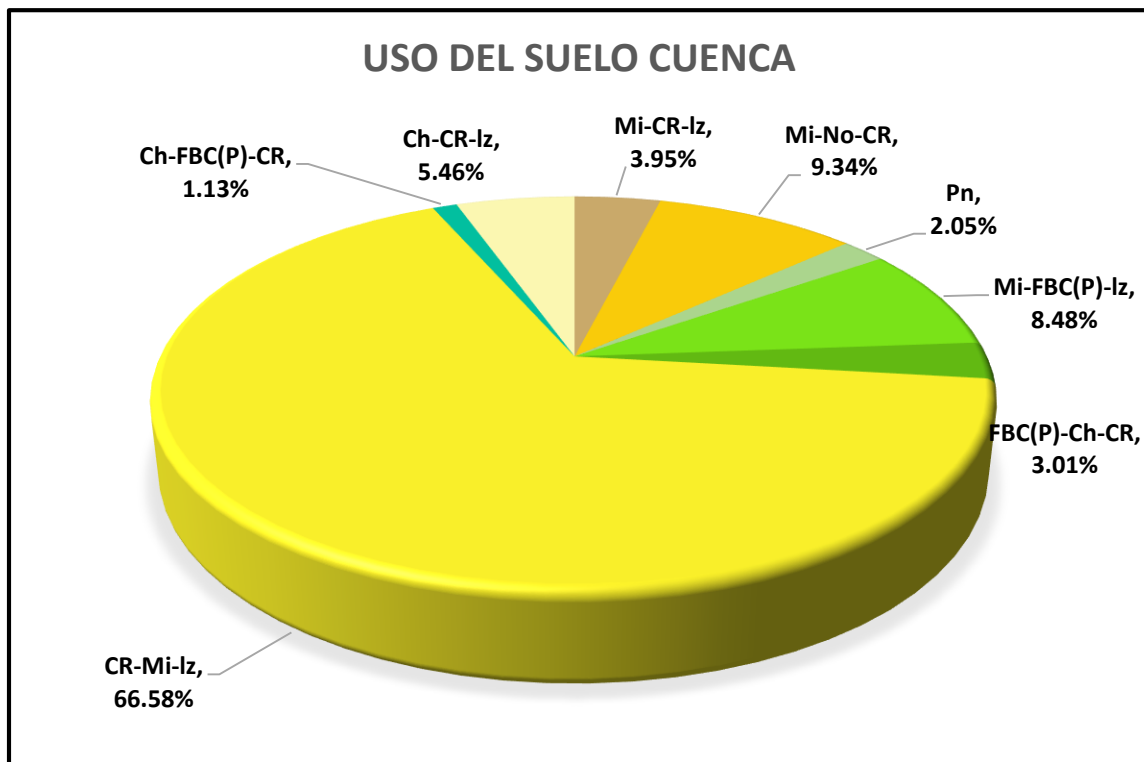


**Figura 13.** Mapa uso del suelo del área de exclusión.  
Escala: 1:15000.

En los Cuadros 16-17 y Figuras 14-15 se presentan las áreas y porcentajes cada uno de los usos del suelo encontrados en el área de exclusión y la cuenca

**Cuadro 16. Delimitación del uso del suelo de la cuenca**

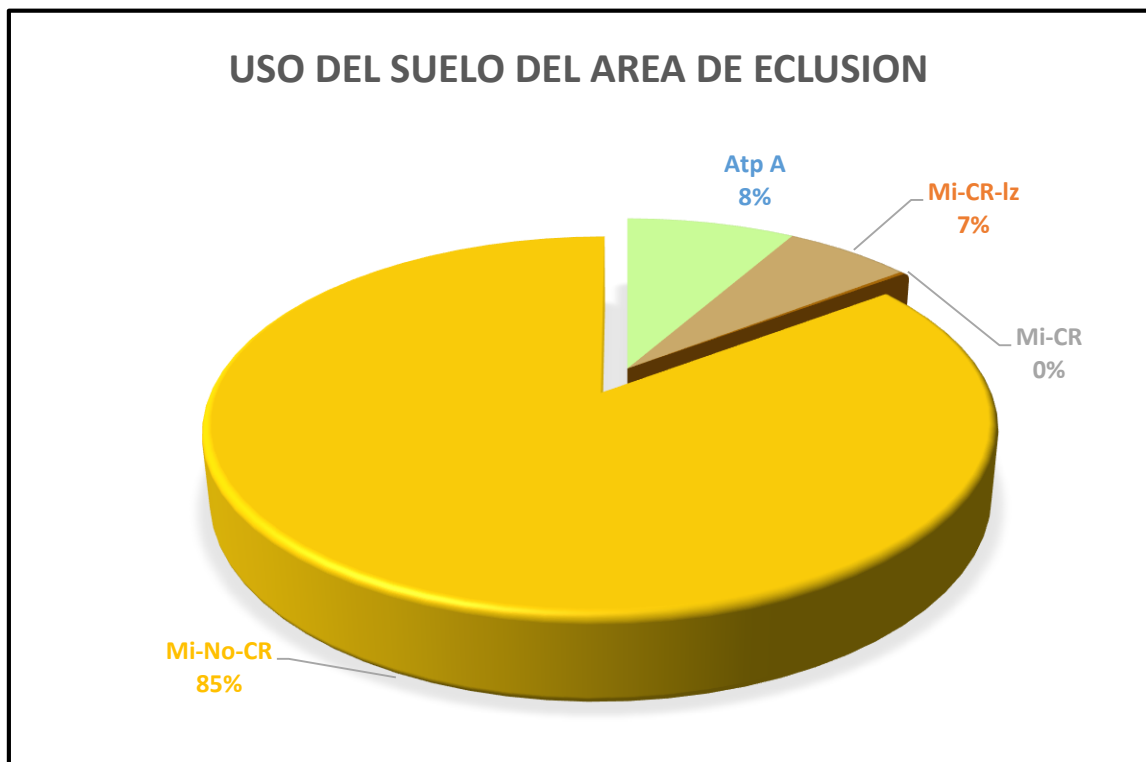
Número	Simbología	Superficie en ha	Superficie en %
2	Mi-CR-lz	15.72	3.95%
4	Mi-No-CR	37.15	9.34%
5	Pn	8.14	2.05%
6	Mi-FBC(P)-lz	33.73	8.48%
7	FBC(P)-Ch-CR	11.98	3.01%
8	CR-Mi-lz	264.84	66.58%
9	Ch-FBC(P)-CR	4.48	1.13%
10	Ch-CR-lz	21.73	5.46%
<b>TOTAL</b>		<b>397.77</b>	<b>100.00%</b>



**Figura 14.** Representación gráfica del uso del suelo en la cuenca.

**Cuadro 17. Delimitación del uso del suelo del área de exclusión**

Número	Simbología	Superficie en ha	Superficie en %
1	Atp A	15.36	8.27%
2	Mi-CR-lz	11.73	6.32%
3	Mi-CR	0.44	0.24%
4	Mi-No-CR	158.13	85.17%
<b>TOTAL</b>		<b>185.66</b>	<b>100.00%</b>



**Figura 15.** Representación gráfica de la delimitación del uso del suelo en el área de exclusión.

### 3.1.7.1 Descripción de la carta uso del suelo

En el Cuadro 18 se muestra de manera detallada la simbología que representa cada uno de los tipos de vegetación encontrados en la cuenca y área de exclusión.

**Cuadro 18. Simbología del uso del suelo**

Simbología	Nombre
Iz	Izotal
No	Nopalera
Mi	Matorral inerte
CR	Crasi-rosulifolios espinosos
Atp	Agricultura de temporal permanente
A	Anual
FBC	Bosque caducifolio
(P)	Pino
Pn	Pastizal natural
Ch	Chaparral

**Matorral:** Vegetación arbustiva de altura, composición florística y densidad variable. Se encuentra generalmente en regiones áridas y semiáridas

**Tipo de matorral.** Los matorrales se clasifican de acuerdo con factores climáticos y fisonómicos principalmente.

**Matorral desértico rosetófilo:** Vegetación de zonas áridas con dominancia de plantas con hojas en roseta, con o sin espinas.

**Fisonomía** Aspecto de la vegetación, determinado por la dominancia fisonómica relativa de diversas formas de vida

**Matorral inerme:** Matorral con predominancia de plantas sin espinas.

**Nopalera:** Comunidad con abundancia de cactáceas (Opuntia), de tallo plano, conocidas como nopales.

**Izotal:** Comunidad con abundancia de plantas del género Yucca (izotes, palmas).

**Crasi-rosulifolios:** Comunidades de plantas con hojas carnosas y dispuestas en roseta.

**Otro tipo de vegetación:** Comunidades vegetales con características ecológicas especiales: fisonomía, origen (suelos, fuego, agua, etc.) que los diferencian de las formaciones vegetales típicas como bosque, selva, pastizal.

**Tipo de vegetación:** El tipo de vegetación se define de acuerdo con factores como fisonomía, composición florística y diversos factores ecológicos que determinan a la comunidad vegetal, como: suelo, fuego, agua

**Chaparral:** Vegetación arbustiva densa, asociada a fuego y con una composición florística característica:

**Pastizal:** Comunidades vegetales caracterizadas por la dominancia de gramíneas (pastos o zacates) o gramínoideas. Aquí se incluyen pastizales determinados tanto por condiciones naturales de clima y suelo, como aquéllos establecidos por influencia humana.

**Tipo de pastizal:** Se define según el factor que los determina: clima, suelo, inducido, etc.

**Pastizal natural:** Vegetación de gramíneas determinada principalmente por el clima y otros factores naturales

**Área agrícola.** Área en la que el suelo es utilizado para la realización de labores agrícolas.

**Tipo de área agrícola.** Las áreas agrícolas se clasifican de acuerdo con la forma en que los cultivos reciben el agua durante el ciclo agrícola.

**Temporal:** Los cultivos reciben únicamente agua de lluvia.

**Tipo de cultivo primario:** Tipo de cultivo dominante, de acuerdo con la duración del ciclo del cultivo.

**Anual:** La duración del ciclo de cultivo es menor a un año

**Bosque:** Vegetación arbórea, principalmente de zonas templadas y semifrías, en climas subhúmedos a muy húmedos.

**Tipo de bosque:** Tipo de bosque de acuerdo con diversos factores, como: dominancia, fisonomía y /o factores ecológicos.

**Bosque de pino:** Bosque de coníferas (género Pinus), de amplia distribución en climas templados

### 3.1.8. Determinación de uso potencial del suelo

En la delimitación uso potencial del suelo de la cuenca (Figura 16) se puede observar que la clase XII cubre el total de la superficie con 397.77 ha (Cuadro 19), lo que representa el 100% de la superficie total (Figura 18). Al igual que la cuenca el área de exclusión (Figura 17) la clase XII cubre el total de la superficie con 185.66 ha (Cuadro 20) representando 100% de la superficie total (Figura 19)

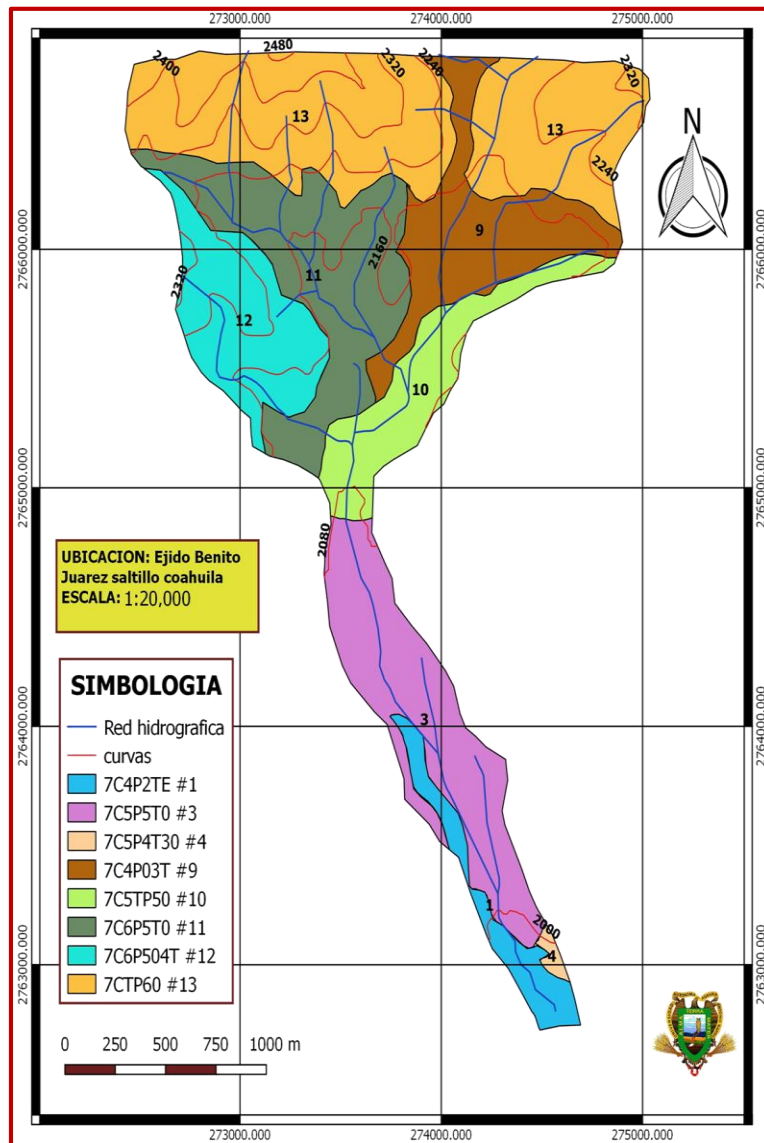
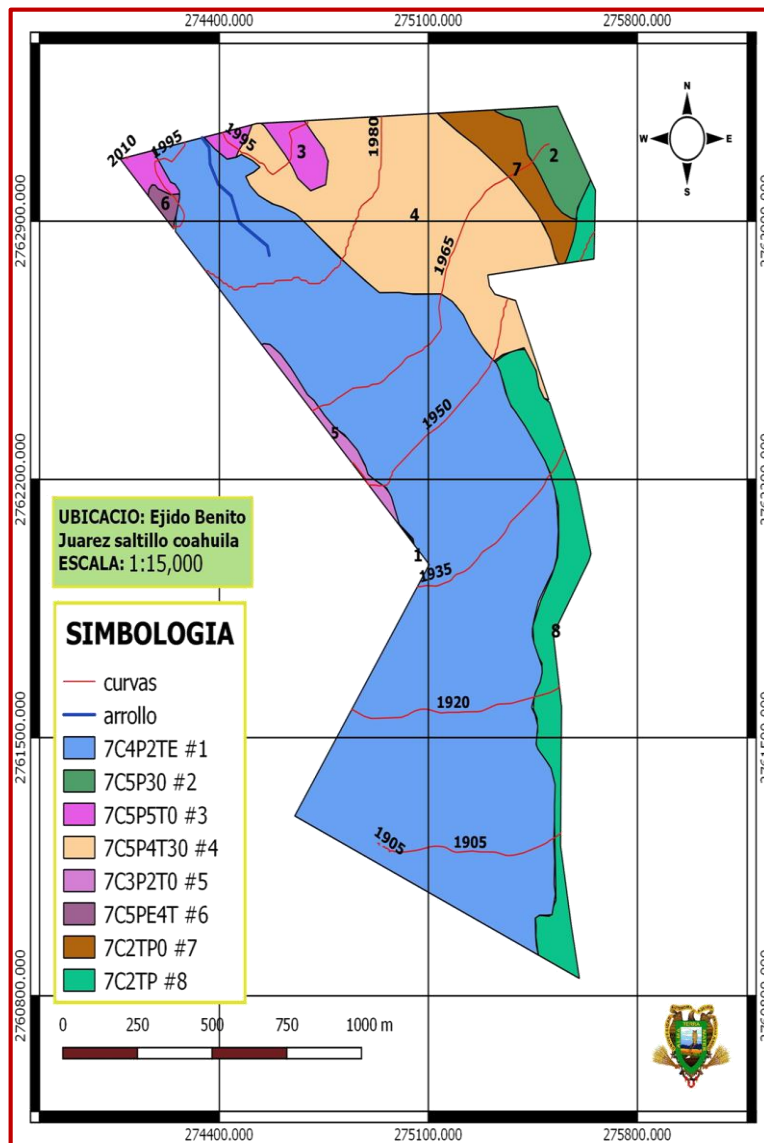


Figura 16. Mapa uso potencial de la cuenca. Escala: 1:20000

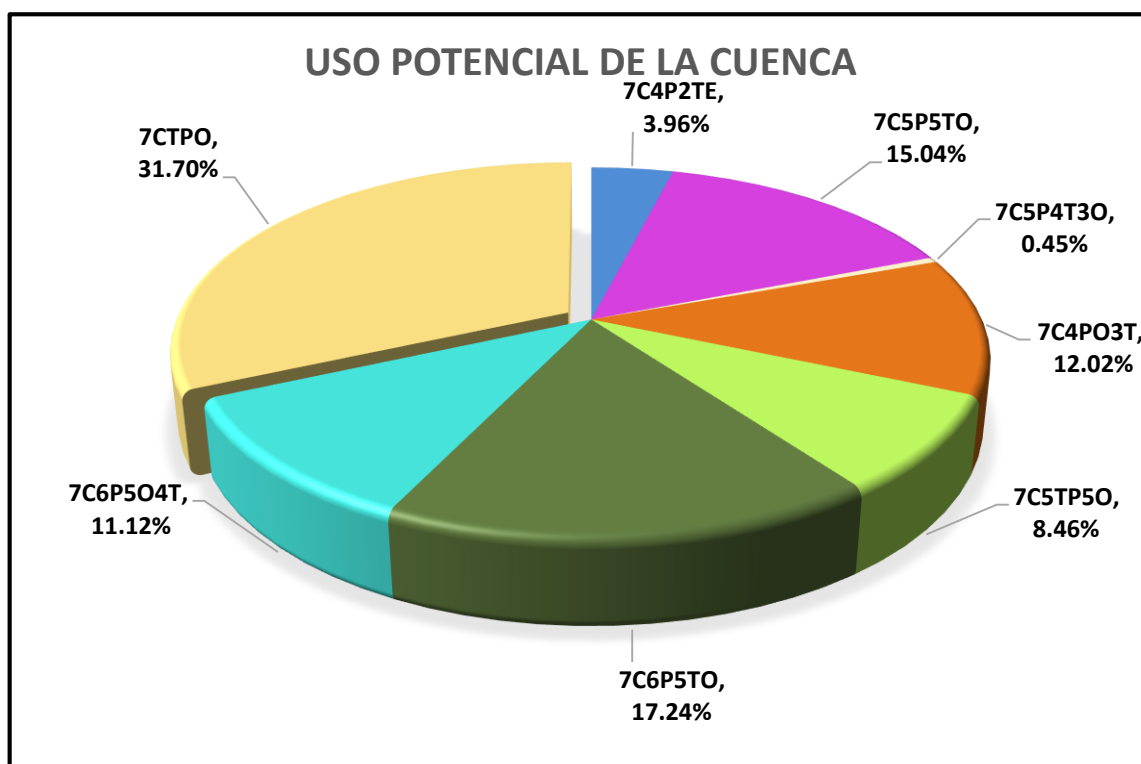


**Figura 17.** Mapa uso potencial del área de exclusión.  
 Escala: 1:15000.

En los Cuadros 19-20 y Figuras 18-19 se detalla el resumen de las áreas y porcentajes que ocupan cada una de las clases agroecológicas encontradas en el área de exclusión y la cuenca.

**Cuadro 19. Delimitación del uso potencial de la cuenca**

Número	Simbología	Superficie en ha	Superficie en %
1	7C4P2TE	15.75	3.96%
3	7C5P5TO	59.81	15.04%
4	7C5P4T3O	1.8	0.45%
9	7C4PO3T	47.83	12.02%
10	7C5TP5O	33.66	8.46%
11	7C6P5TO	68.58	17.24%
12	7C6P5O4T	44.25	11.12%
13	7CTPO	126.09	31.70%
<b>TOTAL</b>		<b>397.77</b>	<b>100.00%</b>

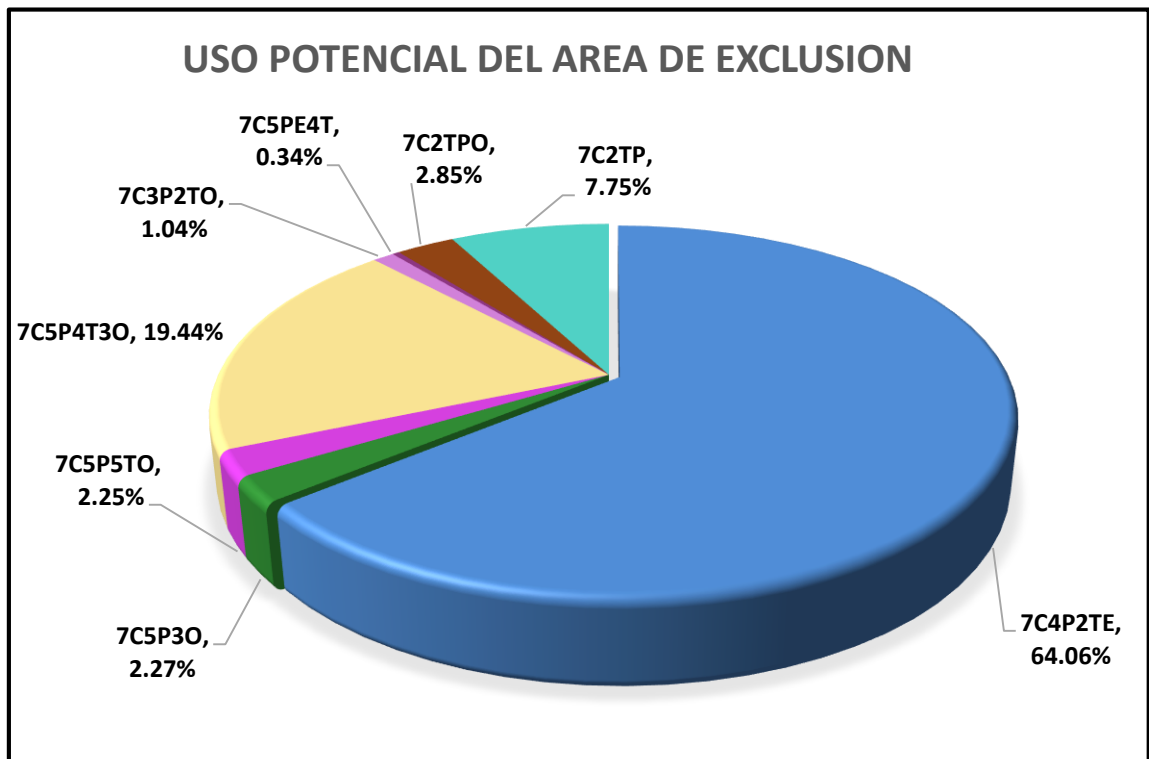


**Figura 18.** Representación gráfica de la delimitación uso potencial del suelo en la cuenca.



**Cuadro 20. Delimitación edafológica del área de exclusión**

Número	Simbología	Superficie en ha	Superficie en %
1	7C4P2TE	118.93	64.06%
2	7C5P3O	4.21	2.27%
3	7C5P5TO	4.18	2.25%
4	7C5P4T3O	36.09	19.44%
5	7C3P2TO	1.93	1.04%
6	7C5PE4T	0.63	0.34%
7	7C2TPO	5.3	2.85%
8	7C2TP	14.39	7.75%
<b>TOTAL</b>		<b>185.66</b>	<b>100.00%</b>



**Figura 19.** Representación gráfica de la delimitación edafológica del área de exclusión.

### 3.1.8.1. Descripción de la carta uso potencial del suelo

Las Unidades de Capacidad de Uso, indican el factor de mayor incidencia para la ubicación de un suelo en una determinada Clase (Figura 20), la cual, Se define como la característica más limitante para el uso del suelo para actividades agrícolas o forestales por lo que determina si un suelo es apto o no, para utilizarse en agricultura. (Cubero 2001). Estas Unidades agrupan suelos potencialmente iguales para el crecimiento de las plantas y capaces de dar respuestas similares al manejo. Se expresan en números arábigos

Subclase de capacidad de uso Hace mención al tipo de limitaciones (Cuadro 21) o de prácticas de conservación necesarias en cada clase y están determinadas por los factores limitantes que presenta cada suelo. En el presente estudio se consideraron como factores limitantes: textura (t), profundidad efectiva (pe), porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y drenaje (d). (Cubero, 2001)

INCREMENTO DE LAS LIMITACIONES DEL SUERO	CAPACIDAD DE USO DEL SUERO	INCREMENTO EN LA INTENSIDAD DEL USO DEL SUERO															
		VIDA SILVESTRE	FORESTAL	PRATICULTURA			AGRICULTURA										
				LIMITADA	MODERADA	INTENSA	LIMITADA	MODERADA	INTENSA	MUY INTENSA							
											1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8

**Figura 20.** Representación de la clasificación de clases para el uso potencial del suelo.

**Cuadro 21. Simbología de las limitaciones del Uso potencial del suelo**

<b>Simbología</b>	<b>Nombre</b>
C	Deficiencia de agua
T	Pendiente del terreno
P	Profundidad efectiva del suelo
E	Erosión
O	Obstrucciones
I	Inundaciones
D	Drenaje interno
S	Salinidad
N	Alcalinidad sodicidad
A	Acidez
F	Fijación de fosforo
B	Inestabilidad

### **Características generales de la clase VII**

Los suelos de esta clase presentan muy severas limitaciones para el laboreo que los hacen inapropiados para cultivos intensivos o permanentes, quedando su uso fundamental es para ganadería extensiva o explotación del recurso forestal, con fines de conservación. Las condiciones físicas de la tierra de la clase VII son tales que es impráctico aplicar aquellas técnicas o medidas señaladas para los suelos de esta clase. Las limitaciones son de carácter mucho más severo, presentan características desfavorables que no pueden ser corregidas debido a que son tierras ubicadas en pendientes de hasta el 70 %; con topografías muy irregulares ocasionando riesgos por erosión severa , suelos poco profundos a profundos; ; con pedregosidad menor al 50 %; muy baja capacidad de retención de humedad, clima desfavorable durante la estación de crecimiento, en cuanto a la textura, drenaje y fertilidad éstas pueden ser variables; incluyen suelos desde no salinos a muy salinos y de no tóxicos hasta altamente tóxicos

### 3.2. Trabajo de campo

Para la construcción de las presas de gaviones, se seleccionó los puntos de trabajo, en un recorrido dentro de la cárcava; con el uso de cartas temáticas de la zona (topográfica, suelos, vegetación, geológica y uso del suelo) y con la colaboración de algunos productores (Figura 21). Durante el recorrido por el cauce de la cárcava se identificaron los espacios con mayor reducción y que las paredes tuvieran material consolidado con la finalidad de obtener una tendida de gaviones angosta y un menor empotramiento de gaviones. En cada sitio se identificó: la longitud, ancho, profundidad y pendiente de la cárcava (Figura 22).

El uso de la carta geológica permitió ubicar dentro del predio el material con el que se rellenó los gaviones.



**Figura 21.** Selección de los sitios para la construcción de las presas de gaviones.



**Figura 22.** Levantamiento topográfico del cauce de la cárcava y unión de las presas a un banco de nivel.

### **3.2.1. Levantamiento topográfico actual de la cárcava**

La acumulación de materiales de azolve, se estima conociendo la profundidad del azolve y la variación del perfil transversal de la cárcava situadas aguas arriba de las presas filtrantes de gaviones, por lo cual se realizó un segundo levantamiento topográfico para mostrar la topografía actual de la cárcava modificada por la acumulación de materiales de azolve (Figura 23). La topografía original de la cárcava se comparó con la topografía actual para cuantificar el incremento de azolve.



**Figura 23.** Levantamiento topográfico actual (presa 10), el cual muestra el azolve acumulado.

### **3.2.2. Procedimiento del muestreo**

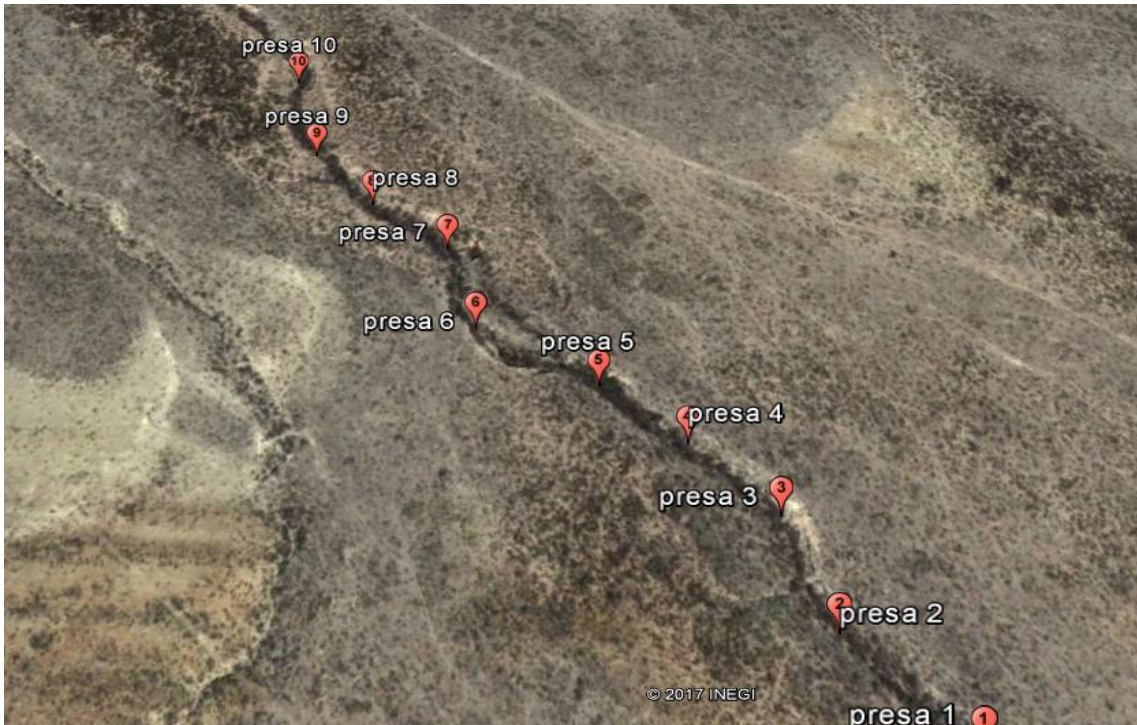
Para realizar el muestreo se elaboró un plan donde se buscó la información y programación relacionada con los objetivos del muestreo, lo cual incluyó los siguientes puntos:

- El mapa de ubicación del área de exclusión (Figura 24).
- Localización de los sitios de las presas (Figura 25).
- El método de muestreo y parámetros de la muestra
- Equipo e instrumentos a emplearse en el muestreo

El método de muestreo utilizado fue el estratificado vertical, que se emplea en áreas heterogéneas, una vez localizados los puntos deseados se procedió a realizar la excavación hasta alcanzar el lecho rocoso (Figura 26). El muestreo se realizó de manera sistemática aguas arriba de cada una de las presas.



**Figura 24.** Delimitación del área de exclusión.



**Figura 25.** Localización de las presas.



**Figura 26.** Extracción de la muestra del azolve.



### 3.2.3. Determinación de la Densidad aparente

Para esta prueba se buscó un método en el cual no fuera inconveniente la presencia de piedras, ramas, troncos o algún otro tipo de material que dificultara la ejecución del proceso, por lo que se utilizó el método de excavación y determinación del volumen extraído.

Trabajos anteriores han confirmado la utilidad y su confiabilidad del método en suelos pedregosos, muy inclinados o poco accesibles (Page-Dumroese *et al.*, 1999; Grossman *et al.*, 2002; Brye *et al.*, 2004).

El método consistió en cavar un hoyo (Figura 27) y conservar todo el azolve retirado como muestra, el volumen fue determinado vertiendo agua con una probeta, la muestra se secó, en un ambiente cerrado y seco, para determinar el peso seco del azolve extraído.



**Figura 27.** Excavación de un cubo de 10 x 10 x 10 cm.

### 3.3. Trabajo de laboratorio

#### 3.3.1. Granulometría

Para el manejo de la muestra los materiales se dejaron secar 24 horas exponiéndola en ambiente seco, después fue pesada en una balanza. Durante la etapa del tamizado para obtener la distribución de tamaños, se emplearon tamices normalizados y numerados, dispuestos en orden decreciente. Se Vertió la muestra obtenida en la parte superior del tamiz y se agitó manualmente con Movimientos circulares y dándole golpecillos de forma que las partículas que pasen caigan sin problema (Figura 28). Cuando la muestra pasó por el primer tamiz, se observó si el tamizado ha sido completamente efectivo, quedando libre de partículas pequeñas en la abertura. Se repitió el procedimiento para cada uno de los cuatro tamices empleados, obteniendo las muestras de forma secuencial, partiendo del sobrante del primer tamiz. Se prepararon una serie de 5 bolsas de plástico, identificadas con los números de los tamices y el número de presa. Se determinó el peso de cada fracción en una balanza.



**Figura 28.** Uso de Tamices para la separación de tamaño de partículas.

### 3.3.2. Conductividad hidráulica

Se tomó una muestra de azolve de cada una de las presas, después fue llevada al laboratorio de aguas residuales ubicado en el departamento de riego y drenaje dentro de las instalaciones de la UAAAN para ser secada y tamizada, una vez tratada se colocó en el permeámetro, midiendo la distancia que hay de la entrada de agua a la salida del permeámetro y de la altura de la columna de agua, después con un vaso de precipitado, una probeta y un cronometro se midió el volumen y el tiempo del flujo hasta que ser constante (Figura 29).



**Figura 29.** Determinación de la conductividad hidráulica.

### 3.3.3. Materia orgánica

Se evaluó a través del contenido de carbono orgánico con el método de Walkley y Black. Este método se basa en la oxidación del carbono orgánico del suelo. Se siguió la técnica con algunas modificaciones. El procedimiento consiste en pesar un gramo de suelo seco al aire y pasado por un tamiz de 2 mm, se coloca en un matraz Erlen Meyer de 500 ml; se agregan 10 ml de dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) 1N, y rápidamente 20 ml de  $H_2SO_4$  concentrado; se agita vigorosamente por un minuto y luego se deja en reposo por una hora. Seguidamente se adicionan 200 ml de agua destilada y 7 gotas de ortofenantrolina (indicador); Luego se titula el exceso de dicromato de potasio con sulfato ferroso ( $FeSO_4$ ) 1N, hasta que cambia de color. Por último el resultado obtenido es comparado con el resultado de un testigo (Figura 30).



**Figura 30.** Determinación de materia orgánica.

### **3.4. Trabajo de gabinete**

#### **3.4.1. Área de estudio**

Para el trabajo se realizó un estudio semidetallado (escala 1:50000), utilizando la información cartográfica y temática digital disponible del Instituto Nacional de Estadística y Geográfico a escala 1:5000 (INEGI), aplicando la metodología recomendada para la delimitar áreas, curvas a nivel, red hidrográfica, uso del suelo, uso potencial, edafología y geología.

##### **3.4.1.1. Delimitación de la cuenca y localización del área de exclusión**

Para delimitar la cuenca, como primer paso se identificó la red hidrográfica en el programa google earth a través de los patrones de drenaje los cuales fueron marcados los niveles altos para separar el parte aguas y unirlos con una polilínea. Después se utilizó un archivo shapefile (red hidrográfica digital), la cual fue procesada en el software QGIS 2.14, donde se delimitó la forma de la cuenca. El área de exclusión fue localizada utilizando un GPS para obtener las coordenadas de cada uno de los puntos del polígono, después fueron exportados al software QGIS 2.14 donde se realizó la unión de los puntos para dar forma a la superficie del área de exclusión.

##### **3.4.1.2. Curvas a nivel**

Las curvas a nivel se obtuvieron mediante el análisis topográfico del área de exclusión y de la cuenca para lo cual se utilizó un Modelo de Elevación Digital (MED) y después se transformó a un formato raster empleando el software ArcGis 10.1, permitiendo establecer la altura deseada entre cada curva a nivel consecutiva.

##### **3.4.1.3. Delimitación temática**

Se utilizaron de manera digital las cartas temáticas edafología, geología, uso del suelo y uso potencial del suelo G14C53 a escala 1: 50000, las cuales fueron

georreferenciadas, y delimitadas dentro del área de exclusión y la cuenca el con el programa QGIS 2.14

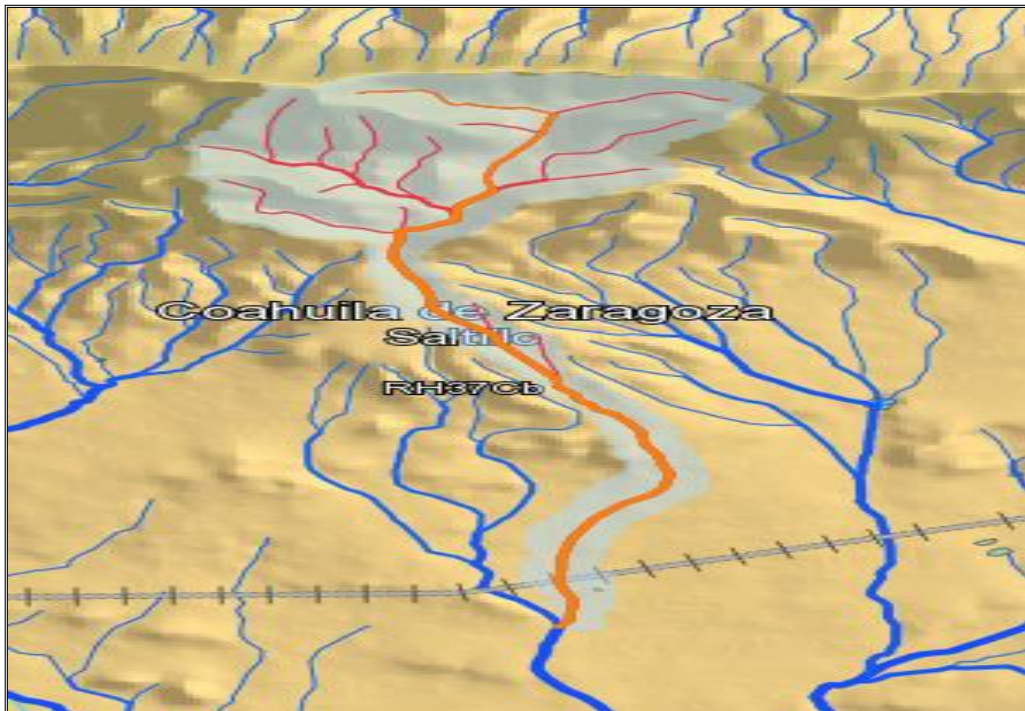
#### 3.4.1.4. Proceso para la construcción de presas filtrantes de gaviones.

La construcción de las presas depende del objetivo para el cual se realiza. En nuestro caso, es un tratamiento para estabilizar y evitar el crecimiento de la cárcava, aunado a una retención e infiltración de agua.

Para realizar el diseño de una presa de gaviones es necesario ubicar previamente el lugar donde se va a construir, realizar el estudio de la cuenca que lo alimenta, estimar el escurrimiento máximo y caracterizar la cárcava: ancho, profundidad, tipo de suelo, así como dimensionarla hidráulica y estructuralmente en función de su altura, espaciamiento, empotramiento, vertedor y colchón hidráulico.

#### 3.4.2. Estudio de la cuenca

Con ayuda del simulador de flujo de INEGI se identificó la cuenca (Figura 31)



**Figura 31.** Representación de la cuenca.

Este análisis es de importancia fundamental en el proceso del escurrimiento, ya que toma en cuenta las características de la cuenca como pendiente (5.06%), desnivel (433m), área (520 ha) y de su cauce principal la longitud (8,553m) y su caudal (25.53 m³/s) (Cuadro 22)

**Cuadro 22. Indicadores del cauce principal de la cuenca**

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>
Elevación máxima	2412 m
Elevación media	2195 m
Elevación mínima	1979 m
longitud	8553 m
Pendiente media	5.0625 %
Tiempo de concentración	62.21 (minutos)
Área drenada	6.08 Km²
Periodo de retorno	10 años
Coeficiente de escurrimiento	20%
Intensidad de la lluvia	7.56 cm/hr
Caudal	25.53 m³/s

**Fuente:** INEGI SIATL 2016

### 3.4.3. Espaciamiento de presas.

El espaciamiento entre dos presas consecutivas dependió de su altura efectiva, utilizando el método denominado “cabeza pie” (Figura 32). Esto es, que la cota de la base de una presa, coincida con la cota del vertedor de la presa inmediata aguas abajo. El espaciamiento unitario, se calculó en base a la siguiente ecuación:

$$E = \frac{H}{P_c - P_s} * 100$$

Donde:

E: Distancia entre dos presas consecutivas (m)

H: Altura efectiva de la presa (m)

Pc: Pendiente de la cárcava (%)  
Ps: Pendiente del sedimento (varia de 0.5 a 3 %)

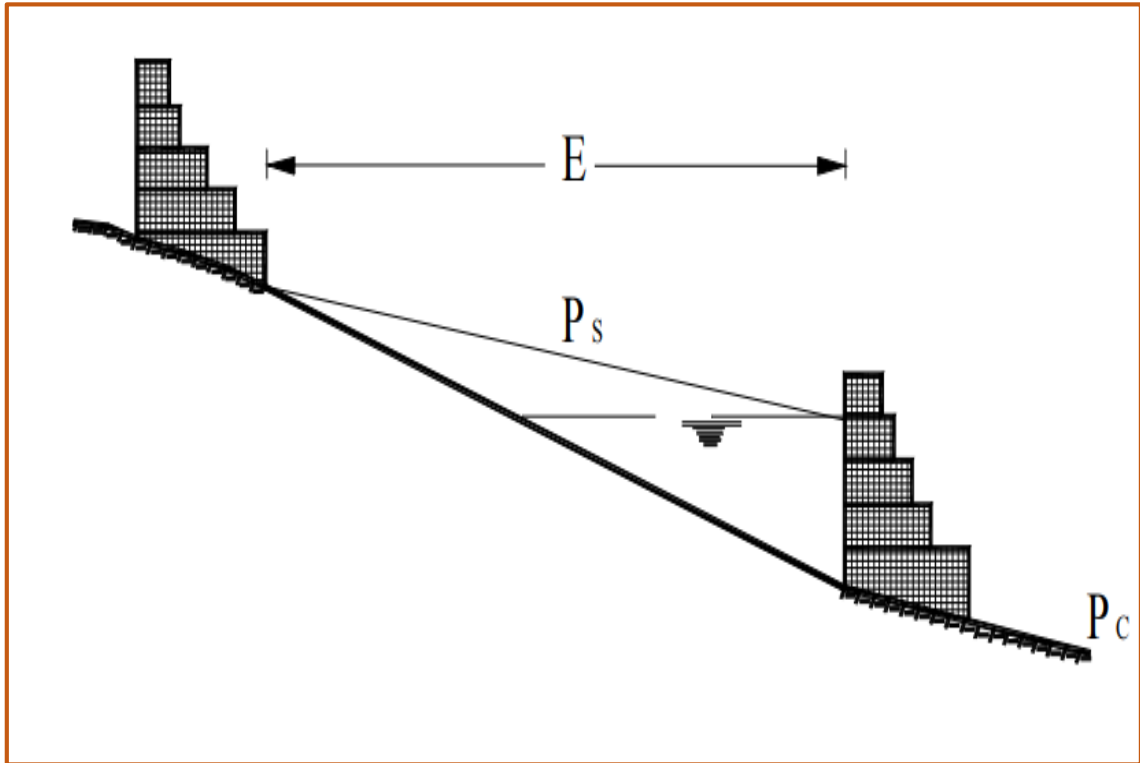


Figura 32. Espaciamiento entre presas por el método "pie- cabeza".

#### 3.4.4. Altura efectiva de la presa.

La altura de las presas de gaviones se calculó en función del aterramiento determinado por la pendiente de la cárcava, la pendiente de compensación, el espaciamiento y despejando el valor de "H" de la ecuación

$$H = E (Pc - Ps)$$

Donde:

**E** = espaciamiento entre dos presas consecutivas

**H** = Altura efectiva de la presa

**Pc** = pendiente de la cárcava en %

**Ps** = pendiente de compensación en %



### 3.4.5. Gasto máximo

El gasto máximo de las presas de gaviones se calculó por el método de la huella máxima observada en las márgenes de la cárcava que deja el escurrimiento superficial, utilizando las siguientes formulas.

$$Q = A * V$$

Donde:

**Q** = Escurrimiento máximo (m<sup>3</sup>/s)

**A** = Área de la sección transversal del cauce (m<sup>2</sup>)

**V** = volumen del flujo (m/s)

$$A = d (he/2 + \Sigma hi + he'/2)$$

Donde:

**A** = área de la sección

**d** = equidistancia de los sondeos

**he y he'** = Alturas extremas (m)

**Σhi** = Suma de las alturas intermedias (m)

$$V = ((r^{2/3}) (s^{1/2})/n$$

Donde:

**V** = volumen del flujo (m/s)

**r** = radio hidráulico

**s** = pendiente (m/m)

**n** = coeficiente de rugosidad de Horton

$$r = A/P$$

Donde:

**r** = radio hidráulico

**A** = Área de la sección transversal del cauce (m<sup>2</sup>)

**P** = perímetro mojado

### 3.4.5. Diseño del vertedor

El vertedor se diseñó en función del gasto máximo. Se utilizó vertedor rectangular de cresta ancha (Figura 33)

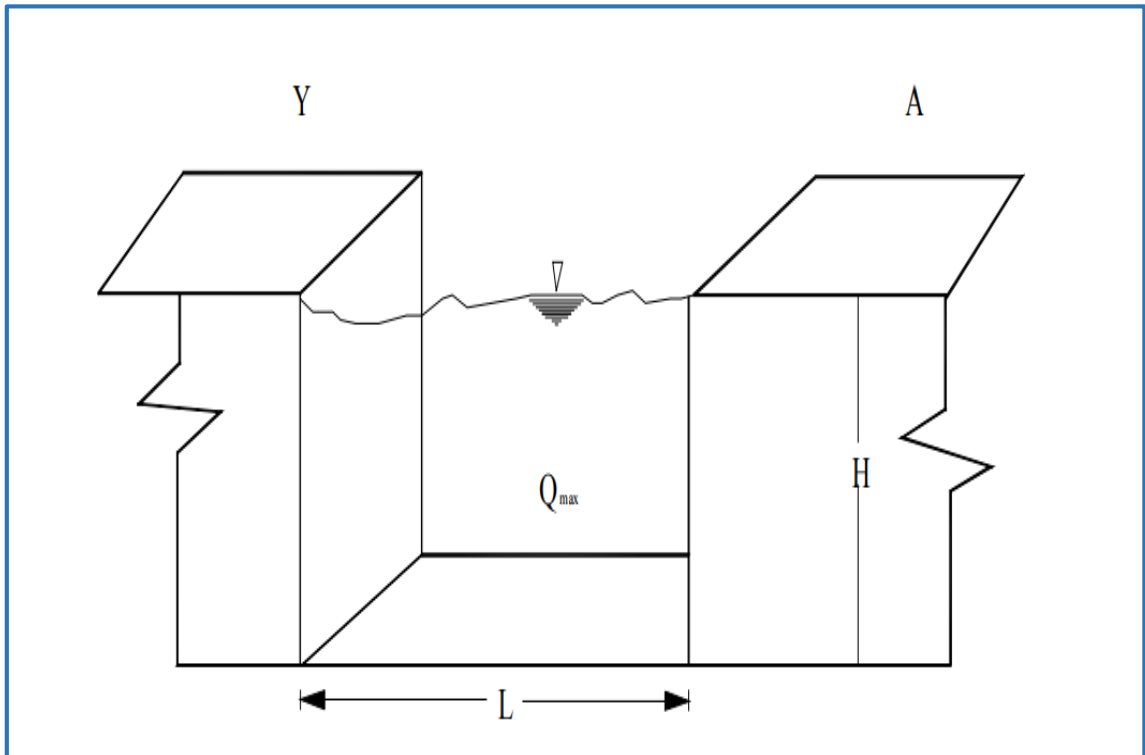


Figura 33. Vertedor de cresta ancha.

$$Q_{\max} = C_v * L * H_d^{3/2}$$

La ecuación muestra el cálculo de  $H_d$  proponiendo un valor de  $L$ :

$$H_d = \left[ \frac{Q_{\max}}{C_v * L} \right]^{2/3}$$

Donde:

$Q_{\max}$  = E scorrimento máximo ( $m^3 / s$ )

$C_v$  = Coeficiente del vertedor (adim.= 1.45)

$L$  = Longitud del vertedor (m)

$H_d$  = Carga sobre el vertedor (m)

Para definir la altura total del vertedor se agregó un bordo libre (HI) de 0.20 m y se ajustaron las dimensiones con las medidas comerciales de los gaviones, lo cual se puede lograr ajustando el valor de L. Se recomienda que sea de un tercio de la altura efectiva de la presa

### 3.4.6 Delantal o colchón hidráulico

Se construyó para evitar los efectos erosivos del agua que pasan a través del vertedor. La longitud del delantal se diseñó en función de la altura efectiva de cada presa, la cual debe ser entre 1.5 y 1.7 veces.

### 3.4.7. Protección de los taludes

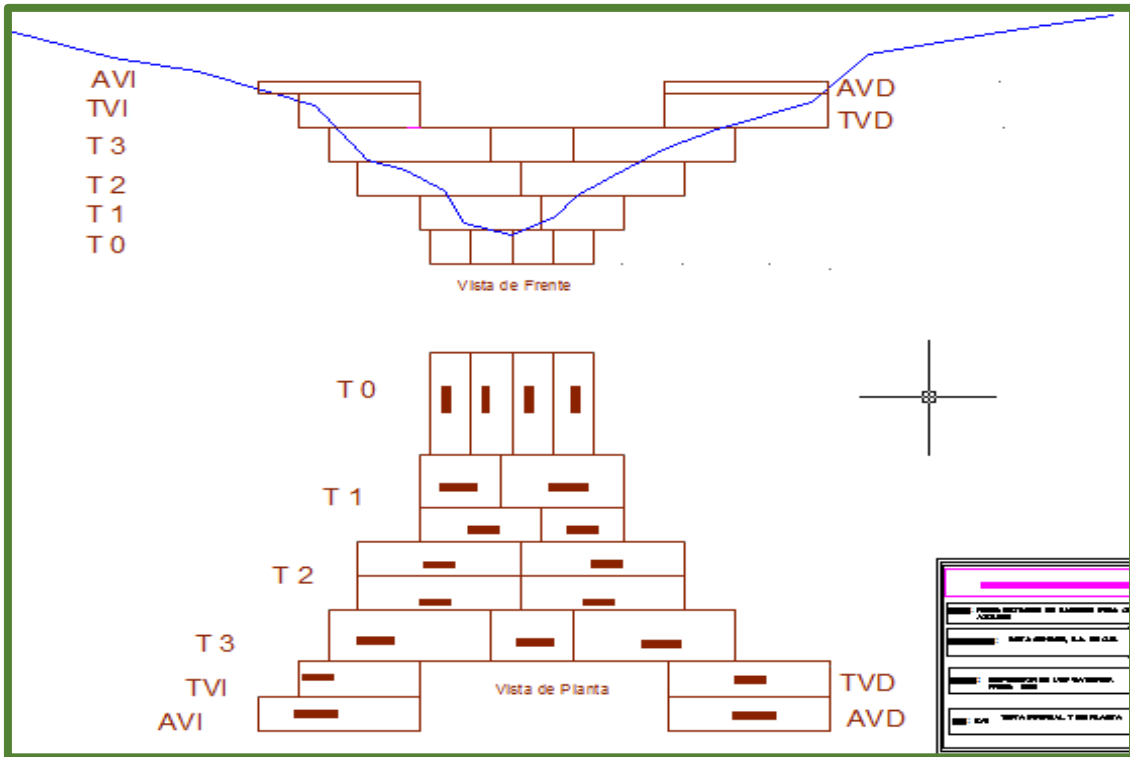
Esta protección se realizó con el fin de disminuir los deslaves y el ensanchamiento de la cárcava por medio de alerones.

### 3.4.8. Diseño de la colocación de los gaviones.

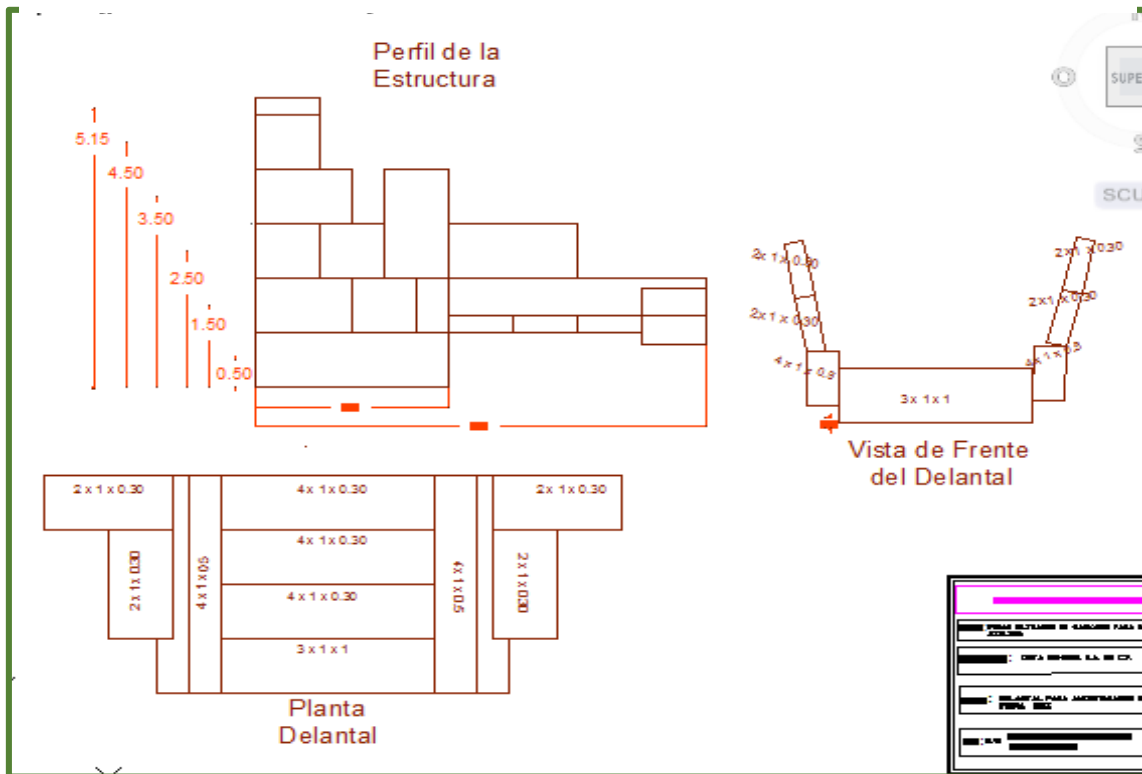
Los gaviones se colocaron en función del perfil transversal de la cárcava, la altura efectiva de la presa, el tamaño del vertedor y del colchón amortiguador o delantal (Figuras 34-35), con lo cual se define el número y el tamaño de los gaviones a utilizar considerando los tamaños comerciales para construir la presa de gaviones (Cuadro 23)

**Cuadro 23. Tamaño de gaviones comerciales con sus volúmenes.**

Características					Gaviones	Volumen	
	medidas			volumen unitario	presa * 10	volumen * 10	
<b>4.00</b>	x	1.50	x	1.00	6.00	2.00	12.00
<b>3.00</b>	x	1.50	x	1.00	4.50	1.00	4.50
<b>2.00</b>	x	1.00	x	1.00	3.00	2.00	6.00
<b>4.00</b>	x	1.00	x	1.00	4.00	5.00	20.00
<b>3.00</b>	x	1.00	x	1.00	3.00	7.00	21.00
<b>2.00</b>	x	1.00	x	1.00	2.00	1.00	2.00
<b>4.00</b>	x	1.00	x	0.50	2.00	2.00	4.00
<b>4.00</b>	x	1.00	x	0.30	1.20	5.00	6.00
<b>2.00</b>	x	1.00	x	0.30	0.60	4.00	2.40
						29.00	77.90



**Figura 34.** Vista de frente y de planta del diseño de la colocación de gaviones de la presa filtrante 10, de acuerdo con el perfil natural.



**Figura 35.** Vista de perfil de la estructura y del delantal con alerones de la presa filtrante 10.

### 3.4.9. Cálculo estructural del diseño.

Se analizó directamente la resistencia del muro de gaviones a soportar, los efectos por deslizamiento y volteamiento causados por el empuje hidrostático del agua y los sedimentos.

El cálculo estructural de una presa de gaviones constituye el análisis de cada fuerza que actúa sobre el muro y que al mismo tiempo determina la estabilidad de la obra.

Este cálculo se realizó a partir de la sección crítica unitaria, esto es, que las dimensiones están referidas a la unidad de ancho del muro, considerando el perfil de la sección crítica unitaria (SCU), se procede como sigue:

#### a.- Peso de la lámina vertiente (q)

$$q = h' \cdot b \cdot w$$

$$Xq = b/2$$

**Donde:**

B = Base de la presa (en m)

b = Corona de la presa (en m)

h' = Altura de la lámina vertiente (en m)

W = Peso específico del agua con sedimentos (en kg m<sup>-3</sup>)

#### b.- Peso de la sección crítica unitaria

$$V = (h_1 \cdot b_1) + (h_2 \cdot b_2) + (h_3 \cdot b_3) + (h_4 \cdot B)$$

**Donde:**

V = Volumen total de la obra (en m<sup>3</sup>)

h<sub>1</sub>, h<sub>2</sub>, h<sub>3</sub>, h<sub>4</sub> = Alturas de los tendidos (en m)

b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, b<sub>3</sub> = Ancho de los tendidos (en m)

$$\delta a = \delta \cdot w$$

$$P = V \cdot \delta a$$

$$X_p = Z_p$$

Donde:

$\delta_a$  = peso específico aparente en (Kg m<sup>-3</sup>)

$\delta$  = Peso específico de la piedra (en kg m<sup>-3</sup>)

$P$  = Peso total de la sección crítica unitaria (t)

$W$  = Peso específico del agua con sedimentos (en kg m<sup>-3</sup>)

$V$  = Volumen total de la obra (en m<sup>3</sup>)

$Z_p$  = brazo de palanca con respecto al punto a

$$Z_p = \frac{\left[ \left( \frac{(h_1 \cdot b_1) b_1}{2} \right) + \left( \frac{(h_2 \cdot b_2) b_2}{2} \right) + \left( \frac{(h_3 \cdot b_3) b_3}{2} \right) \right]}{V}$$

### c.- Cálculo del empuje hidrostático del agua €

$$\epsilon = S \cdot h_2 \cdot w$$

Donde:

$S$  = Superficie de mojado de la sección unitaria (en m<sup>2</sup>)

$h$  = Centro de gravedad de la superficie de mojado (en m)

$E$  = Empuje hidrostático del agua (en t)

$H$  = Altura de la presa (en m)

$$X_\epsilon = H/3$$

### d.- Cálculo de la condición del núcleo central

$$q(X_q) + (X_p) + (X_E) \leq 2/3 (q+P) B$$

### e.- Cálculo de la condición de no deslizamiento

$$(q+P)\mu \geq E$$

Donde:

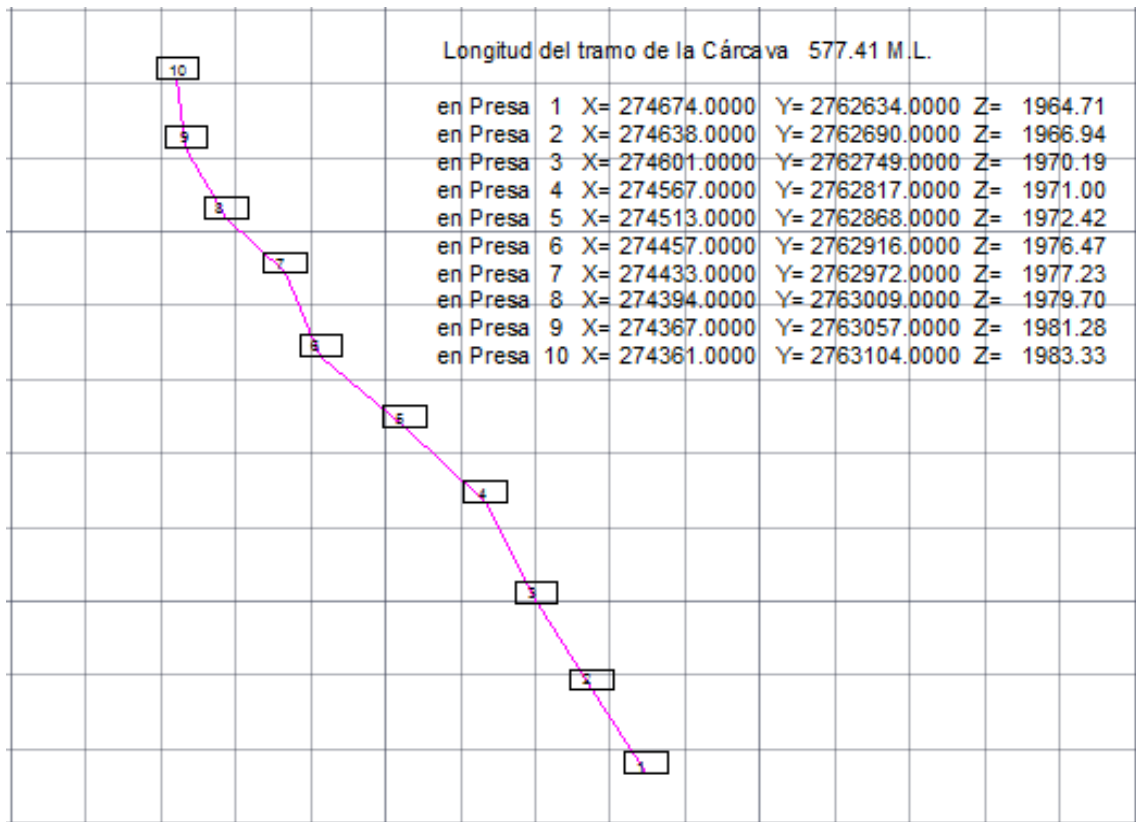
$\mu$  = Coeficiente de fricción (adimensional)

f.- Cálculo de la condición de no volamiento

$$\frac{P(Xp)}{E(XE)} \geq 1$$

#### 3.4.10. Evaluación del azolve acumulado en las presas filtrantes de gaviones

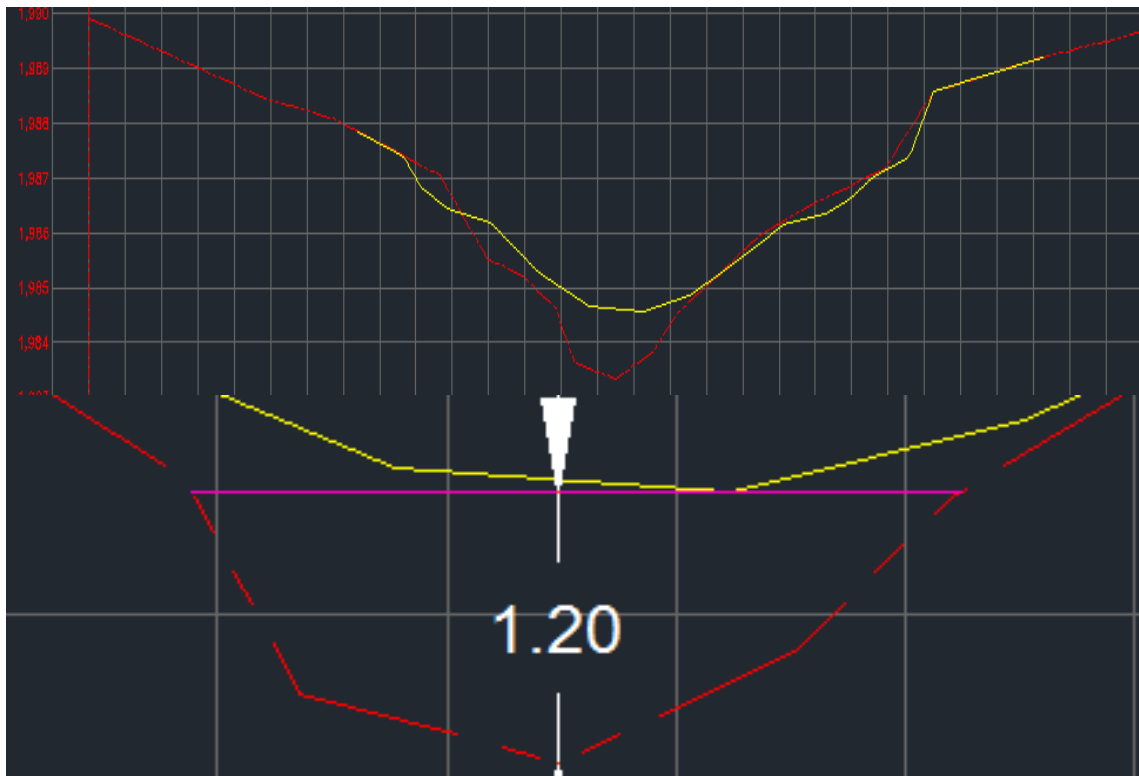
Se utilizó coordenadas UTM (X, Y) de cada una de las presas para unir las y obtener la vista de planta como la longitud total de la cárcava trabajada (Figura 36)



**Figura 36.** Vista de planta que representa la distribución de cada una de las presas y la longitud de la cárcava.

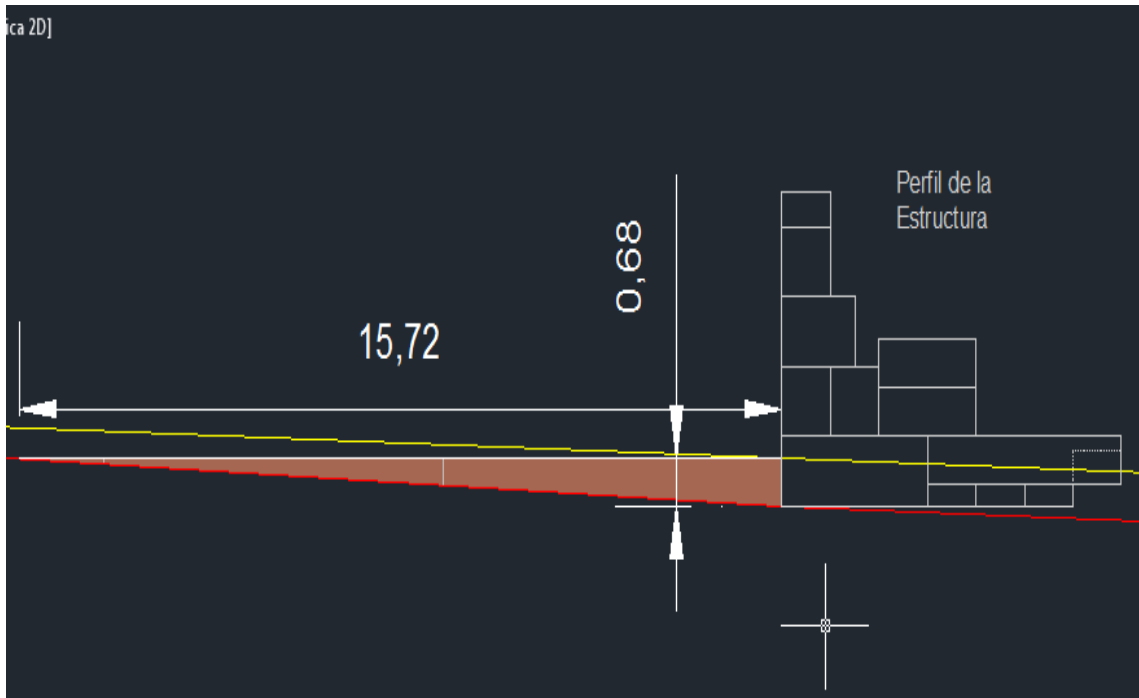
Para estimar los volúmenes de azolve acumulados se propuso un nuevo método, el cual, consistió en conocer dos perfiles transversales topográficos de la cárcava, el natural y el actual. El actual se formó por la construcción de las presas filtrantes. Ambos perfiles fueron comparados entre sí para determinar el incremento de azolve, Se consideró la cota más baja del perfil actual comparado con el natural con la finalidad de obtener datos representativos del acumulamiento del azolve (Figura 37), ya que en los extremos de la cárcava la acumulación fue provocada por las actividades de construcción de la obra. Una vez establecida la cota más baja de cada uno de los perfiles con ayuda del software AutoCAD se procedió a calcular el área ocupada por el azolve midiendo su profundidad con la diferencia entre el perfil actual y el natural (1.20 m).





**Figura 37.** La línea roja representa el perfil natural de la cárcava, la amarilla indica el actual y la línea rosa delimita el área que se consideró para el cálculo del volumen.

Para el perfil longitudinal topográfico de la cárcava se utilizó también las coordenadas UTM (X, Y, Z) de cada una de las presas, tomando el valor de la cota más baja de cada perfil natural para obtener un conjunto de puntos que se unieron con una polilínea dando origen al perfil longitudinal natural de la cárcava. Para obtener el perfil actual se utilizó el mismo método, cambiando únicamente los valores de Z, a los cuales se les sumo el valor de la diferencia entre la cota actual y la natural (profundidad del azolve). Establecidos ambos perfiles se prolongó una línea auxiliar horizontal en cada uno de los puntos más bajos del perfil actual intersectando con la línea del perfil natural dando origen a la longitud del azolve acumulado (Figura 38). Todos los datos obtenidos fueron ordenados y procesados en el programa Excel.



**Figura 38.** Perfil longitudinal que representa el azolve. La línea amarilla el perfil actual y la línea rojo el natural presa 9.

Para el cálculo del volumen se buscó un cuerpo geométrico que se semejara con la forma adquirida del azolve, se utilizó la fórmula de la pirámide (cuerpo geométrico cuya base es un polígono cualquiera y sus caras laterales son triángulos). Donde la formula indica

$$V = \frac{1}{3} A_b * h$$

**V**= volumen

**A<sub>b</sub>**= área de la base

**H**= altura

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Escurrimiento superficial

El escurrimiento superficial de la cuenca en donde está localizada la zona de exclusión es  $6.72 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  que fue utilizado para el cálculo de las dimensiones del vertedor.

### 4.2. Volumen de azolve acumulado

El cálculo del volumen de azolve acumulado muestra la capacidad de las presas para retener azolves. La presa número seis con  $29.16 \text{ m}^3$  fue la que obtuvo mayor volumen de azolve, la segunda fue la presa 10 con  $24.01 \text{ m}^3$  y el volumen total acumulado fue  $148.86 \text{ m}^3$  convertidos mega gramos serian  $132.32 \text{ Mg}^{-3} \text{ años}$  (Cuadro 24).

**Cuadro 24. Acumulamiento de azolve en cada una de las presas filtrantes**

Presa/	Altura (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Longitud (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )	D.a. (Mg m <sup>-3</sup> )	Mg <sup>-año</sup>	Mg <sup>-3 años</sup>
1	0.70	1.0009	20.90	6.97	1.18	2.75	8.25
2	0.76	0.9201	16.29	5.00	1.16	1.94	5.82
3	0.55	1.0602	51.63	18.25	0.91	5.54	16.62
4	0.78	1.4617	40.96	19.96	1.50	9.98	29.94
5	1.14	2.6649	20.76	18.44	0.57	3.47	10.42
6	0.68	1.6077	54.42	29.16	0.79	7.71	23.13
7	0.92	1.2904	20.02	8.61	0.81	2.33	6.98
8	0.74	0.8888	25.79	7.64	0.89	2.27	6.80
9	0.68	1.9881	15.72	10.42	0.72	2.50	7.50
10	1.20	2.6012	27.69	24.01	0.70	5.63	16.88
<b>Total</b>				148.46		44.11	132.32

### 4.3. Contenido de materia orgánica en el azolve

La prueba de materia orgánica en las presas cinco, nueve, diez siete, seis y tres indican valores muy altos mayores al 3.6%( extremadamente ricos) con un peso de 0.58, 0.38, 0.79, 0.98, 0.29 y 0.63 Mg, las presas cuatro y ocho se agrupan en los valores altos

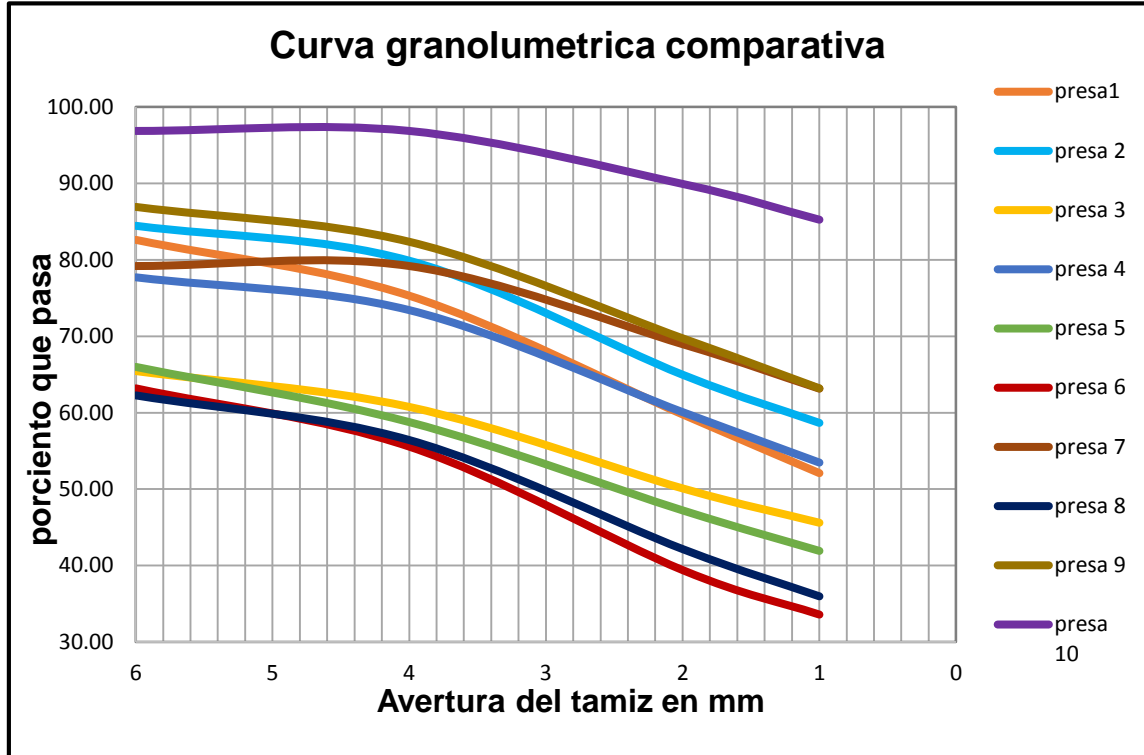
entre 2.6 y 3.5%, con un peso de 0.92 y 0.19 Mg, el resto de las presas uno y dos se agrupan en valores normales entre 2 y 2.5% con un peso de 0.21 y 0.12 Mg respectivamente en tres años de evaluación y el resto es el peso de los materiales minerales del azolve transportado. (Cuadro 25)

**Cuadro 25. Fracciones de materia orgánica en el azolve**

Presa	M.O (%)	M.O (Mg <sup>-3</sup> años)	Suelo mineral (Mg <sup>-3</sup> años)
1	2.49	0.21	8.04
2	2.07	0.12	5.70
3	3.81	0.63	15.99
4	3.09	0.92	29.01
5	5.60	0.58	9.84
6	4.23	0.98	22.15
7	4.23	0.29	6.68
8	2.85	0.19	6.61
9	5.10	0.38	7.12
10	4.70	0.79	16.09

#### 4.4. Análisis granulométrico

Esta prueba permitió cuantificar la distribución de tamaños de las partículas del azolve a través de tamices, la cual indicó que el diámetro de las partículas menores a 2 mm representan el 59.2 %, que corresponden a las arenas limos y arcillas, los materiales mayores de 2 mm (40.8%) pertenecen a las gravillas y arenas gruesas (Figura 39).



**Figura 39.** Distribución del tamaño de las partículas del azolve acumulado de cada una de las presas filtrantes.

#### 4.5. Valores de conductividad hidráulica (K)

En la siguiente Figura 40 se muestran los valores de K obtenidos en cada presa, donde se aprecia que la mayor conductividad se tiene en las presa tres, uno y seis con un rango de 0.077 a 0.041  $\text{cm hr}^{-1}$ ; el resto de la presas: dos, cuatro, cinco, siete, ocho, nueve y diez con un rango de 0.011 a 0.024  $\text{cm hr}^{-1}$  siendo todas de clase extremadamente lenta.



**Figura 40.** Resultados de la conductividad hidráulica de cada una de las presas.

## V. DISCUSIÓN

Las presas filtrantes de gaviones son de gran importancia para las zonas susceptibles al deterioro del recurso suelo, tanto para la prevención como en la disminución de dicho deterioro. Para la construcción de estas presas de gaviones es necesario realizar un estudio específico ya que cada obra presenta características diferentes. SAGARPA (2009) recomienda que para las obras de control de escurrimientos se debe tomar en cuenta las particularidades de cada región, y el diseño de las obras se debe adecuar a las condiciones topográficas

Los resultados observados mostraron que las 10 presas construidas han sido de gran impacto. Se encontraron en buen estado y funcionando de acuerdo a los objetivos para los que fueron construidas, garantizando un buen funcionamiento (UACH, 2006).

El volumen de azolve acumulado entre cada una de las presa se distribuyó de forma irregular, debido a la pendiente entre presas. Las presas con mayor volumen de azolve fueron las que mostraron menor pendiente y las de menor volumen, mayor pendiente. También es de importancia mencionar que la presa seis en comparación con la 10 retuvo mayor volumen de azolve debido a que aguas arriba de esta presa se une una cárcava secundaria por lo cual aumento el volumen acarreado.

Con respecto al tipo de azolve acumulado se encontró que en promedio el 59.2% son partículas del suelo: arenas, limos y arcillas (menor de 2 mm), y el resto gravas, gravillas y arenas gruesas. Según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) los materiales gruesos se clasifican como grava cuando las partículas tienen tamaño mayor que 4.75 mm y arena gruesas cuando las partículas son de tamaño menor

Los valores del Contenido de materia orgánica fueron elevados Walkley-Black, menciona que >3.6% el contenido de materia orgánica se clasifica como muy alto lo cual significa que las presas están cumpliendo el propósito de acumular gran parte del

suelo fértil proveniente de las partes altas de la cuenca. Es de importancia mencionar que en el muestreo del azolve se encontró materia orgánica visible en las 10 presas.

De acuerdo con O' Neal y Uhaland, la conductividad hidráulica puede ser clasificada en función de su rapidez, comparando esta clasificación con los datos que se obtuvieron se determinó que el azolve acumulado es de clase extremadamente lenta filtrando menos de  $0.125 \text{ cm hr}^{-1}$ , debido a un alto porcentaje de materiales finos y a un alto contenido de materia orgánica.

La implementación de las presas de gaviones ha reflejado una gran ventaja en la disminución del aumento en las cárcavas, los resultados muestran que la cantidad de azolve retenido en cada una de las presas ocupa en promedio casi la tercera parte de su capacidad total. Debido al azolve retenido, existe la regeneración de material vegetal nativo de la región misma que es más resistente a las condiciones adversas del entorno



## **VI. CONCLUSIÓN**

Las presas filtrantes de gaviones evaluadas en el ejido Benito Juárez resultaron efectivas y eficientes debido a un alto volumen de azolve acumulado, los resultados de las pruebas elaboradas muestran que. En que el 59.2 % de la cantidad total de azolve, predominan las partículas de arenas, limos y arcillas, las cuales forman parte del recurso suelo. Los materiales acarreados son extremadamente fértiles debido a un alto contenido de materia orgánica, modificando algunas de las características físicas más importantes del suelo como la conductividad hidráulica. Estas nuevas condiciones edáficas, son favorables para el desarrollo de la cobertura vegetal nativa, estabilizando de forma natural los taludes de la cárcava evitando su ensanchamiento y socavamiento.

Las presas filtrantes de gaviones contribuyeron al manejo integral y uso sustentable de los recursos naturales, permitiendo conservar, restaurar, almacenar y aprovechar el recurso suelo y agua, con la finalidad de que los habitantes de las comunidades en donde se implementaron las obras tengan acceso a mejoras en su calidad de vida.

## VIII. RECOMENDACIONES

**8.1. Prácticas de control y uso.** Como ha quedado claramente establecido, estas tierras brindan posibilidades para la explotación del recurso forestal en aquellos terrenos de pendiente pronunciada o para el asentamiento de una actividad pecuaria en tierras de topografía suave. Dado que en las presas se tiene un buen acumulamiento de azolve con buenas características se recomienda que los productores socios del área de exclusión puedan aprovecharlo mediante la construcción de camas, para siembra de algún cultivo alterno que se han resistentes a las características climáticas y edafológicas adversas de la región para el consumo de las familias y de alguna manera sirva para alimentar el ganado en periodos de estiaje Asimismo, se recomienda la plantación de especies a lo largo de la cárcava como maguey, nopal, forraje u otro tipo de material viviente, logrando dos objetivos, uno es brindarle consistencia y estabilidad a la cárcava y el otro es tener un reservorio de especies vegetativas adaptadas a la región

**8.2. Adquisición de tecnologías.** Se necesita contar con una infraestructura moderna y funcional que permita concretar exitosamente el trabajo de producción, como bordos, estanques para abrevadero, mallas para sombra y mejoramiento de forrajes naturales en sus praderas, lo que de concretarse les aseguraría una buena producción agropecuaria

**8.3. Acciones de organización, capacitación.** Proponer capacitaciones bajo el esquema de taller participativo aprendiendo con un enfoque práctico, donde mediante la participación motive al interés por los temas tratados y se llegue al autoaprendizaje a fin de que el efecto solucione por sí mismo sus necesidades La selección de los temas que se han el resultado de diagnóstico de campo como; Métodos de conservación de agua y suelo; Métodos y técnicas de cosecha de agua; Métodos para mejoramiento de tierras de pastizal y mantenimiento de bordos de abrevadero.

## BIBLIOGRAFÍA

- Anaya, G.** (1991). *Manual de Conservación del suelo y del Agua*. Colegio de Postgraduados. Mexico.
- Aparicio, M.** (2004). *Fundamentos de hidrología de superficie*. Mexico.
- Aparicio, M.** (2005). *Fundamentos de hidrología de superficie*. Mexico.
- Ayres, J.** (1960). *La erosión del suelo y su control*. barcelona.
- Cisneros, J.** (2012). *Erosion hidrica, principios y tecnicas de manejo*. Argentina.
- CONAFOR.** (2009). [www.fec-chiapas.com.mx/sistema/.../manual-de-conservacion-de-suelos](http://www.fec-chiapas.com.mx/sistema/.../manual-de-conservacion-de-suelos). Recuperado el 2 de febrero de 2017, de Obras y Practicas de Conservacion.
- CONAGUA.**(2006). [://ftp.conagua.gob.mx/OCPBC/aps/2.../SD%20Informe%20Cap%2010](http://ftp.conagua.gob.mx/OCPBC/aps/2.../SD%20Informe%20Cap%2010). Recuperado el 6 de febrero de 2017, de Estudio de factibilidad para el contro de avenidas, generacion de obras de almacenamiento para la recarga de acuíferos en la zona del arrollo santo domingo, valle de san quintín, Baja California.
- De la Peña.** (1977). *El buen uso y manejo del agua de riego*. Mexico.
- FAO.** (1980). *metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos*.
- FAO-MAG.** (1996). *Manual de manejo Y Conservación de Suelos y Aguas*. Costa Rica.
- Garcia, J.** (1999). *La erosión hídrica: Mecanismos y modelos. Curso: Evaluación y Control de erosión*. España. española.
- Garcia, L.** (2003). *Indicadores Técnicos y evaluación de la influencia del uso de la tierra en la calidad del agua, subcuenca del Río Tascalapa Yoro*. Honduras.
- Hillel.** (1971). *Suelo y agua, principios y procesos físicos*. Mexico.
- Hillel, D.** (1971). *Soil and water: Physical principles and processes*. New York.
- Hudson, N.** (1981). *Soil Conservation*. London.
- INB.** (2003). *Consideraciones Técnicas y Propuesta de Normas de Manejo Forestal para la Conservación de Suelo y Agua*. Guatemala.
- Lal, R., Eckert, D., Fausey, N., & Edwards, W.** (1990). *Conservation tillage in sustainable agriculture*.
- Lemac, G.** (s.f.). [www.lemac.com.mx/manualgavion/manual-parte2](http://www.lemac.com.mx/manualgavion/manual-parte2). Recuperado el 2 de febrero de 2017, de Metodos para el control de carcavas.
- Llamas M, R., & custodium, E.** (2001). *Hidrología subterránea*. España.

- Lopez, F.** (1998). *Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión*. Madrid España.
- Mendizabal, A.** (1968). . *Métodos de medición de humedad del suelo*. Mexico.
- Morgan, R.** (1997). *Erosión y conservación del suelo*.
- Morgan, R.** (1997). *Erosión y conservación del suelo*. España.
- N, H.** (1997). *Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía*.
- Narro F, E.** (1994). *Física de suelos con enfoque agrícola*. Mexico.
- O neal, A.** (1949). *Soil characteristic significant in evaluating permeability*.
- Park, S., Mitchell, J., & Bumberzer, G.** (1997). *Splash erision modeling plisical analysis*. USA.
- Pizarro, R.** (2009). *Propuesta de un modelo de estimación de erosión hídrica para la región de Coquimbo*. chile.
- Pizarro, R., Sanguesa, C., Flores, P., & Martinez, E.** (2005). *Elementos de ingeniería hidrologica para el mejoramiento de la produccion silvicola*. chile.
- SAGARPA.** (2008). <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA>. Recuperado el 2 de febreo de 2017, de Presas de Gaviones.
- Salazar, D.** (2012). *Riesgo de erosión hídrica en la cuenca hidrográfica del río Mundo*. España.
- Stanmuller, T.** (1994). *Impacto Hidrológico del manejo forestal de bosques naturales tropicales: medidas para mitigarlo*.
- Suarez, F.** (1980). *conservacion de suelos*. Costa Rica.
- Wischmeler, W., & Smith, D.** (1978). . *Predicting Rainfall Erosion Looses- A Guide to Conservation Planning*. USA.
- Wischmeler, W., & Smith, D.** (1978). *Predicting rainfall erosion*. USA.