PROYECTO	ESTUDIO HIDROLOGICO E HIDRAULICO PARA CONSTRUCCION DE OBRAS DE DRENAJE EN LA ARENOSA CENTRAL, MUNICIPIO DE LOS CORDOBAS, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA.
MUNICIPIO	LOS CORDOBAS
DEPARTAMENTO	CORDOBA
ENTIDAD	ALCALDIA MUNICIPAL
CONSULTOR	MIGUEL FERNANDO ACOSTA MERCADO
FECHA	05 DE MAYO DE 2026

ACOSTA IC

ACOSTA IC

Dirección: Carrera 10 No. 43 – 05 Montería (Córdoba)
E-mail: miguelacostamercado@gmail.com
Móvil: 300 393 05 08

1.- INFORMACIÓN GENERAL

De acuerdo con la solicitud presentada por la **ALCALDÍA MUNICIPAL DE LOS CORDOBAS,** se realizan los estudios hidrológico e hidráulico para la **CONSTRUCCION DE OBRAS DE DRENAJE EN LA ARENOSA CENTRAL, MUNICIPIO DE LOS CORDOBAS, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA** en el municipio de **LOS CORDOBAS (Córdoba).**

1.1.- GENERALIDADES DEL MUNICIPIO

Los Córdobas es un municipio colombiano ubicado al norte del departamento de Córdoba. Se encuentra a una distancia 57 km de la capital departamental, Montería. Predominan las actividades económicas primarias como la ganadería, la agricultura y la pesca, aunque en los últimos años se aprecia un crecimiento de la actividad turística.



Ilustración No. 1: Ubicación de Municipio de LOS CORDOBAS (Córdoba)
Fuente: Wikipedia, la enciclopedia libre

Limita por el norte con el Municipio de Puerto Escondido, al sur con el Municipio de Canalete y el Departamento de Antioquia, al este con el Mar Caribe y Departamento Antioquia y al oeste con el Municipio de Montería.

1.2.- GEOLOGÍA Y GEOMOFOLOGÍA

Durante el oligoceno medio superior, el área actual del Municipio, hizo parte de una zona oceánicas; de igual modo durante el mioceno predominó una sedimentación marina y metafórica intensamente plegados y tallados que se interrumpen en trechos por instrucciones plutónicas, concentrada en materiales turbídicos construidos por rocas arenosas, arcillosas y calcáreas de origen marino. Durante el sistema plioceno, se eleva la Serranía de Abibe y Ayapel, las cuales son manifestaciones terminales de la cordillera occidental, particularmente la serranía de Abibe, se prolonga hacia el norte a través de las digitaciones de las palomas y el águila.

Durante el sistema plioceno al chocar la placa suramericana con la placa caribe y nazca, dan origen a las serranías de Ayapel, San Jerónimo y Abibe, las cuales son manifestaciones terminales de la cordillera occidental colombiana.

La serranía de Abibe como el sistema montañoso que recibe el Departamento de Córdoba de sur a norte por la parte occidental, con sus homólogas de Ayapel y San Jerónimo; conforman el principal sistema orográfico del Departamento, tiene su origen en los límites con Antioquia, en el sitio conocido con el nombre de Nudo de Paramillo y forma límites naturales por el oeste, con este Departamento en un largo trecho. El punto más elevado de la Serranía es el alto de Carrizal, con 2200.00 m.s.n.m., otras elevaciones con que cuenta son: Alto de Carepa con 1600.00 m.s.n.m. y el Alto de Quimarí con 2000.00 m.s.n.m. Aquí en este último sitio se desprende un ramal conocido como serranía de las Palomas, el que sigue camino al norte para ir a morir muy cerca al mar, en punta Arboletes.

El área está comprendida en el llamado CINTURÓN DEL SINÚ, donde afloran rocas predominantemente de grano fino y de origen turbídicos con un espesor de más de 8000.00 m, Duque Cano (1980), según el mismo autor estos depósitos subrayasen un horizonte de sedimentos arcillosos que probablemente sea el origen del lodo de los volcanes.

ACOSTA I.C.

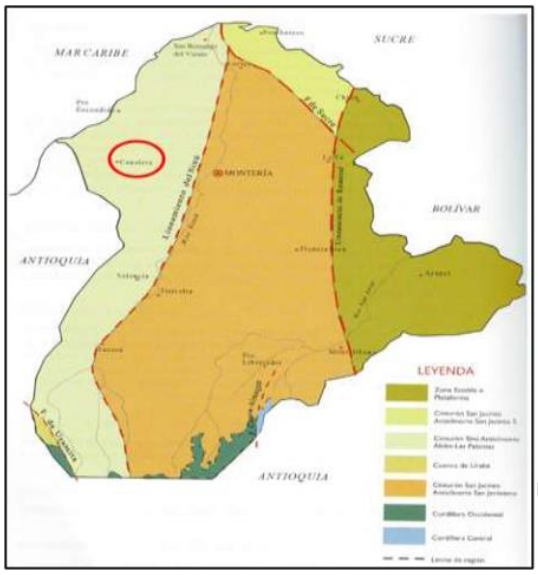


Ilustración No. 2: Mapa de regiones geotectónicas de Córdoba.
Fuente: IGAC

La zona está constituida por materiales sueltos formados por depósitos aluviales compuestos por aluviones y sedimentos del rio Sinú.

Se encuentran terrazas aluviales al sur del municipio, constituido por depósitos aluviales antiguos del rio Sinú y algunos de sus afluentes.

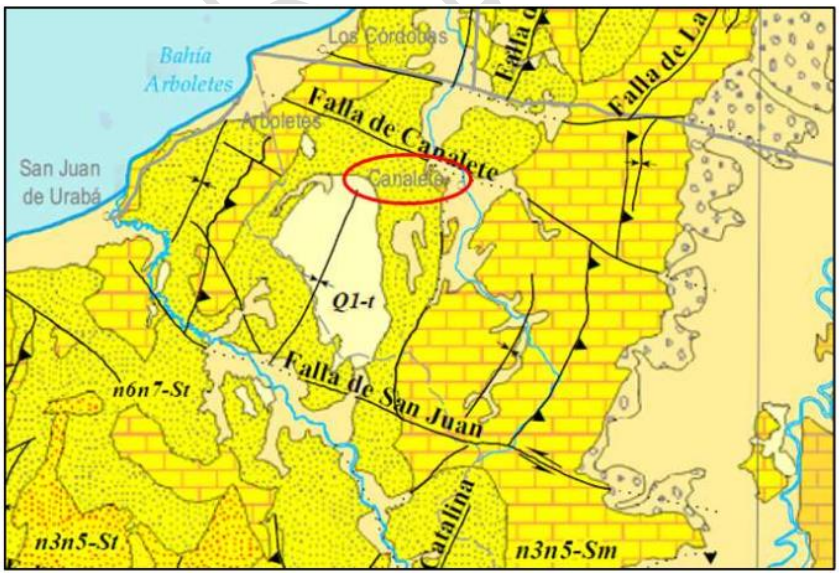


Ilustración No. 3: Mapa geológico
Fuente: IGAC

Dentro del municipio de encuentra la formación geológica Q-al, Q1-t y n6n7-St:

Q1-t

Terrazas aluviales.

Q-al

Depósitos aluviales y llanuras aluviales.

n6n7-St

Intercalaciones de conglomerados, arenitas líticas a sublíticas de grano medio-grueso a conglomerática. Arenitas calcáreas y lodolitas.

Los depósitos aluviales son suelos anisotrópicos en su distribución, con propiedades geotécnicas altamente variables, estrechamente relacionadas con la granulometría. Su continuidad es irregular, pudiendo tener altos contenidos en materia orgánica en determinados medios. La permeabilidad depende de la granulometría. Generalmente presentan un nivel freático alto.

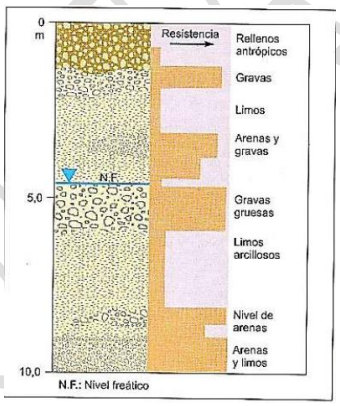


Ilustración No. 4: Perfil tipo de depósitos aluviales.
Fuente: González Vallejo, "Ingeniería geológica"

1.3.- GEOESTRUCTURA Y AMBIENTE MORFOMÉTRICO.

El municipio de LOS CORDOBAS se localiza en la geoestructura correspondiente a la megacuenca de sedimentación ubicada al norte y occidente de la cordillera y se extiende hasta el mar caribe, cubriendo 23788.87 Km2, lo que equivale al 95.40% del territorio del departamento de Córdoba. Geográficamente a esta pertenecen las serranías de Abibe, San Jerónimo, y Ayapel.

La megacuenca está conformada por rocas sedimentarias continentales y marinas del Cretáceo – Neógeno y por extensos de ositos del cuaternario, de origen aluvial, fluvio-lacustre, fluvio marino y marino, principalmente, lo que crea un ambiente morfogenético de depositación.

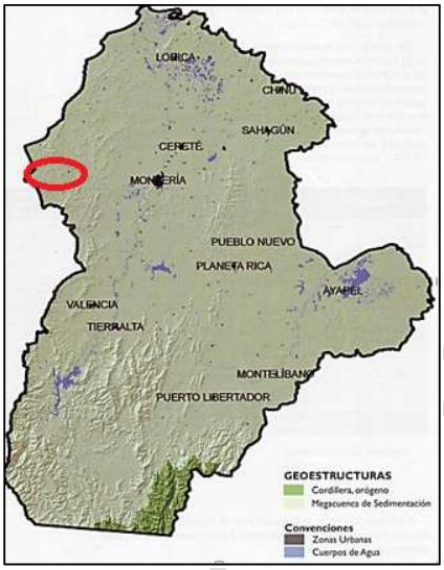


Ilustración No. 5: Unidades de paisaje del departamento de Córdoba.
Fuente: IGAC

1.4.- CLIMA

El clima es uno de los factores formadores de suelos, debido en gran medida a que define las cantidades y distribuciones de los diversos organismos, animales y vegetales, así como sus relaciones. Según la clasificación de zonas de vida de Leslie R. Holdridge todo el territorio corresponde a un bosque seco tropical (bs-T) con temperaturas superiores a 25°C y un promedio de lluvias que oscilan entre 1000 – 1500 mm anuales, teniendo en cuenta el régimen pluviométrico. El municipio posee una precipitación media anual de 1600.00 mm. La distribución mensual de la precipitación en el Municipio de LOS CORDOBAS es de 101 a 200.00 mm y las isoyetas medianas anuales son del orden de 1000.00 a 1500.00 mm.

Una de estas zonas térmicas es la denominada I.T.C, la cual está formada por un área de baja presión, en la que confluyen dos masas de aire con pocas características, pero de gran variabilidad en sus condiciones de inestabilidad, es aproximadamente paralela al Ecuador y está situada entre dos núcleos de alta presión ubicados en los trópicos. Esta zona es la responsable de los movimientos superficiales del aire desde los trópicos hacia el Ecuador, es decir, da origen a los vientos alisios del N.E, que influencian la costa colombiana durante los meses de abril y mayo y luego en septiembre y octubre, durante estos meses se incrementan los índices pluviométricos en Colombia, ya que I.T.C, trae o retrasa las lluvias para los hemisferios Norte y Sur. De otra parte, el territorio del Municipio de LOS CORDOBAS, está influenciado por los vientos alisios del N.E. y por la I.T.C, de allí que la cuenca alta del río LOS CORDOBAS reciba las mayores precipitaciones en los meses de mayo y agosto, aunque en algunos años esta situación ha variado por factores de origen cósmico, lo que ha originado años atípicos en la precipitación del municipio.

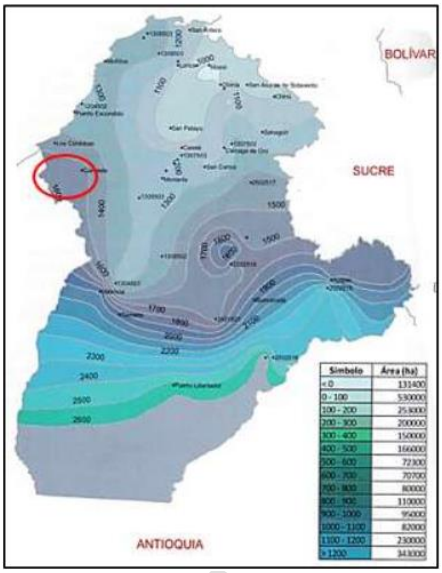


Ilustración No. 6: Mapa de Precipitación
Fuente: IGAC

Los registros de las estaciones meteorológicas indican promedios anuales de 27.5°C, presentándose la máxima en el mes de abril con 28.9°C y la mínima de 25.8°C a nivel general.

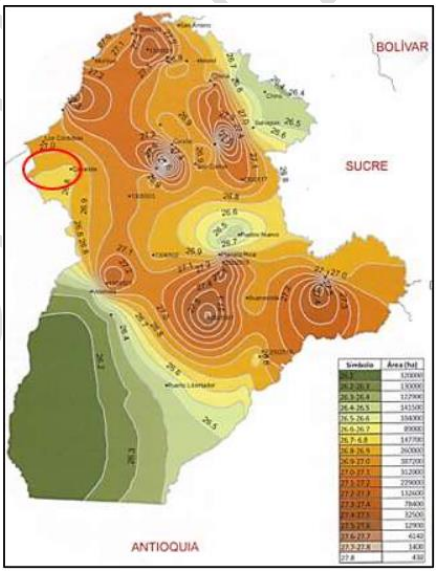


Ilustración No. 7: Mapa de Temperatura
Fuente: IGAC

La posición latitudinal del Municipio (8° 30’ y 9° 10’ de latitud norte) y los meridianos (76° 15’ y 76° 25’ de longitud occidental), hacen que su

territorio disponga de unas 11 horas de luz diarias durante todo el año. La luminosidad se sitúa entre 2000 y 2500 horas/luz/año.

La humedad relativa en el Municipio de LOS CORDOBAS, es de 83%, registrándose aun valores de un 85% en el mes de agosto, lo que coincide con el mes de mayor pluviosidad; la humedad relativa disminuye en la temporada de sequía (diciembre – marzo).

La Evapotranspiración Potencial (E.T.P.) es un elemento climático que se analiza en el balance hídrico climático y permite determinar las pérdidas de agua en una superficie de suelo. La cuantificación de las pérdidas es indispensable para el cálculo del agua disponible en el suelo, para ser utilizada por las plantas en su crecimiento y producción.

La evapotranspiración asciende a unos 1200 mm/año con variaciones de 92 mm en los meses de octubre – noviembre y 144 mm en los meses de enero a marzo.

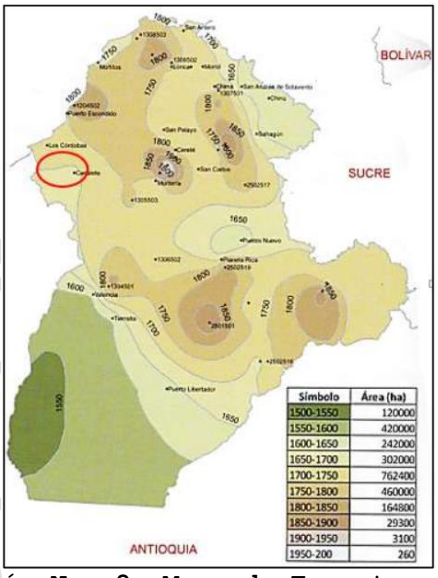


Ilustración No. 8: Mapa de Evapotranspiración
Fuente: IGAC

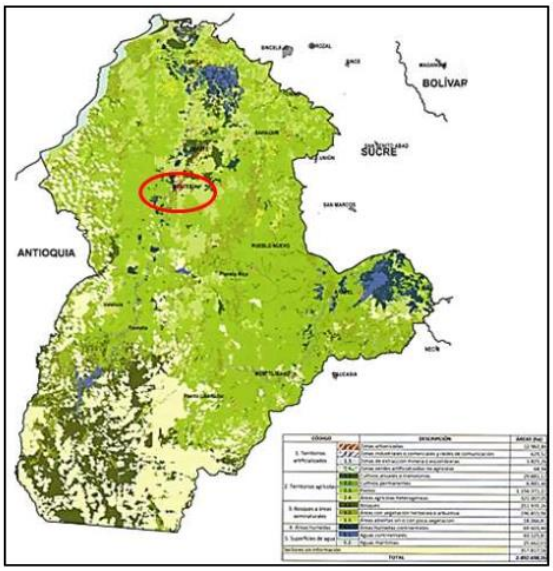


Ilustración No. 9: Mapa de Cobertura Vegetal
Fuente: IGAC

1.5.- SISMICIDAD

La Norma Colombiana de construcciones sismo resistentes ubica a LOS CORDOBAS en una zona de amenaza sísmica Intermedia, los coeficientes sísmicos tienen las siguientes magnitudes:

Aa = 0.10 (Coeficiente de aceleración pico efectiva).

Av = 0.15 (Coeficiente que representa la velocidad horizontal pico de diseño).
Ad = 0.04 (Coeficiente que representa la aceleración pico efectiva para el umbral de daño).
Ae = 0.08 (Coeficiente de aceleración pico efectiva para diseño con seguridad limitada).

El perfil del suelo es D.

ACOSTA I.C

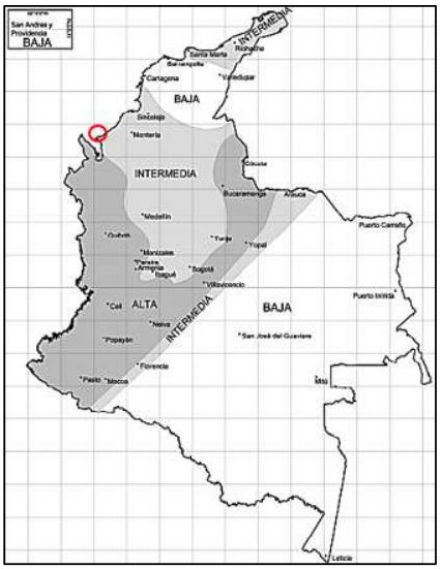


Ilustración No. 10: Zona de amenaza sísmica
Fuente: NSR-10

ACOSTA I.C.

2.- LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El área de estudio se encuentra localizada en el municipio de **LOS CORDOBAS (Córdoba)** en las coordenadas:

TRAMO	ARROYO	UBICACIÓN SOBRE LA VÍA	COORDENADAS			
			Colombia West zone MAGNA-SIRGAS			
			ESTE (X)	NORTE (Y)	LONGITUD	LATITUD
1	1	KM00+229.92	4629485.395	2530710.045	76° 22' 06.57"	8° 47' 15.81"
	2	KM00+863.43	4629014.704	2530316.967	76° 22' 21.85"	8° 47' 02.89"
	3	KM01+164.38	4628978.062	2530037.199	76° 22' 22.96"	8° 46' 53.78"

Ilustración No. 11 Coordenadas del Proyecto
Fuente:
http://ws.plexscape.com/Services/CoordSysWS/Pages/Transformations.aspx

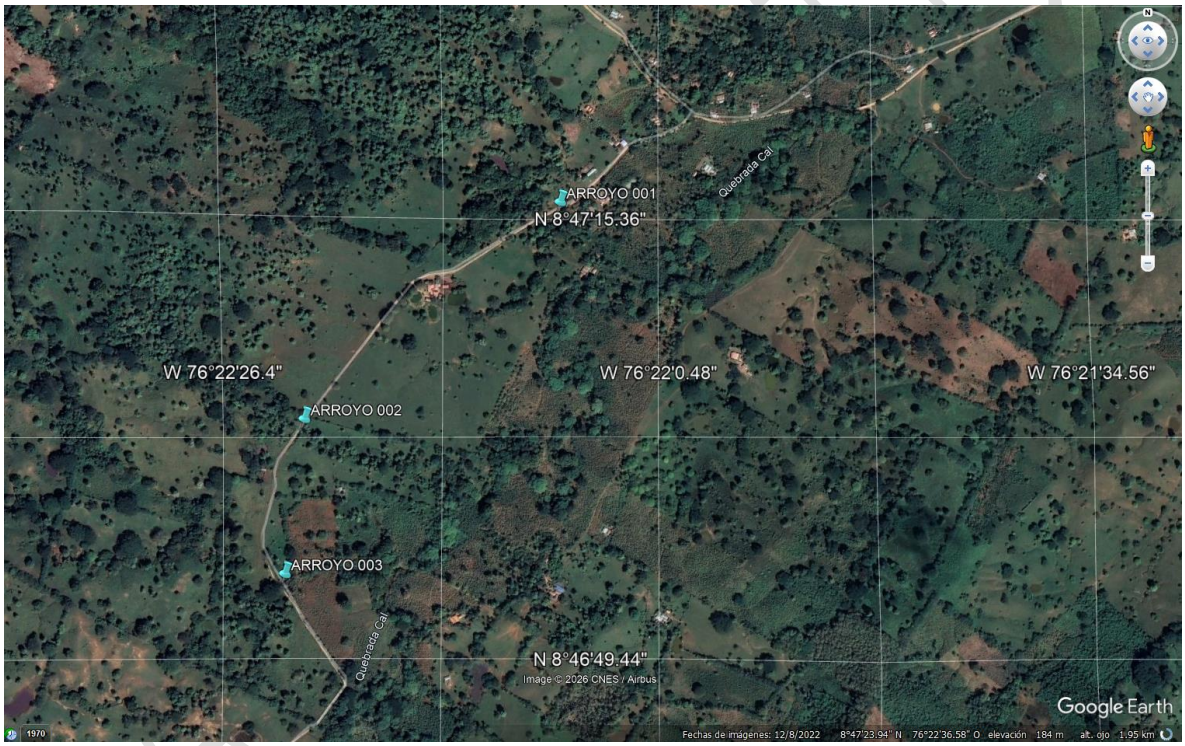


Ilustración No. 12 Ubicación del proyecto
Fuente: Google Earth

Dirección: Carrera 10 No. 43 – 05 Montería (Córdoba)
E-mail: miguelacostamercado@gmail.com
Móvil: 300 393 05 08

3.- VARIABLES CLIMATOLOGICAS DEL MUNICIPIO

En LOS CORDOBAS, los veranos son cortos y muy caliente, los inviernos son caliente y mojados y está opresivo y nublado todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de *23 °C* a *33 °C* y rara vez baja a menos de *22 °C* o sube a más de *36 °C*.

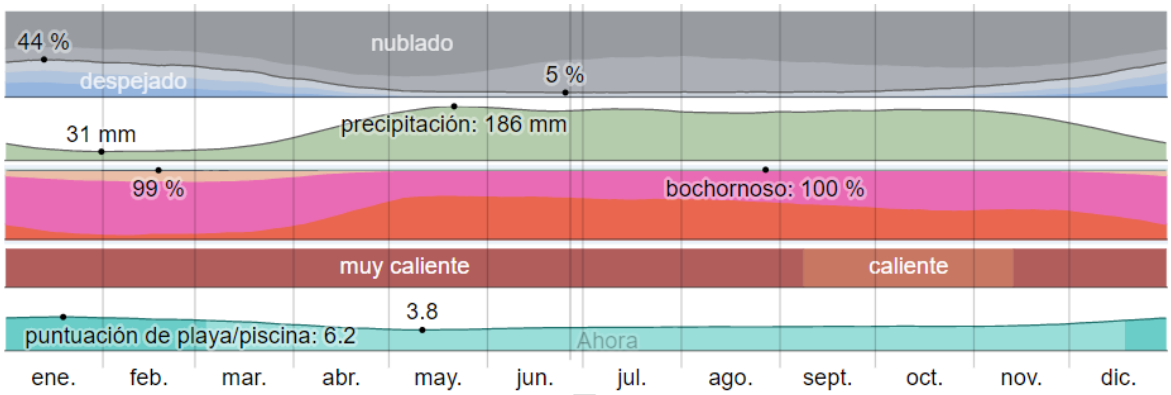


Ilustración No. 13 Clima
Fuente: https://es.weatherspark.com

3.1.- TEMPERATURA

La temporada calurosa dura 2,3 meses, del 1 de febrero al 10 de abril, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 32 °C. El día más caluroso del año es el 14 de marzo, con una temperatura máxima promedio de 33 °C y una temperatura mínima promedio de 23 °C.
La temporada fresca dura 3,3 meses, del 16 de agosto al 26 de noviembre, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 30 °C. El día más frío del año es el 22 de enero, con una temperatura mínima promedio de 23 °C y máxima promedio de 32 °C.

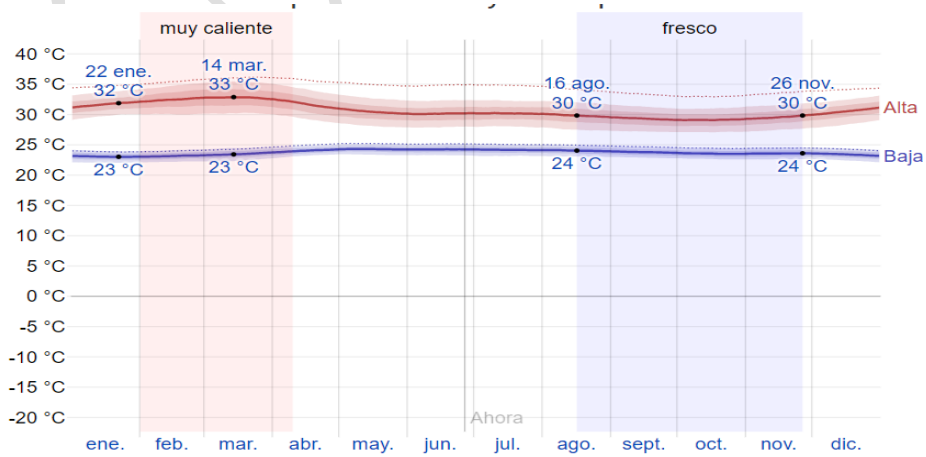


Ilustración No. 14 Temperatura máxima y mínima
Fuente: https://es.weatherspark.com

La figura siguiente muestra una ilustración compacta de las temperaturas promedio por hora de todo el año. El eje horizontal es el día del año, el eje vertical es la hora y el color es la temperatura promedio para ese día y a esa hora.

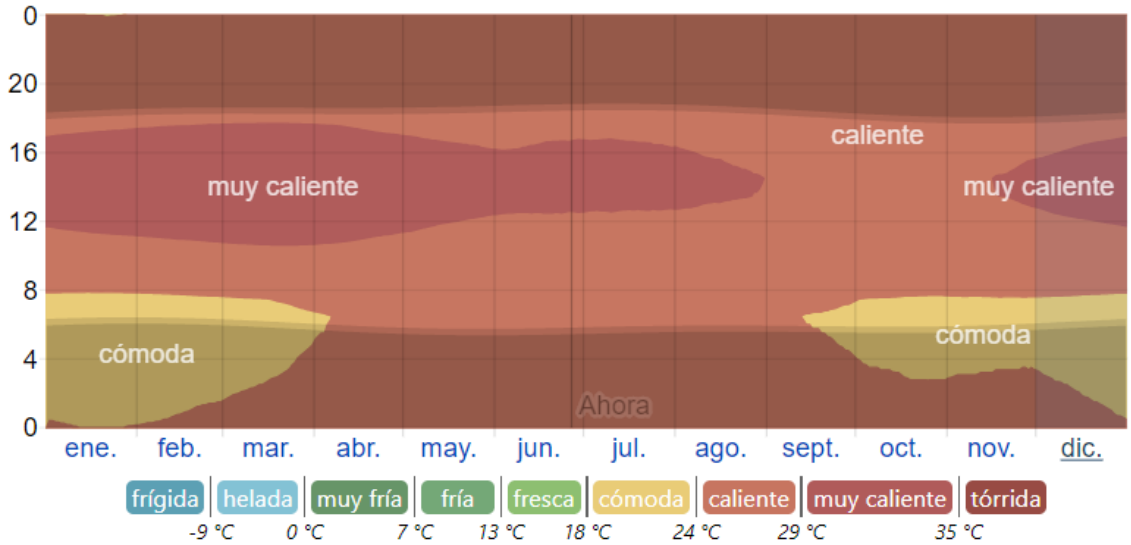


Ilustración No. 15 Temperatura promedios por hora
Fuente: https://es.weatherspark.com

3.2.- NUBES

En LOS CORDOBAS, el promedio del porcentaje del cielo cubierto con nubes varía considerablemente en el transcurso del año.

La parte más despejada del año en LOS CORDOBAS comienza aproximadamente el 7 de diciembre; dura 3,6 meses y se termina aproximadamente el 25 de marzo. El 13 de enero, el día más despejado del año, el cielo está despejado, mayormente despejado o parcialmente nublado el 44 % del tiempo y nublado o mayormente nublado el 56 % del tiempo.

La parte más nublada del año comienza aproximadamente el 25 de marzo; dura 8,4 meses y se termina aproximadamente el 7 de diciembre. El 25 de junio, el día más nublado del año, el cielo está nublado o mayormente nublado el 95 % del tiempo y despejado, mayormente despejado o parcialmente nublado el 5 % del tiempo.

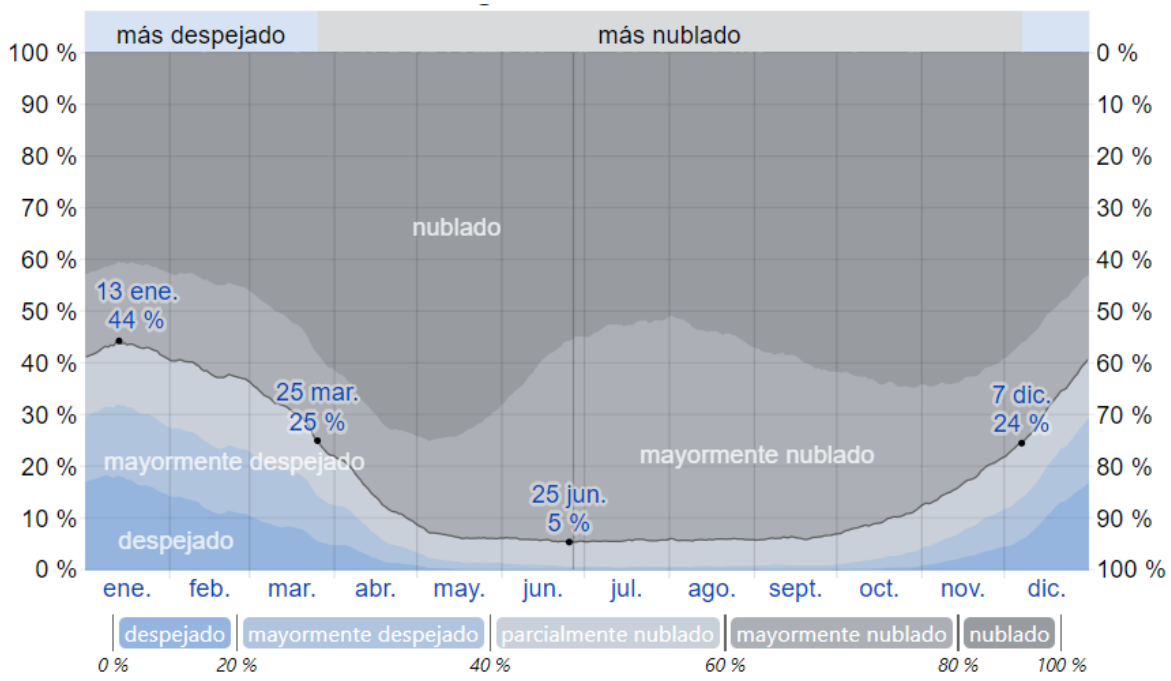


Ilustración No. 16 Nubosidad
Fuente: https://es.weatherspark.com

3.3.- PRECIPITACIÓN

Un día mojado es un día con por lo menos 1 milímetro de líquido o precipitación equivalente a líquido. La probabilidad de días mojados en LOS CORDOBAS varía considerablemente durante el año.

La temporada más mojada dura 8,1 meses, de 10 de abril a 13 de diciembre, con una probabilidad de más del 38 % de que cierto día será un día mojado. La probabilidad máxima de un día mojado es del 61 % el 9 de mayo. La temporada más seca dura 3,9 meses, del 13 de diciembre al 10 de abril. La probabilidad mínima de un día mojado es del 16 % el 23 de enero.

Entre los días mojados, distinguimos entre los que tienen solamente lluvia, solamente nieve o una combinación de las dos. En base a esta categorización, el tipo más común de precipitación durante el año es solo lluvia, con una probabilidad máxima del 61 % el 9 de mayo.

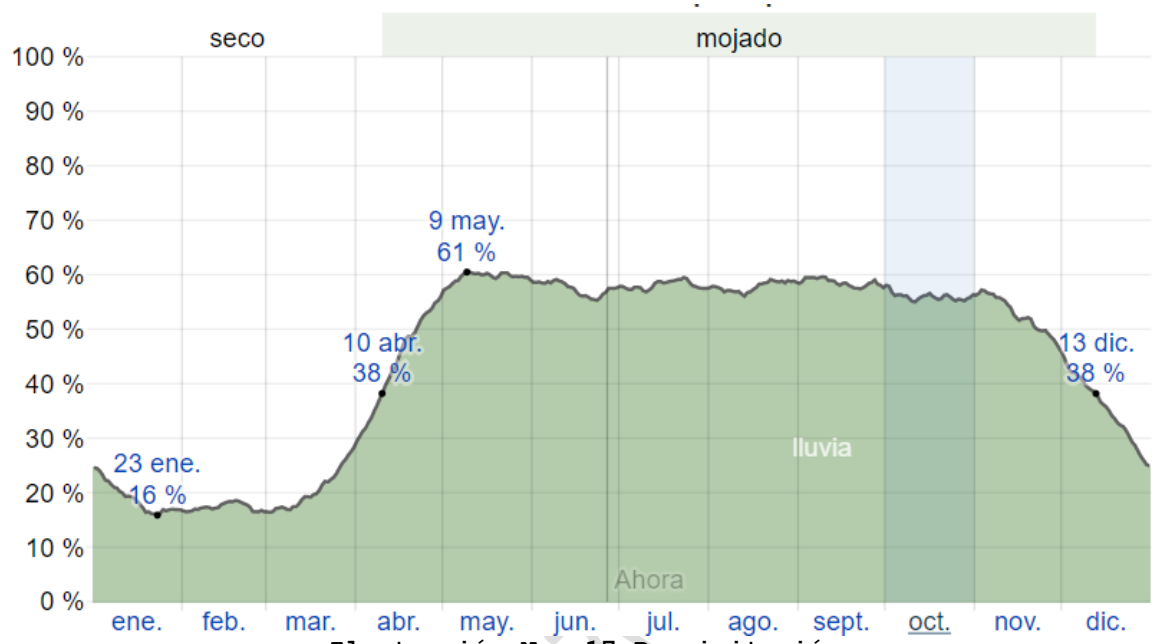


Ilustración No. 17 Precipitación
Fuente: https://es.weatherspark.com

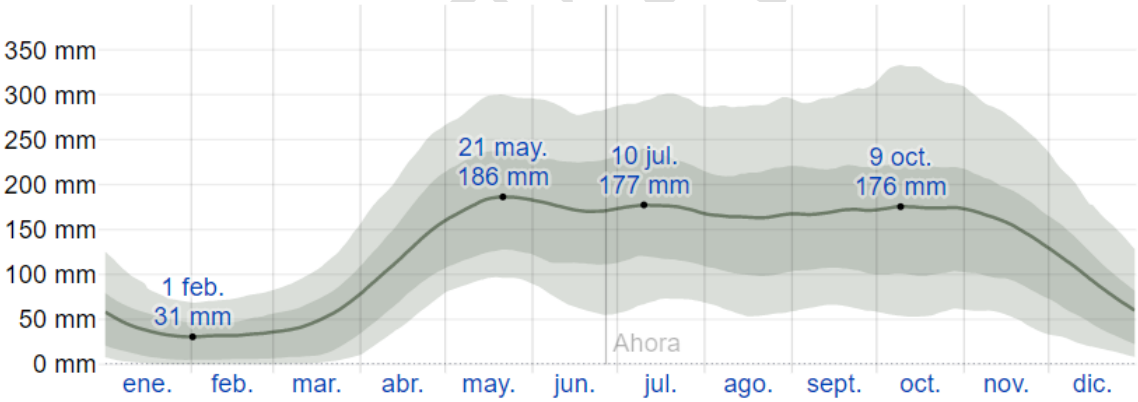


Ilustración No. 18 Lluvia
Fuente: https://es.weatherspark.com

3.4.- SOL

La duración del día en LOS CORDOBAS no varía considerablemente durante el año, solamente varía *37 minutos* de las *12 horas* en todo el año. En 2020, el día más corto es el *21 de diciembre*, con *11 horas y 37 minutos* de luz natural; el día más largo es el *20 de junio*, con *12 horas y 38 minutos* de luz natural.

La *salida del sol más temprana* es a las *5:44* el *27 de mayo*, y la *salida del sol más tardía* es *41 minutos* más tarde a las *6:25* el *29 de enero*. La *puesta del sol más temprana* es a las *17:41* el *14 de noviembre*, y

la *puesta del sol más tardía* es *47 minutos* más tarde a las *18:28* el *12 de julio*.

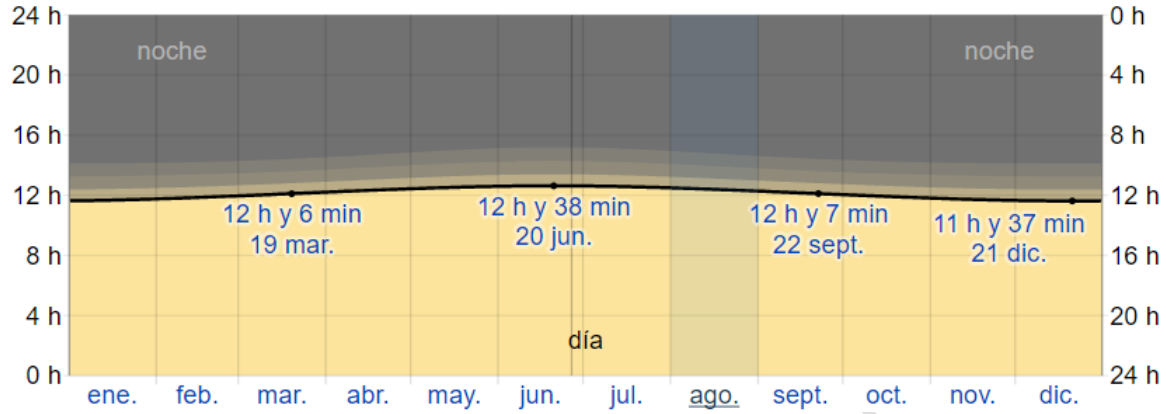


Ilustración No. 19 Sol
Fuente: https://es.weatherspark.com

3.5.- HUMEDAD

Basamos el nivel de comodidad de la humedad en el punto de rocío, ya que éste determina si el sudor se evaporará de la piel enfriando así el cuerpo. Cuando los puntos de rocío son más bajos se siente más seco y cuando son altos se siente más húmedo. A diferencia de la temperatura, que generalmente varía considerablemente entre la noche y el día, el punto de rocío tiende a cambiar más lentamente, así es que aunque la temperatura baje en la noche, en un día húmedo generalmente la noche es húmeda.

El nivel de humedad percibido en LOS CORDOBAS, medido por el porcentaje de tiempo en el cual el nivel de comodidad de humedad es bochornoso, opresivo o insoportable, no varía considerablemente durante el año, y permanece prácticamente constante en 100 %.

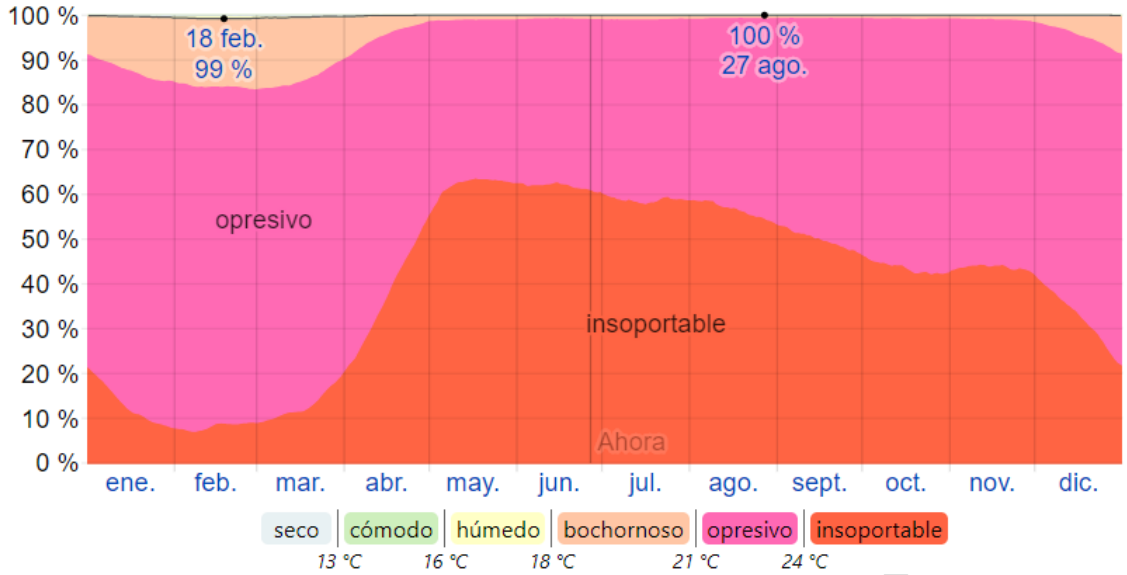


Ilustración No. 20 Humedad
Fuente: https://es.weatherspark.com

3.6.- VIENTO

Esta sección trata sobre el vector de viento promedio por hora del área ancha (velocidad y dirección) a 10 metros sobre el suelo. El viento de cierta ubicación depende en gran medida de la topografía local y de otros factores; y la velocidad instantánea y dirección del viento varían más ampliamente que los promedios por hora.

La velocidad promedio del viento por hora en LOS CORDOBAS tiene variaciones estacionales leves en el transcurso del año.

La parte más ventosa del año dura 3,6 meses, del 6 de enero al 25 de abril, con velocidades promedio del viento de más de 6,0 kilómetros por hora. El día más ventoso del año en el 12 de marzo, con una velocidad promedio del viento de 7,8 kilómetros por hora.

El tiempo más calmado del año dura 8,4 meses, del 25 de abril al 6 de enero. El día más calmado del año es el 10 de julio, con una velocidad promedio del viento de 4,2 kilómetros por hora.

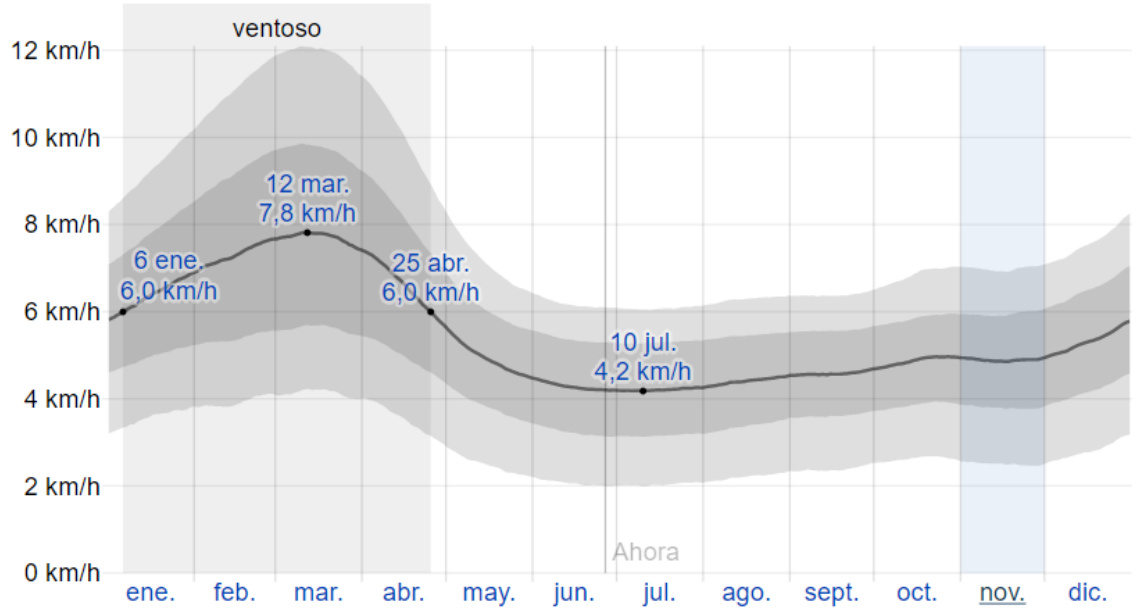


Ilustración No. 21 Viento
Fuente: https://es.weatherspark.com

3.7.- TOPOGRAFÍA

Para fines de este informe, las coordenadas geográficas de LOS CORDOBAS son latitud: 8,676°, longitud: -76,204°, y elevación: 141 m.

La topografía en un radio de 3 kilómetros de LOS CORDOBAS tiene variaciones grandes de altitud, con un cambio máximo de altitud de 158 metros y una altitud promedio sobre el nivel del mar de 126 metros. En un radio de 16 kilómetros contiene variaciones grandes de altitud (347 metros). En un radio de 80 kilómetros contiene variaciones muy grandes de altitud (1.242 metros).

El área en un radio de 3 kilómetros de LOS CORDOBAS está cubierta de tierra de cultivo (54 %) y árboles (27 %), en un radio de 16 kilómetros de tierra de cultivo (40 %) y árboles (30 %) y en un radio de 80 kilómetros de agua (34 %) y árboles (22 %).

4.- ANÁLISIS HIDROLÓGICO E HIDRAULICO

Para la revisión de la calidad de los datos se utilizará la información obtenida de la estación ubicada en el **Municipio de CANALETE (Córdoba),** referenciada como **CANALETE (12040020),** por la cercanía al proyecto, las cuales se nombran a continuación:

Catalogo Nacional de Estaciones: CANALETE [12040020]

Código	12040020
Nombre	CANALETE [12040020]
Categoría	Pluviométrica
Longitud	-76,24
Latitud	8,79
Altitud	40,00
Departamento	Córdoba
Municipio	Canalete
Estado	Activa
Tecnología	Convencional
Fecha de Instalación	Enero 15, 1959
Fecha de Suspensión	

Ilustración No. 22 Estación CANALETE
Fuente: http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/

Para caracterizar el comportamiento espacial y temporal de las lluvias, se elaboró un cuadro que evalúa los principales parámetros estadísticos, histogramas de módulos mensuales, módulos anuales. Los análisis que se presentan a continuación resumen el comportamiento de la precipitación para la zona de estudio, basándose en los datos meteorológicos provenientes de la estación de **CANALETE:**

ACOSTA I.C.

AÑO	MESES												VALOR ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	
1989	15.00	6.00	90.00	159.00	346.00	127.00	108.00	186.00	222.00	214.00	61.00	71.00	1605.00
1990	0.00	32.00	0.00	131.00	247.00	177.00	145.00	133.00	152.00	103.00	70.00	10.00	1200.00
1991	39.00	0.00	8.00	71.00	176.00	87.00	128.00	131.00	252.00	197.00	61.00	24.00	1174.00
1992	0.00	78.00	0.00	35.00	246.00	82.00	138.00	187.00	200.00	183.00	195.00	29.00	1373.00
1993	0.00	0.00	10.00	38.40	219.00	147.00	95.00	233.00	192.00	232.00	96.00	24.00	1286.40
1994	15.00	34.00	17.00	67.00	123.00	105.00	173.00	200.00	131.00	151.00	135.00	7.00	1158.00
1995	0.00	30.00	0.00	241.00	251.00	110.00	145.00	147.00	104.00	287.00	143.00	48.00	1506.00
1996	0.00	20.00	0.00	90.00	131.00	97.00	215.00	361.00	255.00	222.00	132.00	71.00	1594.00
1997	16.00	30.00	129.00	11.00	245.00	90.00	161.00	165.00	216.00	211.00	202.00	44.00	1520.00
1998	10.00	0.00	0.00	22.00	109.00	130.00	53.00	194.00	193.00	205.00	219.00	32.00	1167.00
1999	5.00	10.00	11.00	104.00	223.00	277.00	131.00	134.00	264.00	163.00	140.00	62.00	1524.00
2000	0.00	0.00	0.00	134.00	140.00	163.00	98.00	268.00	102.00	278.00	146.00	16.00	1345.00
2001	108.00	0.00	114.00	95.00	82.00	316.00	241.00	203.00	201.00	241.00	173.00	8.00	1782.00
2002	30.00	0.00	25.00	246.00	235.00	245.00	131.00	256.00	138.00	281.00	280.00	0.00	1867.00
2003	0.00	0.00	0.00	90.00	186.50	156.30	242.40	148.50	170.50	173.30	217.10	97.40	1482.00
2004	72.30	44.10	164.20	129.40	278.00	184.90	137.00	198.70	216.40	117.10	128.40	20.90	1691.40
2005	5.00	0.00	0.00	43.90	84.10	186.20	153.00	316.00	353.00	88.00	181.00	5.00	1415.20
2006	0.00	32.00	6.00	224.00	215.00	204.00	162.00	254.00	153.00	148.00	87.00	180.00	1665.00
2007	52.00	55.00	58.00	177.00	144.00	193.00	250.00	199.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1128.00
2008	32.00	12.00	0.00	40.00	156.00	127.00	255.00	283.00	159.00	112.00	78.00	0.00	1254.00
2009	18.00	0.00	0.00	31.00	143.00	139.00	120.00	227.00	169.00	153.00	129.00	36.00	1165.00
2010	5.00	1.00	1.00	107.00	213.00	74.00	188.00	240.00	121.00	174.00	70.00	80.00	1274.00
2011	0.00	0.00	3.00	267.00	69.00	187.00	287.00	164.00	182.00	202.00	161.00	77.00	1599.00
2012	0.00	0.00	0.00	156.00	149.00	77.00	147.00	165.00	154.00	138.00	0.00	0.00	986.00
2013	0.00	20.00	0.00	87.00	312.00	167.00	158.00	189.00	105.00	190.00	225.00	53.00	1506.00
2014	55.00	5.00	75.00	77.00	369.00	115.00	152.00	123.00	128.00	165.00	67.00	0.00	1331.00
2015	0.00	0.00	33.00	217.00	350.10	228.40	230.00	134.00	224.50	79.00	48.00	126.00	1670.00
2016	1.00	8.00	4.00	180.00	268.00	224.00	55.00	176.00	86.00	223.00	192.00	12.00	1429.00
2017	53.00	18.00	13.00	55.00	247.00	180.00	202.00	118.00	204.00	112.00	106.00	11.00	1319.00
2018	0.00	0.00	60.00	117.00	180.00	197.00	164.00	131.00	254.00	146.00	258.00	417.00	1924.00
2019	3.00	0.00	61.00	284.00	117.00	189.00	124.00	139.00	236.00	147.00	305.00	124.00	1729.00
2020	8.00	0.00	7.00	66.00	233.00	188.00	135.00	128.00	188.00	201.00	250.00	72.00	1476.00
2021	0.00	0.00	58.00	82.00	288.00	281.00	156.00	145.00	105.00	258.00	128.00	65.00	1566.00
2022	14.00	2.00	17.00	61.00	183.00	149.00	55.00	171.00	93.00	0.00	0.00	0.00	745.00
2023	0.00	0.00	19.00	74.00	167.00	73.00	199.00	148.00	182.00	104.00	0.00	0.00	966.00

MEDIO	15.89	12.49	28.09	114.56	203.56	162.08	158.10	188.43	174.44	168.53	133.81	52.07	1412.06
MÁXIMOS	108.00	78.00	164.20	284.00	369.00	316.00	287.00	361.00	353.00	287.00	305.00	417.00	1924.00
MÍNIMOS	0.00	0.00	0.00	11.00	69.00	73.00	53.00	118.00	0.00	0.00	0.00	0.00	745.00

Ilustración No. 23 Datos Precipitación anual
Fuente: IDEAM

Variabilidad temporal: las variaciones de la precipitación mensual están marcadas por climatología general de la región, dada a la ubicación de esta cuenca, el régimen se encuentra regulado un poco más por el clima caribeño, el cual tiene más influencia en la zona media y baja de la cuenca del río Sinú. La zona anualmente está controlada por el movimiento cíclico de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT).

ACOSTA I.C.

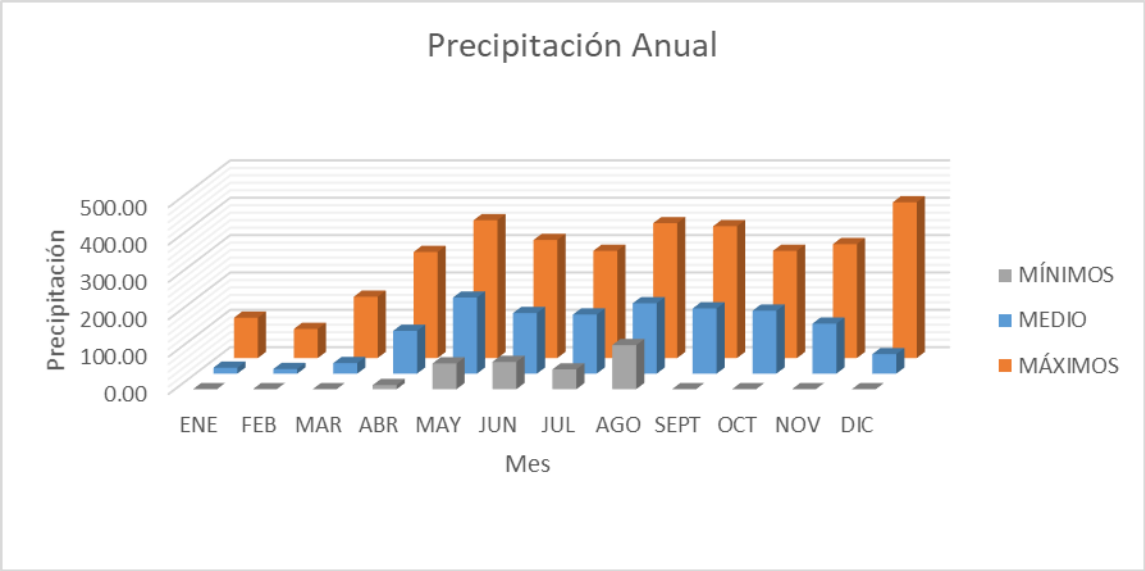


Ilustración No. 24 Precipitaciones mensuales multianuales
Fuente: Consultoría

En resumen, el paso de la zona de convergencia intertropical y la orografía en la cuenca, son los principales mecanismos que controlan la climatología de la cuenca del Río Sinú y por ende de la zona de estudio.

Sin embargo, las variaciones interanuales y las anomalías climáticas podrían estar alteradas por el ENSO (El Niño, Oscilación del Sur) y la Oscilación del Atlántico Norte (NAO). El ciclo anual de la precipitación, presenta un régimen casi unimodal, con valores mínimos de enero a abril, y valores máximos entre los meses Junio, Agosto, Septiembre Y diciembre, se presenta la variabilidad de la lluvia en los últimos 46 años de registro para la estación seleccionada, en los cuales se destaca valores picos en mayo y diciembre. El 1994 y 2010 se presenta como el año con mayor precipitación dentro del rango temporal seleccionado.

4.1.- PRECIPITACIONES ANUALES

Con base en los registros de la estación de **CANALETE**, la precipitación media anual es del orden de 1379.27 mm, con variaciones entre 745.00 mm y 1924.00 mm, para el período de registro seleccionado. A continuación, se presenta el comportamiento estadístico de las lluvias a escala anual y el presenta el histograma correspondiente:

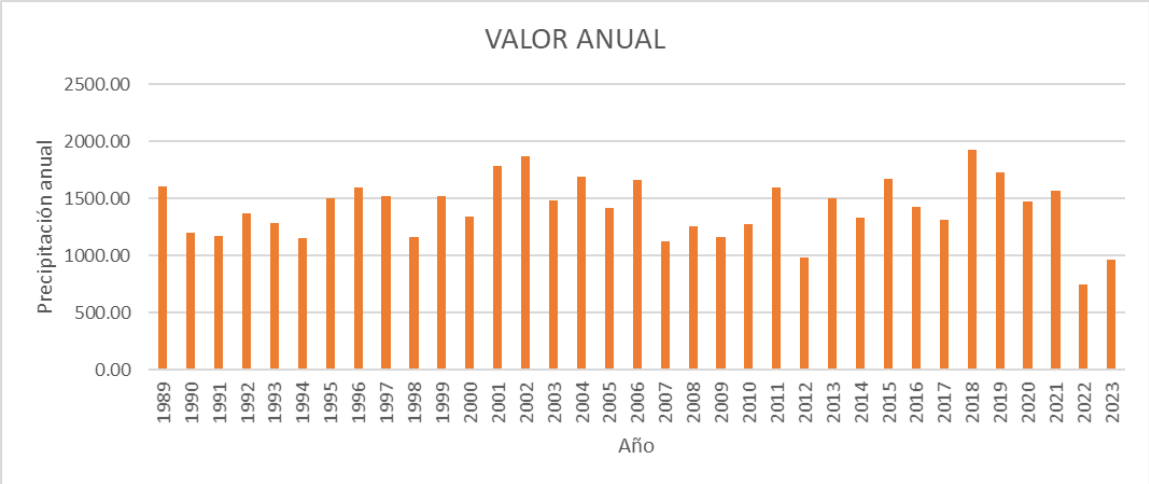


Ilustración No. 25 Precipitaciones anuales
Fuente: Consultoría

AÑO	VALOR ANUAL
1989	1605.00
1990	1200.00
1991	1174.00
1992	1373.00
1993	1286.40
1994	1158.00
1995	1506.00
1996	1594.00
1997	1520.00
1998	1167.00
1999	1524.00
2000	1345.00
2001	1782.00
2002	1867.00
2003	1482.00
2004	1691.40
2005	1415.20
2006	1665.00
2007	1128.00
2008	1254.00
2009	1165.00
2010	1274.00
2011	1599.00
2012	986.00
2013	1506.00
2014	1331.00
2015	1670.00
2016	1429.00
2017	1319.00
2018	1924.00
2019	1729.00
2020	1476.00
2021	1566.00
2022	745.00
2023	966.00

Promedio	**1391.93**
Desviación	**264.78**
Coeficiente de variación	**0.19**

Ilustración No. 26 Valores de Precipitaciones anuales
Fuente: Consultoría

Variabilidad temporal. A excepción de los años anteriores a 1997 para el registro de los últimos 46 años, se observa que a escala anual las lluvias no presentan gran variabilidad de un año a otro, las diferencias de la lluvia acumuladas presentan un coeficiente de variación de Cv=0.19, lo que indica que no hay cambios marcados entre años secos y húmedos.

4.2.- EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL.

Se define la evapotranspiración como la máxima cantidad de agua que puede evaporarse desde un suelo completamente cubierto de vegetación, que se desarrolla en óptimas condiciones, y en el supuesto caso de no existir limitaciones en la disponibilidad de agua. Según esta definición, la magnitud de la ETP está regulada solamente por las condiciones meteorológicas o climáticas, según el caso, del momento o período para el cual se realiza la estimación.

Factores que influyen en la evapotranspiración:

La evapotranspiración depende del poder evaporante de la atmosfera, que a su vez depende de los siguientes factores:

- Radiación solar
- Temperatura
- Humedad: a menor humedad, más evaporación.
- Presión atmosférica: a menor presión, mas evaporación
- Viento
- El poder evaporante de la atmosfera.
- El grado de humedad del suelo.
- Tipo de cobertura
- Variaciones estacionales
- Variaciones interanuales

Calculo de evapotranspiración potencial:

El cálculo de la evapotranspiración potencial se realiza por el método de Thornthwaite, el cual se describe a continuación:

a) Se calcula un índice de calor mensual:

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1,514}$$

Dónde:
T: temperatura media mensual

b) Se calcula índice de calor anual: $\mathbf{I = \sum i}$

c) Se calcula ETP* mensual sin corregir:

$$\mathbf{ETP^* = 16\left(\frac{10T}{I}\right)^{a}}$$

Dónde:

$$\boldsymbol{a = 675e10^{-9} * I^3 - 771e10^{-7} * I^2 + 1792e10^{-5} * I + 0.49239}$$

Corrección depende del mes, latitud y número máximo de horas de sol

$$ETP = ETP_{\text{sin } corr} \frac{N}{12} \frac{d}{30}$$

Dónde:
N: número máximo de horas de sol.
D: número de días del mes.

BALANCE HIDRICO CLIMATICO													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Precipitación	15.89	12.49	28.09	114.56	203.56	162.08	158.10	188.43	174.44	168.53	133.81	52.07	1412.1
ETP	163.2	150.0	175.8	180.2	204.9	148.9	152.6	150.2	141.8	132.3	136.0	150.2	1886.2
Perd. Almac.	44.1	3.3	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	76.1	
Almac.	3.8	0.5	0.0	0.0	0.0	13.2	18.7	56.9	89.5	125.7	124.0	47.9	
ET	60.0	15.7	28.6	114.6	203.6	148.9	152.6	150.2	141.8	132.3	135.5	128.1	
Deficit	103.3	134.2	147.2	65.6	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	22.1	474.1
Exesos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
R (ET/ETP)	0.37	0.10	0.16	0.64	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.85	
	COMPROBACIÓN DEL BALANCE HIDRICO												
	Prec. + Deficit = ETP + Excesos												
	1886.2						1886.2						

Ilustración No. 27 Evapotranspiración series mensuales
Fuente: Consultoría

4.3.- BALANCE HÍDRICO

La cantidad de agua en un lugar en particular se puede calcular en términos generales por medio de concepto de balance hídrico, de acuerdo con el cual el volumen de agua en cualquier punto de un sistema hidrológico se considera simplemente en términos de la diferencia entre el caudal entrante (aferente) y el caudal saliente (eferente) del sistema y el cambio resultante en la cantidad de agua almacenada. En otras palabras, el caudal entrante menos el caudal saliente equivale al cambio en almacenamiento.

$$Prec + deficit = ETP + excesos$$

Dónde:

P: Precipitación mensual.
F: Falta o déficit.
ET: Evapotranspiración mensual.
EX: Excesos.

El balance hídrico consiste en definir mes a mes los siguientes parámetros (en mm):

BALANCE HIDRICO CLIMATICO													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Precipitación	15.89	12.49	28.09	114.56	203.56	162.08	158.10	188.43	174.44	168.53	133.81	52.07	1412.1
ETP	163.2	150.0	175.8	180.2	204.9	148.9	152.6	150.2	141.8	132.3	136.0	150.2	1886.2
Perd. Almac.	44.1	3.3	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	76.1	
Almac.	3.8	0.5	0.0	0.0	0.0	13.2	18.7	56.9	89.5	125.7	124.0	47.9	
ET	60.0	15.7	28.6	114.6	203.6	148.9	152.6	150.2	141.8	132.3	135.5	128.1	
Deficit	103.3	134.2	147.2	65.6	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	22.1	474.1
Exesos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
R (ET/ETP)	0.37	0.10	0.16	0.64	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.85	
	COMPROBACIÓN DEL BALANCE HIDRICO												
	Prec. + Deficit = ETP + Excesos												
	1886.2						1886.2						

Ilustración No. 28 Balance hídrico
Fuente: Consultoría

Dónde:

P: Precipitación media o mediana mensual.
ET: Evapotranspiración potencial o de referencia.,
P-ET: Diferencia entre la P y la ET.
R: Reserva.
VR: Variación de la reserva.
ETR: Evapotranspiración real.
F: Falta o déficit.
Ex: Exceso.
D: Drenaje.

Con los resultados obtenidos se comprueba el balance hídrico y el régimen unimodal del clima presentando un periodo seco y uno húmedo.

4.4.- CURVAS I-D-F (INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA)

Las curvas de intensidad-duración-frecuencia (I-D-F) constituyen la base climatológica para la estimación de los caudales de diseño. Estas curvas sintetizan las características de los eventos extremos máximos de precipitación de una determinada zona y definen la intensidad media de lluvia para diferentes duraciones de eventos de precipitación con periodos de retorno específicos.

Para su construcción se basa en el valor máximo de precipitación registrado en veinticuatro (24) horas, como se relaciona a continuación:

AÑO	MESES												VALOR ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	
1989	7	6	42	45	70	40	41	50	50	54	35	32	70
1990	0	32	0	27	80	80	30	45	30	25	26	7	80
1991	39	0	8	64	47	34	87	60	60	69	26	17	87
1992	0	26	0	13	63	25	57	70	88	53	92	29	92
1993	0	0	10	30	59	41	29	69	82	66	43	18	82
1994	15	34	17	29	50	29	72	98	64	58	107	7	107
1995	0	18	0	102	97	40	66	34	56	69	62	30	102
1996	0	20	0	30	51	34	65	122	111	103	40	30	122
1997	16	30	50	11	105	38	50	36	60	80	75	44	105
1998	10	0	0	22	30	35	35	50	53	86	70	32	86
1999	5	10	11	40	55	106	64	50	61	45	78	38	106
2000	0	0	0	45	57	59	50	77	31	126	59	10	126
2001	52	0	65	45	18	67	60	50	58	64	50	8	67
2002	30	0	25	105	65	76	60	41	42	70	63	0	105
2003	0	0	0	47	35	42.5	100	54.7	79.5	55.5	114	30.8	114
2004	29	33	56.8	50.7	69.7	38	49.7	58	50	51	53	10.9	69.7
2005	5	0	0	17.7	34.6	40	66	123	125	25	55	5	125
2006	0	30	5	145	50	110	40	50	55	46	45	77	145
2007	50	15	20	48	25	40	120	46	0	0	0	0	120
2008	20	10	0	11	63	26	65	110	29	40	40	0	110
2009	18	0	0	20	55	61	45	70	34	84	50	12	84
2010	5	1	1	25	79	29	46	112	35	39	15	36	112
2011	0	0	3	70	18	73	47	54	29	50	40	32	73
2012	0	0	0	50	60	30	35	40	40	83	0	0	83
2013	0	20	0	35	50	45	35	80	56	75	70	20	80
2014	30	5	44	67	100	35	29	45	34	52	35	0	100
2015	0	0	13	58	63	53	46	40	55	23	16	40	63
2016	1	8	4	48	78	85	19	35	21	72	45	10	85
2017	20	18	13	23	70	81	50	67	55	62	23	10	81
2018	0	0	36	84	85	54	43	27	82	27	83	110	110
2019	3	0	29	75	33	48	31	30	55	43	55	56	75
2020	8	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
2021	0	0	50	85	83	99	31	42	26	104	88	13	104
2022	14	2	17	31	38	49	20	74	20	0	0	0	74
2023	0	0	19	35	90	54	41	40	60	40	0	0	90
MEDIO	10.77	9.09	15.59	46.67	57.89	51.33	49.28	58.56	51.04	55.41	47.23	21.85	89.59
MÁXIMOS	52.00	34.00	65.00	145.00	105.00	110.00	120.00	123.00	125.00	126.00	114.00	110.00	145.00
MÍNIMOS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00

Ilustración No. 29 Precipitación en 24 horas
Fuente: Consultoría

Para la construcción de las curvas IDF, nos remitimos a la ***Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-huella,*** en donde de recomienda determinar la Intensidad por medio de la siguiente ecuación:

$$i = \frac{a \times T^{b} \times M^{d}}{\frac{t^{c}}{60}}$$

i : Intensidad de precipitación, en milímetros por hora (mm/h).
T : Periodo de retorno, en años.
M : Precipitación máxima promedio anual en 24 h a nivel multianual.
t : Duración de la lluvia, en minutos (min).

Ilustración No. 30 Fórmula para cálculo de intensidad
Fuente: Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-huella

En donde:

a, b, c, d : Parámetros de ajuste de la regresión. Estos parámetros dependen de la región del país donde está ubicada la estación meteorológica. Las regiones y los valores de los parámetros se muestran en la Tabla 5.2 y su ubicación en la Figura 5.1.

REGIÓN		a	b	c	d
Andina	(R1)	0.94	0.18	0.66	0.83
Caribe	(R2)	24.85	0.22	0.5	0.1
Pacífico	(R3)	13.92	0.19	0.58	0.2
Orinoquia	(R4)	5.53	0.17	0.63	0.42

Tabla 5.2 Parámetros según regiones del país / Valores obtenidos del Manual de Drenaje para carreteras del INV- 2009

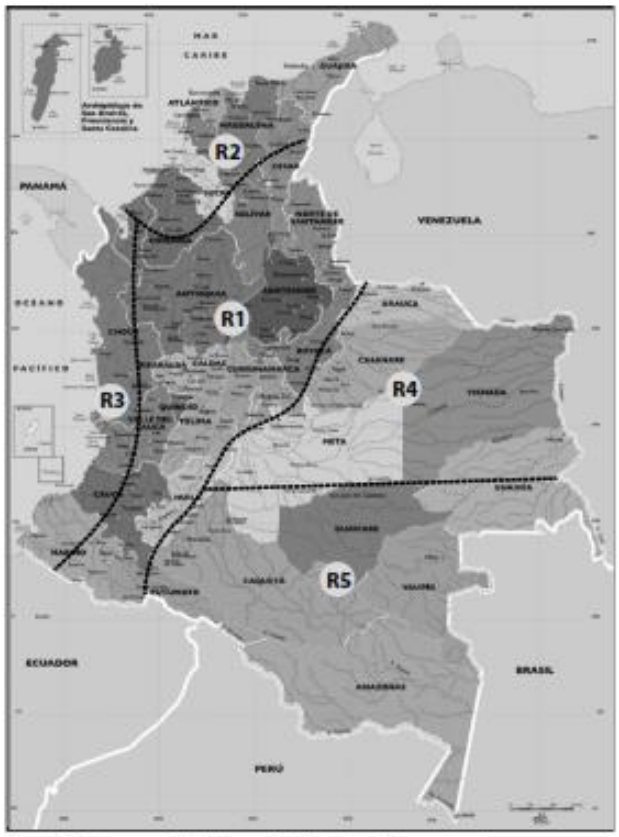


Figura 5.1 Regiones en Colombia para definición de parámetros a, b, c y d.
(Regiones adoptadas del Manual de drenaje de carreteras INV-figura 2.13)

Ilustración No. 31 Parámetros para cálculo de intensidad
Fuente: Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-huella

Para nuestro caso, tenemos los siguientes parámetros para la construcción de las curvas IDF:

Dirección: Carrera 10 No. 43 – 05 Montería (Córdoba)
E-mail: miguelacostamercado@gmail.com
Móvil: 300 393 05 08

Region	R2
a	24.85
b	0.22
c	0.5
d	0.1

DURACIÓN	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)						
min	2	5	10	20	25	50	100
10	116.617954	142.663285	166.164719	193.53763	203.275773	236.76212	275.764793
20	82.4613461	100.878176	117.4962	136.85177	143.737677	167.4161	194.995155
30	67.3294071	82.3666859	95.9352455	111.739003	117.361322	136.694674	159.212877
40	58.308977	71.3316424	83.0823597	96.7688148	101.637886	118.38106	137.882396
50	52.1531345	63.8009606	74.3111216	86.5526592	90.9076891	105.883239	123.325764
60	47.6090803	58.2420421	67.8364626	79.0114064	82.9869867	96.6577306	112.580505
70	44.0774435	53.9216533	62.8043606	73.1503482	76.8310203	89.4876698	104.229295
80	41.230673	50.4390881	58.7480999	68.4258851	71.8688386	83.7080502	97.4975775
90	38.8726513	47.5544283	55.3882398	64.5125432	67.7585909	78.9207066	91.9215976
100	36.8778351	45.1140919	52.545898	61.2019722	64.2814435	74.8707562	87.2044844

Ilustración No. 32 Parámetros para construcción curvas IDF
Fuente: Consultoría

Las curvas IDF utilizadas en este proyecto corresponden a las elaboradas para la estación, las cuales se muestran a continuación:

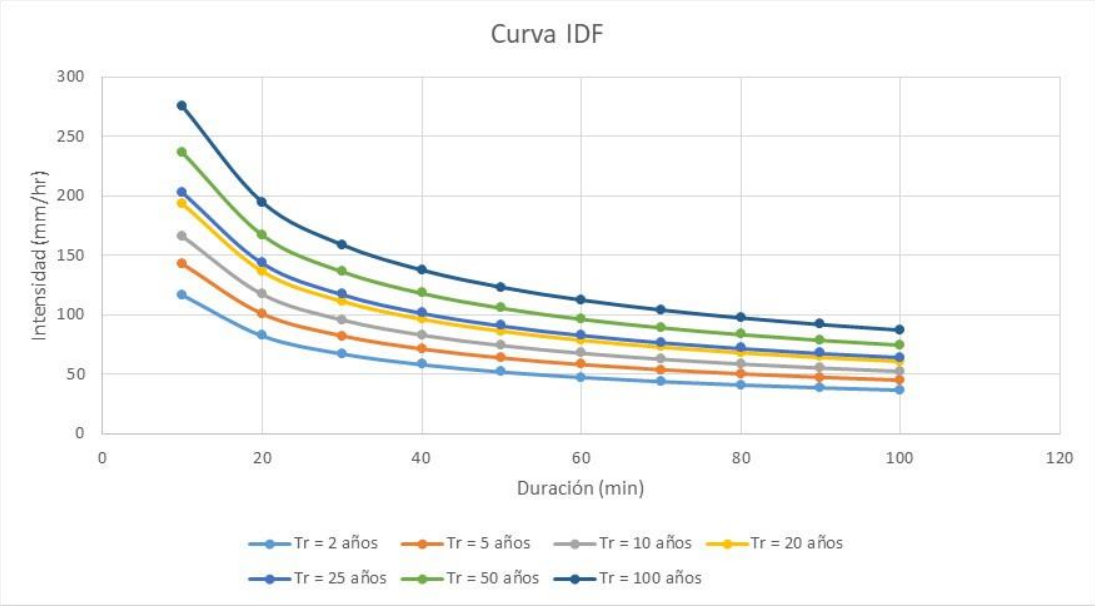


Ilustración No. 33 Curva IDF
Fuente: Consultoría

4.5.- COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA (C)

El coeficiente de escorrentía es función del tipo de suelo, del grado de permeabilidad de la zona, de la pendiente del terreno y otros factores

que determinan la fracción de la precipitación que se convierte en escorrentía. En su determinación deben considerarse las pérdidas por infiltración en el suelo y otros efectos retardadores de la escorrentía. De igual manera, debe incluir consideraciones sobre el desarrollo urbano, los planes de ordenamiento territorial y las disposiciones legales locales sobre uso del suelo.

Los valores de coeficiente de escorrentía se determinan de acuerdo al MANUAL DE DRENAJE PARA CARRETERAS en la tabla 2.9 y 2.10, Coeficiente de escorrentía o impermeabilidad:

Tabla 2.9. - Valores del coeficiente de escorrentía en áreas urbanas (Referencia 2.9)

TIPO DE ÁREA DE DRENAJE	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA C
PRADOS	
Suelos arenosos, planos, 2%	0.05 - 0.10
Suelos arenosos, promedio, 2 -7 %	0.15 - 0.20
Suelos pesados (arcillosos), planos, 2%	0.13 - 0.17
Suelos pesados (arcillosos), promedio, 2 -7 %	0.18 - 0.22
Suelos pesados (arcillosos), pendientes, 7%	0.25 - 0.35
DISTRITOS COMERCIALES	
Áreas de centro de ciudad	0.70 - 0.95
Áreas vecinas	0.50 - 0.70
RESIDENCIAL	
Casas individuales separadas	0.30 - 0.50
Casas multifamiliares separadas	0.40 - 0.60
Casas multifamiliares unidas	0.60 - 0.75
Suburbana	0.25 - 0.40
Áreas de apartamentos de vivienda	0.50 - 0.70
INDUSTRIAL	
Áreas livianas	0.50 - 0.80
Áreas pesadas	0.60 - 0.90
PARQUES CEMENTERIOS	0.10 - 0.25
CAMPOS DE JUEGOS	0.20 - 0.35
ÁREAS DE PATIOS DE FERROCARRILES	0.20 - 0.40
ÁREAS NO DESARROLLADAS	0.10 - 0.30
CALLES	
Asfaltadas	0.70 - 0.95
Concreto	0.80 - 0.95
Ladrillo	0.70 - 0.85
CALZADAS Y ALAMEDAS	0.75 - 0.85
TECHOS	0.75 - 0.95

Tabla 2.10. - Valores del coeficiente de escorrentía en áreas rurales (Referencia 2.4)

VEGETACIÓN Y TOPOGRAFÍA Y	TEXTURA DEL SUELO		
	FRANCO ARENOSO	FRANCO LIMO ARCILLOSO	ARCILLOSO
BOSQUES			
Plano	0.10	0.30	0.40
Ondulado	0.25	0.35	0.50
Montañoso	0.30	0.50	0.60
PASTOS			
Plano	0.10	0.30	0.40
Ondulado	0.16	0.36	0.55
Montañoso	0.22	0.42	0.60
TIERRAS CULTIVADAS			
Plano	0.30	0.50	0.60
Ondulado	0.40	0.60	0.70
Montañoso	0.52	0.72	0.82
Nota: Plano (pendiente 0 - 5%); Ondulado (pendiente 5 - 10%); Montañoso (pendiente 10 - 30%). Para valores mayores al 30 %, a falta de datos, utilizar los valores para pendientes entre el 10 y el 30 %.			

Ilustración No. 34 Valores coeficiente de escorrentía
Fuente: Manual de drenaje de carreteras

El área de drenaje hacia la obra de drenaje corresponde a **TIERRAS CUTIVADAS – PLANO – FRANCO ARENOSO**, para lo cual sería adecuado emplear un promedio ponderado de los coeficientes de escorrentía de acuerdo con cada área, sin embargo, con el fin de ser conservadores y considerando que la zona del proyecto es de expansión **RURAL**, se empleará un coeficiente de escorrentía igual a **0.30**.

4.6.- ÁREAS DE DRENAJE.

Una cuenca hidrográfica es el área de aguas superficiales o subterráneas que vierten a una red natural con una o varias corrientes superficiales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor, que a su vez puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar.

El área de la cuenca se determinó siguiendo el siguiente procedimiento:

- Se identificaron las coordenadas de cada uno de los sitios de construcción de los box-coulverts con el fin de delimitar la parte de la cuenca de cada uno de los arroyos que drena hacia cada uno de los puntos
- Se procedió a conseguir los archivos tipo "shape" de cuerpos de un área amplia en donde pudiera estar comprendida la cuenca de cada uno de los puntos. Esto para poder procesar la información en un sistema de información geográfica. Estos archivos se descargaron de forma gratuita de la página web del IDEAM.
- Se montó el archivo "shape" sobre un modelo de elevación digital del territorio colombiano.
- Se trazó la cuenca hidrográfica utilizando las herramientas del SIG.
- Se obtuvieron los parámetros de forma, como longitud, pendiente, cota más alta, cota más baja y perímetro.
- Obtención de imagen de la cuenca que drena al punto de interés.

A continuación, se muestra el área de drenaje que se pudo hallar haciendo uso de un modelo de elevación digital. Se observa un mapa generado con herramientas tipo SIG.

ACOSTA I.C.

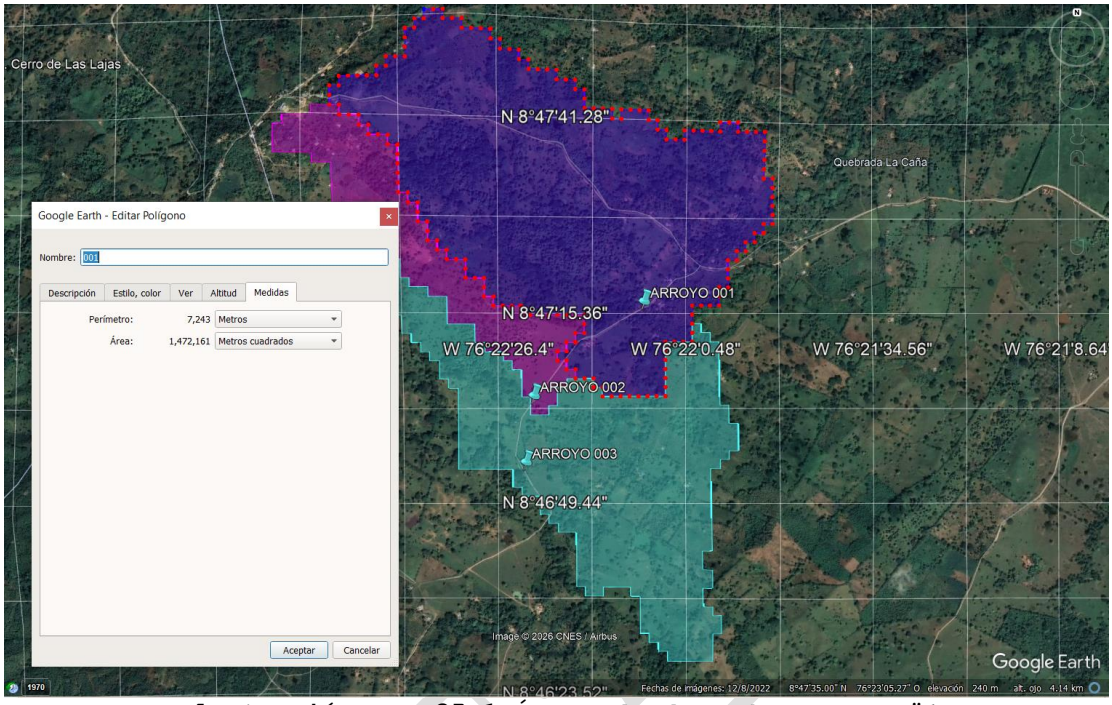


Ilustración No. 35.1 Áreas de drenaje Arroyo #1
Fuente: Consultoría

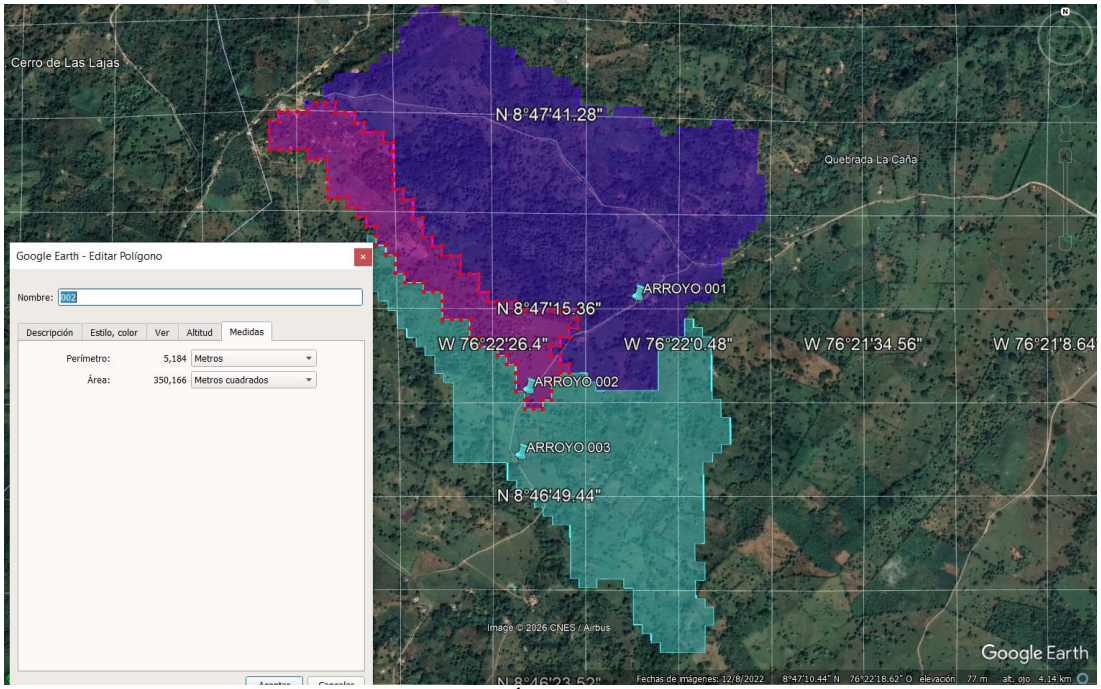


Ilustración No. 35.2 Áreas de drenaje Arroyo #2
Fuente: Consultoría

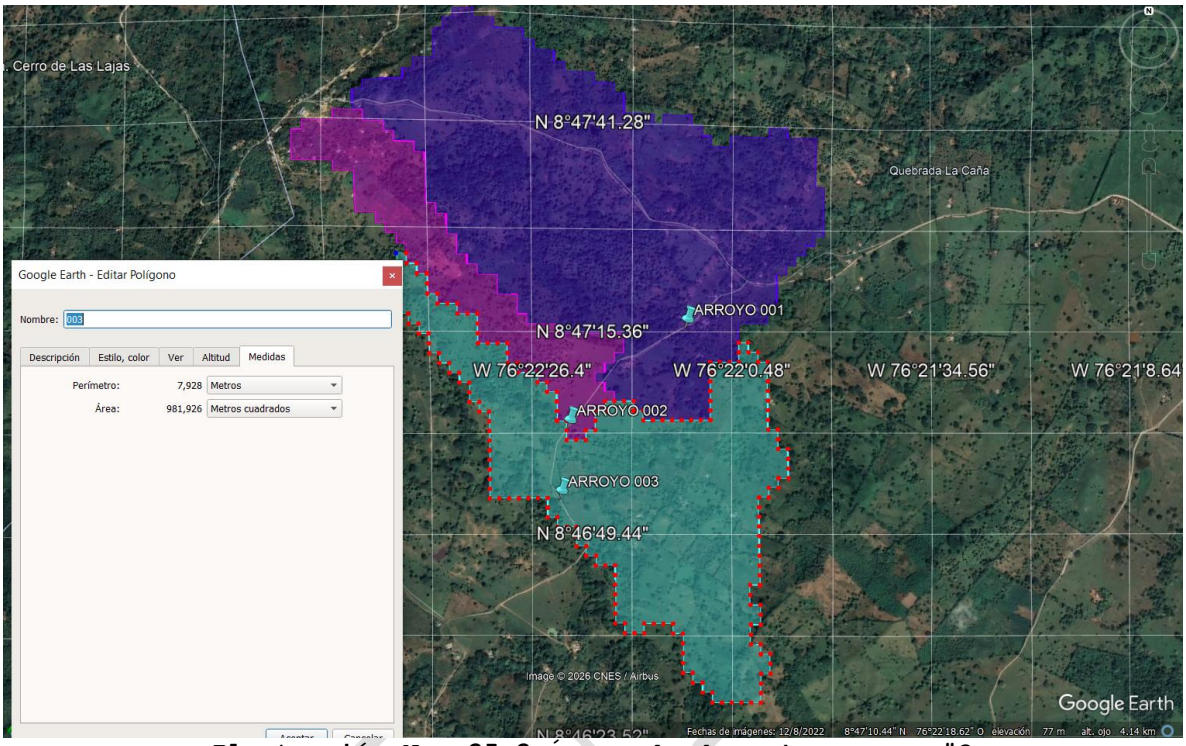


Ilustración No. 35.3 Áreas de drenaje Arroyo #3
Fuente: Consultoría

Después de seguir el procedimiento descrito el área de drenaje que se pudo obtener tiene los siguientes valores:

TRAMO	ARROYO	UBICACIÓN SOBRE LA VÍA	COORDENADAS Colombia West zone MAGNA-SIRGAS				AREA DE DRENAJE		
			ESTE (X)	NORTE (Y)	LONGITUD	LATITUD	m2	Km2	Ha
1	1	KM00+229.92	4629485.395	2530710.045	76° 22' 06.57"	8° 47' 15.81"	1472161.000	1.472	147.216
	2	KM00+863.43	4629014.704	2530316.967	76° 22' 21.85"	8° 47' 02.89"	350166.000	0.350	35.017
	3	KM01+164.38	4628978.062	2530037.199	76° 22' 22.96"	8° 46' 53.78"	981926.000	0.982	98.193

Ilustración No. 36 Áreas de drenaje
Fuente: Consultoría

En la medida en que las áreas de drenaje consideradas se hacen más grandes, la intensidad media de la lluvia sobre éstas se reduce en razón de la variabilidad espacial del fenómeno de precipitación; sin embargo, debido a que las áreas de drenaje no alcanzan las 50 ha (0.50 Km^2), no se utilizara ningún factor de reducción de la misma.

4.7.- PERIODO DE RETORNO

De acuerdo al MANUAL DE DRENAJE DE CAARRETERAS, que por medio de la Tabla 5.1 que estipula los periodos de retorno (página 2-31), se recomienda utilizar **20 años, alcantarillas mayores 0.90 m:**

Obras de drenaje vial	Tr
Drenaje superficial	2
Cunetas	5
Zanjas de coronación	10
Estructuras de caída	10
Alcantarillas de 0.9m de diámetro	10
Alcantarillas mayores a 0.90m de diámetro	20
Puentes menores (luz menor a 10m)	25
Puentes de luz igual a 10m y menor a 50m	50
Puentes de luz mayor o igual a 50m	100

Tabla 5.1 Periodos de retorno para el diseño de obras de drenaje vial

Ilustración No. 37 Valores periodo de retorno
Fuente: Manual de drenaje de carreteras

4.8.- TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.

Es el tiempo que demora la lluvia que cae en el punto más distante de la corriente de agua de una hoya, para llegar a una sección determinada de dicha corriente. El tiempo de concentración mide el tiempo que se necesita para que toda la hoya contribuya con escorrentía superficial en una sección considerada (MANUAL DE DRENAJE – INVIAS).

Hay muchos métodos para determinar el tiempo de concentración, los cuales fueron realizados a partir de cálculos empíricos en distintas condiciones. A continuación, se presentan algunas de las expresiones más usadas en el cálculo de tiempo de concentración:

1) Ecuación de Kirpich

$$T_c = 0.06628\left(\frac{L}{S^{0.5}}\right)^{0.77} \qquad [2.1]$$

Donde: T_c: Tiempo de concentración, en horas (h).
L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km).
S: Pendiente entre las elevaciones máxima y mínima (pendiente total) del cauce principal, en metros por metro (m/m).

9) Ecuación del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos

$$T_c = 0.28\left(\frac{L}{S^{0.25}}\right)^{0.76} \qquad [2.9]$$

Donde: T_c: Tiempo de concentración, en horas (h).
L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km).
S: Pendiente total del cauce principal, en metros por metro (m/m).

8) Ecuación de V.T. Chow

$$T_c = 0.273 \left(\frac{L}{S^{0.5}}\right)^{0.64} \qquad [2.8]$$

Donde: T_c: Tiempo de concentración, en horas (h).

L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km).

S: Pendiente total del cauce principal, en metros por metro (m/m).

Ilustración No. 38 Fórmulas de Tiempo de concentración.
Fuente: Indicada

TRAMO	ARROYO	UBICACIÓN SOBRE LA VÍA	De	A	Longitud (Lc)	Cota		Pendiente	Tiempo concentración		
						Inicial	Final		Kirpich	California	Ven Te Chow
			m	m	m	msnm	msnm	m/m	min	min	min
1	1	KM00+229.92	0.000	399.740	399.740	62.820	61.230	0.00397759	16.483	23.918	53.404
	2	KM00+863.43	0.000	456.420	456.420	77.870	65.690	0.02668595	8.773	18.426	31.615
	3	KM01+164.38	0.000	438.250	438.250	67.040	64.390	0.00604678	15.058	23.688	49.537

Ilustración No. 39 Resultados Tiempo de concentración
Fuente: Consultoría

4.9.- DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE DISEÑO.

4.9.1.- METODO RACIONAL

Existen muchos métodos para determinar el caudal que transcurre por una cuenca hidrográfica, los cuales depende de distintos factores como la precipitación, tiempo de concentración, tipo de suelo, topografía etc.

El método racional es uno de los más utilizados para la estimación del caudal máximo asociado a determinada lluvia de diseño y es válido para áreas de drenaje menores a 700 ha (7.00 Km^2), según el numeral D.4.3.2 del título D del RAS-2000. Se utiliza normalmente en el diseño de obras de drenaje urbano y rural, y tiene la ventaja de no requerir de datos hidrométricos para la determinación de caudales máximos.

Este método permite establecer los caudales a partir de la extensión y las características del uso del suelo en el área de drenaje y la intensidad del evento lluvioso de una frecuencia determinada, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$Q = \frac{C * I * A}{3.60}$$

Dónde:

Q: Caudal en (m^3/s).
C: Coeficiente de escorrentía (adimensional).
I: Intensidad de precipitación (mm/hr).
A: área de drenaje (Km^2).

Los coeficientes de escorrentía se establecerán de acuerdo al tipo de

cobertura que presenta los suelos de la cuenca, y la intensidad se obtiene de las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) de las estaciones de análisis, para un tiempo de concentración que se define como el tiempo que tarda todos los puntos de una cuenca en aportar agua a la salida de la misma. Cuando el tiempo de concentración es igual a la duración de una precipitación, se dice que toda la cuenca está contribuyendo a la formación del caudal, por lo que se dice que este es máximo.

4.9.1.1.- Factor de reducción, F.R.

El uso de las curvas IDF implica la estimación de intensidades a escala puntual, por lo tanto, el Método Racional considera un Factor de Reducción proporcional al área de drenaje. La Tabla presenta los valores de reducción, así:

Áreas de drenaje (ha)	Factor de reducción
50 – 100	0,99
100 – 200	0,95
200 – 400	0,93
400 – 800	0,90
800 – 1600	0,88

Ilustración No. 40 Factores de reducción
Fuente: RAS 2000

En el presente diseño se utiliza Coeficiente de Uniformidad debido a que la P Neta (Precipitación Neta en mm/h) en la Zona de Estudio no es uniforme en el tiempo, y Factor Reductor (Coeficiente de Simultaneidad):

Coeficiente de Uniformidad

$$K = 1 + \frac{T_c^{1.25}}{T_c^{1.25} + 14}$$

Donde:

T_c= Tiempo de concentración (horas)

Ilustración No. 41 Coeficiente de uniformidad
Fuente: RAS 2000

Coeficiente de simultaneidad o Factor reductor (k_A)

$$K_A = 1 - (\log_{10} A/15)$$

Donde:

A : Área de la cuenca (Km^2)

Ilustración No. 42 Coeficiente de simultaneidad
Fuente: RAS 2000

TRAMO	ARROYO	UBICACIÓN SOBRE LA VÍA	L	C	Tc	I	Q
			m		min	mm/h	m3/s
1	1	KM00+229.92	399.740	0.300	31.269	109.449	13.427
	2	KM00+863.43	456.420		19.605	138.225	4.033
	3	KM01+164.38	438.250		29.428	112.820	9.232

Ilustración No. 43 Caudales por Método Racional
Fuente: Consultoría

4.9.2.- METODO HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR

Dado que no se cuenta con una serie de registros de caudales de los arroyos se procede a determinar el caudal de diseño a través de los métodos lluvia escorrentía. Para este caso se empleará el método del hidrograma unitario triangular desarrollado por el US Soil Conservation Service (SCS).

El hidrograma unitario es el hidrograma de escorrentía superficial total resultante de un volumen unitario de lluvia neta, uniformemente distribuido en espacio y tiempo. La altura de la lluvia neta, equivale a la altura de escorrentía superficial total del hidrograma unitario.

$$d \times A = \int_0^t QEdt$$

Dónde:

d: Lluvia neta total (mm).
A: Área de drenaje (Km^2).
QE: Escorrentía superficial total (m^3/s).
t: Tiempo del hidrograma unitario de la hoya (h).

Ilustración No. 44 Escorrentía superficial total
Fuente: US Soil Conservation Service (SCS)

Existen dos suposiciones básicas en la teoría del hidrograma unitario:

- Las variaciones estacionales en las características superficiales de la hoya no se tienen en cuenta, es decir, se considera que las precipitaciones antecedentes no influencian en la distribución en el tiempo de la escorrentía superficial producida por una lluvia determinada.

- Para calcular la escorrentía superficial producida por cualquier otra lluvia neta diferente de una lluvia neta unitaria, se supone que el sistema es linear y no varía con el tiempo.

Con estos principios, Sherman introdujo el denominado hidrograma unitario, el cual es una herramienta útil en la transformación de datos de lluvia a caudal.

Para el presente estudio se utilizó el hidrograma unitario triangular desarrollado por la U.S Soil Conservation Service (SCS), que define el caudal pico como:

$$qp = 0.2083 \times \frac{A \times E}{tp}$$

Dónde:
qp: Caudal unitario máximo en m^3/s por mm de escorrentía.
A: Área de drenaje (Km^2).
E: Escorrentía unitaria (mm).
tp: Tiempo al pico medido desde el comienzo del hidrograma unitario (hr).

Ilustración No. 45 Caudal Unitario
Fuente: US Soil Conservation Service (SCS)

El tiempo pico se obtiene con la expresión:

$$tp = \frac{d}{2} + t1$$

Dónde:
d: Duración del exceso de precipitación unitaria (h), y se estima de acuerdo a la siguiente expresión:

$$d = 0.133 \times tc$$

t1: Tiempo de retraso (h), se estima como:

$$t1 = 0.6 \times tc$$

Dónde:

Tc: Tiempo de concentración de una cuenca.

4.9.2.1.- Análisis de precipitación máxima

Los valores máximos mensuales de precipitación mensual en 24 horas de la estación en mención se muestran en la ilustración 29.

Se cuenta con un total de **35 datos** con media de **89.91 mm.** La desviación típica obtenida es de **24.60** y representa una medida de la dispersión de los datos respecto al valor medio (promedio).

4.9.2.1.1.- Análisis de frecuencia

Este análisis es un procedimiento para estimar la frecuencia de ocurrencia de eventos pasados o futuros, se puede hacer con dos técnicas: con el

factor de frecuencia o hallando la distribución empírica de los datos muéstrales, por el método de Posición de ploteo.

4.9.2.1.1.1.- Factor de Frecuencia:

Para la modelación de precipitaciones máximas se utilizan, entre otras, las distribuciones de normal o Gauss, Log - Normal, Gumbel o de valores extremos, Log-Gumbel y Log Pearson tipo III principalmente.

Para seleccionar la distribución de probabilidades de la serie histórica se deben tener en cuenta algunas consideraciones.

- Cuando en la serie histórica se observan "outliers (valores atípicos)" es necesario verificar la sensibilidad del ajuste debido a la presencia de estos. (Ashkar, et al.1994).
- Para el ajuste a las distribuciones Log-Normal, Log-Gumbel y Log-Pearson se requiere transformar la variable al campo logarítmico para modelarla, con lo que se disminuye la varianza muestral, pero también se filtran las variaciones reales de los datos.
- La distribución Log - Normal de dos parámetros sólo es recomendable sí el coeficiente de asimetría es cercano a cero. Las distribuciones Gumbel y Log Gumbel son recomendables si el coeficiente de asimetría de los eventos registrados es cercano a 1.13.
- Para ajustar distribuciones de tres parámetros (Log Normal III, Log Pearson) se requiere estimar el coeficiente de asimetría de la distribución; para ello es necesario disponer de una serie con longitud de registros larga, mayor de 50 años, (Kite, 1988). Las distribuciones de dos parámetros son usualmente preferidas cuando se dispone de pocos datos, porque reducen la varianza de la muestra (Ashkar, et al. 1994).
- Para seleccionar la distribución de probabilidades adecuada se debe tratar de utilizar información adicional del proceso hidrológico que permita identificar la forma en que se distribuye la variable. Usualmente es muy difícil determinar las propiedades físicas de los procesos hidrológicos para identificar el tipo de distribución de probabilidad que es aplicable.

Cuando la información es adecuada el análisis de frecuencia es la metodología más recomendable para la evaluación de eventos extremos, ya que la estimación depende solamente de precipitaciones máximas anuales que han ocurrido en la cuenca y no da cuenta de los procesos de transformación de la precipitación en escorrentía.

- Obviamente tiene algunas limitaciones relacionadas con el comportamiento de la serie histórica y con el tamaño y calidad de los datos de la muestra.
- Cuando se presenten cambios o tendencias en la serie histórica se deben utilizar técnicas estadísticas que permitan removerlos para poder realizar el análisis de frecuencias (Kite, 1988; Mamdouh, 1993; Ashkar, et al. 1994).

- La selección inadecuada de la distribución de probabilidades de la serie histórica arrojará resultados de confiabilidad dudosa, (Ashkar, et al. 1994).
- El tamaño de la muestra influye directamente en la confiabilidad de los resultados, así a mayor período de retorno del estimativo mayor longitud de registros necesaria para mejor confiabilidad en los resultados.

4.9.2.1.1.2.- Posición de ploteo

Trabaja con la probabilidad de excedencia asignada a cada valor de la muestra. Se han propuesto numerosos métodos empíricos. Si n es el total de valores y m es el rango de un valor en una lista ordenada de mayor a menor (m=1 para el valor máximo) la probabilidad de excedencia se puede obtener por medio de las siguientes expresiones:

- ✓ California: $P = \frac{m}{n}$
- ✓ Weibull: $P = \frac{m}{n+1}$
- ✓ Hazen: $P = \frac{2m-1}{2n}$

Con las anteriores expresiones se halla lo que se conoce como la distribución empírica de una muestra, esta luego se puede ajustar a una de las distribuciones teóricas presentadas anteriormente. Los resultados pueden ser dibujados en el papel de probabilidad; este es diseñado para que los datos se ajusten a una línea recta y se puedan comparar los datos muéstrales con la distribución teórica (línea recta).

A continuación, se muestra el ajuste logrado con la Distribución Gumbel, utilizando los datos de precipitación máxima mensual en 24 horas.

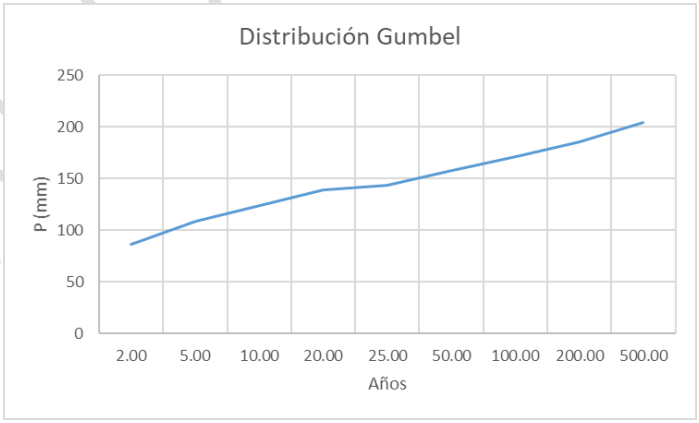


Ilustración No. 46 Distribución de Gumbel
Fuente: Consultoría

Se determina que para el presente estudio se tomarán los datos de precipitación obtenidos por la función de distribución Gumbel:

AÑO	P(mm)	Weibull	Orden	Px>X	F(x)	X(Gumbel)
1989	70.00	145.00	1	0.02778	0.97222	158.4909
1990	80.00	126.00	2	0.05556	0.94444	143.10796
1991	87.00	125.00	3	0.08333	0.91667	133.97192
1992	92.00	122.00	4	0.11111	0.88889	127.38847
1993	82.00	120.00	5	0.13889	0.86111	122.19955
1994	107.00	114.00	6	0.16667	0.83333	117.88901
1995	102.00	112.00	7	0.19444	0.80556	114.18124
1996	122.00	110.00	8	0.22222	0.77778	110.91144
1997	105.00	110.00	9	0.25000	0.75000	107.97306
1998	86.00	107.00	10	0.27778	0.72222	105.29302
1999	106.00	106.00	11	0.30556	0.69444	102.81895
2000	126.00	105.00	12	0.33333	0.66667	100.51183
2001	67.00	105.00	13	0.36111	0.63889	98.341733
2002	105.00	104.00	14	0.38889	0.61111	96.285024
2003	114.00	102.00	15	0.41667	0.58333	94.322585
2004	69.70	100.00	16	0.44444	0.55556	92.438575
2005	125.00	92.00	17	0.47222	0.52778	90.619561
2006	145.00	90.00	18	0.50000	0.50000	88.853873
2007	120.00	87.00	19	0.52778	0.47222	87.131115
2008	110.00	86.00	20	0.55556	0.44444	85.441769
2009	84.00	85.00	21	0.58333	0.41667	83.77686
2010	112.00	84.00	22	0.61111	0.38889	82.127646
2011	73.00	83.00	23	0.63889	0.36111	80.485303
2012	83.00	82.00	24	0.66667	0.33333	78.84059
2013	80.00	81.00	25	0.69444	0.30556	77.183428
2014	100.00	80.00	26	0.72222	0.27778	75.502366
2015	63.00	80.00	27	0.75000	0.25000	73.783811
2016	85.00	75.00	28	0.77778	0.22222	72.010891
2017	81.00	74.00	29	0.80556	0.19444	70.161614
2018	110.00	73.00	30	0.83333	0.16667	68.205728
2019	75.00	70.00	31	0.86111	0.13889	66.098869
2020	8.00	69.70	32	0.88889	0.11111	63.770528
2021	104.00	67.00	33	0.91667	0.08333	61.095451
2022	74.00	63.00	34	0.94444	0.05556	57.809222
2023	90.00	8.00	35	0.97222	0.02778	53.135666

36

Sx	24.60	
Sn	1.13126	Tabla
α	21.742	
Media	92.65	
yn	0.54105	Tabla
μ	80.885331	
Datos	35	

Ilustración No. 47 Parámetros de Gumbel
Fuente: Consultoría

De lo anterior se determina que para el presente estudio se tomarán los datos de precipitación obtenidos por la función de distribución Gumbel:

Tr(años)	Px>X	F(x)	X(Gumbel)
2.00	0.500	0.500	88.853873
5.00	0.200	0.800	113.49628
10.00	0.100	0.900	129.8117
20.00	**0.050**	**0.950**	**145.46184**
25.00	0.040	0.960	150.42627
50.00	**0.020**	**0.980**	**165.71934**
100.00	**0.010**	**0.990**	**180.89949**
200.00	0.005	0.995	196.02425
500.00	0.002	0.998	215.9785

Ilustración No. 48 Valores máximos de precipitación
Fuente: Consultoría

4.9.2.2.- Escorrentía

Para la determinación del caudal de diseño es necesario determinar inicialmente la escorrentía, la cual se puede definir como la cantidad de agua de una tormenta que drena o escurre sobre la superficie del suelo. Cuando se produce, fluye a los cauces incrementando su volumen; a medida que llega agua de las partes más lejanas comienza suavemente a decrecer el caudal al poco tiempo de terminada lluvia.

La escorrentía está en función de las precipitaciones máximas (P) y de la infiltración potencial (S), esta última a su vez depende del número de curva (CN). La ecuación que relaciona todas estas variables se muestran a continuación y está dada por la Soil Conservation Service:

$$E = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

Dónde:

P: Precipitación (mm).
S: Infiltración potencial (mm).

El valor de S es calculado de acuerdo a la siguiente expresión:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Dónde:

CN: Número de curva que depende de la cobertura del suelo en el área de drenaje.

Ilustración No. 49 Escorrentía

Fuente: US Soil Conservation Service (SCS)

4.9.2.3.- Número de curva

El número de curva depende de la cobertura del suelo en el área de drenaje y de la precipitación antecedente. La cobertura del suelo en el área de drenaje.

	Uso del suelo y cobertura	Tratamiento del suelo	Condición para la infiltración	Grupo hidrológico del suelo			
				A	B	C	D
ÁREAS URBANAS	**Residencial**[1]						
	Tamaño promedio del lote		% promedio de impermeabilidad [2]				
	0,05 ha o menor		65	77	85	90	92
	0,10 ha		38	61	75	83	87
	0,13 ha		30	57	72	81	86
	1 0,20 ha		25	54	70	80	85
	0,40 ha		20	51	68	79	84
	Parqueaderos pavimentados, techos, garajes, etc.			98	98	98	98
	Calles y carreteras:						
	Pavimentadas con sardineles y drenajes de aguas lluvias[3]			98	98	98	98
	En grava			76	85	89	91
	En tierra sin afirmar			72	82	87	89
	Áreas comerciales y de negocios		85% de impermeabilidad	89	92	94	95
	Zonas industriales		72% de impermeabilidad	81	88	91	93
	Espacios abiertos, prados, parques, campos de golf, cementerios, etc.						
	Buenas condiciones: cobertura de pasto en más del 75% del área			39	61	74	80
	Malas condiciones: cobertura de 1 pasto entre el 50% y 75% del área			49	69	79	84
ÁREAS NO URBANAS	Barbecho	Hileras rectas	Mala	77	86	91	94
	Cultivo en hileras	Hileras rectas	Mala	72	81	88	91
		Hileras rectas	Buena	67	78	85	89
		Líneas de nivel	Mala	70	79	84	88
		Líneas de nivel	Buena	65	75	82	86
		Terrazas a nivel	Mala	66	74	80	82
		Terrazas a nivel	Buena	62	71	78	81
	Cereales	Hileras rectas	Mala	65	76	84	88
		Hileras rectas	Buena	63	75	83	87
		Líneas de nivel	Mala	63	74	82	85
		Líneas de nivel	Buena	61	73	81	84
		Terrazas a nivel	Mala	61	72	79	82
		Terrazas a nivel	Buena	59	70	78	81
	Leguminosas o praderas con rotación***	Hileras rectas	Mala	66	77	85	89
		Hileras rectas	Buena	58	72	81	85
		Líneas de nivel	Mala	64	75	83	85
		Líneas de nivel	Buena	55	69	78	83
		Terrazas a nivel	Mala	63	73	80	83
		Terrazas a nivel	Buena	51	67	76	80
	Pastizales	-	Mala	68	79	86	89
		-	Regular	49	69	79	84
		-	Buena	39	61	74	80
		Líneas de nivel	Mala	47	67	81	88
		Líneas de nivel	Regular	25	59	75	83
		Líneas de nivel	Buena	6	35	70	79
	Pradera permanente	--	--	30	58	71	78
	Bosques naturales	--	Mala	45	66	77	83
		--	Regular	36	60	73	79
		--	Buena	25	55	70	77
	Hacienda	--	--	59	74	82	86

(1) Los números de curva son calculados asumiendo que la escorrentía desde la casa y el garaje es dirigida hacia la calle con un mínimo de agua del techo dirigida hacia el prado donde puede ocurrir infiltración.
(2) La condición para estos números de curva es que las áreas permeables adicionales (prados) son consideradas sembradas con pastos de buena condición.
(3) Sembradas en conjunto.

Ilustración No. 50 CN

Fuente: Hidrología e hidráulica Aplicada. Bernardo Díaz

La pertenencia a un grupo hidrológico, ya sea A, B, C o D, depende del potencial de escorrentía del suelo, como se muestra a continuación:

Tipo de suelo	Característica (Potencial de escorrentía)
A	Bajo
B	Moderadamente bajo
C	Moderadamente alto
D	Alto

Fuente: Hidrología en la ingeniería, German Monsalve Sáenz.

Ilustración No. 51 Condición hidrológico de los suelos

Para el uso del suelo de acuerdo al método Corine Land Cover, la zona del proyecto presenta cobertura vegetal predominante de áreas agrícolas heterogéneas, y pastos.

Según lo anterior el suelo corresponde a Pradera Permanente, **Grupo Hidrológico C**, con valor de **CN igual a 42.**

TRAMO	ARROYO	UBICACIÓN SOBRE LA VÍA	L	t1	d	tp	CN	S	E	qp
			m	min	min	hr		mm	mm	m3/s
1	1	KM00+229.92	399.740	18.761	4.159	0.347	42	350.762	11.200	9.888
	2	KM00+863.43	456.420	11.763	2.607	0.218				3.751
	3	KM01+164.38	438.250	17.657	3.914	0.327				7.008

Ilustración No. 52 Caudales Método Hidrograma Unitario Triangular
Fuente: Consultoría

A continuación, se relaciona los caudales asumidos, debido a que la consultoría efectuó la evaluación por dos métodos y asumiendo el caudal mayor arrojado:

TRAMO	ARROYO	UBICACIÓN SOBRE LA VÍA	COORDENADAS Colombia West zone MAGNA-SIRGAS				AREA DE DRENAJE			Qasum
			ESTE (X)	NORTE (Y)	LONGITUD	LATITUD	m2	Km2	Ha	m3/s
1	1	KM00+229.92	4629485.395	2530710.045	76° 22' 06.57"	8° 47' 15.81"	1472161.000	1.472	147.216	13.427
	2	KM00+863.43	4629014.704	2530316.967	76° 22' 21.85"	8° 47' 02.89"	350166.000	0.350	35.017	4.033
	3	KM01+164.38	4628978.062	2530037.199	76° 22' 22.96"	8° 46' 53.78"	981926.000	0.982	98.193	9.232

Ilustración No. 53 Caudales Asumidos
Fuente: Consultoría

5.- ASPECTOS HIDRÁULICOS DE LAS OBRAS DE DRENAJES

Existen numerosos programas para modelar las condiciones hidráulicas y morfológicas en ríos; dichos programas varían en el grado de sofisticación y fiabilidad. La ciencia de la modelación numérica está progresando rápidamente haciendo que nuevos programas remplacen a los ya obsoletos. Los programas para modelación pueden clasificarse dependiendo de qué calculan, cuántas dimensiones son usadas y particularidades de los métodos numéricos empleados, lo que hace que muchos de ellos sean para aplicaciones muy específicas.

Para la simulación se utilizará el modelo matemático HY-8 recomendado por el Manual de Drenaje del Invias del año 2011, el cual es un paquete integrado de programas de análisis hidráulico desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, que efectúa los cálculos de perfiles de la superficie de agua para flujos gradualmente variados y permanentes.

Para el manejo del modelo matemático es necesario ingresar al programa los datos de geometría y los datos de flujo del sistema. Para los datos geométricos del sistema se introducirán al programa los datos de las secciones transversales (secciones hidráulicas), tomadas en campo y debidamente procesadas, para cada uno de los sitios de cruce en las zonas de estudio.

El primer paso para la conformación del modelo hidráulico, se constituye en establecer la geometría de la corriente superficial. Los datos geométricos fundamentales son las diversas secciones transversales a lo largo del canal considerado; dichas secciones se introducen mediante cotas de varios puntos a lo largo de la sección y mediante la cota de dos secciones contiguas, separadas por una distancia conocida; el modelo calcula la pendiente de ese tramo.

Para todas las secciones se definirán los coeficientes de rugosidad de Manning, las orillas del canal y las distancias entre las secciones tanto por el eje del canal principal como por las orillas.

La metodología descrita, se desarrolló a través del software de modelación de HY-8, el cual proporciona datos específicos del comportamiento de caudal dentro de un box-culvert. Los datos de entrada necesarios para la modelación hidráulica corresponden a caudal, geometría, valores de Manning, y valores de contracción y expansión determinados por el programa.

La ecuación de Manning es el resultado del proceso de un ajuste de curvas, y por tanto es completamente empírica en su naturaleza. Debido a su simplicidad de forma y a los resultados satisfactorios que arroja para aplicaciones prácticas, la fórmula Manning se ha hecho la más usada de todas las fórmulas de flujo uniforme para cálculos de escurrimiento en canal abierto.

ACOSTA I.C.

Los coeficientes Manning se tomaron de acuerdo a la siguiente tabla:

	Coeficiente de Manning
Cunetas y canales sin revestir	
En tierra ordinaria, superficie uniforme y lisa	0,020-0,025
En tierra ordinaria, superficie irregular	0,025-0,035
En tierra con ligera vegetación	0,035-0,045
En tierra con vegetación espesa	0,040-0,050
En tierra excavada mecánicamente	0,028-0,033
En roca, superficie uniforme y lisa	0,030-0,035
En roca, superficie con aristas e irregularidades	0,035-0,045
Cunetas y Canales revestidos	
Hormigón	0,013-0,017
Hormigón revestido con gunita	0,016-0,022
Encachado	0,020-0,030
Paredes de hormigón, fondo de grava	0,017-0,020
Paredes encachadas, fondo de grava	0,023-0,033
Revestimiento bituminoso	0,013-0,016
Corrientes Naturales	
Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura de lamina de agua suficiente	0,027-0,033
Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura de lamina de agua suficiente, algo de vegetación	0,033-0,040
Limpias, meandros, embalses y remolinos de poca importancia	0,035-0,050
Lentas, con embalses profundos y canales ramifi- cados	0,060-0,080
Lentas, con embalses profundos y canales ramifi- cados, vegetación densa	0,100-0,200[1]
Rugosas, corrientes en terreno rocoso de montaña	0,050-0,080
Areas de inundación adyacentes al canal ordinario	0,030-0,200

Ilustración No. 54 Coeficiente de Manning
Fuente: Hidrología e hidráulica Aplicada. Bernardo Díaz

El coeficiente de Manning adoptado es de **0.013,** éste corresponde a hormigón con superficie regular.

5.1.- EVALUACIÓN HIDRAULICA DE BOX-COULVERT 001 (Q < 15 m3/s)

Los resultados de la modelación en el programa HY-8 para el caudal crítico de este rango 13.427 m3/s, se muestran a continuación:

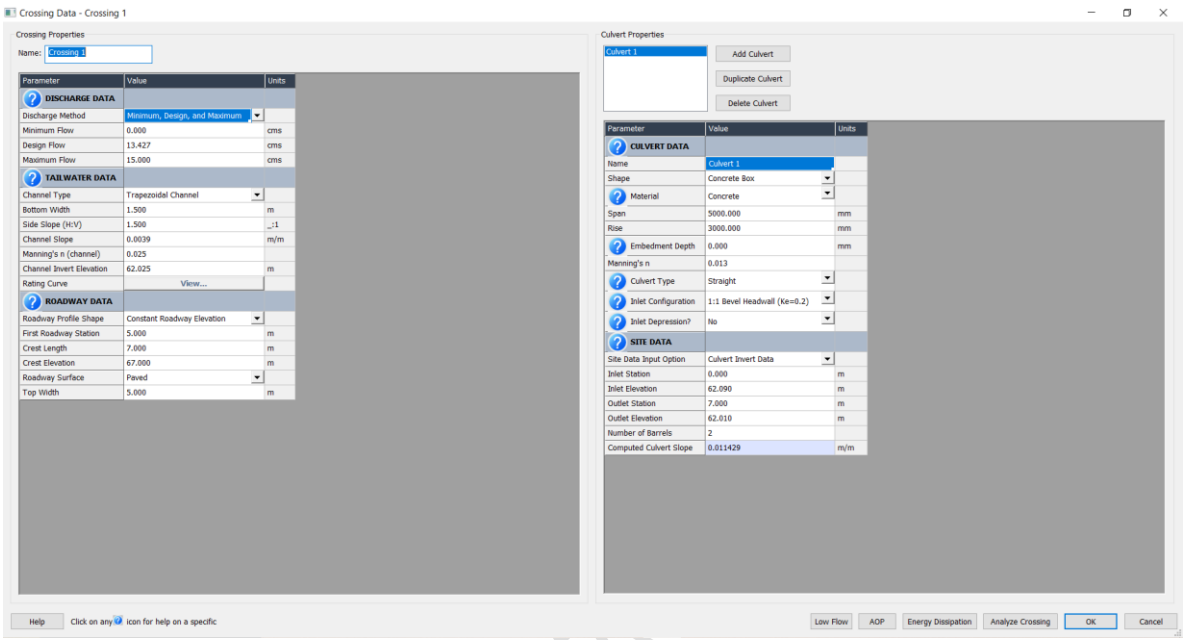


Ilustración No. 55 Box-culvert 5.00 m x 3.00 m x 7.00 m
Fuente: Consultoría

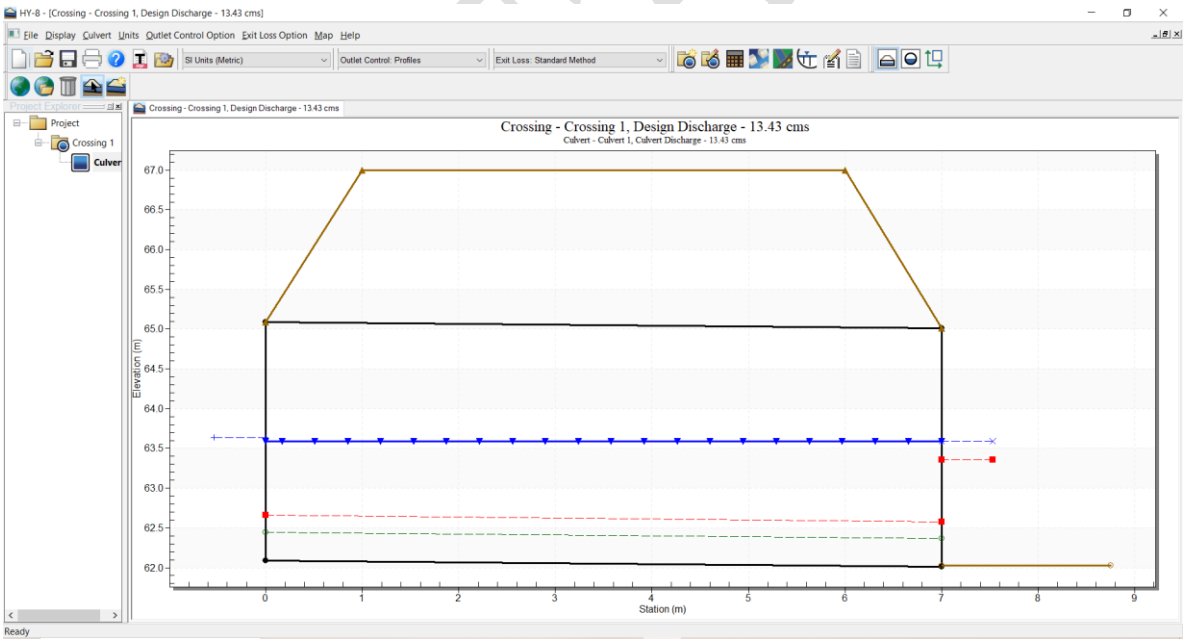


Ilustración No. 56 Comportamiento Hidráulico
Fuente: Consultoría

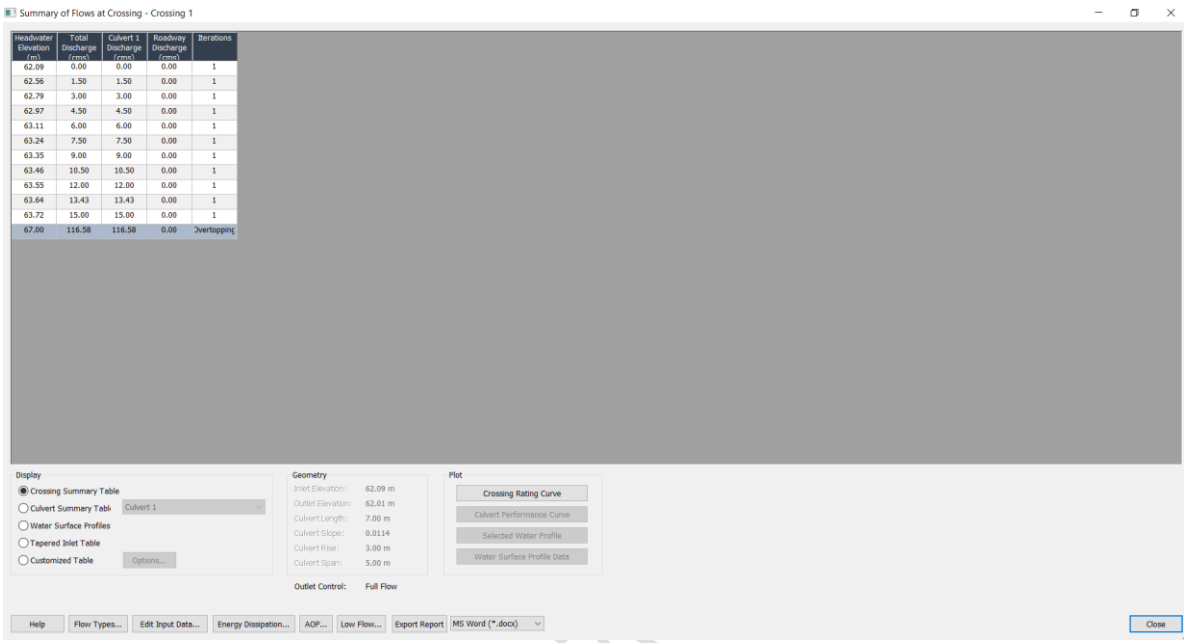


Ilustración No. 57 Flujo
Fuente: Consultoría

De acuerdo a lo anterior se requiere un Box-culvert 5.00 m x 3.00 m x 7.00 m, en todos los tramos de los arroyos #1.

5.2.- EVALUACIÓN HIDRAULICA DE BOX-COULVERT 002 (Q < 5 m3/s)

Los resultados de la modelación en el programa HY-8 para el caudal crítico de este rango 4.033 m3/s, se muestran a continuación:

ACOSTA

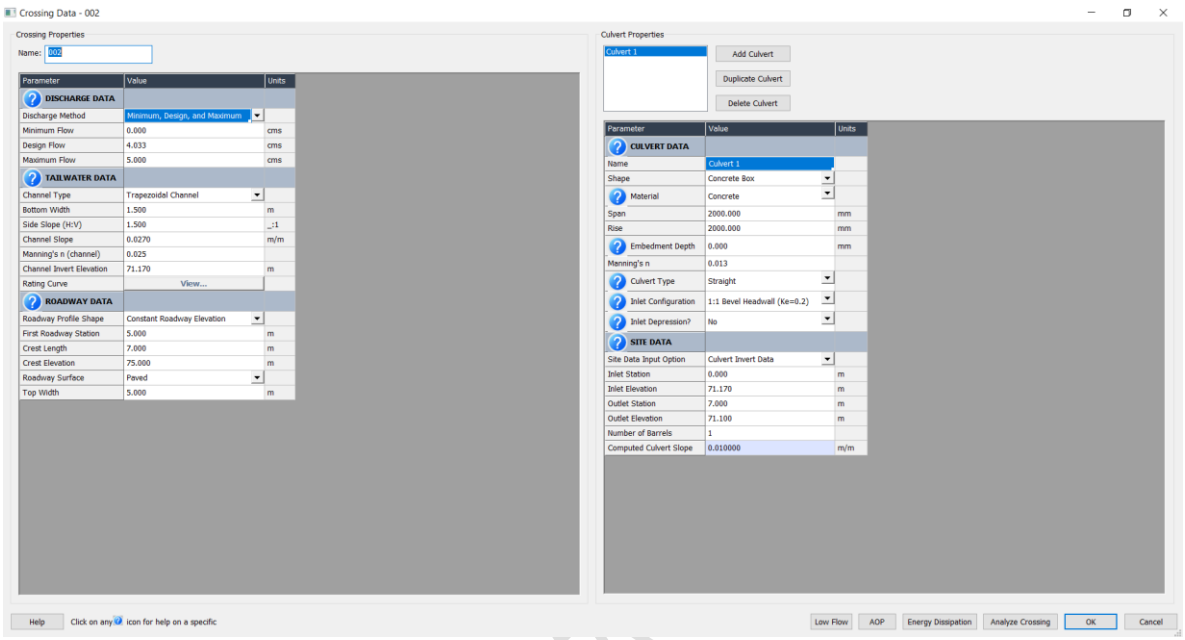


Ilustración No. 58 Box-culert 2.00m x 2.00m x 7.00 m
Fuente: Consultoría

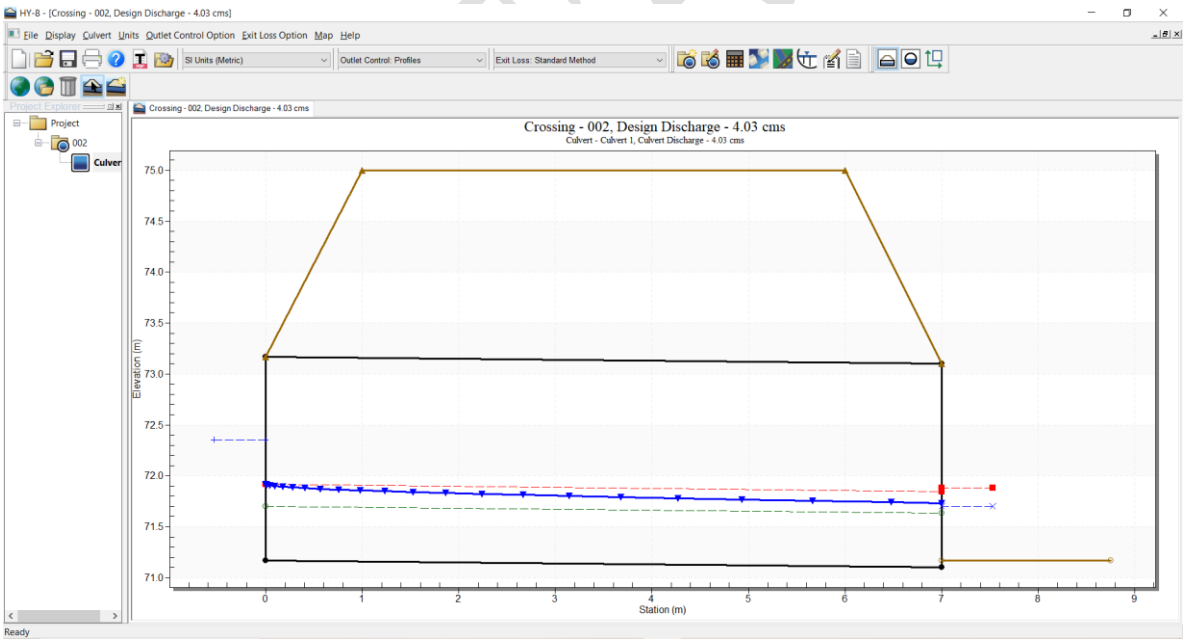


Ilustración No. 59 Comportamiento hidraulico
Fuente: Consultoría

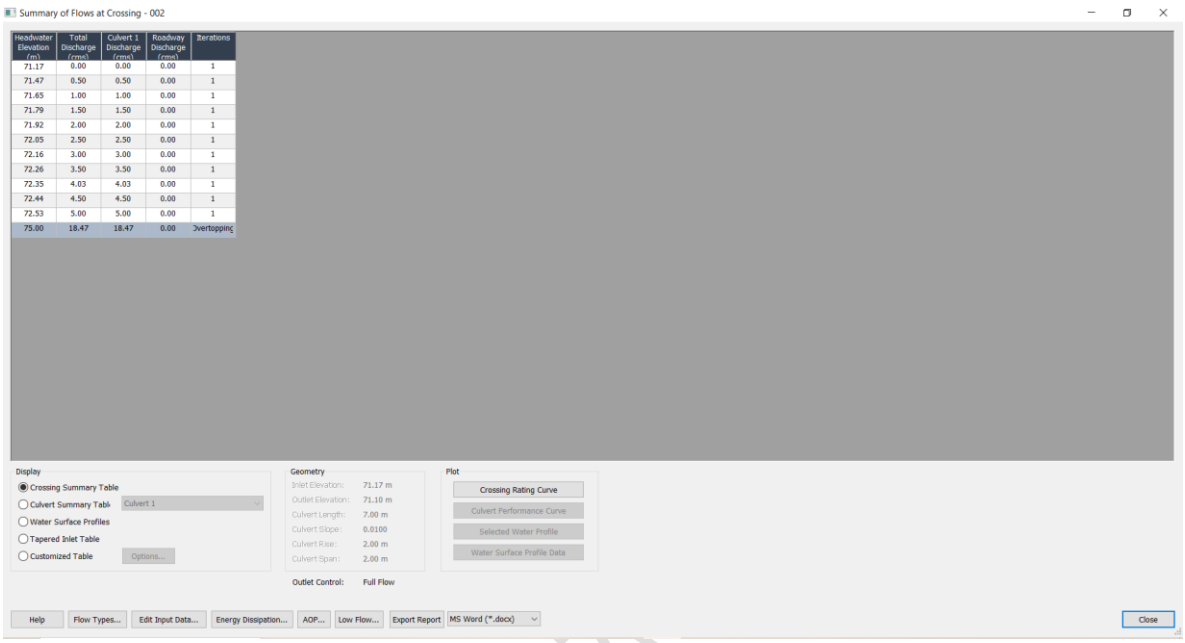


Ilustración No. 60 Flujo
Fuente: Consultoría

De acuerdo a lo anterior se requiere un Box-culvert 2.00 m x 2.00 m x 7.00 m, en todos los tramos de los arroyos #002.

5.2.- EVALUACIÓN HIDRAULICA DE BOX-COULVERT 003 (Q < 10 m3/s)

Los resultados de la modelación en el programa HY-8 para el caudal crítico de este rango 9.232 m3/s, se muestran a continuación:

ACOSTA

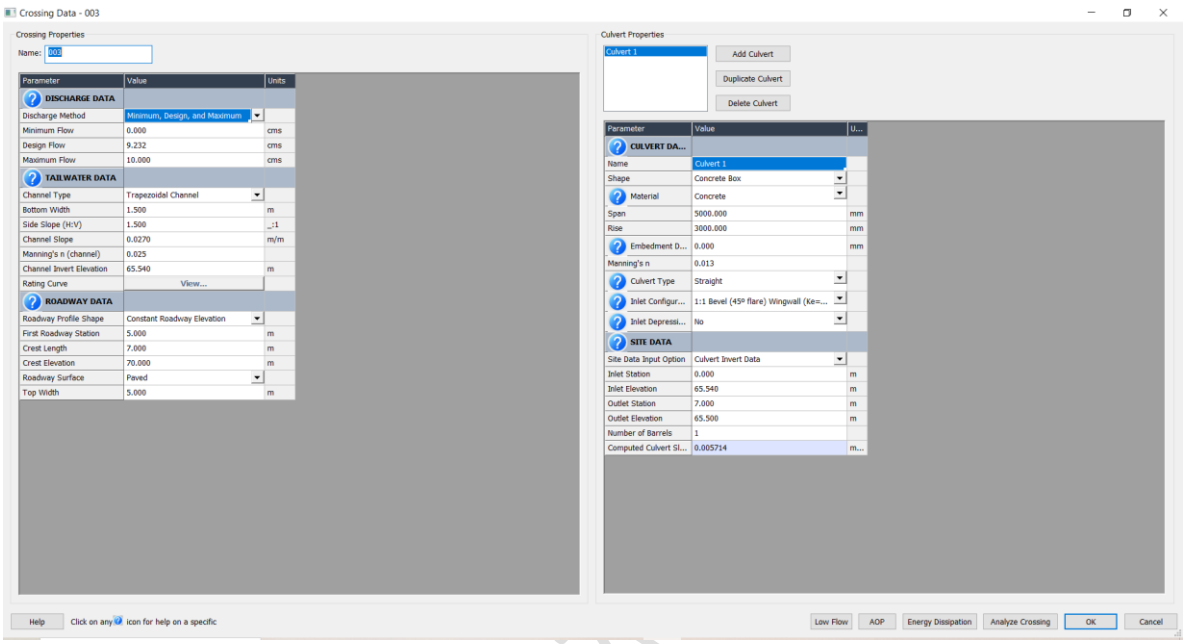


Ilustración No. 58 Box-culert 5.00m x 3.00m x 7.00 m
Fuente: Consultoría

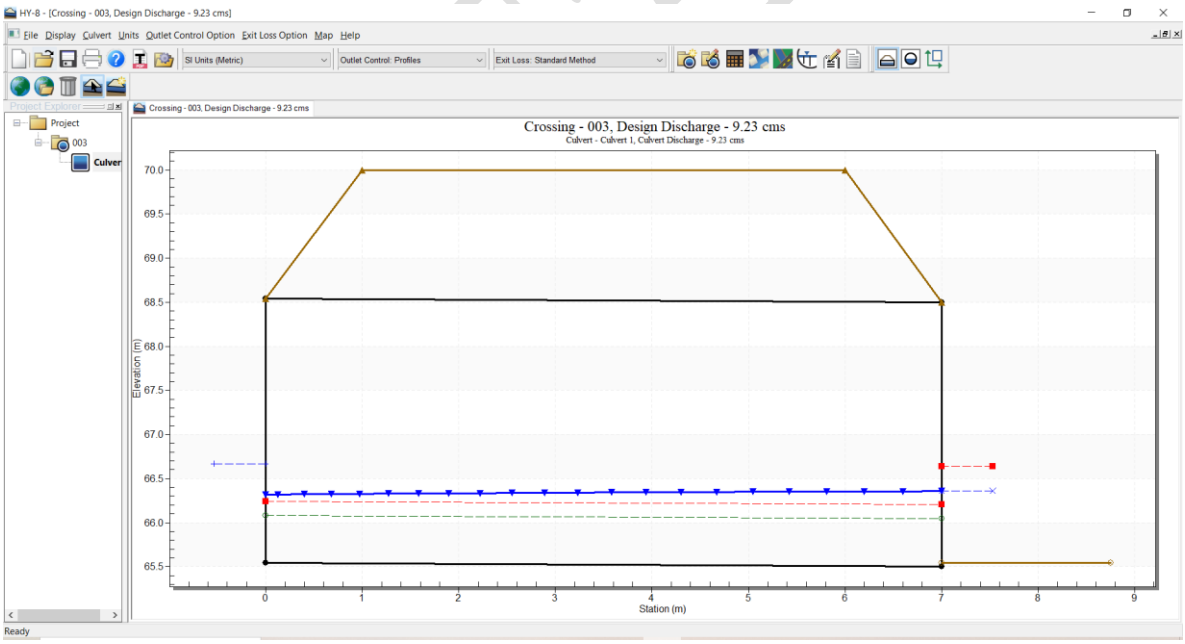


Ilustración No. 59 Comportamiento hidraulico
Fuente: Consultoría

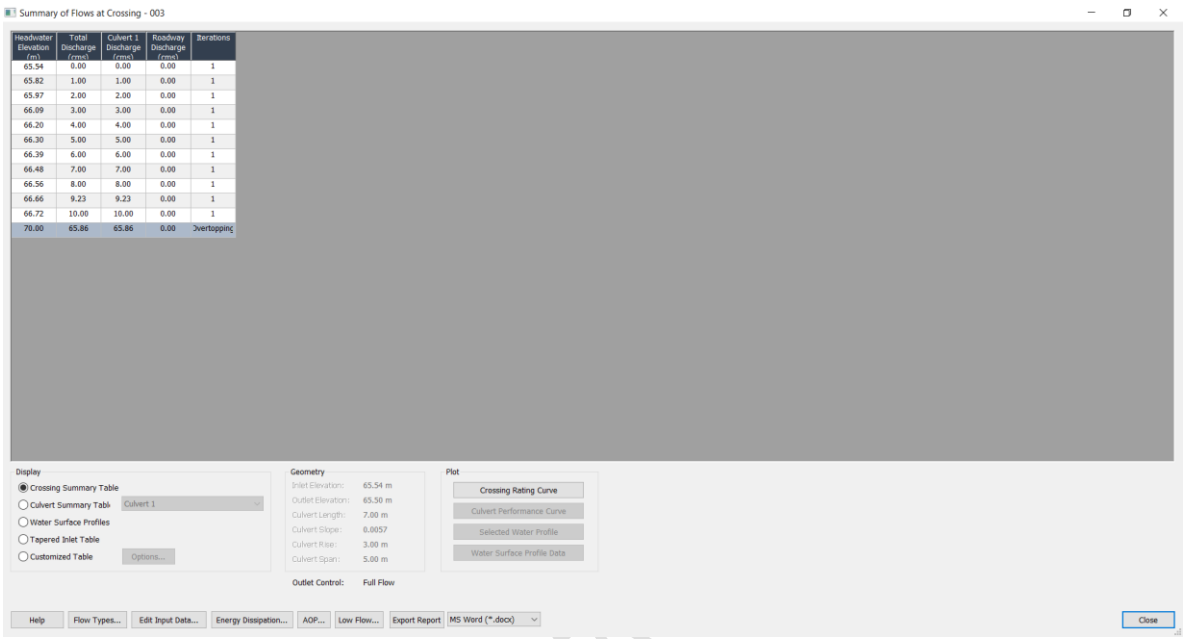


Ilustración No. 60 Flujo
Fuente: Consultoría

5.9.- RESULTADOS DE MODELACIÓN – RESUMEN

A continuación, se relaciona las obras de drenajes propuestas para cada sitio de acuerdo a sus características de terreno y por el área de flujo calculada:

TRAMO	ARROYO	Qasum	COTA		Area de Fujo	Box-culvert Propuesto		
			Fondo	NMA		Ancho	Altura	Longitud
		m3/s	msnm	msnm	m2	m	m	m
1	1	13.427	62.820	62.710	15.000	5.000	3.000	7.000
	2	4.033	77.870	72.170	4.000	2.000	2.000	7.000
	3	9.232	67.040	67.410	15.000	5.000	3.000	7.000

Ilustración No. 64 Resumen
Fuente: Consultoría

6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este informe se realiza dado que se tiene la necesidad de construir obras de drenaje sobre la vía que conduce de CORREGIMIENTO DE JALISCO Y APARTADA DE LA VÍA MONTERÍA - ARBOLETES, Municipio de LOS CORDOBAS (Córdoba), debido a que los pobladores del corregimiento aledaños, tienen inconvenientes para trasladarse al casco urbano por no tener obras de drenajes que permita el paso vehicular por este punto. Esta situación está creando problemas económicos y de movilidad en la región.

A raíz de la necesidad, la Alcaldía Municipal vio la necesidad de formular los estudios y diseños para la construcción de obras de drenaje. En este informe se presentan todos los estudios hidrológicos e hidráulicos para tener en cuenta en los cálculos geotécnicos y estructurales de las obras de drenaje.

Inicialmente se realizó un levantamiento topográfico de los veintiocho (28) puntos y/o arroyos a intervenir. Se obtuvieron secciones transversales cada 20 m, para un total de 60 secciones en promedio. Estas secciones sirvieron para implementar la geometría del tramo de cada arroyo en un modelo hidráulico para simular las condiciones actuales del flujo.

Seguidamente se realizó un modelo hidrológico con el fin de obtener los caudales de aporte de la cuenca que drena a cada arroyo. Para ello se utilizó la información de precipitación de la Estación canalete (Elaborada por la consultoría), adquirida en el IDEAM. El área de la cuenca fue calculada mediante el uso de un sistema de información geográfico. Los valores que se pudieron extraer del SIG fueron:

TRAMO	ARROYO	UBICACIÓN SOBRE LA VÍA	COORDENADAS			
			Colombia West zone MAGNA-SIRGAS			
			ESTE (X)	NORTE (Y)	LONGITUD	LATITUD
1	1	KM00+229.92	4629485.395	2530710.045	76° 22' 06.57"	8° 47' 15.81"
	2	KM00+863.43	4629014.704	2530316.967	76° 22' 21.85"	8° 47' 02.89"
	3	KM01+164.38	4628978.062	2530037.199	76° 22' 22.96"	8° 46' 53.78"

Los caudales se calcularon utilizando la metodología del hidrograma unitario triangular desarrollado por el US Soil Conservation Service (SCS) y método racional. Los valores de caudales calculados para los diferentes períodos de retorno se resumen a continuación:

TRAMO	ARROYO	UBICACIÓN SOBRE LA VÍA	COORDENADAS				AREA DE DRENAJE			Qasum
			Colombia West zone MAGNA-SIRGAS							
			ESTE (X)	NORTE (Y)	LONGITUD	LATITUD	m2	Km2	Ha	m3/s
1	1	KM00+229.92	4629485.395	2530710.045	76° 22' 06.57"	8° 47' 15.81"	1472161.000	1.472	147.216	13.427
	2	KM00+863.43	4629014.704	2530316.967	76° 22' 21.85"	8° 47' 02.89"	350166.000	0.350	35.017	4.033
	3	KM01+164.38	4628978.062	2530037.199	76° 22' 22.96"	8° 46' 53.78"	981926.000	0.982	98.193	9.232

De acuerdo con los lineamientos del Manual de Drenaje de Carreteras del INVIAS se establecieron las siguientes directrices:

- El gálibo del box debe ser como mínimo de 0.30 m.

- El período de retorno de diseño de alcantarillas mayores a 0.90 m debe ser de 20 años

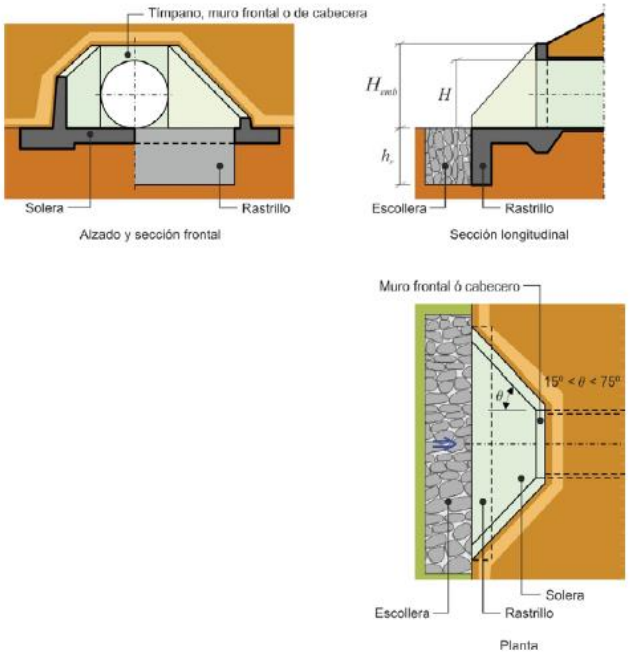
Se implementó un modelo hidráulico en el software H-Y8 utilizando la información topográfica de campo. El modelo se corrió con los caudales calculados y se estableció el nivel de aguas máximas para el diseño estructural del box. Se corrió el modelo en dos escenarios, el primero simulando condiciones actuales de los arroyos y el segundo simulando la existencia de box. Se calcularon todas las propiedades hidráulicas y se extrajo la siguiente información, que es necesaria para los cálculos estructurales:

TRAMO	ARROYO	Qasum	COTA		Area de Fujo	Box-culvert Propuesto		
			Fondo	NMA		Ancho	Altura	Longitud
		m3/s	msnm	msnm	m2	m	m	m
1	1	13.427	62.820	62.710	15.000	5.000	3.000	7.000
	2	4.033	77.870	72.170	4.000	2.000	2.000	7.000
	3	9.232	67.040	67.410	15.000	5.000	3.000	7.000

De acuerdo con las modelaciones realizadas, se concluye que:

- Los caudales de diseño han sido obtenidos para un periodo de retorno de 20.00 años.
- La vía drenará en su totalidad a lo largo de la vía.
- Se debe realizar mantenimiento continuo a las estructuras hidráulicas proyectadas con el fin de evitar acumulación de residuos que afecten las condiciones de flujo.
- La recolección de las aguas se controlará por medio de cunetas (Como lo indica la GUIA DE PAVIMENTOS CON PLACA HUELLA) y ellas entregaran (descole) en los puntos indicados a un escollera (pedraplen) (ver ilustración) que conduce las aguas al terreno natural o los predios de fincas existentes a lo largo de la vía.

ACOSTA I.C.



Escollera a la salida y entrada de las Alcantarillas a proyectar

Atentamente,

MIGUEL FERNANDO ACOSTA MERCADO
C. C No. 10.932.128 de Montería
Mat. Prof. No. 222020-91747 COR

Dirección: Carrera 10 No. 43 – 05 Montería (Córdoba)
E-mail: miguelacostamercado@gmail.com
Móvil: 300 393 05 08