Estudios hidrológicos de Diseño Final para el Mejoramiento de Caminos Vecinales del Tramo 02B Estancia San Rafael (Km 42) – José Félix López en el Departamento de Concepción.

1. Objetivo y alcance

El presente estudio tiene como objetivo la revisión de los caudales de diseño de obras para el desagüe pluvial de las obras viales. Para ello se definen las áreas de las cuencas hidrológicas de obras proyectadas, y el cálculo de caudal máximo para la verificación de dimensionamiento de obras de drenaje de proyecto vial. El proyecto analizado; Diseño Final para el Mejoramiento de Caminos Vecinales del Tramo 02B Estancia San Rafael (Km 42) – José Félix López en el Departamento de Concepción.

2. Área de Estudio

Lote 2 del Tramo 02B Estancia San Rafael (Km 42) – José Félix López en el Departamento de Concepción. Verificación de obras de alcantarillas proyectadas desde proyectada 50+520 a 79+213, correspondientes al Lote 2 adjudicado.

3. Resumen de Metodologia de Estudio

3.1. Datos Topográficos

- Utilización del Modelo Digital de Elevación (MDE) obtenido a partir del radar topográfico Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), con resolución espacial de 90 metros. Se destaca que, aunque el MDE obtenido a partir de The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) posee una mayor resolución de 30 metros para la región donde se encuentra el área de estudio, se considera con mayor error en el dato vertical, en comparación al anterior. Variable clave para la definición del área de influencia y red de drenaje superficial. Por lo tanto, se decide usar SRTM.
- Determinación de área de aporte de zona de estudio, a partir de visualización de zonas de mayor elevación y zonas bajas de posible flujo de agua.
- Reacondicionamiento y procesamiento de MDE en el área de estudio.
- Determinación de cuencas naturales interceptadas en el área de estudio. Delineamiento del área de contribución de cada obra de alcantarilla proyectada, teniendo en cuenta la intersección y redirección del flujo de agua causante por el proyecto.
- Caracterización del régimen de precipitaciones utilizando la ecuación de curvas de Intensidad-Duración - frecuencia (IDF) desarrollada por Cuevas-Rolón 2009, contando con 39 años de datos de precipitación de la estación meteorológica Concepción, manejada por el departamento de Meteorología e Hidrología de la Dirección Nacional de Aeronáutica Civil (DINAC).
- Cálculo de caudales de alcantarillas proyectadas por medio del Método Racional.

4. Metodología

4.1. Datos Topográficos

A continuación, se detallan las especificaciones técnicas del producto.

Tabla 1. Especificaciones técnicas DEM SRTM. Fuente: (USGS EROS Archive - Digital Elevation - Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global, 2017).

Proyección	Geográfica
Dato Horizontal	WGS84
Dato Vertical	EGM96
Resolución Espacial	3-arc-seconds para cobertura global (90 m)
Tamaño de ráster	1 grado tiles
Ancho de onda de banda c	5.6 cm
Año de toma de datos	2000

Se especifica que los análisis de terreno, y reacondicionamiento del MDE fueron procesados utilizando los softwares de geoprocesamiento QGIS 3.6 y SAGA GIS 2.3.2. Se describen los procedimientos realizados:

- Remoción de depresiones y picos a través del reacondicionamiento del MDE. Procedimiento realizado para análisis y determinación del régimen hidrológico del área de estudio.

- Definición de curvas de nivel para el análisis del flujo del drenaje.

4.2. Determinación de área de aporte de zona de estudio

Análisis visual de posible termino de cuenca natural, para el procesamiento de acuerdo con los limites naturales de drenaje, en contraste con los limites políticos barriales del área de estudio. Archivo shapefile proveído por la Dirección General de Estadísticas, Encuestas y Censos (DGEEC).

4.3. Determinación de red de drenaje y Delimitación de Cuencas Hidrológicas

Se describen los procedimientos realizados para la determinación de red de drenaje y posterior delimitación de cuencas hidrológicas influyentes:

- La determinación de la red de drenaje pluvial fue realizada a partir del procesamiento del dato topográfico MDE anterior.
- Cálculo de red de drenaje del área de estudio.
- Procesamiento de dirección de flujo de agua, determinación de red de drenaje y delimitación de cuencas hidrográficas naturales utilizando los softwares de geoprocesamiento QGIS 3.6 y SAGA GIS 2.3.2.
- Verificación de correcta determinación de red de drenaje a partir de la comparación con archivo shapefile de la hidrología existente en la ciudad de Concepción proveído por DGEEC.
- Modificación de cuencas hidrológicas naturales teniendo en cuenta las vías principales y secundarias del área de estudio. Archivo obtenido también de DGEEC. Se resalta que, la delimitación de cuencas no se encuentra altamente modificada ya que la zona de estudio no cuenta con grandes cantidades de zona urbana, por lo que aún se conserva aún el terreno natural. Sin embargo, si se consideran las modificaciones en el cambio del flujo y área de influencia de la obra vial en construcción.
- Selección de cuencas que interceptan la obra vial, con cálculo de área de drenaje en alcantarillas proyectadas.

4.4. Caracterización del Régimen de Precipitaciones

Con el fin de caracterizar la distribución temporal de la lluvia en el área de estudio, se utilizó la ecuación IDF de la estación Concepción manejada por el departamento de Meteorología e Hidrología de la Dirección Nacional de Aeronáutica Civil (DINAC). La ecuación se detalla en Ec. 1, descrita a continuación;

$$I = \frac{1533.69 * Tr^{0.20293}}{(14+t)^{0.82081}} (Ec.1)$$

Donde;

I es la intensidad de la lluvia [mm/h]

Tr es el periodo de retorno [min]

t es la duración de la tormenta [min]

La selección de la intensidad de lluvia de cada cuenca hidrológica se realizó de acuerdo al cálculo del tiempo de concentración (Tc) de la misma, y el periodo de retorno seleccionado para el diseño de proyecto.

- La caracterización morfológica de las cuencas es descripta a través del tiempo de concentración. Este parámetro incide de manera indirecta en el cálculo de los caudales. Existen diferentes ecuaciones, para este estudio se utilizaron las de Kirpich y la de DNOS del Manual de Hidrología Básica para Estructuras de drenaje del Ministerio de Infraestructura y Transporte del Brasil. A partir de los resultados obtenidos, se optó utilizar la ecuación de DNOS que arrojaba valores de mayor concordancia. La ecuación se describe en Ec. 2 que se muestra a continuación.

$$Tc = \frac{10}{k} * \frac{A^{0.3} L^{0.2}}{i^{0.4}} (Ec.3)$$

CONSORCIO CCI
RUC: 80109205-1

Ing. Civil Jorge M. Villalba R.D.
Fiscal de Obras

Donde;

Tc es el tiempo de concentración [min]

L es la longitud de la red de drenaje [km]

A es el area de la cuenca [ha]

i es la pendiente media de la cuenca [%]

- La longitud de la red de drenaje fue medida con relación al punto más alejado de cada cuenca.
- La Pendiente de cada cuenca fue calculada con un promedio estadístico. Así como también, éstas fueron comparadas con las elevaciones máximas y mínimas registradas en cada cuenca.
- El periodo de retorno es establecido dependientemente al tipo de obra hidráulica a dimensionar. A continuación, se describen los diferentes periodos de retorno descriptos en el manual de carreteras del Paraguay.

Tabla 2. Periodo de retorno dependiendo del tipo de obra. Fuente: Manual de Carreteras del Paraguay.

Tipo de Obra	Tr
Obras de Drenajes Superficiales	5 años
Alcantarillas de Hormigón	25 años
Puentes de Hormigón Armado	100 años

Con lo descripto anteriormente, se seleccionó el periodo de retorno de 25 años para la revisión de este estudio.

4.5. Método Racional

Los caudales fueron calculados a partir de las dimensiones de las cuencas hidrológicas. Acorde a la ecuación Ec. 3., descrita a continuación;

$$Q = \frac{CIA}{360} (Ec.3)$$

Donde;

Q es el caudal [m3/s]

C es el coeficiente de escorrentía [adimensional]

I es la intensidad de la lluvia [mm/h]

A es el área de la cuenca contribuyente [ha]

El coeficiente de escorrentía es la proporción de agua que escurre en la cuenca. Es un coeficiente estimado que depende del tipo y uso de suelo, que modifica el escurrimiento y la infiltración del agua en la cuenca.

Tabla 3. Coeficientes de escorrentía (c) para T = 10 años. Fuente: Manual de Carreteras del Paraguay.

Factor	Extremo	Alto	Normal	Bajo
Relieve	0,28-0,35 Escarpado con pendientes mayores que 30%.	Escarpado con pendientes mayores que 30%.	0,14-0,20 Con cerros y pendientes entre 5 y 10%	0,08-0,14 Relativamente plano con pendientes menores al 5%.
Infiltración	0,12-0,16 Suelo rocoso, o arcilloso con capacidad de infiltración despreciable.	0,08-0,12 Suelos arcillosos o limosos con baja capacidad de infiltración, mal drenados.	Normales, bien drenados, textura mediana, limos arenosos, suelos arenosos.	0,04-0,06 Suelos profundos de arena u otros suelos bien drenados con alta capacidad de infiltración.

CONSORCIO CCI
RUC: 80109205-1

15 (30 DIN CE)

Ing. Civil Jorge M. Villalba R.D.

Cobertura Vegetal	0,12-0,16 Cobertura escasa, terreno sin vegetación o escasa cobertura.	0,08-0,12 Poca vegetación, terrenos cultivados o naturales, menos del 20% del área con buena cobertura.	0,06-0,08 Regular a buena;50% del área con praderas o bosques, no más del 50% cultivado.	0,04-0,06 Buena a excelente; 90% del área con praderas, bosques o cobertura equivalente.
Almacenamiento superficial	0,10-0,12 Despreciable, pocas depresiones superficiales, sin zonas húmedas.	0,08-0,10 Baja, sistema de cauces superficiales pequeños bien definidos, sin zonas.	0,06-0,08 Normal; posibilidad de almacenamiento buena, zonas húmedas, pantanos, lagunas y lagos.	0,04-0,06 Capacidad alta, sistema hidrográfico poco definido, buenas planicies de inundación o gran cantidad de zonas húmedas, lagunas o pantanos.
Si T>10 años amplificar el resultado por: T=25; Cx1.10, T = 50; C x 1,20, T = 100; C x 1,25				

Para este estudio fue utilizado la taxonomía del suelo de caracterizado en el proyecto de Racionalización del Uso de la tierra PRUT por el Ministerio de Agricultura y ganadería (MAG). Además, para la caracterización del uso del suelo fue utilizado el Mapa de Ordenamiento Territorial del mismo proyecto.

5. Descripción de Resultados

5.1. Datos Topográficos

En la figura 1 se puede visualizar el mapa del MDE de SRTM del área de estudio, con las progresivas de la obra vial, las alcantarillas proyectadas en contraste con las curvas de nivel generadas a partir del MDE.

Modelo Digital de Elevacion SRTM

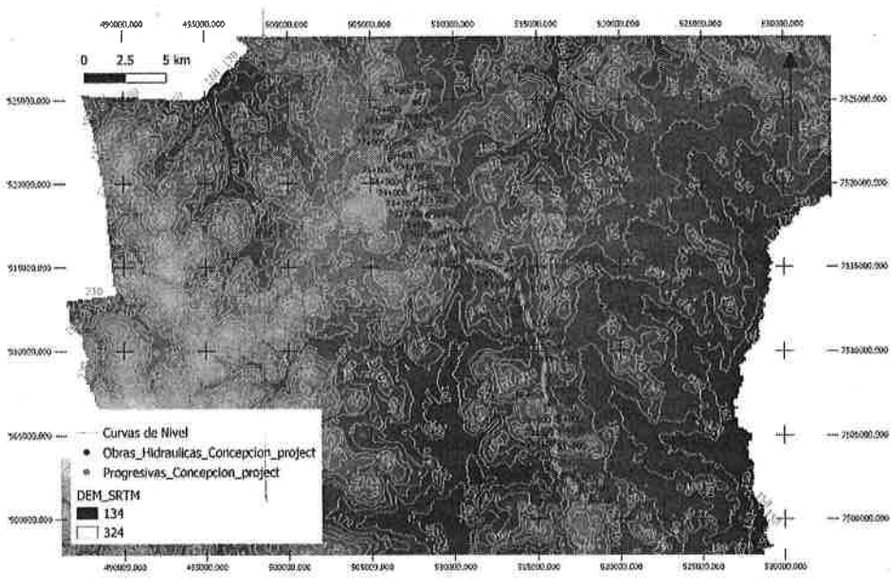

Figura 1. Mapa de Modelo Digital de Elevación del Área de Estudio.

5.2. Determinación de red de drenaje y Delimitación de Cuencas Hidrológicas

En la figura 2, se puede visualizar el mapa de la red de drenaje natural derivada a partir del MDE en contraste con las cuencas hidrológicas aportantes a las alcantarillas proyectadas. Se señala que las cuencas resultantes, ya se encuentran modificadas teniendo en cuenta las obras que redireccionan el flujo del agua y cambian el área de contribución.

CONSORCIO CCI
RUC: 80109205-1

Ing. Civil Jorge M. Villalba R.D.
Fiscal de Obras

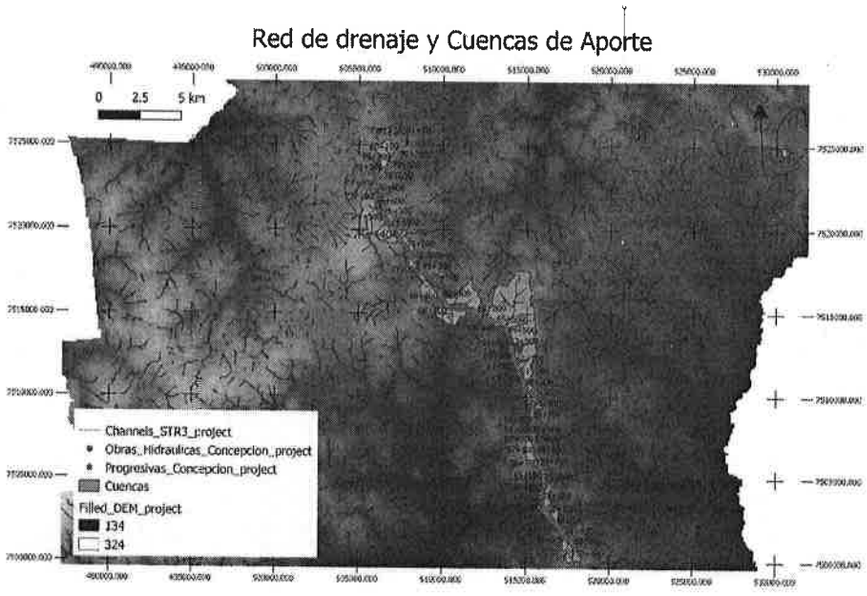

Figura 2. Mapa de red de drenaje y cuencas de aporte de alcantarillas proyectadas

5.3. Caracterización del Régimen de Precipitaciones

En la figura 3, se puede ver las curvas generadas a partir de ecuación de caracterización de régimen de lluvias de la estación Concepción. En este estudio, serán utilizados los datos pertenecientes al periodo de retorno de 25 años, dependiendo de la duración de la tormenta de cada cuenca en cuestión.

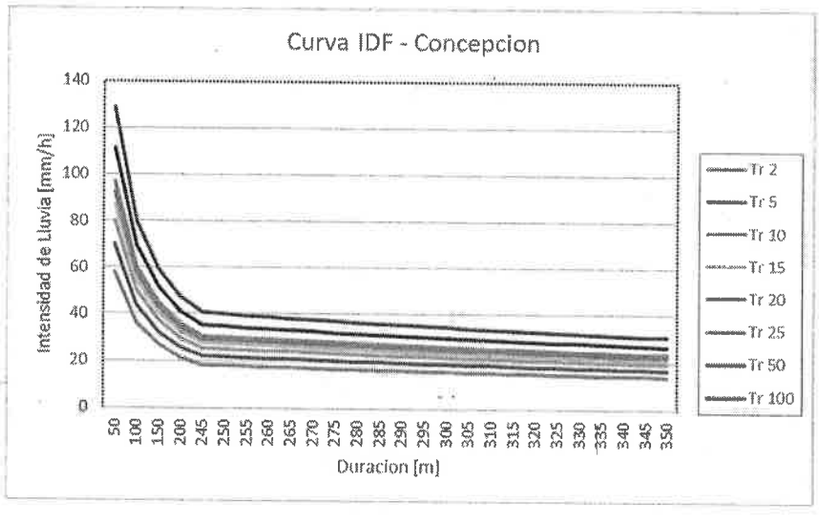

Figura 3. Curva IDF para Estación Meteorológica Concepción.

En la figura se puede ver que la zona se caracteriza principalmente de la actividad pecuaria y agrícola, además de zonas de producción forestal.

CONSORCIO CCI
RUC: 80109205-1

Ing. Civil Jorge M. Villalba R.D.

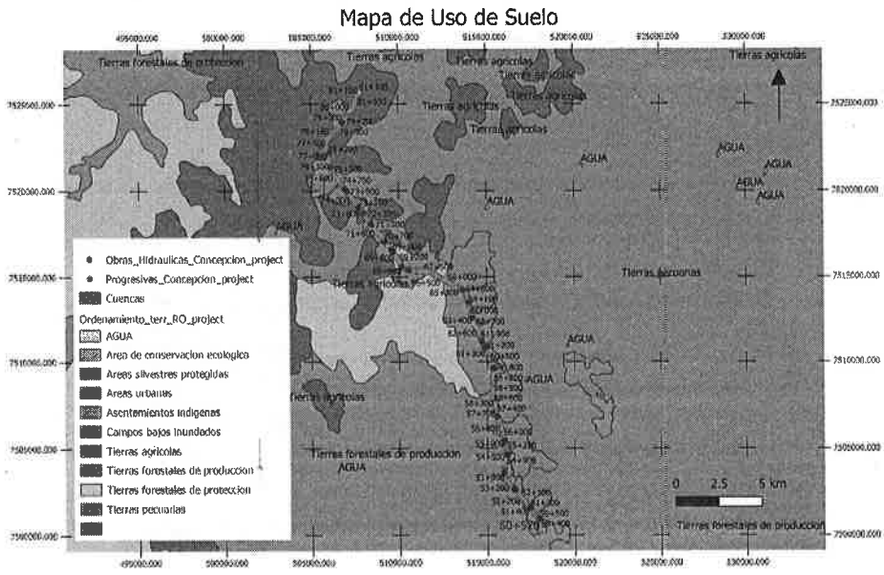

Figura 4. Mapa de Uso de Suelo de Área de Estudio. Fuente: (PRUT, 2000)

5.4. Método Racional

En la tabla 5 en las páginas 8 y 9 se muestran los parámetros y el cálculo del caudal de diseño para la revisión de las alcantarillas proyectadas.

Las obras proyectas se consideran de dimensiones aceptables, con la diferencia de adición de una alcantarilla en progresiva 75+700 de dimensión ACS H°A° 1.50x1.50. de longitud 11 m lado izquierdo. Puede claramente verse que, la red de drenaje intercepta la obra vial.

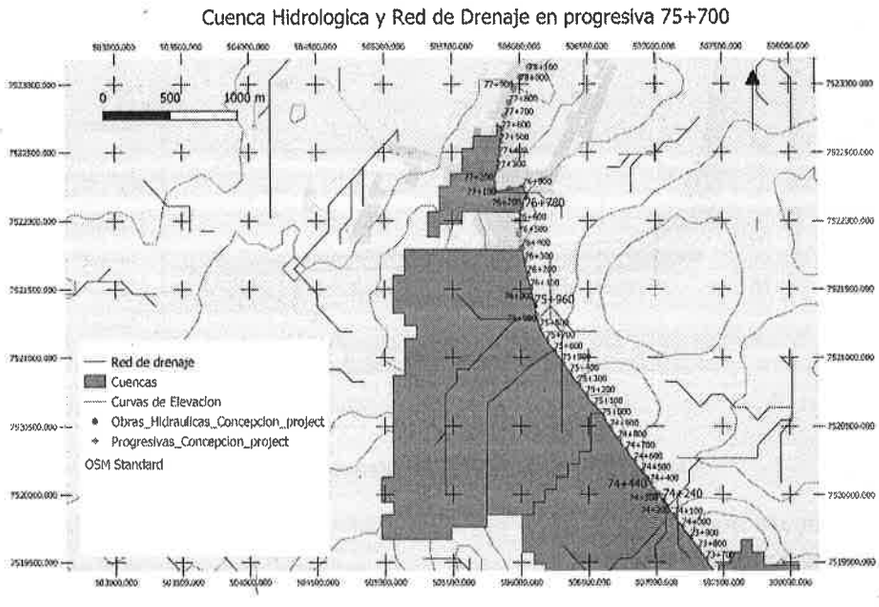

Figura 5. Mapa de Cuenca hidrologica

CONSORCIO CCI
RUC: 80109205-1

Ing. Civil Jorge M. Villalba R.D.
Director de Obras

Tabla 4. Cálculo de Caudal de diseño

Cuencas ID	Cuenca nro	Progr	Direccion de Flujo	Area [Km2]	Area [Ha]	Longitud de drenaje [m]	Pendiente [%]	Cota Maxima [m]	Cota Minima [m]	Pendiente [m/m]	Tipo de Suelo	Uso de Suelo Predominante	K [-]	Tiempo de Concentracion [min] DNOS	Intensidad de Lluvia- I [mm/h] DNOS	Coeficiente de Escorrentia - C [-]	Caudal Pico [m3/s] DNOS
755	Cuenca1	50+520	izq - der	0.356	35.5998	861.4840	2.8504	220.000	207.000	13.000	Alfisol	Tierras Forestales de Produccion	3.00	24.74002489	146.5021601	0.055	0.796804494
727	Cuenca2	51+320	izq - der	0.778	77.5776	1632.5360	3.0916	228.000	195.000	33.000	Alfisol	Tierras Forestales de Produccion	3.00	34.37944656	122.0773356	0.055	1.446876858
784	Cuenca3	52+662	der - izq	0.400	39.9692	759.8590	2.6763	201.000	182.000	19.000	Entisol	Tierras Forestales de Produccion	3.00	25.6170471	143.8347901	0.055	0.878313561
793	Cuenca4	52+710	der - izq	0.246	24.5739	831.3870	2.5986	197.000	182.000	15.000	Entisol	Tierras Forestales de Produccion	3.00	22.80792853	152.785173	0.055	0.573608377
816	Cuenca5	53+880	der - izq	0.408	40.8298	732.3750	3.5325	203.000	181.000	22.000	Alfisol	Tierras Forestales de Produccion	3.00	22.90265099	152.4632001	0.055	0.951048079
793	Cuenca6	54+940	der - izq	0.305	30.4771	477.0410	3.7221	205.000	181.000	24.000	Entisol	Tierras Forestales de Produccion	3.00	18.85674655	167.7107683	0.055	0.780898839
793	Cuenca7	55+760	der - izq	0.023	2.2797	143.8690	3.0920	203.000	200.000	3.000	Entisol	Tierras Forestales de Produccion	3.00	7.340737697	238.9973917	0.055	0.083239804
929	Cuenca8	57+200	der - izq	1.0590	105.8979	934.7020	3.4281	219.000	198.000	21.000	Entisol	Tierras Forestales de Produccion	3.00	32.39352362	126.3504192	0.055	2.044203953
		59+000	izq - der														
1011	Cuenca9	60+040	der - izq	0.350	34.9917	443.7220	3.0866	208.000	187.000	21.000	Entisol	Tierras Forestales de Produccion	3.00	20.87845268	159.6890614	0.055	0.853690403
1076	Cuenca10	61+320	der - izq	0.418	41.8202	1019.3080	2.1452	205.000	190.000	15.000	Entisol	Tierras Pecuarias	4.50	20.05752255	162.8417481	0.077	1.456599263
1097	Cuenca11	61+740	der - izq	0.943	94.3155	1477.1240	3.0237	209.000	185.000	24.000	Entisol	Tierras Pecuarias	4.50	24.03423585	148.7299255	0.077	3.000334364
1136	Cuenca12	63+260	izq - der	1.011	101.0789	1492.1280	2.7867	215.000	182.000	33.000	Entisol	Tierras Pecuarias	4.50	28.26599453	136.3929125	0.077	2.948767523
1151	Cuenca13	64+180	der - izq	1.959	195.9075	1980.0130	2.8491	223.000	179.000	44.000	Entisol	Tierras Pecuarias	4.50	32.49775321	126.1178964		

13 (TRECE)

CONSORCIO CCI
RUC: 80109205-1

Ing. Civil Jorge M. Villalba R.D.
Fiscal de Obras

1151	Cuenca14	65+040	der - izq	6.725	672.5151	3581.6780	2.5912	231.000	182.000	49.000	Entisol	Tierras Pecuarias	4.50	55.01929638	91.19607627	0.077	13.11796348
1204	Cuenca15	68+420	izq - der	1.348	134.7720	1106.2290	2.2662	220.000	182.000	38.000	Entisol	Tierras Agricolas	4.50	28.33460104	136.2114581		
1237	Cuenca16	68+860	der - izq	2.264	226.4362	2206.1670	2.9680	209.000	175.000	34.000	Entisol	Tierras Agricolas	5.00	30.70830683	130.2465999	0.099	8.110449913
		69+860	izq - der														
1264	Cuenca17	70+020	izq - der	0.919	91.9411	952.7710	1.6226	221.000	203.000	18.000	Ultisol	Tierras Agricolas	5.00	25.22295828	145.0199331	0.099	3.666655347
		70+600	izq - der														
1355	Cuenca18	71+880	der - izq	0.484	48.4352	1211.0880	2.2888	213.000	196.000	17.000	Ultisol	Tierras Agricolas	5.00	19.02700039	167.0008109	0.099	2.224397361
1355	Cuenca19	71+930	izq - der	0.158	15.7531	515.9750	3.5771	214.000	197.000	17.000	Entisol	Tierras Pecuarias	4.50	10.64414041	212.3679871	0.077	0.715555468
1347	Cuenca20	72+690	der - izq	0.151	15.0794	569.0370	2.1758	218.000	212.000	6.000	Ultisol	Tierras Agricolas	5.00	11.76320665	204.7664071	0.099	0.849132504
1347	Cuenca21	73+100	der - izq	0.284	28.3679	559.8550	3.8497	239.000	215.000	24.000	Ultisol	Tierras Agricolas	5.00	11.2803483	207.9711982	0.099	1.622419193
1464	Cuenca22	74+240	izq - der	1.092	109.1601	1028.5220	2.7128	248.000	220.000	28.000	Ultisol	Tierras Agricolas	5.00	11.52177747	206.3550025	0.099	6.194576494
		74+440	izq - der														
1518	Cuenca23	75+700	izq - der	0.662	66.1717	1205.3850	2.9784	248.000	218.000	30.000	Ultisol	Tierras Pecuarias	4.50	20.87474222	159.7030068	0.077	2.260339161
1518	Cuenca24	75+960	izq - der	1.758	175.8331	2038.5650	4.5619	251.000	209.000	42.000	Entisol	Tierras Pecuarias	4.5	26.21345612	142.081477	0.077	5.343506235
1542	Cuenca25	76+780	izq - der	0.242	24.1924	637.5410	1.9650	227.000	215.000	12.000	Ultisol	Tierras Agricolas	5.00	14.44409327	188.7862245	0.099	1.255977761
1656	Cuenca26	79+213	izq - der	1.23	122.7382	1392.3470	2.2903	225.000	198.000	27.000	Ultisol	Tierras Agricolas	5.00	25.85332871	143.1344595	0.099	4.831218128

CONSORCIO CCI
RUC: 80109205-1

Ing. Civil Jorge M. Villalba R.D.

Referencias

Usgs.gov. 2017. USGS EROS Archive - Digital Elevation - Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global. [online] Available at: <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-1-arc?qt-science_center_objects=0> [Accessed 22 June 2020]

CONSORCIO CCI
RUC: 80109205-1

Ing. Civil Jorge M. Villalba R.D.
Fiscal de Obras

12 (DOCE)