2021

# ESTUDIO HIDROLOGICO Y SOCAVACION

MURO DE PROTECCION Y TAPIAL PERIMETRAL EN HOSPITAL NACIONAL GENERAL DE NEUMOLOGIA Y MEDICINA FAMILAR "DR. JOSE ANTONIO SALDAÑA "

ZONA 3 CONTIGUO A NUEVO PABELLON COVID

# Contenido

1 Créditos ..... 3
2 Resumen ejecutivo ..... 4
2.1 Contexto ..... 4
2.2 Ubicación ..... 4
2.3 Cuenca ..... 4
2.4 Resultados ..... 4
3 Objetivos específicos ..... 5
4 Antecedentes y contexto ..... 6
4.1 Antecedente ..... 6
4.2 Ubicación ..... 7
5 Análisis hidrológico ..... 8
5.1 Identificación de la cuenca o subcuenca aportante ..... 8
5.2 Determinación de las principales características fisiográficas del área del Proyecto 11
5.3 Índices o coeficientes básicos del régimen hidrológico ..... 13
5.4 Determinación del caudal máximo para el periodo de retorno adecuado de acuerdo con la importancia de la obra proyectada y el tamaño de la microcuenca ..... 14
5.5 Resultado del cálculo de caudales máximos en la microcuenca ..... 17
5.6 Incorporación del componente de cambio climático ..... 19
6 ANÁLISIS HIDRÁULICO ..... 20
6.1 Funcionamiento de drenaje natural en el terreno ..... 20
6.2 Simulación hidráulica Rio Casa de Piedra ..... 20
6.3 Modelo del Rio Casa de Piedra ..... 23
6.4 Delimitación de las áreas de inundación. ..... 23
6.5 Análisis de resultados ..... 27
7 Conclusiones ..... 28
8 Análisis de socavación ..... 29
8.1 Reporte de cálculo de socavación ..... 30
9 Recomendaciones para taludes ..... 31
9.1 Mantenimiento ..... 31
9.2 Barreras vivas ..... 31
9.3 Barreras muertas ..... 32

Ilustración 4-1 – Proyecto Hospital Saldaña.....6
Ilustración 4-2 - Ubicación del proyecto. .....7
Ilustración 5-1 – Cuenca Rio Casa de Piedra. .....8
Ilustración 5-2 - Topografía de la cuenca Rio Casa de Piedra (curvas a cada 10 metros). .....9
Ilustración 5-3 - Inventario de cuerpos de agua superficiales. ..... 12
Ilustración 5-4 - Uso de suelos en cuenca Rio Casa de Piedra. ..... 15
Ilustración 5-5 - Caudal a 25 años con proyecto, Rio Casa de Piedra. ..... 16
Ilustración 5-6 - Caudal a 25 años sin proyecto, Rio Casa de Piedra. ..... 16
Ilustración 5-7 - IDF Estación San Salvador. ..... 17
Ilustración 5-8 - Caudal a 25 años con proyecto en cuenca Rio Casa de Piedra ..... 19
Ilustración 6-1 Ecuación de energía ..... 21
Ilustración 6-2 - Planta cauce de quebrada color azul. ..... 23
Ilustración 6-3 - Área inundación por cauce (color azul); retiro de 20m (línea roja). ..... 24
Ilustración 6-4 - Perspectiva del cauce de la quebrada. ..... 24
Ilustración 6-5 - Secciones analizadas 1/2..... 25
Ilustración 6-6 - Secciones analizadas 2/2..... 26
Ilustración 7-1 - Socavación..... 29
Ilustración 8-1 - Barrera viva en laderas y taludes. ..... 31
Ilustración 8-2 - Barrera muerta en laderas y taludes. ..... 32

Tabla 5-1 - Coeficientes de escorrentía (Aparicio 1999)..... 18
Tabla 6-1 - Resultados de modelación con HEC-RAS. ..... 27
Tabla 8-1 - Distancias entre barreras vivas y muertas según su pendiente. ..... 32

Cuadro 5-1 - Colindantes cuenca Rio Casa de Piedra. ..... 11
Cuadro 5-2 - Parámetros Morfométricos..... 13
Cuadro 5-3 - Coeficientes morfométricos..... 13
Cuadro 5-4 - Coeficiente de escorrentía ponderado con proyecto..... 15
Cuadro 5-5 - Coeficiente de escorrentía ponderado sin proyecto. ..... 16

Fotografía 5-1 - Cauce Rio Casa de Piedra aguas arriba. ..... 10
Fotografía 5-2 - Cauce Rio Casa de Piedra aguas abajo. ..... 10

# 1 Créditos

Erick Abraham Castillo

Ingeniero Civil

Número de registro VMVDU IC-3543

Licencia de constructor OPAMSS CE053543

Correo electrónico ingenierick@gmail.com

# 2 Resumen ejecutivo

## 2.1 Contexto

El presente estudio se realiza para el proyecto MURO DE PROTECCION Y TAPIAL PERIMETRAL EN HOSPITAL NACIONAL GENERAL DE NEUMOLOGIA Y MEDICINA FAMILAR "DR. JOSE ANTONIO SALDAÑA ", municipio de San Salvador. Este proyecto consiste en la construcción de muro en colindancia sur con orilla de rio Casa de Piedra.

## 2.2 Ubicación

El terreno se encuentra ubicado en Cantón Planes de Renderos, Municipio de San Salvador, departamento de San Salvador. Al sur oriente del casco urbano de San Salvador. Las coordenadas del esquinero nororiente del proyecto son las siguientes: Latitud 478,954.879, longitud 280,754.092 con una elevación de 969 msnm. Cuenca rio Huiza, subcuenca rio Casa de Piedra.

## 2.3 Cuenca

La subcuenca analizada se identifica en restitución fotogramétrica 1:25,000 como Rio Casa de Piedra. Inicia esta subcuenca en la calle a Cantón y Caserío El Guayabo y finaliza al llegar al cauce de cuenca del Rio Huiza. Se realizo un análisis morfológico e hidrológico. Se utilizo el método racional dado el tamaño reducido de la cuenca además de una estimación aumentada por fator cambio climático.

## 2.4 Resultados

El caudal máximo ante un evento con un periodo de ocurrencia de 25 años, dadas las características del proyecto en la subcuenca Rio Casa de Piedra es de 20.445 $m^3/s$.

El caudal máximo ante un evento con un periodo de ocurrencia de 25 años, dadas las características del proyecto aumentado a 6.13 mm/min dado el fenómeno de cambio climático es de 26.578 $m^3/s$.

## 3 Objetivos específicos

El presente estudio hidrológico, se evalúa la microcuenca en la que se encuentran los terrenos en los que se sitúa el proyecto MURO DE PROTECCION Y TAPIAL PERIMETRAL EN HOSPITAL NACIONAL GENERAL DE NEUMOLOGIA Y MEDICINA FAMILAR "DR. JOSE ANTONIO SALDAÑA ". Los objetivos que se alcanzan son los siguientes:

- Identificar los cauces a los que drenan los terrenos en los que se emplaza el Hospital Saldaña y las obras de contención proyectadas.
- Delimitar la cuenca, utilizando restituciones fotogramétricas escala 1:25,000 y demás información cartográfica disponible.
- Cumplir con la ley de Urbanismo.
- Cumplir con la ley del Medio ambiente siguiendo la “Guía Técnica para la Elaboración de Estudios Hidrológicos e Hidráulicos”.
- Presentar los parámetros morfométricos de la cuenca en estudio.
- Calcular el coeficiente ponderado de escorrentía, en función de las características de los terrenos y usos de suelo de la cuenca.
- Mostrar evidencia de visita de campo e identificación de cuerpos receptores.
- Determinar caudales máximos probables para el cauce de la quebrada, a la cual aportan los terrenos en los que se emplaza el Hospital Saldaña.
- Proponer obras y recomendaciones para mantener el correcto funcionamiento del drenaje de la subcuenca analizada.
- Presentar el diseño hidráulico del drenaje pluvial para la adecuación proyectada.

# 4 Antecedentes y contexto

## 4.1 Antecedente

El presente estudio se realiza para el proyecto MURO DE PROTECCION Y TAPIAL PERIMETRAL EN HOSPITAL NACIONAL GENERAL DE NEUMOLOGIA Y MEDICINA FAMILAR "DR. JOSE ANTONIO SALDAÑA ". Este proyecto consiste en la construcción de muros de retención en las zonas 2 y 3. ZONA 2 CONTIGUO A EDIFICIO DE GINECOLOGIA Y OBSTETRICIA ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE TALUD ZONA 3 CONTIGUO A NUEVO PABELLON COVID ESTUDIO HIDROLOGICO Y SOCAVACION EN QUEBRADA COLINDANCIA SUR.

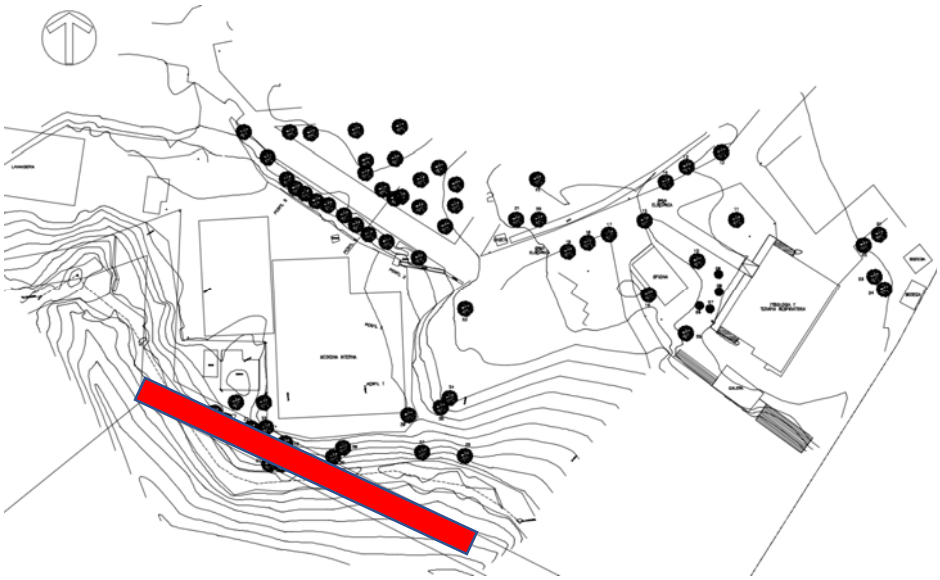
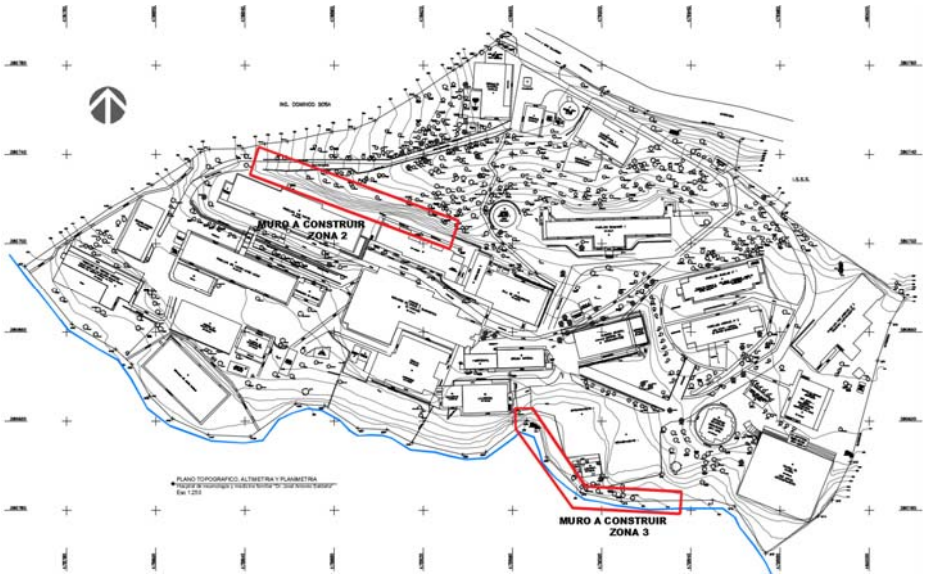


*Ilustración 4-1 – Proyecto Hospital Saldaña.*



## 4.2 Ubicación

El terreno se encuentra ubicado en Cantón Planes de Renderos, Municipio de San Salvador, departamento de San Salvador. Al sur oriente del casco urbano de San Salvador. Las coordenadas del esquinero nororiente del proyecto son las siguientes: Latitud 478,954.879, longitud 280,754.092 con una elevación de 969 msnm. Cuenca rio Huiza, subcuenca rio Casa de Piedra.

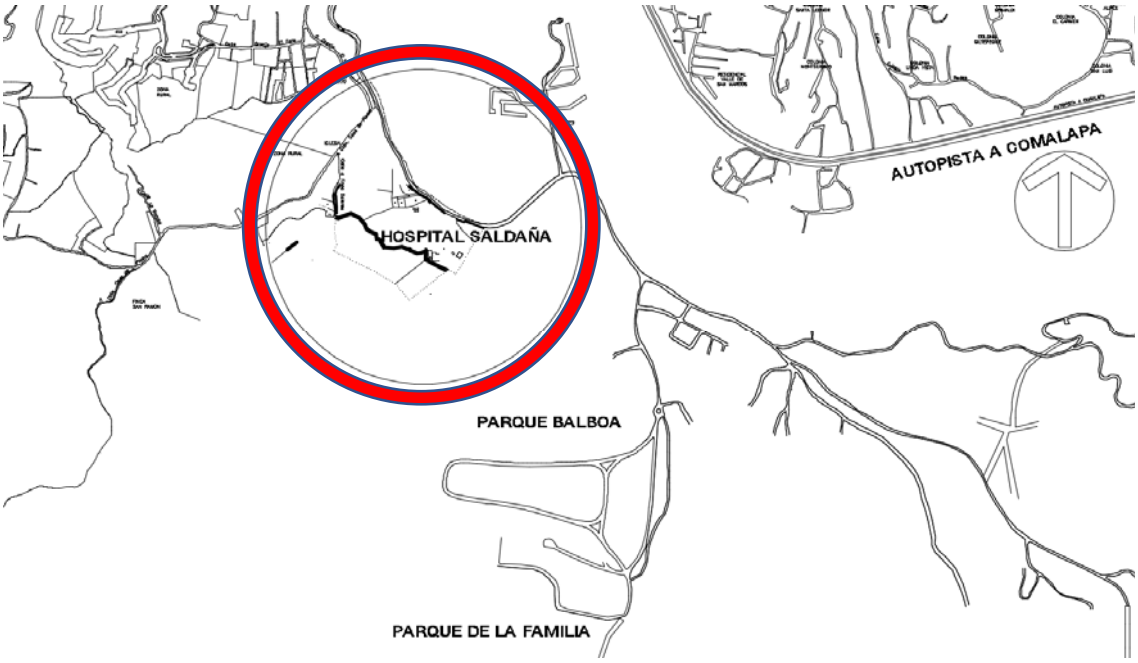



*Ilustración 4-2 - Ubicación del proyecto.*

## 5 Análisis hidrológico

Consiste en el estudio de las condiciones hidrológicas del lugar de emplazamiento del proyecto, para el posterior calculo y determinación de caudales máximos probables y dimensionamiento de retiros, obras de protección y drenaje de ser necesarias.

### 5.1 Identificación de la cuenca o subcuenca aportante

El proyecto se encuentra en el Hospital Saldaña:

La cuenca Rio Casa de Piedra conduce la escorrentía superficial proveniente de los estratos propios de la zona.

La vaguada ubicada al sur del terreno recoge únicamente parte del terreno analizado y la escorrentía subsuperficial proveniente de los estratos propios de la zona, únicamente durante la estación lluviosa, siendo una vaguada de invierno.

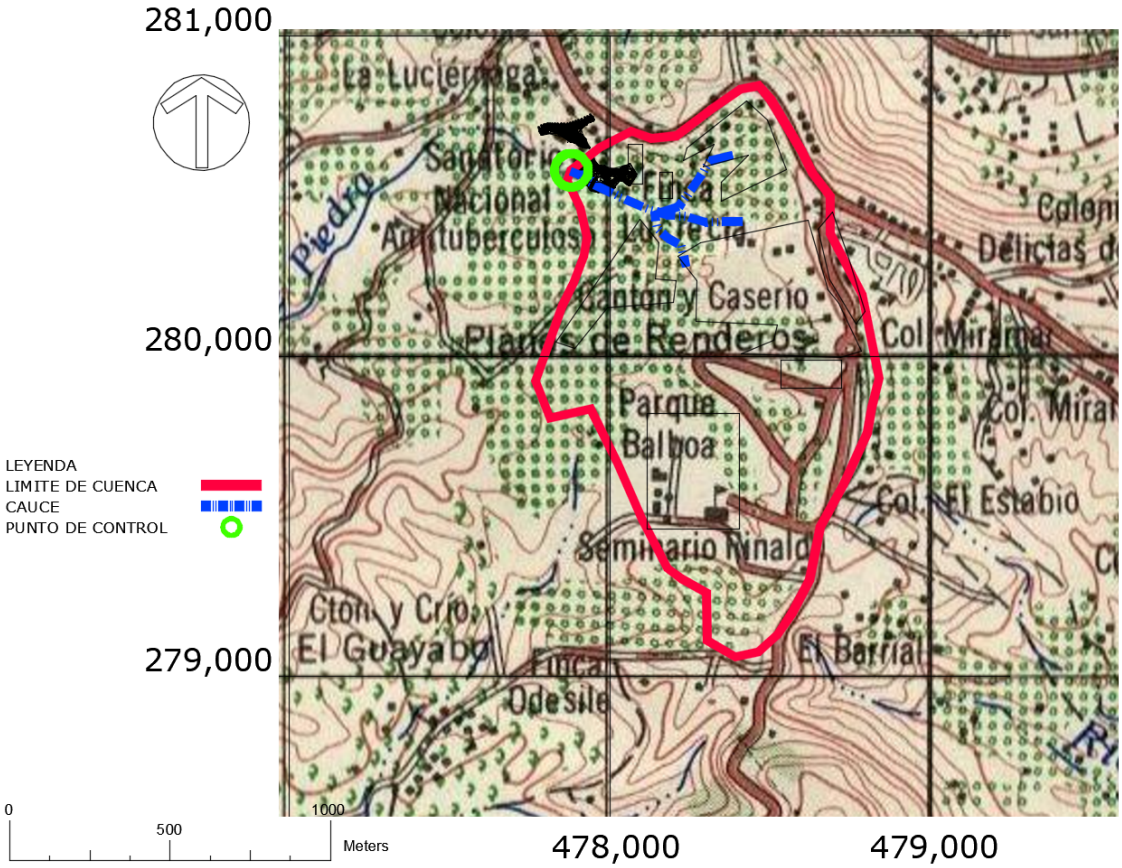



*Ilustración 5-1 – Cuenca Rio Casa de Piedra.*

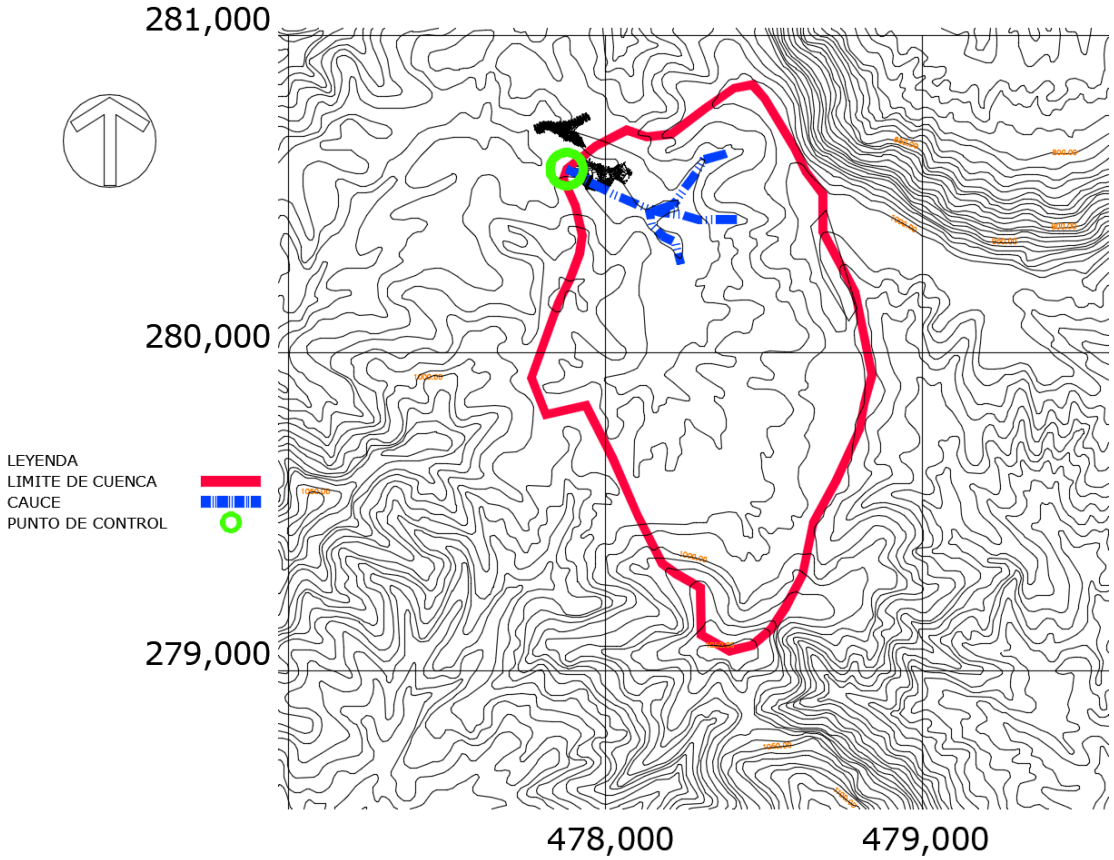



*Ilustración 5-2 - Topografía de la cuenca Rio Casa de Piedra (curvas a cada 10 metros).*

*Fotografía 5-1 - Cauce Rio Casa de Piedra aguas arriba.*

*Fotografía 5-2 - Cauce Rio Casa de Piedra aguas abajo.*

## 5.2 Determinación de las principales características fisiográficas del área del Proyecto

Se presentan algunas características fisiográficas del municipio de San Salvador como del área de la cuenca.

### Clima

El clima es cálido, en su mayor parte pertenece a los tipos de tierra caliente, templada y fría. Su monto pluvial anual oscila entre 1,650 y 2,000 milímetros.

### Hidrografía

La zona del Cantón y Caserío Planes de Renderos está conformada por varias vaguadas y quebradas de invierno, El Rio Casa de Piedra es tributario del Rio Huiza es el más importante de la zona en estudio.

Otras quebradas y ríos que se encuentran colindando con la cuenca Rio Casa de Piedra son las siguientes:

| Norte | Oriente | Sur | Poniente |
|---|---|---|---|
| Rio Ilohuapa | Rio Amatitan | Rio Quezalate | Rio Huiza |

*Cuadro 5-1 - Colindantes cuenca Rio Casa de Piedra.*

### Suelos

Los suelos que existen en el municipio son de tipo: i) Andosoles y Regosoles, en áreas onduladas y alomadas de pie de monte o faldas bajas de los volcanes o macizos volcánicos; ii) Regosoles, Latosoles Arcillo Rojizos y Andosoles, que son áreas de lomas y montañas del cinturón volcánico.

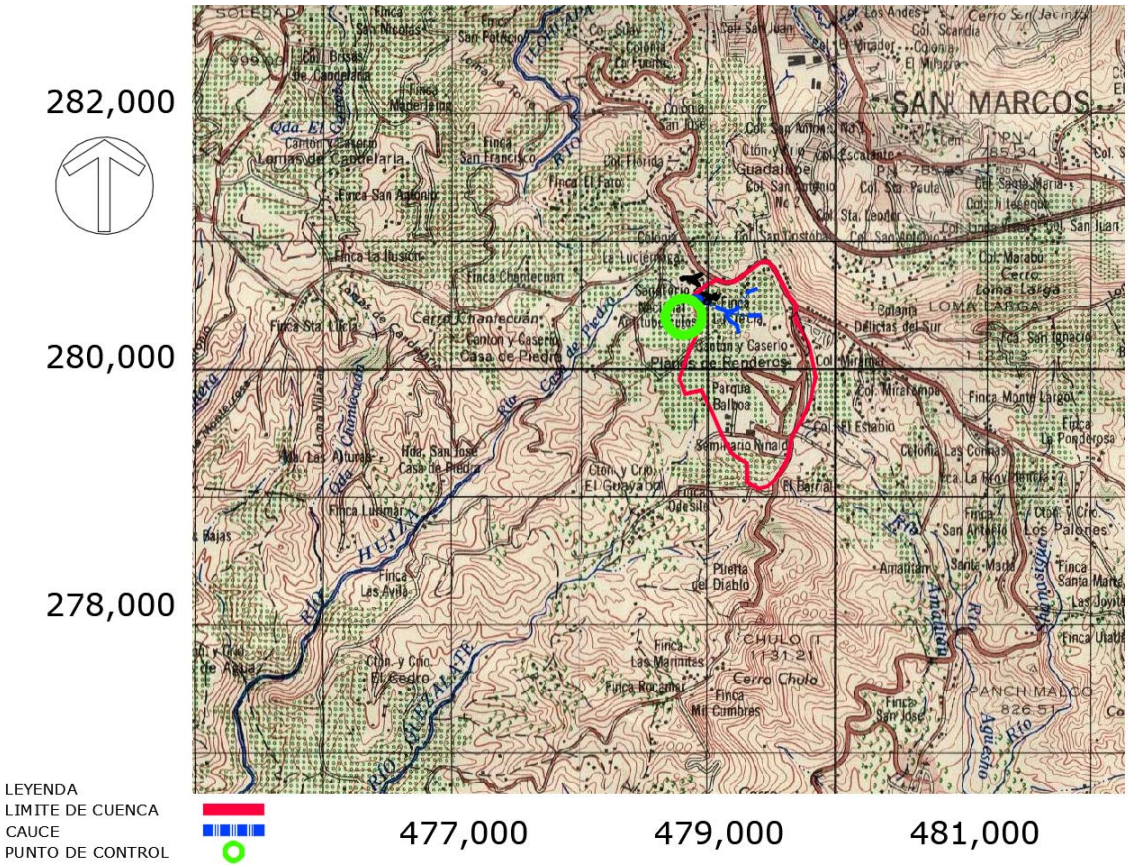



*Ilustración 5-3 - Inventario de cuerpos de agua superficiales.*

## 5.3 Índices o coeficientes básicos del régimen hidrológico

Referente a la forma de la cuenca Rio Casa de Piedra, esta condiciona la velocidad del escurrimiento superficial. Para cuencas de igual superficie y formas diferentes se espera un comportamiento hidrológico también diferente. La medición de los factores de forma de una cuenca se realiza por medio de una metodología que permite cubrir dos objetivos.

- El primero, es que permite comparar la forma de la microcuenca con figuras geométricas conocidas.
- El segundo, es que permite comparar los resultados de las mediciones (los cuales son adimensionales), con los obtenidos en otras cuencas en las que se puede tener más información histórica de su comportamiento hidrológico.

Se presentan a continuación, los parámetros correspondientes a la cuenca del Rio Casa de Piedra, tributario del rio Huiza.

| RIO CASA DE PIEDRA | |
|---|---|
| PARAMETROS MORFOMETRICOS | |
| ÁREA (m²) | 1,179,477.61 |
| PERIMETRO (m) | 4,608.83 |
| MAX ELEV (MSNM) | 1,050.00 |
| MIN ELEV (MSNM) | 935.00 |
| LONGITUD DE CAUCE MAS LARGO (m) | 589.94 |
| ANCHO DEL CURSO DE AGUA (m) | 3.60 |
| LONGITUD TOTAL DE CAUCES (m) | 1,102.88 |
| RELACION DE RELIEVE (adim.) | 0.19 |
| PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE | 19.49 |
| ELEVACION MEDIA (MSNM) | 992.50 |

*Cuadro 5-2 - Parámetros Morfométricos.*

| COEFICIENTES MORFOMETRICOS (ADIMENCIONALES) | |
|---|---|
| COEFICIENTE DE FORMA (Kf) | 3.39 |
| INDICE DE ALARGAMIENTO | 1.72 |
| DENSIDAD DE CORRIENTE (corr/km²) | 2.54 |
| COEFICIENTE DE COMPACIDAD (Kc) | 1.20 |
| LONGITUD PROMEDIO DE FLUJO SUPERFICIAL | 0.27 |
| RELACION DE ELONGACION (Re) | 2.08 |
| RELACION DE HORTON | 3.39 |
| DENSIDAD DE DRENAJE ( x km2) | 0.94 |
| SINUOSIDAD DEL CAUCE PRINCIPAL | 0.37 |
| RELACION DE CIRCULARIDAD (Rci) | 0.70 |
| TIEMPO DE CONCENTRACION (hrs) | 0.08 |

*Cuadro 5-3 - Coeficientes morfométricos.*

## 5.4 Determinación del caudal máximo para el periodo de retorno adecuado de acuerdo con la importancia de la obra proyectada y el tamaño de la microcuenca

Formula Racional, este método, que la literatura inglesa atribuye a Lloyd-George en 1906, si bien los principios de este fueron establecidos por Mulvaney en 1850, permite determinar el caudal máximo que escurrirá por una determinada sección, bajo el supuesto que éste acontecerá para una lluvia de intensidad máxima constante y uniforme en la cuenca correspondiente a una duración D igual al tiempo de concentración de la sección.

Dado el tamaño de la cuenca analizada (117.95 Ha), se utilizará el método racional, el cual puede ser utilizado.

La expresión utilizada por el Método Racional es:

$Q = C\ I\ A / 360$

Donde:

Q = caudal máximo en $m^3/s$

C = coeficiente de escorrentía, en función de uso y pendiente de suelo (unidades adimensionales). Se usarán los coeficientes propuestos por Aparicio 1999 (Tabla 5-1).

I = Intensidad de la lluvia de diseño, con duración igual al tiempo de concentración de la cuenca y con frecuencia igual al periodo de retorno seleccionado. Es tomado de las curvas IDF y sus unidades son mm/hora. Se tomará la estación San Salvador para un tiempo de concentración de 5 min y un periodo de retorno de 25 años.

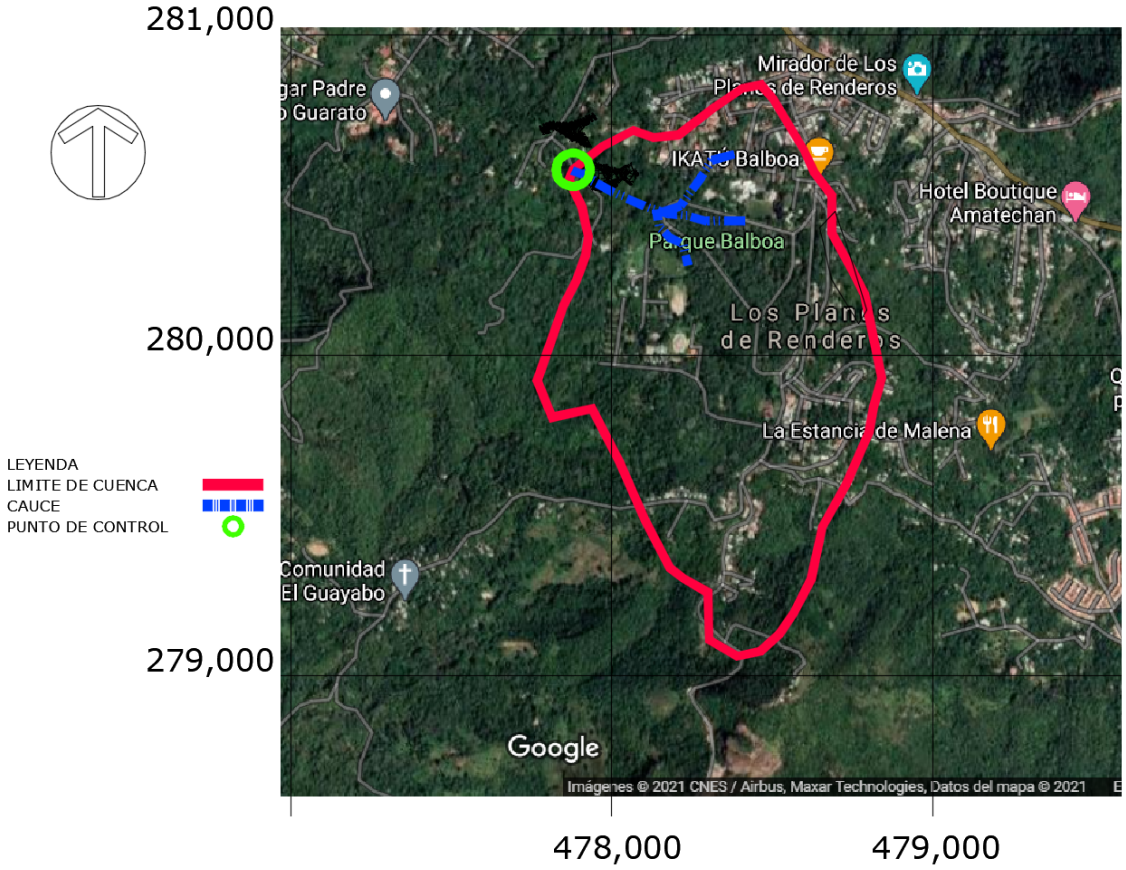



*Ilustración 5-4 - Uso de suelos en cuenca Rio Casa de Piedra.*

| COEFICIENTE DE ESCORRENTIA PONDERADO CUENCA RIO CASA DE PIEDRA CON PROYECTO | | | |
|---|---|---|---|
| USO DEL SUELO | AREA (m2) | C Pr 10 años | A*C |
| Zona comercial | 20,825.33 | 0.95 | 19,784.06 |
| Zonas residenciales semiurbanas | 193,989.42 | 0.40 | 77,595.77 |
| Parques | 119,848.11 | 0.25 | 29,962.03 |
| Zonas suburbanas | 51,138.40 | 0.30 | 15,341.52 |
| Techados | 11,825.28 | 0.95 | 11,234.02 |
| Praderas pendiente superior al 7% | 781,851.07 | 0.20 | 156,370.21 |
| | 1,179,477.61 | | 0.26 |

*Cuadro 5-4 - Coeficiente de escorrentía ponderado con proyecto.*

| COEFICIENTE DE ESCORRENTIA PONDERADO CUENCA RIO CASA DE PIEDRA SIN PROYECTO | | | |
|---|---|---|---|
| USO DEL SUELO | AREA (m2) | C Pr 10 años | A*C |
| Zona comercial | 20,825.33 | 0.95 | 19,784.06 |
| Zonas residenciales semiurbanas | 193,989.42 | 0.40 | 77,595.77 |
| Parques | 119,848.11 | 0.25 | 29,962.03 |
| Zonas suburbanas | 51,138.40 | 0.30 | 15,341.52 |
| Techados | 11,825.28 | 0.95 | 11,234.02 |
| Praderas pendiente superior al 7% | 781,851.07 | 0.20 | 156,370.21 |
| | 1,179,477.61 | | **0.26** |

*Cuadro 5-5 - Coeficiente de escorrentía ponderado sin proyecto.*

*Ilustración 5-5 - Caudal a 25 años con proyecto, Rio Casa de Piedra.*

h

*Ilustración 5-6 - Caudal a 25 años sin proyecto, Rio Casa de Piedra.*

## 5.5 Resultado del cálculo de caudales máximos en la microcuenca

Una vez realizados los cálculos para determinar el caudal máximo probable ante un evento con un periodo de ocurrencia de 25 años, utilizando el método racional, en el cual calculamos un coeficiente de escorrentía ponderado de 0.26 sin proyecto y con proyecto dando el mismo resultado (ver cuadro 5-4 y 5-5), un tiempo de concentración de 0.08 horas (ver cuadro 5-3), concluimos que no existe una variación de caudales en la cuenca del Rio Casa de Piedra, el caudal máximo esperado a 25 años se conservará de 20.44 m³/s.

*Ilustración 5-7 - IDF Estación San Salvador.*

*Tabla 5-1 - Coeficientes de escorrentía (Aparicio 1999).*

| Tipo de superficie | Coeficiente de escorrentía | |
|---|---|---|
| | Mínimo | Máximo |
| Zona comercial | 0,70 | 0,95 |
| Vecindarios, zonas de edificios, edificaciones densas | 0,50 | 0,70 |
| Zonas residenciales unifamiliares | 0,30 | 0,50 |
| Zonas residenciales multifamiliares espaciadas | 0,40 | 0,60 |
| Zonas residenciales multifamiliares densas | 0,60 | 0,75 |
| Zonas residenciales semiurbanas | 0,25 | 0,40 |
| Zonas industriales espaciadas | 0,50 | 0,80 |
| Zonas industriales densas | 0,60 | 0,90 |
| Parques | 0,10 | 0,25 |
| Zonas deportivas | 0,20 | 0,35 |
| Estaciones e infraestructuras viarias del ferrocarril | 0,20 | 0,40 |
| Zonas suburbanas | 0,10 | 0,30 |
| Calles asfaltadas | 0,70 | 0,95 |
| Calles hormigonadas | 0,70 | 0,95 |
| Calles adoquinadas | 0,70 | 0,85 |
| Aparcamientos | 0,75 | 0,85 |
| Techados | 0,75 | 0,95 |
| Praderas (suelos arenosos con pendientes inferiores al 2%) | 0,05 | 0,10 |
| Praderas (suelos arenosos con pendientes intermedias) | 0,10 | 0,15 |
| Praderas (suelos arenosos con pendientes superiores al 7%) | 0,15 | 0,20 |
| Praderas (suelos arcillosos con pendientes inferiores al 2%) | 0,13 | 0,17 |
| Praderas (suelos arcillosos con pendientes intermedias) | 0,18 | 0,22 |
| Praderas (suelos arcillosos con pendientes superiores al 7%) | 0,25 | 0,35 |

Tabla para determinar caudales punta por el método racional en zonas urbanas y periurbanas

## 5.6 Incorporación del componente de cambio climático

A modo de evaluación de la peligrosidad en el cauce y riberas del Rio Casa de Piedra, se analizarán los caudales, considerando un incremento del 30% por variación de intensidad de lluvias, dado el cambio climático, para 5 min de tormenta se tiene de datos históricos en un periodo de retorno de 25 años una precipitación de 4.00 mm/min y en vista de no tenerse actualizadas las curvas IDF de la estación San Salvador, aumentando un 30% la precipitación será de 5.20 mm/min. Se presentan los caudales de cuenca Rio Casa de Piedra.

Con esta evaluación el caudal a 25 años de periodo de retorno, el caudal se incrementa en 6.13 m³/s, en la cuenca Rio Casa de Piedra.

*Ilustración 5-8 - Caudal a 25 años con proyecto en cuenca Rio Casa de Piedra*

*(incrementado por cambio climático).*

# 6 ANÁLISIS HIDRÁULICO

El muro que se construirá en la zona 3 contiguo a nuevo pabellón covid estará en la ribera de cauce del Rio Casa de Piedra. Se modela este tramo del rio con la ayuda del programa HEC-Ras.

## 6.1 Funcionamiento de drenaje natural en el terreno

Dentro del terreno se identifican diferentes descargas de aguas lluvias. Todas ellas descargan al ccauce del Rio Casa de Piedra.

## 6.2 Simulación hidráulica Rio Casa de Piedra

Nos valemos del programa HEC-RAS para modelar las condiciones de comportamiento de la sección del tramo del Rio Casa de Piedra en su tramo correspondiente a el Hospital Saldaña, modelamos con el caudal con un periodo de ocurrencia de 25 años, ante condiciones de lluvia incrementadas en un 30% por cambio climático.

HEC-Ras es un software creado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center) del Cuerpo de Ingenieros de la armada de los EE.UU. (US Army Corps of Engineering).

El modelo numérico incluido en este programa permite realizar análisis de flujo permanente unidimensional gradualmente variado en lámina libre de agua para distintos gastos circulantes.

Las ecuaciones empleadas por el programa son las siguientes:

Entre una sección y otra, se resuelve la ecuación de energía (Bernoulli) para obtener las alturas de escurrimiento

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^{\,2}}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^{\,2}}{2g} + h_e$$

Dónde:

| | | |
|---|---|---|
| $Y_1$, $Y_2$ | = | Altura de agua en las secciones transversales 1 y 2 |
| $Z_1$, $Z_2$ | = | Cota de terreno las secciones transversales 1 y 2 |
| $V_1$, $V_2$ | = | velocidades promedio de la sección |
| $\alpha_1$, $\alpha_2$ | = | coeficientes de ajuste de velocidades |
| g | = | aceleración de la gravedad |
| $h_e$ | = | pérdida de carga |

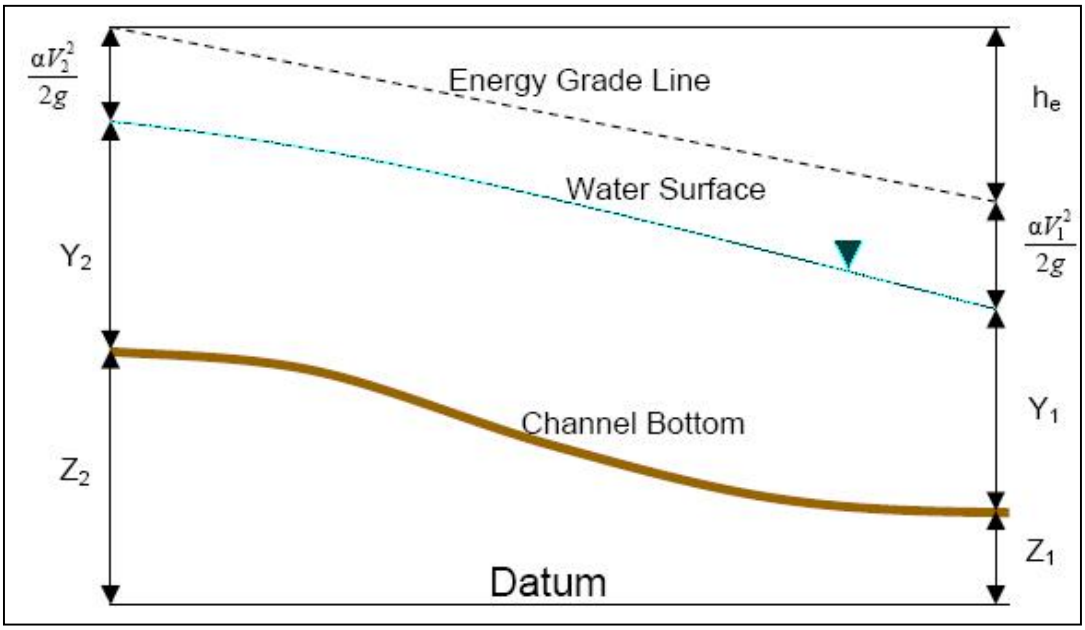



*Ilustración 6-1 Ecuación de energía*

La pérdida de carga ($h_e$) es considerada como la suma de la pérdida friccional entre dos secciones y la diferencia entre cargas de velocidad entre secciones ponderadas por un coeficiente de pérdida por contracción o expansión.

$$h_e = L\bar{S}_f + C\left|\frac{\alpha_2 V_2^{\,2}}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^{\,2}}{2g}\right|$$

Dónde:

L = largo representativo del tramo

$S_f$ = pendiente de fricción representativa entre dos secciones

C = coeficiente de pérdida por expansión o contracción

La altura crítica de una sección se define como el punto en que la energía (H) es mínima.

$$H = Z + Y + \frac{\alpha V^2}{2g}$$

## 6.3 Modelo del Rio Casa de Piedra

1. De acuerdo con la topografía de campo se procede a modelar el cauce del rio con secciones transversales al eje del rio a cada 10 metros.
2. Se establecen los coeficientes de rugosidad para los laterales y fondo de la corriente para nuestro caso se utilizó n=0.033.
3. Se genera el flujo de análisis para el caso se hace con un caudal igual al máximo ante un evento con un periodo de ocurrencia de 25 años de 20.445 $m^3/s$ y con un periodo de ocurrencia de 25 años más incremento por cambio climático de 26.578 $m^3/s$ (Ver ilustración 5-5 y 5-10).
4. Se analiza el comportamiento del cauce ante el evento antes mencionado.

## 6.4 Delimitación de las áreas de inundación.

Luego de la modelación en la quebrada, las secciones proyectadas en planta mostradas en azul (Ilustración 6-2) indican el área inundada ante la creciente evaluada. En la Ilustración 6-3, se muestra sobre la topografía del terreno y se marca un retiro de 20 metros a partir del eje de la quebrada que está muy alejada de la creciente máxima evaluada.

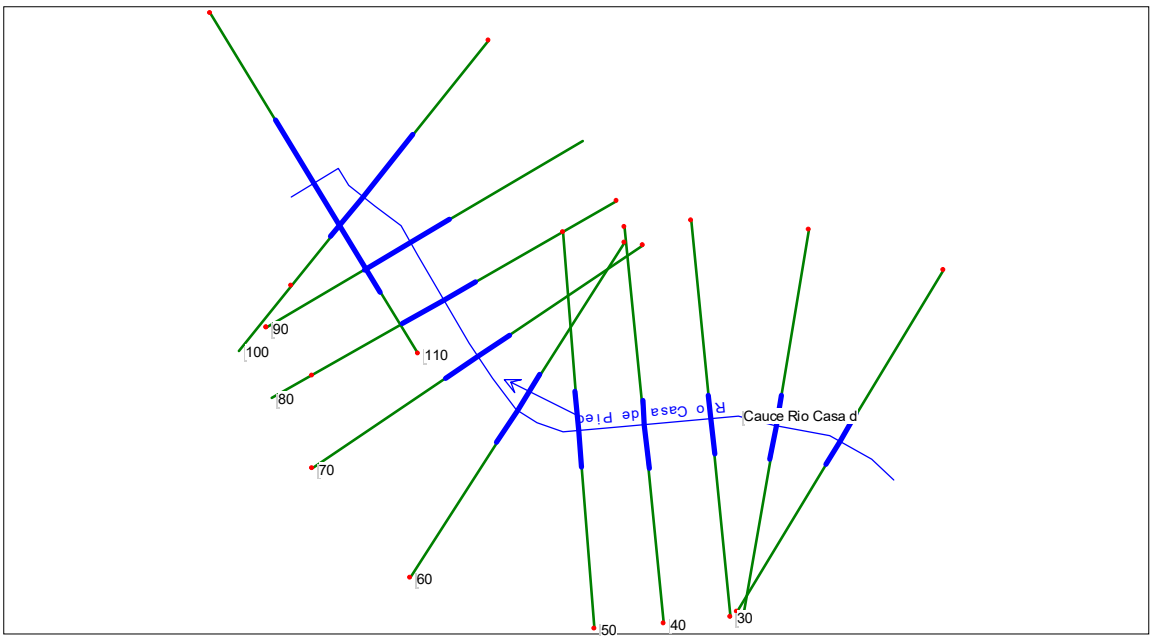



*Ilustración 6-2 - Planta cauce de quebrada color azul.*

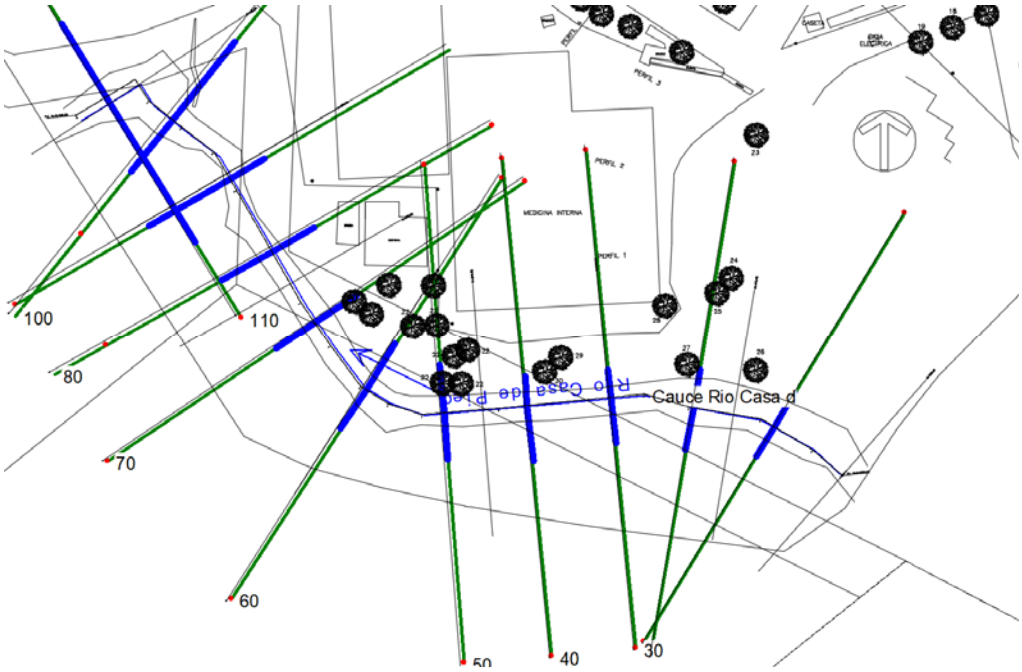



*Ilustración 6-3 - Área inundación por cauce (color azul); retiro de 20m (línea roja).*

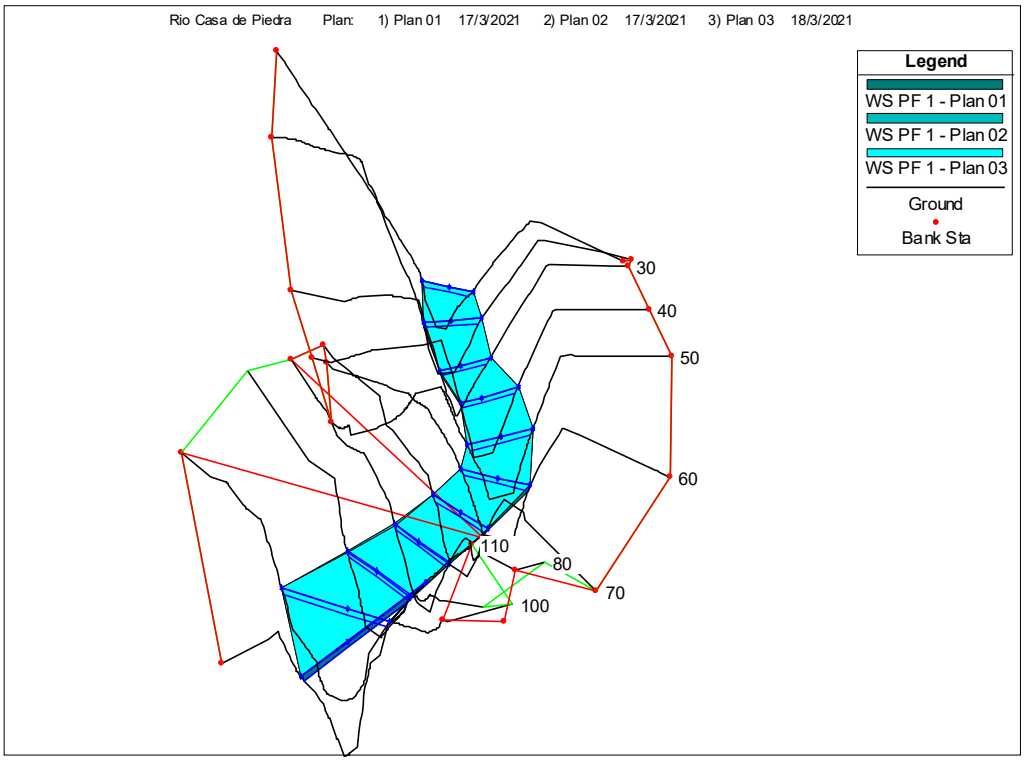



*Ilustración 6-4 - Perspectiva del cauce de la quebrada.*

A continuación, se presentan las secciones del Rio analizado, a fin de verificar los tirantes alcanzados ante el caudal evaluado. Se muestran al límite las secciones de inicio a fin en el tramo donde se ubicarán los muros de retención.

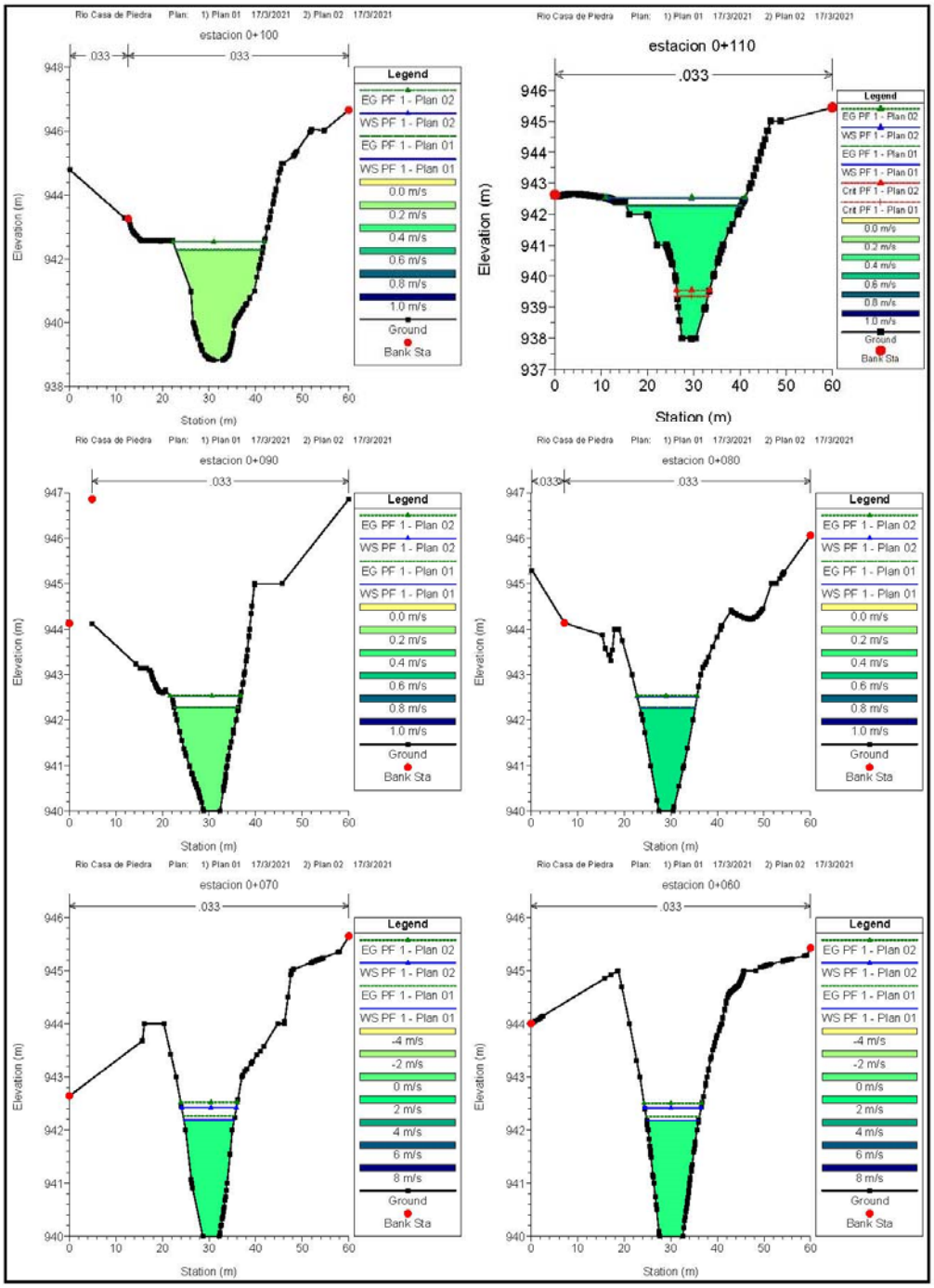



*Ilustración 6-5 - Secciones analizadas 1/2.*

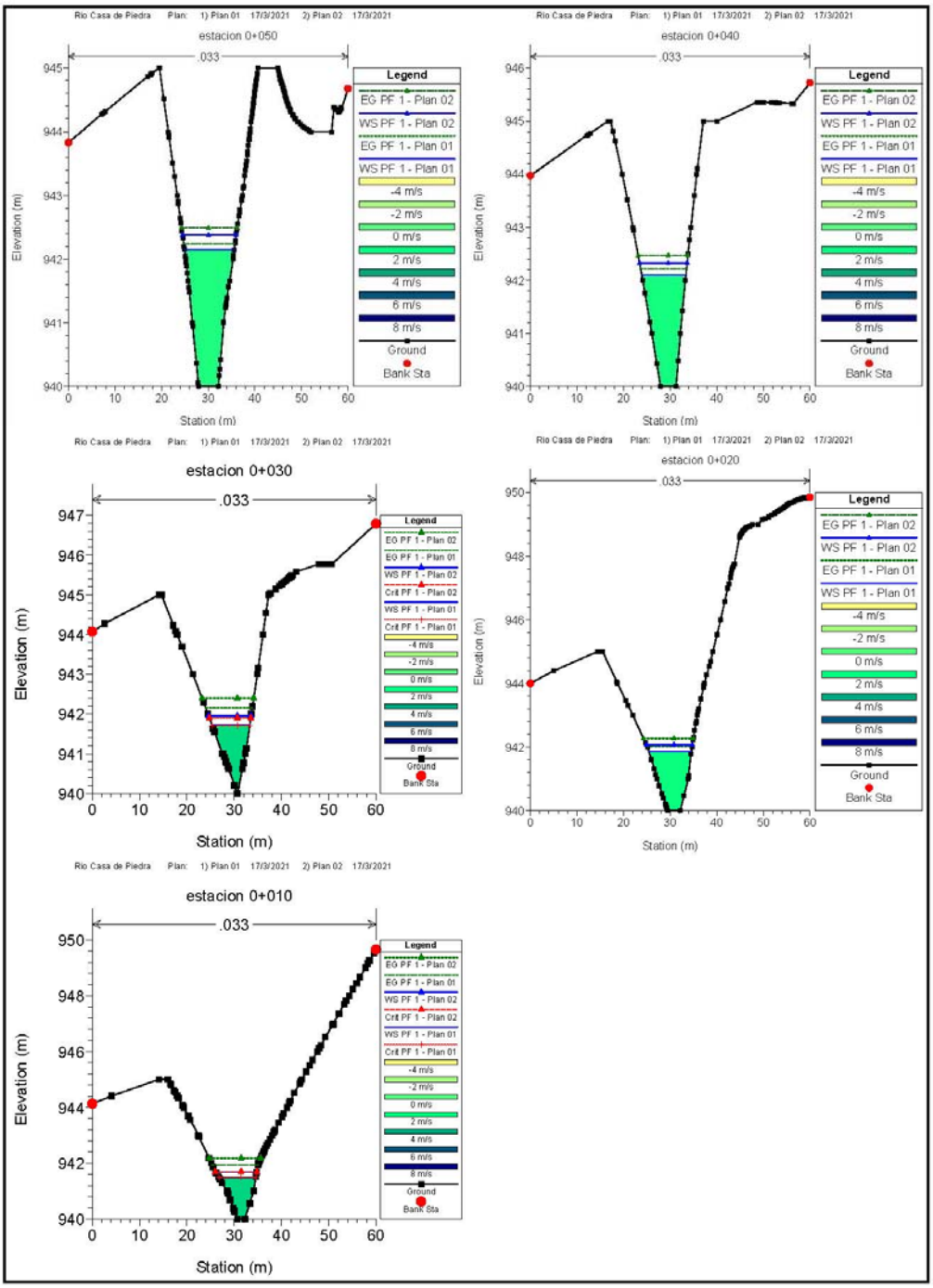



*Ilustración 6-6 - Secciones analizadas 2/2.*

## 6.5 Análisis de resultados

Se presenta resultado del modelo analizado, encontrándose velocidades no erosivas y un flujo subcrítico en la mayoría de los tramos analizados y critico en los primeros 10 metros analizados. No se encontraron flujos supercríticos.

Profile Output Table - Standard Table 1

File Options Std. Tables Locations Help

HEC-RAS River: Rio Casa de Pied Reach: Cauce Rio Casa d Profile: PF 1 Reload Data

| Reach | River Sta | Profile | Plan | Q Total | Min Ch El | W.S. Elev | Crit W.S. | E.G. Elev | E.G. Slope | Vel Chnl | Flow Area | Top Width | Froude # Chl |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | (m3/s) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m/m) | (m/s) | (m2) | (m) | |
| Cauce Rio Casa d | 110 | PF 1 | Plan 01 | 20.45 | 937.97 | 942.27 | 939.34 | 942.28 | 0.000116 | 0.45 | 45.00 | 24.86 | 0.11 |
| Cauce Rio Casa d | 110 | PF 1 | Plan 02 | 26.58 | 937.97 | 942.53 | 939.55 | 942.54 | 0.000152 | 0.51 | 51.85 | 29.74 | 0.12 |
| | | | | | | | | | | | | | |
| Cauce Rio Casa d | 100 | PF 1 | Plan 01 | 20.45 | 938.72 | 942.28 | | 942.28 | 0.000011 | 0.18 | 112.78 | 41.54 | 0.04 |
| Cauce Rio Casa d | 100 | PF 1 | Plan 02 | 26.58 | 938.72 | 942.53 | | 942.54 | 0.000014 | 0.22 | 123.45 | 41.91 | 0.04 |
| | | | | | | | | | | | | | |
| Cauce Rio Casa d | 90 | PF 1 | Plan 01 | 20.45 | 938.56 | 942.27 | | 942.28 | 0.000040 | 0.29 | 70.31 | 32.26 | 0.06 |
| Cauce Rio Casa d | 90 | PF 1 | Plan 02 | 26.58 | 938.56 | 942.53 | | 942.54 | 0.000052 | 0.34 | 78.86 | 35.12 | 0.07 |
| | | | | | | | | | | | | | |
| Cauce Rio Casa d | 80 | PF 1 | Plan 01 | 20.45 | 940.00 | 942.26 | | 942.28 | 0.000260 | 0.55 | 37.30 | 28.05 | 0.15 |
| Cauce Rio Casa d | 80 | PF 1 | Plan 02 | 26.58 | 940.00 | 942.51 | | 942.53 | 0.000261 | 0.60 | 44.57 | 29.33 | 0.15 |
| | | | | | | | | | | | | | |
| Cauce Rio Casa d | 70 | PF 1 | Plan 01 | 20.45 | 940.00 | 942.19 | | 942.27 | 0.001124 | 1.25 | 16.41 | 10.79 | 0.32 |
| Cauce Rio Casa d | 70 | PF 1 | Plan 02 | 26.58 | 940.00 | 942.42 | | 942.52 | 0.001294 | 1.40 | 19.05 | 11.75 | 0.35 |
| | | | | | | | | | | | | | |
| Cauce Rio Casa d | 60 | PF 1 | Plan 01 | 20.45 | 940.00 | 942.18 | | 942.25 | 0.000973 | 1.17 | 17.42 | 11.18 | 0.30 |
| Cauce Rio Casa d | 60 | PF 1 | Plan 02 | 26.58 | 940.00 | 942.42 | | 942.50 | 0.001127 | 1.32 | 20.14 | 12.11 | 0.33 |
| | | | | | | | | | | | | | |
| Cauce Rio Casa d | 50 | PF 1 | Plan 01 | 20.45 | 940.00 | 942.15 | | 942.24 | 0.001374 | 1.33 | 15.43 | 10.70 | 0.35 |
| Cauce Rio Casa d | 50 | PF 1 | Plan 02 | 26.58 | 940.00 | 942.38 | | 942.49 | 0.001548 | 1.48 | 17.96 | 11.53 | 0.38 |
| | | | | | | | | | | | | | |
| Cauce Rio Casa d | 40 | PF 1 | Plan 01 | 20.45 | 940.00 | 942.10 | | 942.22 | 0.001929 | 1.53 | 13.39 | 9.51 | 0.41 |
| Cauce Rio Casa d | 40 | PF 1 | Plan 02 | 26.58 | 940.00 | 942.32 | | 942.47 | 0.002197 | 1.71 | 15.52 | 10.21 | 0.44 |
| | | | | | | | | | | | | | |
| Cauce Rio Casa d | 30 | PF 1 | Plan 01 | 20.45 | 940.00 | 941.73 | 941.71 | 942.15 | 0.011933 | 2.86 | 7.15 | 8.07 | 0.97 |
| Cauce Rio Casa d | 30 | PF 1 | Plan 02 | 26.58 | 940.00 | 941.95 | 941.90 | 942.40 | 0.010777 | 2.95 | 9.01 | 8.99 | 0.94 |
| | | | | | | | | | | | | | |
| Cauce Rio Casa d | 20 | PF 1 | Plan 01 | 20.45 | 940.00 | 941.86 | | 942.02 | 0.002945 | 1.78 | 11.50 | 9.14 | 0.51 |
| Cauce Rio Casa d | 20 | PF 1 | Plan 02 | 26.58 | 940.00 | 942.07 | | 942.27 | 0.003254 | 1.97 | 13.49 | 9.86 | 0.54 |
| | | | | | | | | | | | | | |
| Cauce Rio Casa d | 10 | PF 1 | Plan 01 | 20.45 | 940.00 | 941.49 | 941.49 | 941.94 | 0.012793 | 2.97 | 6.89 | 7.81 | 1.01 |
| Cauce Rio Casa d | 10 | PF 1 | Plan 02 | 26.58 | 940.00 | 941.69 | 941.69 | 942.18 | 0.012229 | 3.09 | 8.59 | 8.83 | 1.00 |

*Tabla 6-1 - Resultados de modelación con HEC-RAS.*

# 7 Conclusiones

El caudal máximo ante un evento con un periodo de ocurrencia de 25 años, dadas las características del proyecto en la subcuenca Rio Casa de Piedra es de 20.445 $m^3/s$.

El caudal máximo ante un evento con un periodo de ocurrencia de 25 años, dadas las características del proyecto aumentado a 6.13 mm/min dado el fenómeno de cambio climático es de 26.578 $m^3/s$.

El cauce del rio Casa de Piedra no presenta problemas de drenaje, ya que por su morfología posee alta resistencia a la erosión.

Se propone un sistema de canaletas para aguas lluvias, derramaderos y descarga al rio Casa de Piedra ubicadas a 45° de su cauce.

## 8 Análisis de socavación

Para las secciones analizadas en el rio Casa de Piedra y con la información recopilada en este estudio se calcula en función de la velocidad y caudal la socavación probable en los laterales del cauce. Los resultados se presentan a continuación utilizando el programa HEC-RAS.

La socavación es un tipo de erosión hídrica que hace referencia a la pérdida del material del lecho y márgenes de un cauce, debido a la capacidad de transporte asociada a un evento hidrológico. La reducción de este nivel respecto a un nivel de referencia es denominada profundidad de socavación. La profundidad de socavación alcanzada depende del tipo y tamaño de las partículas que conforman el lecho y la magnitud y duración del evento hidrológico. La socavación depende de muchos factores, que pueden agruparse en dos grupos principales: los factores geomorfológicos y los factores de transporte.

La socavación en las estructuras laterales de contención es del orden de 1.91 m

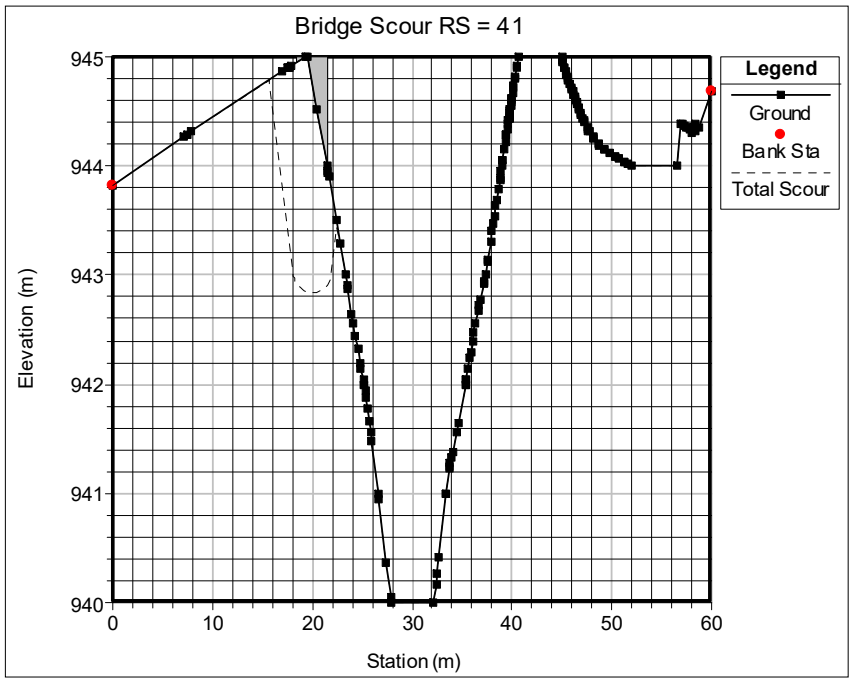



*Ilustración 8-1 - Socavación*

## 8.1 Reporte de cálculo de socavación

Hydraulic Design Data

Pier Scour

All piers have the same scour depth

Input Data

Pier Shape: Round nose

Pier Width (m): 1.00

Grain Size D50 (mm): 25.00000

Depth Upstream (m): 2.50

Velocity Upstream (m/s): 2.95

K1 Nose Shape: 1.00

Pier Angle: 45.00

Pier Length (m): 3.00

K2 Angle Coef: 1.97

K3 Bed Cond Coef: 1.10

Grain Size D90 (mm): 96.00000

K4 Armouring Coef: 0.40

Set K1 value to 1.0 because angle > 5 degrees

Results

Scour Depth Ys (m): 1.91

Froude #: 0.60

Equation: CSU equation

# 9 Recomendaciones para taludes

Los taludes que se encuentran dentro del Hospital, así como las laderas internas, presentan vegetación arbustiva y arbórea escasa. Para que estas laderas permanezcan libres de erosión se deben seguir las recomendaciones abajo propuestas.

## 9.1 Mantenimiento

Se recomienda un mantenimiento preventivo antes, durante y después de la estación lluviosa, tanto de canaletas, derramaderos y de badenes.

## 9.2 Barreras vivas

El objetivo principal de las barreras vivas es el de reducir la velocidad de escorrentía superficial y retener el suelo que en ella se transporta. Para que este objetivo se cumpla, las especies se plantan lo más unidas posibles, para que en el menor tiempo la barrera sea continua y más eficiente. Las especies más utilizadas en El Salvador como barreras vivas son las siguientes: Izote (Yuca elephantipes), piña (Ananas comosus), zacate limon (Andropogon citratus), zacate vetiver (Vetiveria zizanioides), espada de San Miguel (curarina, lengua del diablo), entre otras.

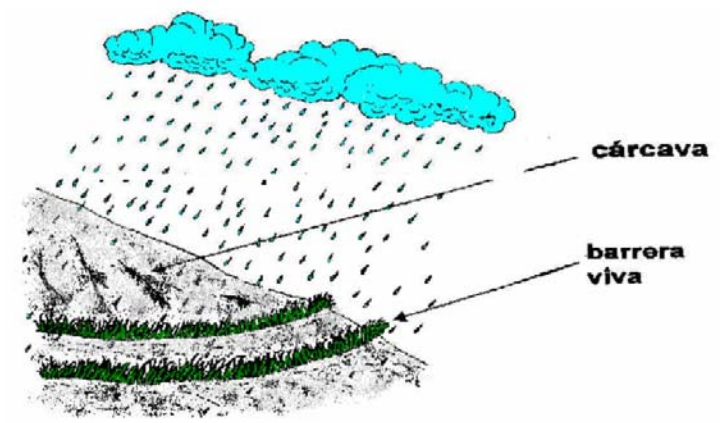



*Ilustración 9-1 - Barrera viva en laderas y taludes.*

## 9.3 Barreras muertas

Las barreras muertas pueden ser de piedra, troncos u otros materiales. Son efectivas para reducir erosión, ya que frenan la fuerza de la escorrentía del agua lluvia. Entre menor sea la velocidad de la escorrentía, menor es la cantidad de suelo que puede ser arrastrado. Cuando la escorrentía corre ladera abajo y se encuentra con una barrera muerta, mucho suelo es detenido en la parte de arriba de la misma barrera, esta puede proteger las canaletas existentes en la ladera y evitar que se azolve por la migración de finos provocada por la escorrentía.

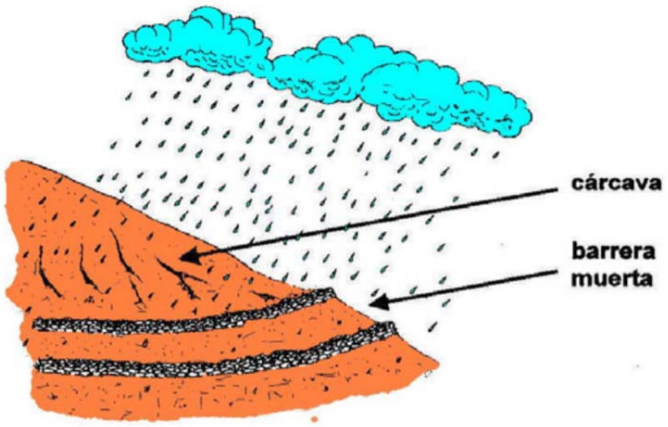



*Ilustración 9-2 - Barrera muerta en laderas y taludes.*

Según la guía técnica CSA, PASOLAC 2000, el distanciamiento recomendado tanto de barreras vivas como muertas se resume en la tabla 8 - 1.

*Tabla 9-1 - Distancias entre barreras vivas y muertas según su pendiente.*

| Tipo de barrera | Pendiente hasta 15% | Pendiente 15 a 30% | Pendiente 30 a 50% |
|---|---|---|---|
| Barreras vivas | 15 – 30 m | 10 – 15 m | 6 – 10 m |
| Barreras muertas | 10 – 20 m | 6 – 10 m | 4 – 6 m |

Se recomienda la implementación de barreras en los taludes, en los costados superiores de las canaletas de drenaje pluvial en las coronas de los muros de contención y coronas de taludes.