Universidad Nacional de Ingeniería

Área de conocimiento de Ingeniería y Afines

DISEÑO HIDROTÉCNICO DE LAS OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL Y SU IMPACTO AMBIENTAL, DEL TRAMO DE CARRETERA: "EL ARENAL – LOS ROBLES", MUNICIPIO DE JINOTEGA

Trabajo Monográfico para optar al título de Ingeniero Civil

Elaborado por:		Tutor:	Asesor:
Br. Elías Alberto Castillo Largaespada Carnet: 2019-0491U	Br. Elián José Rojas Murillo Carnet: 2019-0553U	Ph. D. Néstor Javier Lanza Mejía	M. Sc. José Ángel Baltodano Maldonado

21 de septiembre de 2024
Managua, Nicaragua

Programa
Académico de
Ingeniería Civil.

Managua, 20 de septiembre de 2024

MSc. Luis Chavarría
Director del Área de Conocimiento de Ingeniería y Afines.
Universidad Nacional de Ingeniería (UNI)
Su despacho

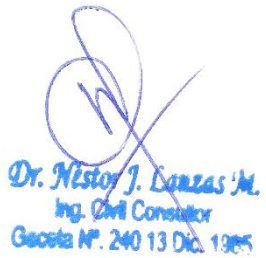
Estimado MSc. Chavarría, reciba mi cordial saludo

El motivo de la presente es para informarle que el bachiller: **Elias Alberto Castillo Largaespada y Elián Jose Rojas Murillo**, han desarrollado bajo mi tutoría el tema titulado: **"DISEÑO HIROTECNICO DE LAS OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL Y SU IMPACTO AMBIENTAL, DEL TRAMO DE CARRETERA: "EL ARENAL – LOS ROBLES", MUNICIPIO DE JINOTEGA "**, como requisito para optar al título de Ingeniero Civil.

Habiendo realizado una revisión detallada del documento final, cumpliendo con cada uno de los objetivos planteados y que reúne los requisitos necesarios para presentarse a la defensa, ante el tribunal examinador que esta dirección designe.

También cabe mencionar que el documento excede las 100 páginas establecidas en el Arto. 21 de la Normativa de Culminación de Estudios vigente, debido a que el tema desarrollado es amplio y esto conlleva que los resultados de los diferentes estudios que componen el tema sean parte fundamental del documento.

Sin mas a que hacer referencia, me suscribo



PhD. Néstor Javier Lanza Mejía

Tutor

DEDICATORIA

A Dios por brindarme siempre la sabiduría y las fuerzas para alcanzar mis metas, por siempre estar conmigo guiándome en el camino del bien y cuidando de mí.

A mi madre, Mayra Murillo Rivera, que siempre ha estado a mi lado apoyándome, por darme su amor y comprensión en todo momento, y por ser para mí una gran fuente de inspiración e impulsar en mí el deseo de superación.

A mi padre, Rigoberto Rojas Laguna, por su ejemplo de trabajo honrado y haberme transmitido buenos valores para ser una mejor persona cada día.

A mi hermano menor, Nair Rojas Murillo, por haber sido siempre la compañía que necesité y brindarme ayuda sin esperar nada a cambio. Esperando que sea un profesional de éxito siendo yo un ejemplo para él.

A las futuras generaciones de ingenieros civiles que busquen la excelencia y aprender más de lo que la universidad les ofrece, a los que se esfuerzan para mejorar y destacar entre el resto.

Elián José Rojas Murillo

DEDICATORIA

A Dios, por sus bendiciones infinitas, por darme sabiduría y fortaleza necesaria para culminar con este trabajo con éxito.

A mi madre, Indiana Largaespada, por su amor incondicional, su firmeza y dedicación, y por ser mi ejemplo de perseverancia y valentía en todo momento.

A mi abuela, Bernarda Villarreal, por su amor, paciencia, y por ser la que me ha inspirado a seguir adelante diariamente.

A mi hermana, Marian Largaespada, por su afecto y felicidad que aporta cada día.

A mis amigos cercanos, con quienes compartí durante este ciclo.

Finalmente, a los lectores, espero este trabajo les aporte conocimiento y les sirva de motivación para nuevas investigaciones.

Elías Alberto Castillo Largaespada

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la vida, por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, y permitirme culminar con éxitos el presente trabajo.

A mis padres por su constante apoyo durante el transcurso de mis estudios universitarios. Por escucharme, aconsejarme y animarme cuando lo he necesitado. Gracias por ser mis guías y modelos a seguir en muchas áreas de mi vida.

A mi tutor, Dr. Néstor Lanza Mejía, por la formación académica brindada durante la carrera, por sus enseñanzas y experiencias en el ámbito profesional, y por el tiempo dedicado en el desarrollo de este trabajo.

Agradezco a M.Sc. José Baltodano Maldonado, por su conocimiento bridado como docente, por su tiempo y revisiones que fueron de gran ayuda en este trabajo.

A aquellos docentes que a lo largo de mi carrera transmitieron sus conocimientos para mi formación como futuro profesional.

A la antes Dirección de Bienestar Estudiantil (DBE) y al personal de la Residencia Estudiantil de la UNI por haberme acogido y brindarme muchas facilidades durante todo el transcurso de mi carrera.

Le agradezco mucho a mi amigo y compañero de monografía, Elías Castillo Largaespada, por su arduo trabajo y dar siempre un esfuerzo extra para alcanzar la excelencia en todo lo que hacemos. Le estaré siempre agradecido por haberme tenido paciencia y comprensión cuando no me he encontrado bien.

Elián José Rojas Murillo

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por Su guía constante, brindando confianza y fortaleza en cada etapa de este proceso.

A mi madre y a mi abuela, por su continuo apoyo y cariño a lo largo de cada día.

Especialmente, agradezco a mi tutor, Dr. Néstor Lanza Mejía, por su tiempo, enseñanzas y confianza durante estos años que hemos compartido en clases y proyectos, de quien he aprendido sobre la humildad y la excelencia para ser mejor cada día.

Agradezco a M. Sc. José Baltodano Maldonado por sus recomendaciones y conocimientos, especialmente en la asesoría para el estudio ambiental.

A mis docentes, por el conocimiento aportado a mi formación académica, especialmente a los del Departamento de Hidráulica y Medio Ambiente 2023.

Finalmente, a mi amigo Elián Rojas por el tiempo compartido y su excelente desempeño en la elaboración de nuestro trabajo.

Elías Alberto Castillo Largaespada

RESUMEN

Esta investigación monográfica realiza el diseño hidrotécnico de las obras de drenaje transversal del tramo de carretera El Arenal – Los Robles, ubicado en el municipio de Jinotega, así mismo, realiza para las obras su impacto ambiental.

El tramo actualmente es un camino vecinal de todo tiempo y el estado de sus obras de drenaje transversal no responden a los eventos de precipitación, causando el difícil acceso vehicular.

Mediante una visita al sitio se identificaron las obras existentes, con un análisis hidrológico se delimitaron las cuencas de drenaje para cada una, se analizaron las características morfológicas y estimación su caudal máximo probable. Con la evaluación hidráulica se revisa el funcionamiento de ellas y se confirma la problemática existente, por lo tanto, se proponen nuevas obras de drenaje transversal.

La evaluación de impactos ambientales durante la construcción de las obras de drenaje transversal propuestas del tramo de carretera, se inició con determinar el área del proyecto a ser afectada directa e indirectamente por las alteraciones en el medio producto de las actividades constructivas de las obras.

En base al espacio contenido en el área de influencia pudo construirse la línea base donde establece las condiciones de ambientales de los recursos naturales, los comportamientos sociales y económicos de las diferentes poblaciones a lo largo del tramo, y la presencia de las especies de fauna y flora. La valoración de impactos ambientales se realizó utilizando el método original de Vicente Conesa de 1997 para la determinación de la Importancia de los impactos en el área afectada por el proyecto a través de asignar valores a distintos efectos producidos por la alteración de los impactos.

Se realizó el estudio ambiental para dos obras representativas del tramo, una siendo la más pequeña propuesta y otra con las mayores dimensiones.

ÍNDICE GENERAL

1 GENERALIDADES 1

1.1 INTRODUCCIÓN 1

1.2 ANTECEDENTES 2

1.3 JUSTIFICACIÓN 3

1.4 OBJETIVOS 4

1.4.1 OBJETIVO GENERAL 4

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 4

2 MARCO TEÓRICO 5

2.1 ANÁLISIS HIDROLÓGICO 5

2.1.1 DELIMITACIÓN DE CUENCAS 6

2.1.1.1 Delimitación de cuencas con ArcGIS 6

2.1.1.2 Delimitación de cuencas y sus características 7

2.1.1.3 Cuencas hidrográficas por Pfafstetter 13

2.1.2 PRECIPITACIONES 14

2.1.2.1 Período de retorno 14

2.1.2.2 Medición de precipitaciones 15

2.1.2.3 Curvas IDF 16

2.1.2.4 Consideración del cambio climático 17

2.1.2.5 Hietograma de diseño por el método de bloques alternos 18

2.1.3 ESTIMACIÓN DEL CAUDAL 19

2.1.3.1 Caudal de escurrimiento por método racional 19

2.1.3.2 Método Curva Número y obtención de hidrogramas 21

2.1.3.3 Tránsito de avenidas en cauces 26

2.2 ANÁLISIS HIDRÁULICO 30

2.2.1 GENERALIDADES EN HIDRÁULICA 30

2.2.1.1 Flujo uniforme y energía específica 30

2.2.1.2 Coeficiente de rugosidad de Manning 31
2.2.2 HIDRÁULICA DE ALCANTARILLAS 32
2.2.2.1 Consideraciones hidráulicas 32
2.2.2.2 Criterios de diseño de alcantarillas 33
2.2.2.3 Modelación Hidráulica con HY-8 39
2.2.2.4 Protección de alcantarillas 41
2.3 ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL 44
2.3.1 TERMINOLOGÍA SOBRE ESTUDIO AMBIENTAL 44
2.3.2 METODOLOGÍAS DE IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES 48
2.3.3 METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN IMPACTO AMBIENTAL .. 49
2.3.3.1 Métodos cualitativos 50
2.3.3.2 Método Conesa (1997) 50
2.3.4 PROCESO DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL EN NICARAGUA 55
2.3.4.1 Gestión ambiental en Nicaragua 55
2.3.4.2 Marco Legal 56
3 DISEÑO METODOLÓGICO 58
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN 58
3.2 UBICACIÓN DEL PROYECTO 58
3.3 INFORMACIÓN PRELIMINAR 60
3.3.1 ESTRUCTURAS DE DRENAJE EXISTENTES 60
3.3.2 USO Y TIPO DE SUELOS 62
3.3.3 INFORMACIÓN METEOROLÓGICA 63
3.3.4 RELIEVE DE LA ZONA DE ESTUDIO 63
3.4 ESTUDIO HIDROTÉCNICO 64
3.4.1 ESTUDIO HIDROLÓGICO 64
3.4.1.1 Delimitación de cuencas 64
3.4.1.2 Determinación del caudal por método racional 65
3.4.1.3 Determinación del caudal por método SCS 66

3.4.2 ESTUDIO HIDRÁULICO 68
3.4.2.1 Evaluación usando HY-8 68
3.4.2.2 Diseño usando HY8 70
3.4.2.3 Criterios de diseño y construcción para alcantarillas 71
3.5 ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL 79
3.5.1 ÁREA DE INFLUENCIA DE LAS OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL 79
3.5.1.1 Área de Influencia Directa (AID) 79
3.5.1.2 Área de Influencia Indirecta (AII) 79
3.5.2 CONSTRUCCIÓN DE LÍNEA BASE DEL PROYECTO 80
3.5.3 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL 81
3.5.4 MÉTODOS UTILIZADOS 82
3.5.4.1 Identificación de impactos 82
3.5.4.2 Valoración de impactos 83
3.5.4.3 Matriz de importancia 83
3.5.4.4 Alternativas y medidas de mitigación 84
4 ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS 86
4.1 ANÁLISIS HIDROLÓGICO 86
4.1.1 ANÁLISIS HIDROLÓGICO DEL DRENAJE MENOR 86
4.1.1.1 Delimitación de cuencas del proyecto 86
4.1.1.2 Propiedades y análisis morfología de las cuencas 88
4.1.1.3 Estimación de la intensidad de lluvia 90
4.1.1.4 Estimación del coeficiente de escorrentía 91
4.1.1.5 Resultados del caudal en cuencas drenaje menor 94
4.1.2 ANÁLISIS HIDROLÓGICO DEL DRENAJE MAYOR 95
4.1.2.1 Obtención de los hietogramas de diseño 95
4.1.2.2 Análisis hidrológico de cuenca ODT-6 96
4.1.2.3 Análisis hidrológico de cuenca ODT-9 99
4.1.2.4 Análisis hidrológico de cuenca ODT-11 102

4.1.2.5 Análisis hidrológico de cuenca ODT-20 105
4.1.2.6 Análisis hidrológico de cuenca ODT-24 108
4.1.2.7 Análisis hidrológico de cuenca ODT-27 111
4.1.2.8 Resultados del caudal en todas las cuencas 114
4.2 EVALUACIÓN Y DISEÑO HIDRÁULICO 115
4.2.1 EVALUACIÓN HIDRÁULICA CON HY-8 115
4.2.1.1 Evaluación hidráulica para la ODT-5 115
4.2.1.2 Evaluación hidráulica para la ODT-9 117
4.2.2 DISEÑO HIDRÁULICO CON HY-8 118
4.2.2.1 Diseño hidráulico propuesto para la ODT-5 118
4.2.2.2 Diseño hidráulico propuesto para la ODT-9 121
4.2.2.3 Diseño hidráulico propuesto para la ODT-16 122
4.2.3 RESUMEN DE LAS OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL .. 125
4.3 ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL 127
4.3.1 ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO 127
4.3.1.1 Área de influencia directa 127
4.3.1.2 Área de influencia indirecta 128
4.3.2 LÍNEA BASE DEL PROYECTO 129
4.3.2.1 Descripción del medio físico 129
4.3.2.2 Descripción del medio biótico 135
4.3.2.3 Descripción del medio socioeconómico 136
4.3.3 ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL ODT-5 139
4.3.3.1 Clasificación ambiental de ODT-5 139
4.3.3.2 Descripción técnica de ODT-5 139
4.3.3.3 Etapas de construcción de ODT-5 140
4.3.3.4 Matriz Causa – Efecto de impactos a generarse en ODT-5 143
4.3.3.5 Identificación de impactos en ODT-5 144
4.3.3.6 Matriz de valoración de impactos en ODT-5 148
4.3.3.7 Matriz de importancia en ODT-5 150
4.3.3.8 Análisis del estudio de impacto ambiental en ODT-5 151
4.3.3.9 Medidas de mitigación del impacto ambiental en ODT-5 153

4.3.4 ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL ODT-9 155
4.3.4.1 Clasificación ambiental de ODT-9 155
4.3.4.2 Descripción técnica de ODT-9 155
4.3.4.3 Etapas de construcción de ODT-9 156
4.3.4.4 Matriz Causa – Efecto de impactos a generarse en ODT-9 160
4.3.4.5 Identificación de impactos en ODT-9 161
4.3.4.6 Matriz de valoración de impactos en ODT-9 167
4.3.4.7 Matriz de importancia en ODT-9 170
4.3.4.8 Análisis del estudio de impacto ambiental en ODT-9 171
4.3.4.9 Medidas de mitigación del impacto ambiental en ODT-9 172
5 CONCLUSIONES 175
6 RECOMENDACIONES 178
7 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS 179
8 ANEXOS 182
8.1 FICHAS DE LAS OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL 182
8.2 RESULTADOS DE HIDRÁULICA CON HY-8 196
8.2.1 EVALUACIÓN DE OBRAS EXISTENTES 196
8.2.1.1 TABLA DE RESULTADOS DE HY-8 - EVALUACIÓN 196
8.2.1.2 ESQUEMAS DE PERFIL Y SECCIÓN HY-8 - EVALUACIÓN. 197
8.2.2 PROPUESTAS DE DISEÑO 199
8.2.2.1 TABLA DE RESULTADOS DE HY-8 - DISEÑO 199
8.2.2.2 ESQUEMAS DE PERFIL Y SECCIÓN HY-8 - DISEÑO 202
8.3 MAPAS ELABORADOS 205
8.4 PLANOS ELABORADOS 227
8.5 ANEXOS VIRTUALES 232

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ciclo hidrológico 5
Figura 2 Representación de ancho, longitud y factor de forma de una cuenca ... 8
Figura 3 Curva hipsométrica 10
Figura 4 Transformación de la cuenca en un rectángulo y longitudes parciales del rectángulo equivalente 11
Figura 5 Cuencas Hidrográficas de Nicaragua por método Pfafstetter 13
Figura 6 Curvas IDF Estación Jinotega 16
Figura 7 Valores en el método de abstracciones de precipitación del SCS 21
Figura 8 Hidrograma de un pico 24
Figura 9 Hidrograma sintético triangular 25
Figura 10 Almacenamientos por prisma y por cuña en un tramo de un canal ... 26
Figura 11 Ejemplos de una ODT tipo sección circular y sección rectangular 33
Figura 12 Tipos de control de entrada y salida en alcantarillas 36
Figura 13 Diagrama de régimen de flujo 37
Figura 14 Tipo de Flujo 1 según USGS 39
Figura 15 Esquema para los datos del canal de salida y del camino 40
Figura 16 Ejemplo de los elementos de embocadura de salida en alcantarillas 41
Figura 17 Ejemplo de clases de empedregado y dimensiones del delantal. 43
Figura 18 Macro Localización tramo de estudio. 59
Figura 19 Ubicación de Obras de Drenaje Transversal existentes 60
Figura 20 Pasos para delimitación de cuencas 64
Figura 21 Pasos para obtener coeficiente de escorrentía 65
Figura 22 Pasos para delimitar con HEC-GeoHMS 66
Figura 23 Pasos para el uso de HEC-HMS 67
Figura 24 Pasos para evaluar una alcantarilla en HY-8 69
Figura 25 Pasos para el diseño de una estructura hidráulica en HY-8 70
Figura 26 Pasos para el estudio de impacto ambiental de una ODT 85
Figura 27 Delimitación de cuencas del tramo El Arenal – Los Robles 86
Figura 28 Mapas de uso de suelos, tipo de suelos y pendientes de cuencas ... 91
Figura 29 Hidrogramas en TR25, TR50 y TR100 años para ODT-6 97

Figura 30 Hidrogramas en TR25, TR50 y TR100 años para ODT-9 101
Figura 31 Hidrogramas en TR25, TR50 y TR100 años para ODT-11 104
Figura 32 Hidrogramas en TR25, TR50 y TR100 años para ODT-20 107
Figura 33 Hidrogramas en TR25, TR50 y TR100 años para ODT-24 110
Figura 34 Hidrogramas en TR25, TR50 y TR100 años para ODT-27 112
Figura 35 Perfil y sección de HY-8 para Evaluación de ODT-5..... 116
Figura 36 Perfil y sección de HY-8 para Evaluación de ODT-9..... 117
Figura 37 Perfil y sección de HY-8 para Diseño de ODT-5 118
Figura 38 Perfil y sección de HY-8 para Diseño de ODT-9 121
Figura 39 Perfil y sección de HY-8 para Diseño de ODT-16 122
Figura 40 Área de influencia directa de ODT-5..... 127
Figura 41 Área de influencia indirecta de ODT-9 128
Figura 42 Área de influencia indirecta del proyecto 128
Figura 43 Mapa de relieve y de formaciones geológicas del proyecto 130
Figura 44 Mapa de uso de suelos y de taxonomía de suelos del proyecto 132
Figura 45 Mapa de hidrología e hidrogeología del proyecto 134
Figura 46 Esquema de la caja puente propuesta para ODT-9 155

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Frecuencias de diseño recomendadas para obras en carreteras 14

Tabla 2 Factores para determinar el coeficiente de escorrentía de una cuenca según Normas Checoslovacas 20

Tabla 3 Números de curva de escorrentía 23

Tabla 4 Velocidades máximas admisibles en conductos revestidos..... 35

Tabla 5 Coeficiente K y M para ecuaciones de diseño por control de entrada .. 36

Tabla 6 Números de tipos de flujo..... 38

Tabla 7 Ejemplo de clases de empedregado y dimensiones del delantal..... 42

Tabla 8 Valores que pueden tomar de los símbolos para obtención de importancia..... 54

Tabla 9 Categorías de impacto 55

Tabla 10 Coordenadas inicio y fin de tramo 58

Tabla 11 Inventario de Obras de Drenaje Transversal existentes 61

Tabla 12 Tabla de curva número (CNLookUp)..... 62

Tabla 13 Parámetros de ajuste de Curvas IDF y Kcc para Estación Jinotega... 63

Tabla 14 Profundidades de instalación para tuberías ASTM C76 con carga viva de instalación Tipo II 75

Tabla 15 Instalaciones estándar y requerimientos mínimos de compactación .. 76

Tabla 16 Clasificaciones USCS y AASHTO para designación de suelos 77

Tabla 17 Resistencia de las tuberías ASTM C76 78

Tabla 18 Área de cuencas delimitadas y características del río principal 87

Tabla 19 Propiedades morfológicas de las cuencas 88

Tabla 20 Tiempos de concentración de las cuencas..... 89

Tabla 21 Determinación de intensidades en las cuencas..... 90

Tabla 22 Porcentaje de tipos de suelos de las cuencas..... 92

Tabla 23 Porcentaje de usos de suelos de las cuencas..... 92

Tabla 24 Estimación del coeficiente de escorrentía en las cuencas..... 93

Tabla 25 Determinación del caudal máximo de diseño en drenaje menor..... 94

Tabla 26 Hietogramas bloques alternos para estación Jinotega 95

Tabla 27 Parámetros morfométricos de la cuenca ODT-6..... 96

Tabla 28 Parámetros morfométricos de las subcuencas de ODT-6 96
Tabla 29 Tiempos de concentración de las subcuencas de ODT-6..... 96
Tabla 30 Determinación de Lag Time en subcuencas de ODT-6 97
Tabla 31 Caudales máximos probables en la cuenca ODT-6..... 98
Tabla 32 Parámetros morfométricos de la cuenca ODT-9..... 99
Tabla 33 Parámetros morfométricos de las subcuencas de ODT-9 99
Tabla 34 Tiempos de concentración de las subcuencas de ODT-9..... 99
Tabla 35 Determinación de Lag Time en subcuencas de ODT-9 100
Tabla 36 Determinación de parámetros de tránsito de ODT-9 100
Tabla 37 Caudales máximos probables en la cuenca ODT-9..... 101
Tabla 38 Parámetros morfométricos de la cuenca ODT-11..... 102
Tabla 39 Parámetros morfométricos de las subcuencas de ODT-11 102
Tabla 40 Tiempos de concentración de las subcuencas de ODT-11..... 102
Tabla 41 Determinación de Lag Time en subcuencas de ODT-11 103
Tabla 42 Determinación de parámetros de tránsito de ODT-11 103
Tabla 43 Caudales máximos probables en la cuenca ODT-11..... 104
Tabla 44 Parámetros morfométricos de la cuenca ODT-20..... 105
Tabla 45 Parámetros morfométricos de las subcuencas de ODT-20 105
Tabla 46 Tiempos de concentración de las subcuencas de ODT-20..... 105
Tabla 47 Determinación de Lag Time en subcuencas de ODT-20 106
Tabla 48 Determinación de parámetros del tránsito de ODT-20..... 106
Tabla 49 Caudales máximos probables en la cuenca ODT-20..... 107
Tabla 50 Parámetros morfométricos de la cuenca ODT-24..... 108
Tabla 51 Parámetros morfométricos de las subcuencas de ODT-24 108
Tabla 52 Tiempos de concentración de las subcuencas de ODT-24..... 108
Tabla 53 Determinación de Lag Time en subcuencas de ODT-24 109
Tabla 54 Determinación de parámetros del tránsito de ODT-24..... 109
Tabla 55 Caudales máximos probables en la cuenca ODT-24..... 110
Tabla 56 Parámetros morfométricos de la cuenca ODT-27..... 111
Tabla 57 Parámetros morfométricos de las subcuencas de ODT-27 111
Tabla 58 Tiempos de concentración de las subcuencas de ODT-27..... 111

Tabla 59 Determinación de Lag Time en subcuencas de ODT-27 112
Tabla 60 Caudales máximos probables en la cuenca ODT-27..... 113
Tabla 61 Resultados de caudales máximos de diseño en todas las cuencas.. 114
Tabla 62 Datos levantados para ODT-5..... 115
Tabla 63 Tabla de cálculos en HY-8 para estructura existente de ODT-5..... 116
Tabla 64 Datos levantados para ODT-9..... 117
Tabla 65 Tabla de cálculos en HY-8 para estructura existente de ODT-9..... 118
Tabla 66 Tabla de cálculos en HY-8 para propuesta de ODT-5..... 119
Tabla 67 Tabla de cálculos en HY-8 para propuesta de ODT-9..... 121
Tabla 68 Datos levantados para ODT-16..... 122
Tabla 69 Tabla de cálculos en HY-8 para propuesta de ODT-16..... 123
Tabla 70 Resumen del diseño de obras de drenaje transversal con caudales de diseño y protección 125
Tabla 71 Resumen del diseño constructivo de las obras de drenaje transversal con tipo de tubería especificaciones..... 126
Tabla 72 Formaciones geológicas del área de influencia indirecta..... 129
Tabla 73 Uso de suelos del área de influencia indirecta del proyecto 131
Tabla 74 Orden de suelos del área de influencia indirecta del proyecto..... 131
Tabla 75 Ubicación del banco de material propuesto..... 133
Tabla 76 Distribución de la población en el área de influencia del proyecto.... 136
Tabla 77 Centros educativos en área de influencia del proyecto..... 137
Tabla 78 Medidas de mitigación de impactos ambientales para ODT-5..... 153
Tabla 79 Medidas de mitigación de impactos ambientales para ODT-9..... 172

1 GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

Por su posición geográfica, Nicaragua ha experimentado numerosos fenómenos meteorológicos que afectaron la región. En las últimas décadas, estos eventos han ocasionado deterioros en la infraestructura vial del país, resultando en pérdidas económicas. Un efecto notable de estos fenómenos meteorológicos es el repentino aumento del caudal de los ríos, generando inundaciones en áreas bajas, provocando el arrastre y depósito de sedimentos en las obras de cruce.

Las estructuras de drenaje transversal representan un componente esencial en el diseño de la infraestructura vial, permiten gestionar el flujo de agua en las carreteras, las afectaciones más comunes en las alcantarillas es que se obstruyen con sedimentos y en el caso de puentes es la socavación de estribos y pilas, que en casos extremos hacen que la obra se colapse. Se tienen consideraciones viales, estructurales, hidrológicas, hidráulicas y ambientales para garantizar un diseño adecuado y prevenir ese tipo de problemas.

El presente trabajo monográfico presenta el diseño hidrotécnico y estudio de impacto ambiental en las obras de drenaje transversal del tramo de carretera El Arenal – Los Robles, de una longitud aproximada de 20km.

Este estudio hidrotécnico y análisis de impacto ambiental tiene como alcances determinar las características de las cuencas de cada obra de drenaje transversal, estimar el caudal máximo probable considerando los efectos del cambio climático, realizar la evaluación y diseño hidráulico de estas obras, así como un estudio de impacto ambiental que permita identificar, evaluar y mitigar los efectos al medio durante la construcción y funcionamiento de estas obras de drenaje transversal.

1.2 ANTECEDENTES

El tramo de estudio se encuentra en el municipio de Jinotega, ubicado en una zona de producción agrícola, su estado es desgastado y el tráfico es variable. Las obras de drenaje que se encuentran son por el cruce de ciertos afluentes del río Jigüina, que se encuentra en la Reserva Datanlí, estos cruces presentan varias estructuras de drenaje, cuyas dimensiones incumplen las normativas actuales.

Según el documento de Red Vial Nacional 2020, el tramo de estudio “El Arenal – Los Robles” presenta el código NN-58 que lo ubica en la clasificación funcional como Camino Vecinal y que según su tipo de superficie es un Camino de Todo Tiempo y de Estación Seca. (MTI, 2020).

En el documento de Anuario de Puentes 2019, en el tramo de estudio se encuentran dos puentes: “Palestina”, es un puente de concreto de 7.00 m de largo y 4.40 m de ancho; y “La Parranda”, es un puente tipo mixto de concreto/acero de 8.0 m de largo y 5.6 m de ancho (MTI, 2019).

Según los pobladores, las condiciones del camino existente son difíciles en épocas de lluvia, existen sectores inestables de la vía, las alcantarillas colapsan por las altas precipitaciones, un mantenimiento irregular hace que existan baches, y que las estructuras de drenajes estén en mal estado estructural. Las obras de drenaje de las carreteras han sufrido problemas como el colapso debido a que su dimensionamiento no es capaz de trabajar en eventos extremos como huracanes.

Reafirmando el interés del gobierno de Nicaragua en la mejora de las vías donde existen problemáticas, en febrero de 2021 el MTI a través del decreto presidencial No. 29-2021, se convoca a la precalificación de las firmas consultoras para el concurso No. CN-007-2021: “Estudio de Factibilidad y Diseño para el Mejoramiento del Camino El Arenal - La Sultana - Valle la Laguna - Los Robles en el Municipio de Jinotega", para desarrollar servicios solicitados (La GACETA, 2021)

1.3 JUSTIFICACIÓN

Como parte de los objetivos del país, de mejorar la infraestructura vial, en el tramo “El Arenal – Los Robles” se podrá beneficiar al sector agrícola y ganadero, por donde se traslada la producción de granos básicos, café, leche, hortalizas, etc. De allí la necesidad de mejorar este camino vinculado a la producción. El mejoramiento de la vía de unos 20 kilómetros de longitud, facilitará el transporte de la producción local, que incluye la salida de café, tabaco, maíz, frijoles y legumbres como hortalizas, papas, tomate, cebolla, chiltomas y plátanos entre otros productos lo que dará oportunidad de poder colocar su producción a los mercados de Matagalpa, Jinotega, Managua y otros. Lo que significa reducir los costos de transporte para la comercialización de los productos. La carencia de infraestructura adecuada en la zona en estudio, es una restricción significativa al crecimiento económico en la zona de influencia del proyecto, en particular para la ganadería y agricultura, para los pequeños y medianos negocios rurales.

Esto es de gran importancia para el municipio de Jinotega, donde se encuentra localizado el tramo, ya que permitirá la comunicación fluida y el acceso a las diferentes comunidades y centros poblacionales y donde se genera un importante volumen de producción, fundamentalmente granos básicos y productos pecuarios.

Con este diseño hidrotécnico se podrá dimensionar estructuras de drenaje transversal que permitan flujo eficiente de agua durante las precipitaciones, minimizando las inundaciones y los daños en la infraestructura cercana. Además, es crucial destacar la importancia de realizar un estudio de impacto ambiental para las obras de drenaje transversal, con el fin de evaluar y mitigar los posibles daños al medio ambiente durante su construcción, y asegurar su correcto funcionamiento a lo largo del tiempo.

Así mismo, la investigación de esta monografía permite establecer los procesos actualizados en los estudios hidrológicos, hidráulicos y ambientales aplicando normativas vigentes y el uso de softwares especializados.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseñar hidrotécnicamente las obras de drenaje transversal del tramo de carretera “El Arenal – Los Robles”, municipio de Jinotega, y su correspondiente evaluación de impacto ambiental.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar el estudio hidrológico de los puntos de drenaje mayor y menor identificados en el tramo de estudio utilizando los softwares ArcGIS v10.8, HEC-HMS v4.11, y Civil 3D v2024.

- Realizar la evaluación y diseño hidráulico de las estructuras del drenaje transversal menor y drenaje transversal mayor, utilizando los softwares: HY-8 v7.80.2, HEC-RAS v6.5 y Civil 3D v2024.

- Elaborar un estudio de impacto ambiental en las obras de drenaje transversal diseñadas con el fin de evaluar sus posibles efectos tales como el cambio de patrón de flujo de agua, la erosión de los suelos y las posibles afectaciones en la flora y fauna local.

- Proponer medidas de mitigación con el objetivo de reducir los impactos al medio ambiente durante su construcción.

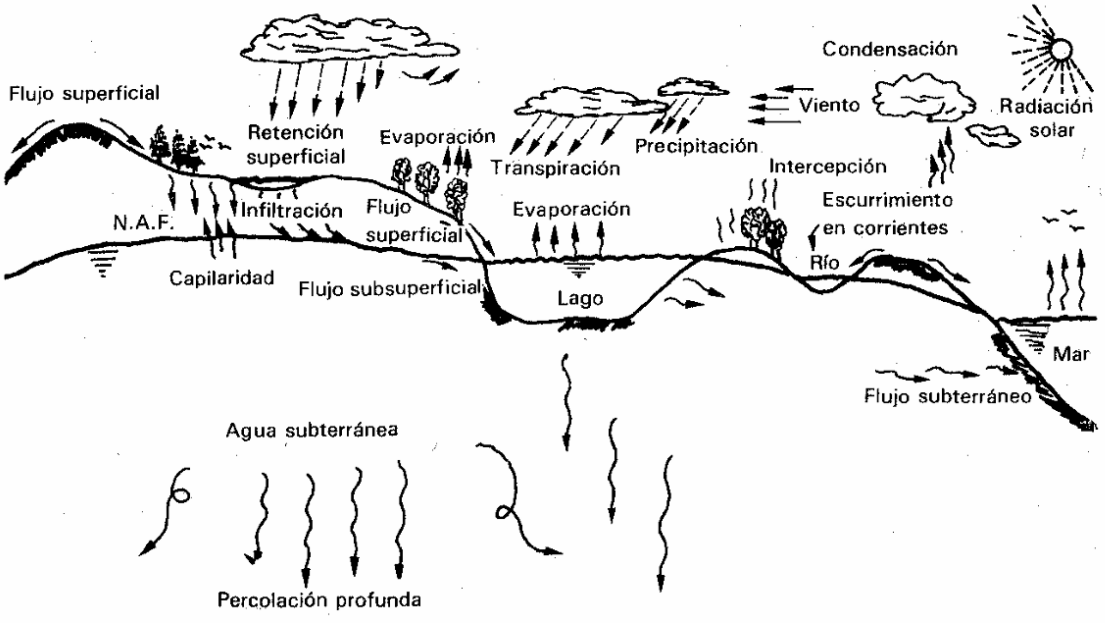
2 MARCO TEÓRICO

Los especialistas que se encargan de las estructuras de drenaje transversal siguen diferentes fundamentos y criterios para su diseño, consideran a nivel geométrico vial, estructural, geotécnico, hidrológico, hidráulico y ambiental la propia obra para que se pueda garantizar su óptimo desempeño. Para este estudio, se abordará el contenido de los estudios hidrológicos, hidráulicos y ambientales que se requieren para diseñar estas estructuras.

2.1 ANÁLISIS HIDROLÓGICO

La hidrología es la ciencia que estudia el agua y es de gran importancia para el diseño de las estructuras hidráulicas tal como puentes, que en nuestro estudio se abarcan, así como otro tipo de estructuras de drenaje transversal. Aparicio (1992) plantea que se requieren de análisis hidrológicos cuantitativos de un evento para el diseño de puentes, estructuras para el control de avenidas como presas, vertedores y sistemas de abastecimiento de agua (p. 13)

Figura 1 Ciclo hidrológico



Nota. Adaptado de *Fundamentos de hidrología de superficie*. (p. 5), de Aparicio Mijares, 1992.

Para este enfoque de hidrotecnia se aborda la precipitación y la relación entre la infiltración y flujo superficial, porque en el trayecto que el agua se está transportando en el río, esta cruza con una carretera y se debe construir una obra de drenaje transversal para que el agua siga su camino y no afecte al tránsito vehicular. Esta obra puede ser puente o alcantarilla. El alcance entonces es la determinación del caudal de diseño de esta obra mediante la delimitación de la cuenca, cuyo punto de cierre es la propia obra. El caudal es determinado con una lluvia de diseño y la respuesta de las precipitaciones sobre la cuenca usando métodos que estiman el caudal máximo, donde si el área se considera de drenaje menor podrá utilizarse el método racional, y en áreas de drenaje mayor serán por hidrogramas y tránsito de avenidas. Para estos procesos se utilizan softwares especializados.

2.1.1 DELIMITACIÓN DE CUENCAS

2.1.1.1 Delimitación de cuencas con ArcGIS

Según Price (2019) el GIS, definido como Sistema de Información Geográfica, son herramientas de computación que permiten a las personas trabajar con datos que se encuentran en un lugar particular de la tierra, por lo que se suele trabajar con bases de datos en mapas. Así mismo, el GIS tiene diferentes aplicaciones como planificación del uso de la tierra, gestión ambiental o alguno que requiera de datos espaciales para su beneficio. (p. 3)

Lo más importante es usar el software ArcGIS para una aplicación en específico, en este caso, la hidrología con la delimitación de cuencas y la creación de un modelo hidrológico. Para este caso, existe un software que se llama HEC HMS, y se puede vincular con el ArcGIS para elaborar todo este proceso.

Para delimitar una cuenca, además del uso del ArcGIS “existe un complemento elaborado por *US Army Corps of Engineers* (Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos) denominado *HEC GeoHMS”* (Campos, 2016, p. 175). El cual hace más eficiente la delimitación y modelación hidrológica.

El objetivo es delimitar la cuenca cuyo punto de cierre es una obra de drenaje transversal, como un puente o alcantarilla. Para ello, se debe conocer las coordenadas. Posteriormente, se realizan una serie de más procesos a la cuenca delimitada para preparar el modelo hidrológico, se deben calcular los parámetros de las subcuencas y del drenaje, así mismo, se requieren de más insumos como los mapas de uso y tipo de suelo, así como de establecer un método para exportarla al HEC HMS.

2.1.1.2 Delimitación de cuencas y sus características

Villón (2002) menciona que “La cuenca de drenaje de una corriente, es el área de terreno donde todas las aguas caídas por precipitación, se unen para formar un solo curso de agua”. Así mismo, menciona que la delimitación de la cuenca se realiza sobre un mapa de curvas de nivel siguiendo las líneas del parteaguas, que es la encargada de dividir los sistemas de corrientes que fluyen en el punto de salida de la cuenca (p. 21).

El MTI (2017) define cuenca hidrográfica como “superficie de terreno cuya escorrentía superficial fluye en su totalidad a través de una serie de corrientes, ríos y, eventualmente, lagos hacia el mar por una única desembocadura”. (p. 50)

Según Gámez (2010) la cuenca la delimitan los puntos de mayor elevación entre fronteras de cuencas, reciben el nombre de parteaguas, y se reúnen en un punto de salida lo cual puede formar ríos grandes o corrientes efímeras (p. 26).

El perímetro de la cuenca, Villón (2002) lo define como el borde o contorno de la forma de la cuenca que se proyecta en un plano horizontal que se obtiene después de delimitar la cuenca. (p. 32)

Gámez (2010) menciona que “los parámetros morfológicos intentan reflejar las características de la cuenca en cuanto a su forma y la influencia en la respuesta a las precipitaciones, se deduce a parir de la cartografía” (p. 35).

Así mismo, menciona que la cuenca presenta tres tipos de parámetros, que son de forma, relieve y relativos a red de drenaje.

Según Villón (2002) el índice de compacidad es definido por Gravelious y expresa la relación entre el perímetro de una cuenca y el perímetro de una circunferencia que tiene el mismo valor de área. Si esta relación es igual a 1, la cuenca será circular, valores mayores a este indican cuencas alargadas, las cuales reducen que sean cubiertas por completo en una tormenta (p. 41). Si el valor de índice de compacidad se encuentra en el rango de 0 y 1.25, la cuenca tiene una relación de Redonda a oval redonda. Si se encuentra en el rango de 1.25 y 1.50, tiene una relación de oval redonda a oval oblonga. Y si se encuentra en el rango de 1.50 a 1.75, se dice que tiene una relación de oval oblonga a rectangular oblonga.

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi\, A}} \tag{2.1}$$

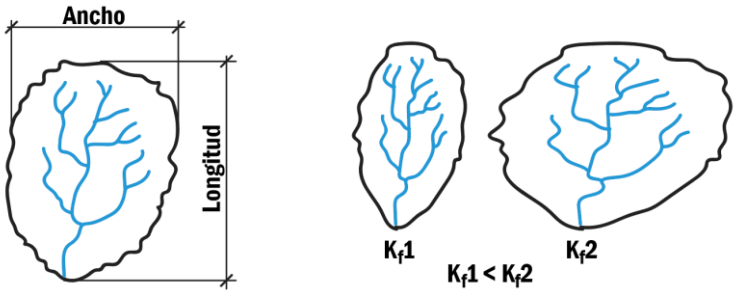
Donde $\boldsymbol{Kc}$ es el Índice de compacidad de Gravelious, $\boldsymbol{P}$ es el Perímetro de la cuenca en km y $\boldsymbol{A}$ es el Área de la cuenca en km^2.

Villón (2002) define que el factor de forma es “la relación entre el ancho promedio de la cuenca y su longitud suponiendo la cuenca de forma rectangular” (p. 40).

$$K_f = \frac{B \times L}{L \times L} = \frac{A}{L^2} \tag{2.2}$$

Donde $\boldsymbol{Kf}$ es el factor de forma, $\boldsymbol{B}$ es el ancho de la cuenca en km y $\boldsymbol{L}$ es la longitud máxima de la cuenca en km.

Figura 2 Representación de ancho, longitud y factor de forma de una cuenca



Nota. Adaptado de *Hidrología*. (p.41), De Máximo Villón, 2002

Así mismo, si una cuenca tiene el factor de forma mayor, existe mayor posibilidad de tener una tormenta intensa simultánea sobre toda el área, pero, por el contrario, si este factor es menor, tiene menor tendencia a concentrar las intensidades de lluvia. (Villón, 2002, p. 40). Un factor de forma superior a la unidad nos proporciona el grado de achatamiento de la cuenca o el de un río principal corto. En consecuencia, con tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa formando fácilmente grandes crecidas. Si el valor de factor de forma se encuentra en el rango de 0.01 a 0.18, se dice que la cuenca tiene una forma muy poco achatada, si se encuentra en un rango de 0.18 a 0.36, la cuenca tiene una forma ligeramente achatada y si el valor se encuentra en un rango de 0.36 a 0.54, la cuenca tiene una forma moderadamente achatada.

El índice de alargamiento fue propuesto por Horton y expresa la relación máxima encontrada en la cuenca, medida en sentido del río principal y el ancho máximo de ella. Cuando el índice de alargamiento toma valores por encima de la unidad, se trata de cuencas alargadas, de lo contrario se puede tratar de cuencas cuya red de drenaje tiene un río corto. Si el valor del índice de alargamiento se encuentra en el rango de 0 a 1.4, se dice que la cuenca tiene una clase muy poco alargada, si se encuentra en el rango de 1.5 a 2.8, la cuenca se considera moderadamente alargada y si se encuentra el valor en el rango de 2.9 a 4.2, se dice que la cuenca es muy alargada.

$$I_a = \frac{L}{B} \tag{2.3}$$

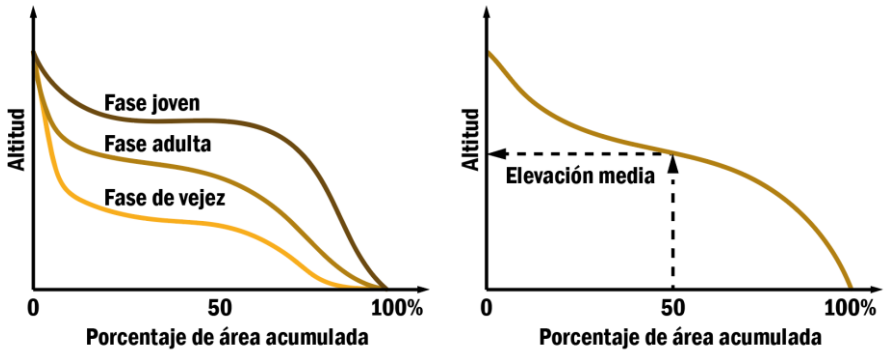
Donde $\boldsymbol{I_a}$ es el índice de alargamiento, $\boldsymbol{L}$ la longitud máxima de la cuenca en km y $\boldsymbol{B}$ el ancho máximo de la cuenca en km.

La elevación media es una característica que está relacionada con la temperatura y la precipitación, a su vez la variación de la temperatura influye en la variación de pérdidas de agua por evaporación, por esta razón en hidrología se utiliza como parámetro representativo. (Gámez, 2010, p. 37).

La curva hipsométrica representa la relación entre la altitud y la superficie de la cuenca que queda sobre esa altitud (Villón Béjar, 2002, p. 35). Gráficamente

ayuda a identificar el estado de las cuencas y las fases de la vida de los ríos. En la figura, la curva superior representa una cuenca joven con alto potencial erosivo, la curva intermedia es de una cuenca en equilibrio y la curva inferior es típica de una cuenca en fase de vejez sedimentaria. (Gámez, 2010, p.38). Así mismo, usando la curva se puede identificar la Elevación Media. (Villón, 2002, p. 37).

Figura 3 Curva hipsométrica



Nota. Adaptado de *Texto básico de Hidrología (p. 38)*, de William Gámez Morales, 2010.

El coeficiente de masividad representa la relación entre la elevación media de la cuenca y su superficie (CORASCO, 2008, p. 26). Si el valor de masividad se encuentra entre 0 y 3, se dice que es muy montañosa, si se encuentra entre 35 y 70, es montañosa y si se encuentra en el rango de 70 a 105, se dice que es moderadamente montañosa.

$$K_m = \frac{E_m}{A} \tag{2.4}$$

Donde $\boldsymbol{K_m}$ es el coeficiente de masividad en m/km^2, $\boldsymbol{E_m}$ es la elevación media en $msnm$, y $\boldsymbol{A}$ es el área de la cuenca en km^2.

El rectángulo equivalente es una transformación que representa una cuenca en un rectángulo con la las mismas características de área, perímetro e índice de compacidad. (Villón, 2002, p. 42).

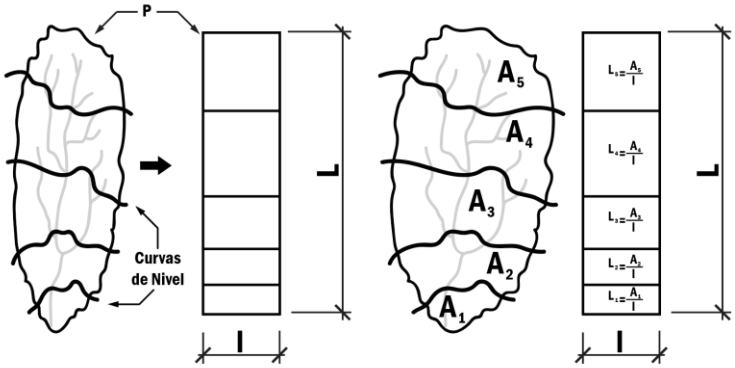
Este es calculado para el lado mayor y para el menor de la siguiente forma:

$$L_{eq} = \frac{K_c\sqrt{A}}{1.12}\left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c}\right)^2}\right) \quad (2.5)$$

$$l_{eq} = \frac{K_c\sqrt{A}}{1.12}\left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c}\right)^2}\right) \quad (2.6)$$

Donde $\boldsymbol{L_{eq}}$ es el lado mayor del rectángulo equivalente en km, $\boldsymbol{l_{eq}}$ es el lado menor del rectángulo, $\boldsymbol{K_c}$ es el índice de compacidad y $\boldsymbol{A}$ es el área de la cuenca en km^2.

Figura 4 Transformación de la cuenca en un rectángulo y longitudes parciales del rectángulo equivalente



Nota. Adaptado de *Hidrología*. (p.46), De Máximo Villón Béjar, 2002

La pendiente del cauce se puede estimar por diferentes métodos, en este caso se obtiene el desnivel con la resta de los valores del punto más alto y más bajo del cauce, para dividirlo entre la longitud del mismo cauce. Si la pendiente está entre 0.01 y 0.05 se clasifica como suave, si está entre 0.06 y 0.11 se clasifica como moderada y si está entre 0.12 y 0.17 se clasifica como pendiente fuerte.

$$s_c = \frac{H_{máx} - H_{min}}{L_{cauce}} \quad (2.7)$$

Donde $\boldsymbol{s_c}$ es la pendiente media del cauce expresada en m/m, $\boldsymbol{H_{máx}}$ es la elevación máxima del río, $\boldsymbol{H_{mín}}$ es la altura más baja del río y $\boldsymbol{L_{cauce}}$ la longitud del cauce en metros.

Según Villón (2002), se denomina tiempo de concentración, al tiempo transcurrido, desde que una gota de agua cae, en el punto más alejado de la cuenca hasta que llega a la salida de esta. Este tiempo es función de ciertas características geográficas y topográficas de la cuenca (p. 251).

Existen diferentes fórmulas para el tiempo de concentración debido a las variaciones en las características geográficas, climáticas y de uso del suelo de cada cuenca hidrográfica, realizadas por diferentes autores de forma experimental para cuencas ubicadas en todas partes del mundo que responden a comportamientos determinados.

La ecuación de Kirpich, se puede aplicar a pequeñas cuencas con áreas menores de 60 hectáreas (MTI, 2011, p. 30)

$$Tc_{Kirpich} = 0.0078 \left(\frac{3.28\, L_{cauce}}{\sqrt{s_c}} \right)^{0.77} \quad (2.8)$$

Donde $\boldsymbol{Tc_{Kirpich}}$ es tiempo de concentración de Kirpich en min, $\boldsymbol{L_{cauce}}$ es la longitud del río en m, y $\boldsymbol{s_c}$ la pendiente del río expresadas en m/m.

En el caso de cuencas pequeñas y para Nicaragua se puede utilizar la formula del método del Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano (PHCA) (MTI, 2011, p. 32).

$$Tc_{PHCA} = 0.0041 \left(\frac{3.28\, L_{cauce}}{\sqrt{s_c}} \right)^{0.77} \quad (2.9)$$

Donde $\boldsymbol{Tc_{PHCA}}$ es tiempo de concentración de PHCA en min, $\boldsymbol{L_{cauce}}$ es la longitud del río en m, y $\boldsymbol{s_c}$ la pendiente del río expresadas en m/m.

2.1.1.3 Cuencas hidrográficas por Pfafstetter

El PHCA de 1960 a 1972 realizó la delimitación de las cuencas en Centroamérica, en Nicaragua resultaron 21 cuencas las cuales se dividen en vertientes del Atlántico y del Pacífico.

Un método para la clasificación de los sistemas de drenajes fluviales, que fundamentalmente está orientado a la codificación de las cuencas y microcuencas hidrográficas, fue propuesto por el científico brasileño Otto Pfafstetter en 1989, mismo que fue adoptado como estándar internacional en 1997 por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Mediante este sistema se asigna identificadores únicos (ID) a unidades de drenaje basado en la topología de la superficie del terreno. (Campos, 2016, p. 172)

La metodología Pfafstetter sirve para delimitar las Cuencas Hidrográficas por niveles de forma jerarquizada, es decir permite la subdivisión y codificación en unidades hidrográficas y organiza el territorio de una forma muy simple. (INETER, 2014, p. 4).

Figura 5 Cuencas Hidrográficas de Nicaragua por método Pfafstetter

Nota. Adaptado de *Cuencas Hidrográficas de Nicaragua bajo la metodología Pfafstetter*. (p. 5), de INETER, 2014.

2.1.2 PRECIPITACIONES

2.1.2.1 Período de retorno

Para el caso de un caudal de diseño, el período de retorno se define, como el intervalo de tiempo dentro del cual un evento determinado, puede ser igualado o excedido por lo menos una vez en promedio. Si un evento igual o mayor al estudiado ocurre una vez en T años, su probabilidad de ocurrencia P, es igual a 1 en T casos, es decir:

$$P = \frac{1}{T_R} \tag{2.10}$$

Donde $\boldsymbol{P}$ es la probabilidad de ocurrencia de un evento mayor al esperado y $\boldsymbol{T_R}$ el período de retorno.

Se le establece un período de retorno según el tipo de estructura, en la siguiente tabla se presentan unos rangos recomendados para proyectos de drenaje en carreteras de acuerdo a la Clasificación Funcional establecida por el MTI. Para todas ellas, se debe revisar el flujo en el período de retorno 100 años. (CORASCO, 2008, p. 32)

Tabla 1 Frecuencias de diseño recomendadas para obras en carreteras

Frecuencias de Diseño Recomendadas (años)						
	Diseño					**Revisión Flujo**
Clasificación funcional de Carreteras	**2**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
Troncal Principal						
Alcantarilla de paso				**X**	**X**	**X**
Alcantarillas de alivio			**X**			**X**
Puentes grandes					**X**	**X**
Troncal Secundaria						
Alcantarilla de paso				**X**		**X**
Alcantarillas de alivio			**X**			**X**
Puentes pequeños				**X**	**X**	**X**

Frecuencias de Diseño Recomendadas (años)						
	Diseño					Revisión Flujo
Clasificación funcional de Carreteras	**2**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
Colectora principal						
Alcantarilla de paso				**X**		**X**
Alcantarillas de alivio			**X**			**X**
Puentes pequeños				**X**	**X**	**X**
Colectora secundaria						
Alcantarilla de paso				**X**		**X**
Alcantarillas de alivio			**X**			**X**
Puentes pequeños		**X**	**X**			**X**
Puente - Vado						
Caminos vecinales						
Alcantarilla de paso			**X**	**X**		**X**
Alcantarillas de alivio			**X**			**X**
Puentes pequeños				**X**	**X**	**X**
Puente - Vado	**X**	**X**				**X**

Nota. Adaptado de *Manual para la Revisión de Estudios Hidrotécnicos de Drenaje Menor*. (p.32), de Corea y Asociados S.A., 2008.

2.1.2.2 Medición de precipitaciones

Según Gámez (2010) define precipitación como la caída del agua en estado líquido, en forma de lluvia, hacia la superficie terrestre (p. 57). Así mismo, la precipitación se mide en términos de altura de lámina de agua e indicaría la altura del agua que se acumularía en una superficie horizontal si la precipitación estuviera donde cayó. Existen varios instrumentos para registrar las precipitaciones. Los pluviómetros son medidores sin registro de la precipitación, en cambio los pluviógrafos sí pueden registrar la lluvia caída en papel o de forma digital. Se debe tener especial cuidado para instalar estos aparatos de medición para evitar factores que distorsionan su medición y cumplir con las normas que se tengan establecidas (Fattorelli, 2011, p. 66). En Nicaragua, el encargado de recopilar las mediciones de las precipitaciones es INETER, bajo la Dirección General de Meteorología.

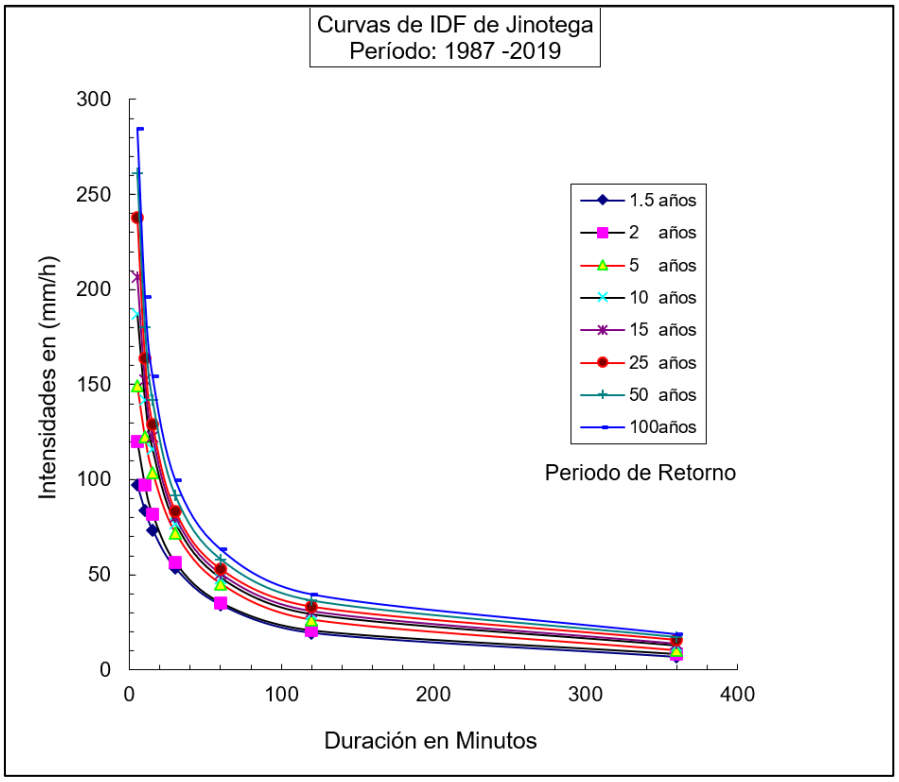
2.1.2.3 Curvas IDF

Según Fattorelli (2011) la relación de las curvas IDF son fundamentales para definir la lluvia que se sebe usar en el diseño hidrológico, es una relación gráfica o en tablas, la relación entre la intensidad sobre determinado tiempo y su frecuencia de ocurrencia (p. 172). INETER en Nicaragua define las IDF como una curva de intensidades correspondiente a cada período de retorno característico como 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años, y en duraciones como 5, 10, 15, 30, 60, 120 y 360 minutos. Estos valores de intensidad dependen de constantes, que son coeficientes de ajuste.

$$I = \frac{A}{(t+d)^b} \tag{2.11}$$

Donde $\boldsymbol{I}$ es la intensidad de precipitación en mm/h, $\boldsymbol{t}$ es el tiempo en min, y $\boldsymbol{A}, \boldsymbol{d}$ y $\boldsymbol{b}$ son los coeficientes de ajuste que varían según el período de retorno.

Figura 6 Curvas IDF Estación Jinotega



Nota. Adaptado de *Curvas Ajustadas Estación Jinotega*, de INETER, 2019.

2.1.2.4 Consideración del cambio climático

Las obras de ingeniería son influenciadas por factores alusivos al cambio climático, uno de ellos son las precipitaciones pluviales. Un correcto dimensionamiento de las obras garantiza el buen funcionamiento durante su vida útil. Se debe conocer las precipitaciones en casos extremos y también las de corta duración para dimensionar drenaje urbano y evitar inundaciones en centros poblados (Gámez, 2010, p. 56). El MTI en 2017 presenta la "Guía Metodológica de Hidrotecnia Vial, incorporando la adaptación al cambio climático", que incluye los efectos del cambio climático en Nicaragua con un factor de mayoración para los cálculos hidrológicos y diseño de obras de drenaje.

Según MTI (2017) el cambio climático es definido como la "variación del estado del clima identificable mediante pruebas estadísticas en las variaciones de su valor medio en la variabilidad de sus propiedades que persiste durante largos periodos de tiempos" (p. 49). El efecto del cambio climático sobre el drenaje de las carreteras es principalmente al aumento de las precipitaciones extremas que se usan para el cálculo de estructuras de drenaje. (MTI, 2017, p. 8).

$$I_{cc} = I \cdot K_{cc} \tag{2.12}$$

Donde $\boldsymbol{I_{cc}}$ es la intensidad modificada por el efecto de cambio climático, $\boldsymbol{I}$ es la intensidad y $\boldsymbol{K_{cc}}$ es el coeficiente de cambio climático correspondiente a la estación.

Para cada estación hidrometeorológica principal presenta coeficientes en función del período de retorno que se está analizando, y a su vez este coeficiente presenta tres valores distintos por cada período de retorno que son P50, P70 y P90, los cuales, el responsable de proyecto usará según el caso: P90. Servicios (Hospitales, esenciales Colegios, Defensa, Servicio eléctrico, Servicios de Emergencias, etc.), P70. Zonas Urbanas, carreteras troncales principales, troncales secundarias o colectoras principales y P50. Resto de los casos.

2.1.2.5 Hietograma de diseño por el método de bloques alternos

El método del bloque alterno es una que desarrolla un hietograma de diseño utilizando una curva de IDF. Este especifica la profundidad de precipitación que ocurre en n intervalos de tiempo sucesivos de duración Δt sobre una duración total de $T_d = n\Delta t$. Después de seleccionar el periodo de retorno de diseño, la intensidad es leída en una curva IDF para cada una de las duraciones $\Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t$.. y la profundidad de precipitación correspondiente se encuentra al multiplicar la intensidad y la duración. Restando valores sucesivos de profundidad de precipitación, se encuentra la cantidad de precipitación que debe añadirse por cada unidad adicional de tiempo Δt. Estos incrementos se reordenan en una secuencia temporal de modo que la intensidad máxima ocurra en el centro de la duración requerida T_d y que los demás bloques queden en orden descendente alternativamente hacia la derecha y hacia la izquierda del bloque central para formar el hietograma de diseño. (Chow, 1994, p. 476).

El hietograma de bloques alternos se determina utilizando la curva IDF, uno por cada curva correspondiente a período de retorno. El primer paso es determinar el tiempo total de lluvia de diseño, el cual puede ser 360 minutos por tener registro en la curva IDF y se debe tener el intervalo de tiempo para trabajarlo, que puede ser 30 minutos. Como segundo paso sería evaluar cada valor de Intensidad para cada una de las duraciones del intervalo 30, 60, 90… hasta 360 minutos, y al mismo tiempo aplicar el Coeficiente de Cambio climático obteniendo las intensidades mayoradas. El tercer paso es encontrar la profundidad acumulada, se calcula como el producto de la intensidad y su correspondiente duración. El cuarto paso es obtener la profundidad de precipitación, para lo cual se calcula como la resta de valores sucesivos de profundidad de precipitación. De esa forma se obtienen los bloques de precipitación para cada duración. Como quinto y último paso, se reordenan estos bloques poniendo primeramente el bloque con mayor profundidad de precipitación en la mitad del tiempo de la lluvia y los demás bloques estarán de forma descendentes de forma alterna hacia la derecha y la izquierda para formar el hietograma de diseño de tipo bloques alternos.

2.1.3 ESTIMACIÓN DEL CAUDAL

Según Campos (2016) “la subestimación del caudal máximo de diseño puede conducir a catástrofes técnico-humanas, y su sobreestimación conlleva a aumentar el costo de la construcción” (p. 199).

Existen diferentes métodos para calcular el caudal de la cuenca, esto ya está en dependencia de factores como el área de la cuenca y el criterio del diseñador. En este caso, se presenta el método racional para cuencas de drenaje menor, mientras en las cuencas de drenaje mayor están los métodos de abstracciones e hidrogramas desarrollados por el Soil Conservation Service (SCS).

2.1.3.1 Caudal de escurrimiento por método racional

Según la “Guía Hidráulica para el diseño de Obras de Drenaje en Caminos Rurales” del MTI, el método para determinar el caudal de diseño de una cuenca es el del método racional, presentado por Emil Kuichling en 1889, el cual asume que el caudal máximo para un cruce dado se alcanza cuando la totalidad del área tributaria está contribuyendo con su escorrentía superficial durante una duración de precipitación igual al tiempo de concentración (MTI, 2011, p. 28).

Según Chow (1994) es que, si una lluvia con cierta intensidad empieza de forma instantánea y continúa de forma indefinida, la tasa de escorrentía continuará hasta que llegue al tiempo de concentración, el cual toda la cuenca está contribuyendo al flujo de salida. El producto de la intensidad de lluvia y el área es el caudal que entra al sistema, y la relación de esto y el caudal pico, se conoce como coeficiente de escorrentía, cuyos valores están entre cero y uno (p. 510).

$$Q = 0.2778\ C\ I\ A \tag{2.13}$$

Donde $\boldsymbol{Q}$ es el caudal en m^3/s, $\boldsymbol{C}$ el coeficiente de escorrentía adimensional, $\boldsymbol{I}$ la intensidad de precipitación en mm/h y $\boldsymbol{A}$ el área de la cuenca en km^2.

El departamento de drenaje pluvial de la Alcaldía de Managua con base en los documentos de Normas checoslovacas para estabilización de cauces y cárcavas, esbozo de un plan maestro del drenaje pluvial subterráneo y superficial de la ciudad de Managua y observaciones de campo propone para la determinación del coeficiente de escorrentía, en dependencia de factores: uso del suelo, tipo de suelo y pendiente del terreno (Lanza, 2010, p. 20).

$$C = Us \cdot Ts \cdot Pt \tag{2.14}$$

Donde $\boldsymbol{C}$ es el coeficiente de escorrentía, $\boldsymbol{Us}$ es el factor de uso de suelo, $\boldsymbol{Ts}$ el factor de tipo de suelo y $\boldsymbol{Pt}$ el factor de pendiente de terreno.

Tabla 2 Factores para determinar el coeficiente de escorrentía de una cuenca según Normas Checoslovacas

Uso del suelo	$\boldsymbol{Us}$
Vegetación densa, bosques, cafetal con sombras, pastos	0.04
Malezas, arbustos, solar baldío, cultivos perennes, parques, cementerios, campos deportivos	0.06
Sin vegetación o con cultivos anuales	0.10
Zonas suburbanas (viviendas, negocios)	0.20
Casco urbano y zonas industriales	0.30 - 0.50
Tipo de suelo	$\boldsymbol{Ts}$
Permeable (terreno arenoso, ceniza volcánica, pómez)	1.00
Semipermeable (terreno arcilloso arenoso)	1.25
Impermeable (terreno arcilloso, limoso, marga)	1.50
Pendiente del terreno (%)	$\boldsymbol{Pt}$
0.0 - 3.0	1.00
3.1 - 5.00	1.50
5.1 - 10.0	2.00
10.1 - 20.0	2.50
20.1 y más	3.00

Nota. Adaptado de *Análisis Hidrológico*. (p.21), de Néstor Lanza, 2010

2.1.3.2 Método Curva Número y obtención de hidrogramas

- **Método SCS para abstracciones**

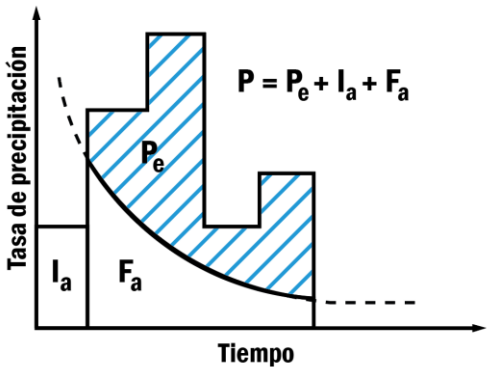
El Soil Conservation Service desarrolló un método para calcular las abstracciones de la precipitación de una tormenta. Para la tormenta como un todo, la profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa P_e es siempre menor o igual a la profundidad de precipitación P; de manera similar, después de que la escorrentía se inicia, la profundidad adicional del agua retenida en la cuenca F_a es menor o igual a alguna retención potencial máxima S. (Chow, 1994, p. 151)

Existe una cierta cantidad de precipitación I_a (abstracción inicial antes del encharcamiento) para la cual no ocurrirá escorrentía, luego la escorrentía potencial es $P - I_a$. La hipótesis del método del SCS consiste en que las relaciones de las dos cantidades reales y las dos cantidades potenciales son iguales, es decir:

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a} \tag{2.15}$$

Donde $\boldsymbol{P_e}$ es la profundidad de exceso de precipitación, $\boldsymbol{P}$ es la profundidad de precipitación total, $\boldsymbol{I_a}$ es la abstracción de precipitación inicial, $\boldsymbol{F_a}$ es la profundidad de agua adicional continuada retenida y $\boldsymbol{S}$ es la retención potencial máxima.

Figura 7 Valores en el método de abstracciones de precipitación del SCS



Nota. Adaptado de *Hidrología Aplicada*. (p.151), de Ven Te Chow, 1994

Donde por el principio de continuidad se tiene que:

$$P = P_e + I_a + F_a \tag{2.16}$$

A partir de resultados obtenidos para muchas cuencas experimentales pequeñas, se llegó a la siguiente relación empírica:

$$I_a = 0.2\,S \tag{2.17}$$

Combinando (2.16) y (2.17), resolviendo para $\boldsymbol{P_e}$ y considerando lo anterior se obtiene:

$$P_e = \frac{(P - 0.2\,S)^2}{P + 0.8\,S} \tag{2.18}$$

Al representar en gráficas la información de P y P_e para muchas cuencas, el SCS encontró curvas que, para estandarizarlas, se define un número adimensional de curva CN, tal que está entre cero y cien. Para superficies impermeables y superficies de agua el valor de CN es 100 y para superficies naturales el valor de CN es inferior a 100.

El número de curva y $\boldsymbol{S}$ se relacionan por:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \tag{2.19}$$

Donde $\boldsymbol{S}$ está en pulgadas y $\boldsymbol{CN}$ es el valor de curva número.

Según Chow (1994), los números de curva han sido tabulados por el *SCS* con base en el tipo de suelo y el uso de la tierra (p. 153). Se definen en cuatro grupos hidrológicos:

- Grupo A: Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.
- Grupo B: Suelos poco profundos depositados por el viento, marga arenosa.
- Grupo C: Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla.
- Grupo D: Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.

Tabla 3 Números de curva de escorrentía

Descripción del uso de la tierra		Grupo hidrológico del suelo			
		A	**B**	**C**	**D**
Tierra Cultivada:	Sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
	Con tratamientos de conservación	62	71	78	81
Pastizales	Condiciones pobres	68	79	86	89
	Condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos: Condiciones óptimas		30	58	71	78
Bosques:	Troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas	45	66	77	83
	Cubierta buena	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.					
	Óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más	39	61	74	80
	Condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75%	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)		89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables		81	88	91	93
Residencial:					
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable				
1/8 acre o menos	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc.		98	98	98	98
Calles y carreteras	Pavimentados con cunetas y alcantarillados	98	98	98	98
	Grava	76	58	59	91
	Tierra	72	82	87	89

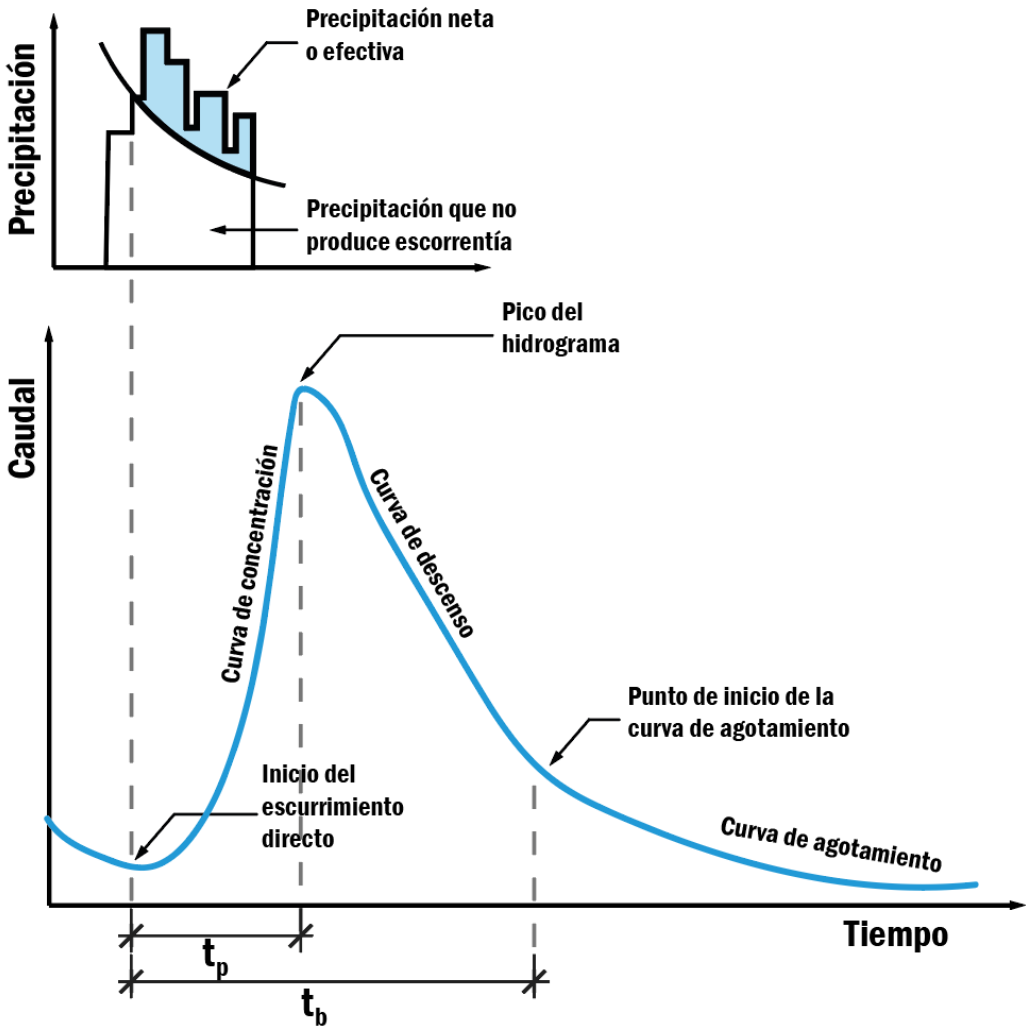
Nota. Adaptado de *Hidrología Aplicada*. (p.154), de Ven Te Chow, 1994

Estos números de curva se aplican para condiciones antecedentes de humedad normales (AMC II).

- **Hidrogramas**

El hidrograma de una corriente, representa gráficamente las variaciones del caudal con respecto al tiempo, arregladas en orden cronológico en un lugar dado de la corriente. En el hietograma de la figura se observa la precipitación que produce la infiltración, de la que produce escorrentía directa, ésta última se denomina precipitación en exceso, precipitación neta o efectiva. El área bajo el hidrograma, es el volumen de agua que ha pasado por el punto de aforo, en el intervalo de tiempo expresado en el hidrograma. (Villón 2002, p. 195).

Figura 8 Hidrograma de un pico



Nota. Adaptado de *Hidrología*. (p.196), De Máximo Villón Béjar, 2002

Los hidrogramas unitarios sinteticos se optienen usando unicamente datos de las caracteristicas generales de cualquier cuenca, o a partir de hidrogramas unitarios adimensionales generales. El SCS hace uso de un hidrograma unitario sintético de forma triangular, desarrollado con base en la revisión de un gran número de hidrogramas unitarios, donde el tiempo base $\boldsymbol{t_p}$ y el tiempo pico $\boldsymbol{t_b}$ se relacionan mediante la expresión:

$$t_p = 2.67 t_b \tag{2.20}$$

A su vez, el tiempo pico se expresa como:

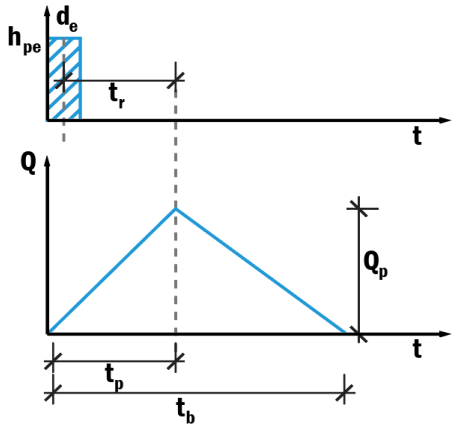
$$t_b = \frac{d_e}{2} + t_r \tag{2.21}$$

Donde $\boldsymbol{d_e}$ es la duración de la profundidad de exceso de precipitación y $\boldsymbol{t_r}$ es el tiempo de retraso (*BasinLag*), el cual se estima mediante el tiempo de concentración de la forma $t_r = 0.6 T c_{SCS}$, siendo:

$$Tc_{SCS} = 100 L^{0.8} \frac{\left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0.7}}{1900 {S_a}^{0.5}} \tag{2.22}$$

Donde $\boldsymbol{Tc_{SCS}}$ es el tiempo de concentración del SCS, $\boldsymbol{L}$ es la longitud del cauce principal en pies, $\boldsymbol{CN}$ es el número de curva del SCS de la cuenca, y $\boldsymbol{S_a}$ es la pendiente de la cueca en porcentaje.

Figura 9 Hidrograma sintético triangular



Nota. Adaptado de *Hidrología*. (p.228), De Máximo Villón Béjar, 2002

2.1.3.3 Tránsito de avenidas en cauces

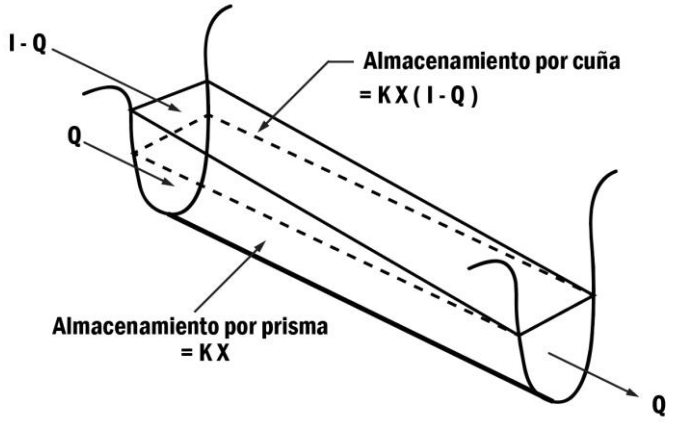
El tránsito de avenidas de crecientes es el procedimiento que determina el hidrograma resultante en un punto de un curso de agua a través de otros hidrogramas conocidos en otros puntos aguas arriba.

En el tránsito de un hidrograma de un punto de entrada a uno de salida, el tiempo que ocupa este proceso se divide en intervalos de misma duración Δt, por lo que los valores del flujo en la entrada al inicio y final del j-ésimo intervalo son I_j e I_{j+1}, respectivamente, como así también en la salida serán Q_j y Q_{j+1}. Si se considera que la variación de los caudales de entrada y de salida a lo largo del intervalo es aproximadamente lineal, el almacenamiento S del intervalo j al $j+1$ en un tramo de tránsito se encuentra como:

$$S_{j+1} - S_j = \frac{I_j + I_{j+1}}{2}\Delta t - \frac{Q_j + Q_{j+1}}{2}\Delta t \qquad (2.23)$$

Según Chow (1994), “El método de Muskingum es un método de tránsito hidrológico que se usa comúnmente para manejar relaciones caudal-almacenamiento variables. Este método modela el almacenamiento volumétrico de creciente en un canal de un río mediante la combinación del almacenamiento de cuña y prisma” (p. 264).

Figura 10 Almacenamientos por prisma y por cuña en un tramo de un canal



Nota. Adaptado de *Hidrología Aplicada*. (p.264), de Ven Te Chow, 1994

Durante el avance de la onda de creciente, el caudal de entrada es mayor que el caudal de salida, siendo un almacenamiento de cuña. Adicionalmente, existe un almacenamiento por prisma que está formado por un volumen de sección transversal constante a lo largo de la longitud del canal prismático.

Suponiendo que el área de la sección transversal del flujo de creciente es directamente proporcional al caudal en la sección, el volumen de almacenamiento por prisma es igual a KQ donde K es un coeficiente de proporcionalidad, y el volumen de almacenamiento por cuña es igual a $KX(I - Q)$, donde X es un factor de ponderación dentro del rango $0 \leq X \leq 0.5$.

El almacenamiento total es por consiguiente la suma de dos componentes, (Chow, 1994, p. 265). Sumando y reordenado los términos se tiene la función de almacenamiento para el método de Muskingum.

$$S = K[XI + (1 - X)Q] \qquad (2.24)$$

Para el tránsito hidrológico los valores de K y X se suponen especificados y constantes para todo el rango de flujo. El valor de X depende de la forma de almacenamiento por cuña modelado. El valor de X varía desde 0 para un almacenamiento tipo embalse donde no existe cuña hasta 0.50 para una cuña completamente desarrollada y donde no habría ningún abatimiento del pico. En corrientes naturales, X se encuentra entre 0.00 y 0.30 con un valor medio cercano a 0.20, que es el que recomienda tomar. No se necesita una gran precisión en la determinación de X debido a que los resultados del método son relativamente insensibles al valor de este parámetro. El parámetro K es el tiempo de tránsito de una onda de creciente a través del tramo de canal. (Chow, Hidrología Aplicada, 1994, pág. 265).

Es así que para un tramo de tránsito en un río o cause durante una crecida, teniendo un caudal de entrada I en un punto mayor al caudal de salida Q en el otro punto, el cambio del almacenamiento durante el intervalo de tiempo Δt de j a $j+1$ es:

$$S_{j+1} - S_j = K\left\{\left[XI_{j+1} + (1-X)Q_{j+1}\right] - \left[XI_j + (1-X)Q_j\right]\right\} \quad (2.25)$$

Este cambio de almacenamiento es también expresado por la ecuación 2.27. Al combinar ambas ecuaciones y realizar el despeje para el término Q_{j+1} (caudal de salida al final del intervalo), se obtiene la ecuación de tránsito para el método Muskingum:

$$Q_{j+1} = C_1 I_{j+1} + C_2 I_j + C_3 Q_j \quad (2.26)$$

Así mismo, se pueden obtener los coeficientes C_1, C_2 y C_3.

$$C_1 = \frac{\Delta t - 2KX}{2K(1-X) + \Delta t} \quad (2.27)$$

$$C_2 = \frac{\Delta t + 2KX}{2K(1-X) + \Delta t} \quad (2.28)$$

$$C_3 = \frac{2K(1-X) - \Delta t}{2K(1-X) + \Delta t} \quad (2.29)$$

C_1, C_2 y C_3 se conocen como coeficientes de rugosidad del cauce y son cambios de variable para simplificar la ecuación. Estos además cumplen que su suma es igual a la unidad.

$$C_1 + C_2 + C_3 = 1 \quad (2.30)$$

Se puede obtener el valor de K a partir de mediciones de hidrogramas pasados en la entrada y salida de un tramo de río.

$$K = \frac{0.5\,\Delta t\left[\left(I_{j+1} + I_j\right) - \left(Q_{j+1} + Q_j\right)\right]}{X\left(I_{j+1} - I_j\right) + (1-X)\left(Q_{j+1} - Q_j\right)} \quad (2.31)$$

Según Aparicio (1992) el valor de K tiene unidades de tiempo y su valor es aproximadamente igual al tiempo de viaje del pico de la avenida a lo largo del tramo. (p.105).

Para el modelo hidrológico de cuenca de HEC-HMS, la estimación de los parámetros de tránsito se hace por medio de una aproximación del valor de K, derivado del promedio de velocidades del flujo de agua a través del cauce principal de cada subcuenca.

$$K = \frac{L_{tránsito}}{3600\ V_{tránsito}} \tag{2.32}$$

Donde $\boldsymbol{L_{tránsito}}$ es el largo del tramo de río en m (*River Length*), y $\boldsymbol{V_{tránsito}}$ es la velocidad del tránsito en m/s, que es igual a:

$$V_{tránsito} = \frac{\sum_{c=1}^{n} V_{cuenca}}{n} \tag{2.33}$$

Donde $\boldsymbol{V_{cuenca}}$ es la velocidad de cuenca en m/s, y $\boldsymbol{n}$ es el número de subcuencas anteriores (por lo general 2). Además, las velocidades de las subcuencas pueden estimarse por medio de:

$$V_{cuenca} = \frac{L_{cauce}}{60\ tc_{Kirpich}} \tag{2.34}$$

Donde $\boldsymbol{L_{cauce}}$ es la longitud del cauce en metros (*Longest Flowpath*) y $\boldsymbol{tc_{kirpich}}$ es tiempo de concentración de Kirpich en min.

Como valor más común empleado en la práctica para X se tiene:

$$X = 0.2 \tag{2.35}$$

2.2 ANÁLISIS HIDRÁULICO

2.2.1 GENERALIDADES EN HIDRÁULICA

Los canales son conductos en los que el agua circula debido a la acción de gravedad y sin ninguna presión, pues la superficie libre del líquido está en contacto con la atmósfera. Los canales pueden ser naturales (ríos o arroyos) o artificiales (construidos por el hombre). Dentro de estos últimos, pueden incluirse aquellos conductos cerrados que trabajan parcialmente llenos (alcantarillas, tuberías). (Villón Béjar, 2007, p. 15)

2.2.1.1 Flujo uniforme y energía específica

El flujo se define como uniforme cuando los parámetros hidráulicos no cambian respecto al espacio, así mismo, la pendiente del canal, la superficie libre del agua y la línea de energía son todas paralelas entre sí (Villón, 2007, p. 63).

La fórmula de Chezy se origina en 1768, es la primera en definir al flujo uniforme para el cálculo de la velocidad media en un conducto. (Villón, 2007, p. 65)

$$v = C\sqrt{RS} \tag{2.36}$$

Donde $\boldsymbol{v}$ es la velocidad media del canal en metros por segundo, $\boldsymbol{C}$ es el coeficiente de Chezy que depende de las características del escurrimiento y de la naturaleza de las paredes, $\boldsymbol{R}$ es el radio hidráulico expresado en metros y $\boldsymbol{S}$ es la pendiente del fondo del canal, expresada en metros por metro.

La fórmula de Manning proviene de considerar en la fórmula de Chezy un coeficiente C que depende del radio hidráulico y del coeficiente de Manning de rugosidad. (Villón, 2007, p. 71)

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} \tag{2.37}$$

Donde $\boldsymbol{C}$ es el coeficiente de Chezy, $\boldsymbol{n}$ el coeficiente de rugosidad de Manning y $\boldsymbol{R}$ el radio hidráulico expresado en metros.

Sustituyendo la fórmula de Manning en la fórmula de Chezy se obtiene la expresión de Chezy-Manning.

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \tag{2.38}$$

Donde $\boldsymbol{v}$ es la velocidad media del canal en metros por segundo, $\boldsymbol{n}$ el coeficiente de rugosidad de Manning, $\boldsymbol{R}$ es el radio hidráulico expresado en metros y $\boldsymbol{S}$ es la pendiente del fondo del canal, expresada en metros por metro.

Así mismo, aplicando el principio de continuidad se obtiene una expresión para el cálculo del caudal.

$$Q = \frac{1}{n} A \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \tag{2.39}$$

Donde $\boldsymbol{Q}$ es el caudal expresado en metros cúbicos por segundo, $\boldsymbol{A}$ el área de la sección transversal expresada en metros cuadrados, $\boldsymbol{n}$ el coeficiente de rugosidad de Manning, $\boldsymbol{R}$ es el radio hidráulico expresado en metros y $\boldsymbol{S}$ es la pendiente del fondo del canal, expresada en metros por metro.

2.2.1.2 Coeficiente de rugosidad de Manning

En la fórmula de Manning, todos los términos excepto n son susceptibles de medición directa. Se debe estimar el coeficiente de rugosidad, que es un parámetro que representa los efectos integrados de la resistencia de la sección transversal del canal. (Subramanya, 2009, p. 96).

Así como hay métodos para estimarlo, Ven Te Chow propone valores detallados por el mínimo, normal y máximo para las diferentes condiciones de la superficie, facilitando el diseño y análisis de proyectos hidráulicos. Para conductos cerrados de metal, se propone un valor normal de 0.024, para alcantarilla de conceto se tiene un valor de 0.012 y para para corrientes naturales limpias y pastos se adopta 0.025. (Chow, 1994; p. 111)

2.2.2 HIDRÁULICA DE ALCANTARILLAS

2.2.2.1 Consideraciones hidráulicas

El objetivo del drenaje transversal es dar continuidad de la red de drenaje natural del terreno, permitiendo el paso del caudal de proyecto por la carretera. A los efectos de esta norma, las obras empleadas para procurar el drenaje transversal de las carreteras pueden ser puentes y Obras de Drenaje Transversal (ODT), estas son Obra de sección cerrada, es decir provista de solera con función estructural. Normalmente responde a las tipologías de tubo y sus dimensiones son inferiores a las de los puentes. (Ministerio de fomento, 2019, p. 83)

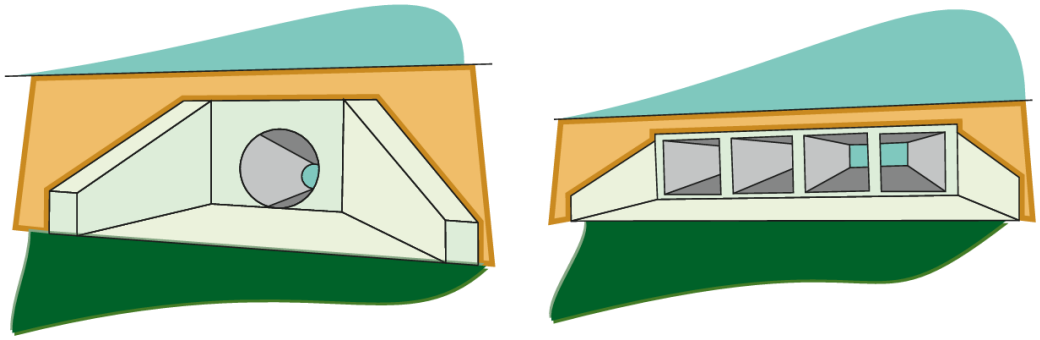
Según el ministerio de fomento, El proyecto del drenaje transversal se debe abordar conforme a la sistemática que a continuación se refiere:

- Definición de la cuenca y cauce principal del punto de cierre.
- Cálculo del caudal de proyecto.
- Elección de tipologías, dimensionamiento del puente o la ODT y comprobación hidráulica.
- Cálculos en variables hidráulicas necesarias para la determinación de acciones en el cálculo estructural.
- Proyecto completo del puente u ODT. En los planos se debe de incluir la lámina de agua correspondiente al caudal de proyecto y las profundidades de erosión o socavación.

El comportamiento del caudal a través de una alcantarilla generalmente queda regulado por los siguientes factores: Pendiente del lecho de la corriente aguas arriba y aguas abajo del lugar, Pendiente del fondo de la alcantarilla, Altura de ahogamiento permitido a la entrada, Tipo de entrada, Rugosidad de las paredes de la alcantarilla y Altura del remanso de salida. Todos los factores se combinan para determinar las características del flujo a través de la alcantarilla. El estudio de los tipos de flujo a través de las alcantarillas ha permitido establecer las relaciones existentes entre la altura de agua a la entrada del conducto, el caudal y las dimensiones de la alcantarilla. Para el diseño de una alcantarilla el

proyectista deberá fijar: El caudal de diseño, La altura de agua permisible a la entrada, La altura de agua a la salida, La pendiente con que se colocará el conducto, Su longitud, El tipo de entrada, Longitud y tipo de transiciones, La velocidad del flujo permisible a la salida. (Villón Béjar, 2003, p. 156).

Figura 11 Ejemplos de una ODT tipo sección circular y sección rectangular



Nota. Adaptado de *Norma 5.2-IC de la institución de carreteras, drenaje superficial*. (p. 84) de Ministerio de fomento, Secretaría General Técnica, 2016.

2.2.2.2 Criterios de diseño de alcantarillas

Según SIECA (2016) una alcantarilla es toda obra que no supera un claro superior a los 6 metros. Existen varios tipos de materiales que se usan en la construcción de alcantarillas que se pueden usar en los proyectos viales, dentro de los cuales están las alcantarillas tipo metálicas, de mampostería, de concreto y de PVC. Las secciones más usuales son circulares, rectangulares y cuadradas. (p. 113).

Los conductos de las ODT son rectos y de sección constante en su entrada y salida, cada conducto presenta una curva característica que relaciona el caudal que desagua a través de él, el caudal Q, con la cota que alcanza la lámina de agua inmediatamente aguas arriba del conducto, medida a partir de la cota de la solera a su entrada es H_e. Dicha curva es en función de su sección transversal, pendiente rugosidad y tipos de entrada y salida.

El diámetro mínimo de las alcantarillas es de 36”, esto de acuerdo al MTI en la Guía Metodológica de Hidrotecnia Vial, para garantizar una limpieza y

mantenimiento adecuado de las mismas. En cualquier caso, prevalecerá el diámetro mínimo (MTI, 2017, p.18).

Cuando las obras implican un incremento de la cota de la rasante por recrecido de rellenos se debe partir del conocimiento previo de las características mecánicas de los elementos y sistemas de drenaje. En el proyecto se deben incluir los cálculos de la situación correspondiente a la obra terminada y concluir con la validación, modificación o demolición del drenaje preexistente, acorde a la nueva situación de cargas.

Para el análisis hidráulico, se pueden establecer dos metodologías, una es por medio de la ecuación de Manning y la otra es por control de entrada y salida, algunos autores recomiendan que el análisis por medio de la ecuación de Manning se utilice para obtener una primera aproximación del área de la alcantarilla necesaria, debido a que asume varias simplificaciones (se considera solo flujo uniforme), pero es más recomendable utilizar las metodologías de control de entrada y salida. (SIECA, 2016, p. 114).

Se puede diseñar una alcantarilla por la ecuación de Manning asegurando que trabaje como un canal abierto, se realiza estableciendo que el tirante sea entre un 0.6 y 0.9 veces el valor del diámetro. Utilizando este método, se debe seleccionar el coeficiente de Manning para el material elegido.

También, se deberá verificar que la velocidad mínima del flujo dentro del conducto no produzca sedimentación que pueda incidir en una reducción de su capacidad hidráulica, recomendándose que la velocidad mínima dependerá del tipo de material de la alcantarilla y para evitar efectos de sedimentación se recomienda un valor mínimo de 0.5 m/s. Asimismo, se debe tener muy en cuenta la velocidad de flujo a la salida de la alcantarilla, debe limitarse a fin de evitar procesos de socavación aguas abajo de la estructura, y no afecte su estabilidad.

Es necesario verificar que la velocidad del flujo se encuentre dentro ciertos límites máximos debido a que se pueden originar afectaciones en la estructura.

Tabla 4 Velocidades máximas admisibles en conductos revestidos

Tipo de revestimiento	Velocidad $(\boldsymbol{m/s})$
Concreto	3.0 – 6.0
Ladrillo con concreto	2.5 – 3.5
Mampostería de piedra y concreto	2.0

Nota. Adaptado de *Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la Infraestructura Vial en Centroamérica*. (p. 116) de SIECA, 2016.

El tipo de flujo que se presenta en una alcantarilla depende de la cantidad total de energía disponible entre la entrada y la salida. La energía disponible está formada principalmente por la energía potencial, que es la diferencia entre la cabecera y la descarga. Toda la energía disponible se gastará por completo en el flujo que se produce naturalmente. Así pues, la energía se disipa al entrar, por fricción, con la carga de velocidades y con la profundidad. (SIECA, 2016, p. 118).

El flujo en alcantarillas que operan bajo condiciones de control de entrada, es supercrítico con altas velocidades y profundidades bajas. La *Federal Highway Administration FHWA* (Administración federal de carreteras de Estados Unidos) ha desarrollado un enfoque para el análisis de alcantarillas basados en los tipos de flujo y la ubicación de la sección de control. Esta sección de control es un espacio donde existe una relación única entre el caudal y la elevación de la superficie del agua aguas arriba. Existen muchas condiciones de flujo, pero en un momento específico, está gobernado por la geometría de la entrada, conocida como control de entrada, o por una combinación de la geometría de la entrada de la alcantarilla y el agua de la salida, conocida como control de salida. (FHWA, 2012, p. 83).

$$\frac{Hw_i}{D} = K\left[\frac{Q}{AD^{0.5}}\right]^M \tag{2.40}$$

Donde $\boldsymbol{Hw_i}$ es la profundidad o carga aguas arriba en la entrada, $\boldsymbol{D}$ es el diámetro de la alcantarilla, $\boldsymbol{Q}$ es el caudal, $\boldsymbol{A}$ es el área total de la sección de la alcantarilla, $\boldsymbol{K}$ y $\boldsymbol{M}$ son constantes en la ecuación para diseño en control de entrada. A continuación, se presenta una tabla con ciertos coeficientes K y M.

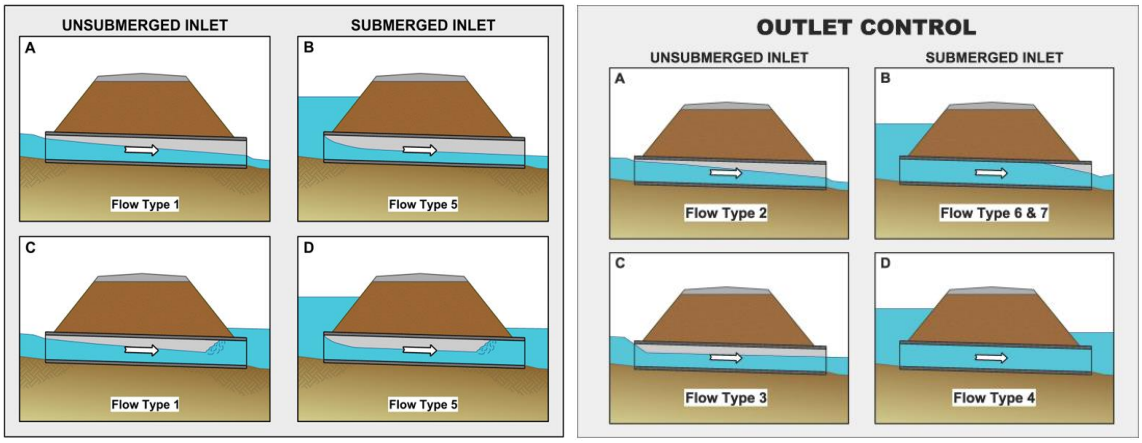
Tabla 5 Coeficiente K y M para ecuaciones de diseño por control de entrada

Material y forma	Descripción del borde de la entrada	K	M
Circular	Pared con borde cuadrado	0.0098	2
Circular	Cabezal	0.0078	2
Rectangular	Muros con aleros	0.026	1

Nota. Adaptado de *Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la Infraestructura Vial en Centroamérica*. (p. 121) de SIECA, 2016.

Existen diferentes tipos de control de entrada, esto se ilustra en la siguiente figura, dependiendo del agua en la salida podría ocurrir un salto hidráulico. La figura B y D presentan un flujo de tipo 5 donde la entrada está sumergida. La figura A y C ilustran un flujo de tipo 1 donde la entrada no está sumergida, el fujo pasa a profundidad crítica en aguas arriba y en la alcantarilla en tipo supercrítico. Para la figura A la alcantarilla funciona parcialmente llena y el flujo se aproxima a profundidad normal en la salida. Mientras que en la figura C la salida está sumergida y no asegura control en la salida, porque el flujo en la justo en la entrada es supercrítico y se forma un salto hidráulico en la alcantarilla.

Figura 12 Tipos de control de entrada y salida en alcantarillas



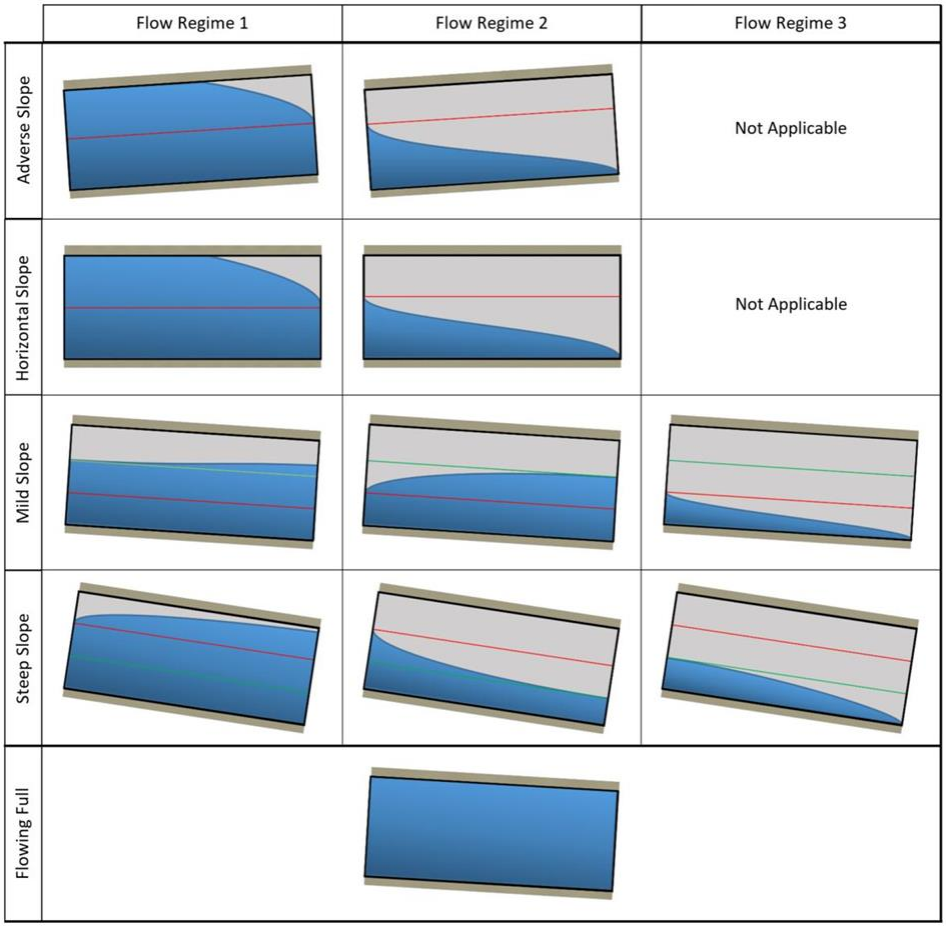
Nota. Adaptado de *Hydraulic Design of Highway Culverts*. (p.84, p.90), de FHWA, 2012

Para el control de entrada, los factores que influyen son los del agua en la entrada y características de la tubería. El primero es la profundidad del agua medida desde el invert de la entrada de la alcantarilla hasta la superficie aguas arriba. Otro de

ellos es el área de tubo lleno en la entrada. Por último, mencionar la forma de la alcantarilla, su configuración en la entrada y la pendiente de la misma.

El HY-8 usa los números de tipo de flujo para definir como se calcula el tipo de fujo. Estos fueron clasificados en 1968 por el Sistema Geológico de Estados Unidos en un estudio titulado “medición de descarga pico en alcantarillas mediante métodos indirectos”, clasificados en tipos según la ubicación de la sección de control y las alturas relativas de las elevaciones en la entrada y la salida. (Bodhaine, 1982, p. 2). La tabla Tipo de flujo del USGS muestra las diferentes opciones utilizadas para categorizar el perfil de flujo. Se creará un único tipo de flujo a partir de los datos de una sola fila.

Figura 13 Diagrama de régimen de flujo



Nota. Adaptado de *HY8 User’s Manual*. (p.71), de FHWA, 2021

Un ejemplo es un flujo de tipo “1-S2n”, el 1 indica que es un flujo con control a la entrada con un sin sumergir. El perfil de flujo S2 sigue una curva de descenso S2 con una alcantarilla de pendiente pronunciada en el régimen de flujo 2 que se encuentra entre las profundidades crítica y normal. (FHWA, 2021, p. 71)

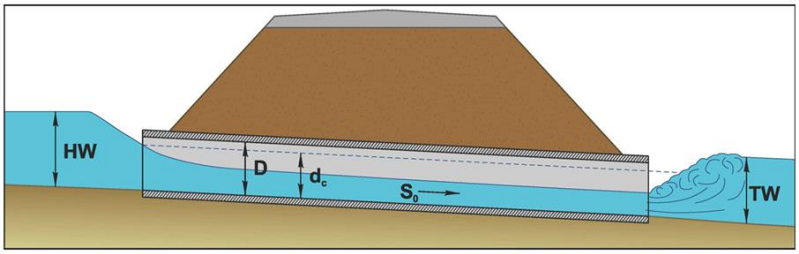
La primera columna muestra si el tipo de flujo fluye bajo control de flujo de entrada o salida. La segunda columna muestra la longitud de la alcantarilla que fluye llena desde "ninguno", "parte", "la mayoría", "todos". La tercera columna se divide entre si la entrada está sumergida (HW<D). Los números se asignan a diferentes tipos de flujo principalmente por inmersión de la entrada y luego por flujo total y profundidad de salida. La cuarta columna es el perfil de flujo. El perfil de flujo describe la pendiente de la alcantarilla y el régimen de flujo en el que se encuentra la superficie del agua. La alcantarilla puede tener pendiente adversa, pendiente horizontal, pendiente leve o pendiente pronunciada. Los regímenes de flujo están separados verticalmente por las profundidades crítica y normal, según corresponda. Los regímenes de flujo se muestran en el siguiente diagrama. (FHWA, 2021, p. 70)

Tabla 6 Números de tipos de flujo

Flujo	**Control de flujo**	**Sumergido**		**Longitud completa**
		Entrada $\boldsymbol{HW > D}$	**Salida** $\boldsymbol{TW > D}$	
1	Entrada	No	No	Ninguna
5	Entrada	Sí	No	Ninguna
2	Salida	No	No	Ninguna
3	Salida	No	No	Ninguna
4	Salida	Sí	Sí	Toda
6	Salida	Sí	No	Casi
7	Salida	Sí	No	Parte

Nota. Adaptado de *Hydraulic Design of Highway Culverts*. (p.118), de FHWA, 2012

Figura 14 Tipo de Flujo 1 según USGS



Nota. Adaptado de *Hydraulic Design of Highway Culverts*. (p.119), de FHWA, 2012

Para el cálculo de las alcantarillas, se deberá establecer una relación de carga máxima permisible de altura de agua de la entrada entre el diámetro propuesto, valores comprendidos en el rango $1.00 < H_W/D < 1.20$.

El flujo USGS tipo 1 (control de entrada), se muestra en la salida una altura de agua mayor a la crítica, para este caso, se calcula la curva S1 extendida a la cara de la tubería. Si la curva S1 alcanza una profundidad crítica, se calcula un S2 y se compara con la curva S1. Si la profundidad de secuencia para el S2 coincide con el S1 dentro de la alcantarilla, se mostrará un código JFT y la velocidad de salida se basará en el agua de cola. Si no se alcanza la profundidad secuencia dentro de la alcantarilla, se supone que el salto se barre y se usa un S2 para calcular la velocidad de salida (S2n). Si el agua de cola es más alta que D, el cañón fluye al final, S1F se muestra si S1 se extiende a la entrada. Si el S1 llega crítico, se demostrará que el código JFF indica que la curva S2 salta al flujo completo que la alcantarilla.

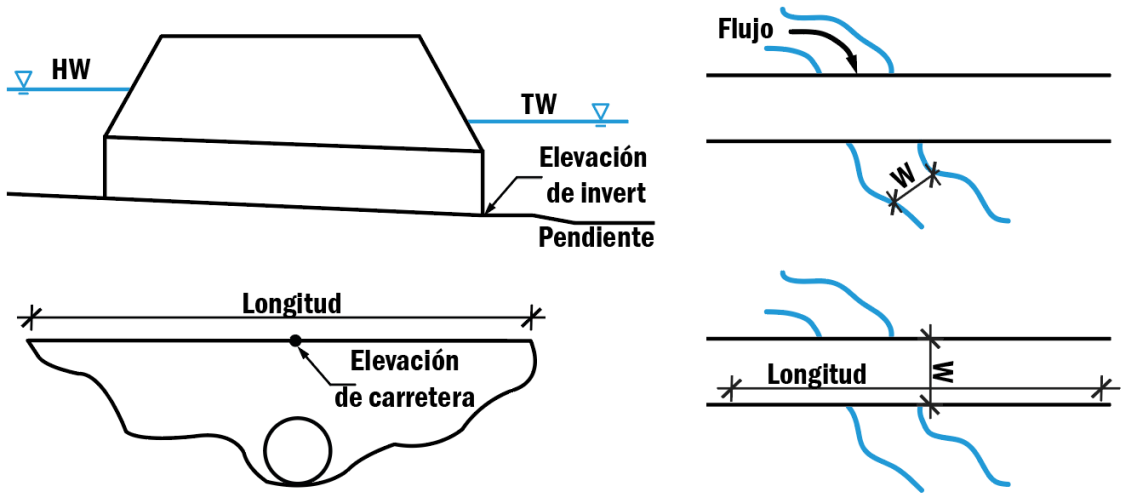
2.2.2.3 Modelación Hidráulica con HY-8

HY-8 es un programa de análisis hidráulico desarrollado por la Administración Federal de Carreteras (FHWA). Su función es realizar modelaciones hidráulicas de alcantarillas, ayuda en los cálculos relacionados con el diseño y análisis de alcantarillas en carreteras. Lo más importante del análisis y diseño hidráulico con HY-8 es contar con todos los datos del cruce, debido a que serán ingresados en el software.

Estos datos se dividen en: Datos de descarga, datos del canal de salida, datos del camino, datos de la alcantarilla y datos del sitio. En datos de descarga se colocan los caudales para evaluar: mínimo, diseño y máximo, pueden ser los de los períodos de retorno 25, 50 y 100 años. En datos del canal de salida se coloca: ancho del cauce, pendiente del canal de salida, coeficiente de escorrentía del canal y el invert del canal en la salida de la alcantarilla. Para los datos del camino se ingresa: perfil constante del camino, estación de la alcantarilla, longitud del tramo de camino estudiado para alcantarilla, elevación de la rasante del camino, tipo de superficie del camino y ancho de corona del camino.

En los datos de la alcantarilla se debe colocar: nombre, forma si es circular o rectangular, dimensiones como diámetro o largo y alto, material como concreto o metal, profundidad de incrustación de la alcantarilla con su lecho, coeficiente de Manning de la alcantarilla, tipo si es recta o con cambios de pendiente, y configuración que presenta en la entrada. Para datos de sitio se ingresa: elevación de invert de entrada, longitud de alcantarilla, elevación de invert de salida y número de alcantarillas en el cruce.

Figura 15 Esquema para los datos del canal de salida y del camino



Nota. Adaptado de *FHWA HY-8 Culver Analysis Program User's Manual*. (p.37, p. 41), de U. S. Department of Transportation, 2021

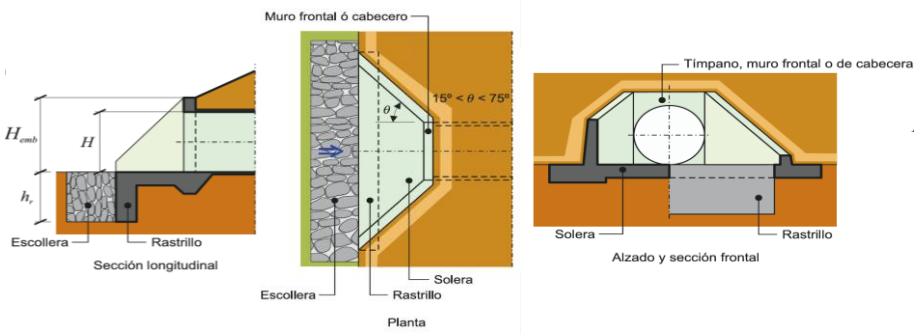
Una vez ingresados los datos, se muestra un esquema del perfil y sección de la alcantarilla evaluada. Los resultados se deberán obtener en los reportes.

Para el diseño hidráulico de alcantarillas, el FHWA muestra el procedimiento de cómo hacerlo, primeramente, se tiene un tipo de alcantarilla, después se calcula la carga de agua por control de entrada y control de salida para obtener el valor de $\frac{Hw}{D}$, si este es admisible se procede a calcular su velocidad a la salida y ajustar la alcantarilla a la sección de la vía, de lo contrario, se deberá realizar los pasos nuevamente con otra sección de alcantarilla, cuando todos estos criterios se cumplan, ya se puede avanzar con la documentación de diseño, como la generación de plano de sección típica y el detalle de la protección en la salida utilizando un tipo de empedregado para evitar la erosión aguas abajo.

2.2.2.4 Protección de alcantarillas

El sitio donde es propenso a erosión en las alcantarillas es aguas abajo en la salida, al conjunto de elementos tales como muro frontal, aletones y escolleras que se diseñan, se conocen como embocaduras. Estas permiten acoplar el conducto al cauce y a los taludes de los rellenos. Tienen funciones de transición geométrica e hidráulica y deben ser resistentes a la erosión y socavación. (Ministerio de fomento, 2019, p. 96)

Figura 16 Ejemplo de los elementos de embocadura de salida en alcantarillas



Nota. Adaptado de *Norma 5.2-IC de la institución de carreteras, drenaje superficial*. (p. 96) de Ministerio de fomento, Secretaría General Técnica, 2016.

La escollera es conocida como delantal, consiste en un empedregado en la salida de la alcantarilla y existe un procedimiento según HEC-14 de FHWA para dimensionarlo. Están construidos con escollera o escollera con lechada de grado cero para una distancia que a menudo está relacionada con el diámetro de la tubería de salida. Los elementos clave de diseño de la plataforma de escollera son el tamaño de la partícula del empedregado en sí, así como el largo, ancho y profundidad del delantal de empedregado. (FHWA, 2006, p. 217)

Para esto, se propone una ecuación para el cálculo del diámetro de partícula D_{50} del empedregado, que depende de las características de la alcantarilla.

El diámetro de partícula se calcula con la siguiente ecuación.

$$D_{50} = 0.2D \left(\frac{Q}{\sqrt{g}D^{2.5}}\right)^{\frac{4}{3}} \left(\frac{D}{T_W}\right) \tag{2.41}$$

Donde $\boldsymbol{D_{50}}$ es el tamaño de partícula que representa el 50% de material fino de las partículas del empedregado en $m\ (ft)$, $\boldsymbol{Q}$ es el caudal de diseño en m^3/s (ft^3/s), $\boldsymbol{D}$ es el diámetro de la alcantarilla en $m\ (ft)$, $\boldsymbol{T_W}$ es el tirante de agua a la salida de la alcantarilla en $m\ (ft)$ y $\boldsymbol{g}$ es el valor de aceleración de la gravedad de $9.81\ m/s^2\ (32.2\ ft/s^2)$.

El diseñador deberá calcular este diámetro y compararlo con las clases de empedregado disponible. Se usa la siguiente para poder dimensionar el largo y la profundidad de colocación del empedregado.

Tabla 7 Ejemplo de clases de empedregado y dimensiones del delantal.

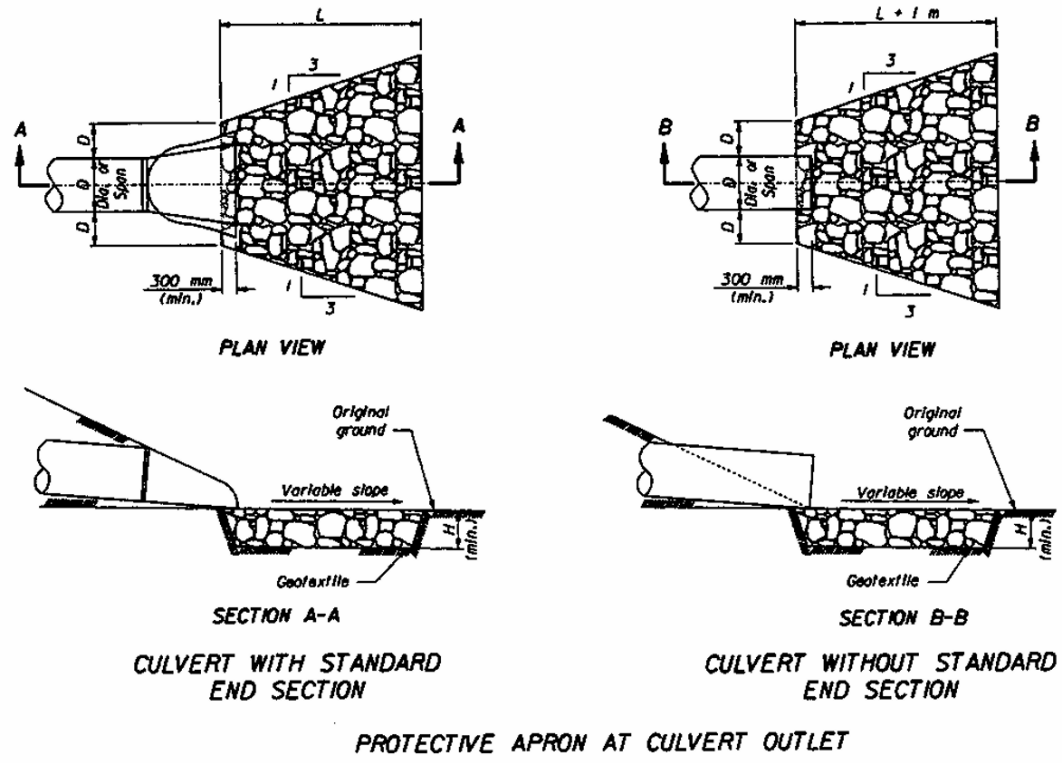
Clase	$\boldsymbol{D_{50}\ (mm)}$	$\boldsymbol{D_{50}\ (in)}$	Longitud del delantal, $\boldsymbol{L}$	Profundidad del delantal, $\boldsymbol{H}$
1	125	5	$4D$	$3.5\ D_{50}$
2	150	6	$4D$	$3.3\ D_{50}$
3	250	10	$5D$	$2.4\ D_{50}$
4	350	14	$6D$	$2.2D_{50}$
5	500	20	$7D$	$2.0\ D_{50}$
6	550	22	$8D$	$2.0\ D_{50}$

Nota. Adaptado de *HEC-14: Hydraulic Design of Energy Dissipators for Culverts and Channels 3rd Edition*. (p. 218) de Federal Highway Administration, 2006.

La longitud de la protección se puede juzgar en función de la magnitud de la velocidad de salida en comparación con la velocidad del canal natural. Cuanto mayor sea esta diferencia, mayor será la longitud requerida para que el flujo de salida se ajuste a la condición del canal natural. (FHWA, 2006, p. 220).

Se presenta a continuación de cómo es un empedregado. El ancho en la salida es tres veces el diámetro de la alcantarilla y el ancho al final del delantal depende de una relación 1:3 dependiendo el largo calculado anteriormente.

Figura 17 Ejemplo de clases de empedregado y dimensiones del delantal.



Nota. Adaptado de *HEC-14: Hydraulic Design of Energy Dissipators for Culverts and Channels 3rd Edition*. (p. 218) de Federal Highway Administration, 2006.

Así mismo, se presentan las ecuaciones para el cálculo de largo y ancho del delantal de empedregado a la salida de una alcantarilla.

$$W_n = 3D \tag{2.42}$$

$$W_f = 3D + (3/2)L \tag{2.43}$$

Donde W_n es el ancho del delantal cercano a la alcantarilla, D es el diámetro de la alcantarilla circular o el ancho en una sección rectangular, W_f es el ancho del delantal al final de este, y L es la longitud del delantal paralelo al esviaje de la alcantarilla.

2.3 ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

2.3.1 TERMINOLOGÍA SOBRE ESTUDIO AMBIENTAL

Área de influencia del proyecto: Se refiere al espacio geográfico, incluyendo todos sus factores ambientales, que pudieran sufrir cambios cuantitativos y/o cualitativos en sus atributos debido a las acciones realizadas en las diferentes etapas del proyecto, programa, plan, obra, industria o actividad (La Gaceta, 2017, p. 10603)

Autorización Ambiental: Acto administrativo emitido por MARENA para la realización de proyectos categoría 111 y IV, asimismo se incluirán bajo esta definición otras autorizaciones para el uso y aprovechamiento de los recursos naturales previstas en el presente Decreto. En el caso de las Regiones Autónomas de la Costa Caribe de Nicaragua, le corresponderá a los Consejos Regionales e instancias autónomas que estos deleguen en el ámbito de su circunscripción territorial (La Gaceta, 2017, p. 10603).

Dictamen Técnico: Juicio emitido por el equipo técnico interinstitucional, producto de la valoración, revisión y análisis de un estudio de impacto ambiental y que contiene los fundamentos técnicos para el otorgamiento o denegación de un permiso ambiental. (La Gaceta, 2017, p. 10603).

Documento de Impacto Ambiental (DIA): Documento elaborado por el proponente, que contiene los resultados y conclusiones del Estudio de Impacto Ambiental en un lenguaje claro y de fácil comprensión (La Gaceta, 2017, p. 10603).

Evaluación Ambiental (EA): Proceso compuesto de actos administrativos que incluye la preparación de estudios, celebración de consultas públicas y que concluyen con la autorización o denegación por parte de la Autoridad competente. La Evaluación Ambiental es utilizada como un instrumento para la gestión preventiva, con la finalidad de identificar y mitigar posibles impactos al ambiente de planes, programas, proyectos e industrias. (La Gaceta, 2017, p. 10604)

Evaluación de impacto ambiental (EIA): La evaluación de impacto ambiental es un procedimiento jurídico-administrativo que tiene por objetivo la identificación, predicción e interpretación de los impactos ambientales que un proyecto o actividad produciría en caso de ser ejecutado, así como la prevención, corrección y valoración de los mismos, todo ello con el fin de ser aceptado, modificado o rechazado por parte de las distintas Administraciones Públicas competentes. (Conesa, 2010, p. 75)

Estudio de impacto ambiental (EsIA): Conjunto de actividades técnicas y científicas destinadas a la identificación, predicción y control de los impactos ambientales de un proyecto y sus alternativas, presentado en forma de informe técnico y realizado según los criterios establecidos por las normas vigentes, cuya elaboración estará a cargo de un equipo interdisciplinario, con el objetivo concreto de identificar, predecir y prevenir los impactos al medio ambiente (La Gaceta, 2017, p. 10603).

Es el estudio técnico, de carácter interdisciplinar, que, incorporado en el procedimiento de la EIA, está destinado a predecir, identificar, valorar y corregir, las consecuencias o efectos ambientales que determinadas acciones pueden causar sobre la calidad de vida del hombre y su entono (Conesa, 2010, p. 77).

El estudio de impacto ambiental es un documento único, que conforma uno de los pasos en el proceso de Estudio de Impacto Ambiental (EIA). En este se exponen de forma accesible todos los detalles importantes del proyecto, la descripción del entorno, la identificación de los posibles impactos y su valoración, para cada una de las alternativas. (Garmendia, 2005, p. 65).

Fragilidad ambiental: Vulnerabilidad o grado de susceptibilidad que tiene el medio a ser deteriorado ante la incidencia de determinadas actuaciones (Conesa, 2010, p. 65).

Impacto ambiental: Cualquier alteración positiva o negativa de uno o más de los componentes del ambiente provocados por la acción humana y/o por acontecimientos de la naturaleza en un área de influencia definida. (La Gaceta, 2017, p. 10603).

Se dice que hay impacto ambiental cuando una acción consecuencia de un proyecto o actividad produce una alteración, favorable o desfavorable, en el medio o en alguno de los componentes del medio. Esta acción puede ser un proyecto de ingeniería, un programa, un plan, una ley o una disposición administrativa con implicaciones ambientales (Conesa, 2010, p. 73).

Inventario ambiental: Descripción completa del Medio Ambiente donde se ha propuesto la implementación de un proyecto de desarrollo. Esto sirve como base para evaluar los potenciales impactos ambientales del proyecto.

Línea Base: Conjunto de descripciones, estudios y análisis de factores del medio ambiente físico, biológico, climático y social que podría ser afectado por un proyecto. Los estudios de línea de base permiten obtener información del "estado del medio ambiente" antes de que se inicie un proyecto (La Gaceta, 2017, p. 10604).

Medidas Ambientales: Conjunto de acciones que se establecen en el EIA y en los Programas de Gestión Ambiental destinada a prevenir, mitigar, corregir o compensar los impactos negativos ocasionados por la ejecución de un proyecto, obra, industria o actividad. (La Gaceta, 2017, p. 10604).

Medidas de Mitigación: Corresponde a las recomendaciones que el Estudio de Impacto Ambiental efectúa, a modo de reducir, neutralizar o eliminar los impactos ambientales principales de un proyecto.

Magnitud de un impacto: Definimos como magnitud de un impacto a la cantidad del factor alterado. Puede expresarse en cantidades absolutas (temperatura, pH, concentración de un elemento, erosión, etc.), en unidades relativas (porcentaje de suelo ocupado por una industria, potreraje de vegetación acuática, porcentaje de destrucción de empleo, etc.), mediante índices y expresiones matemáticas, (índice de calidad del agua, índice de calidad del aire, capacidad agrológica de suelos, nivel de presión acústica, etc.) y mediante expresiones cualitativas, estimativas y/o adimensionales (frecuencia de ruidos, combinación de olores, detección o no de un compuesto, variedad estimada de la vegetación, etc.) (Conesa, 2010, pp. 68-69).

Mitigación: Es la implementación deliberada de decisiones o actividades diseñadas para reducir los impactos indeseables de una acción propuesta sobre el Medio Ambiente afectado. Es un concepto general que puede incluir: evitar impactos completamente al no tomar ninguna acción en particular; reducir impactos al limitar la magnitud de la acción; rectificar impactos al reparar o restaurar características particulares del ambiente afectado; reducir impactos en el tiempo al realizar actividades de mantenimiento durante la extensión de la acción; compensar los impactos al sustituir un ambiente afectado por una acción.

Monitoreo: Medición periódica de uno o más indicadores de impacto ambiental causados por la ejecución de un proyecto, obra, industria o actividad (La Gaceta, 2017, p. 10604).

Permiso ambiental: Documento otorgado por la autoridad competente a solicitud del proponente de un proyecto el que certifica que desde el punto de vista de protección ambiental la actividad se puede ejecutar bajo el condicionamiento de cumplir las medidas establecidas (La Gaceta, 2017, p. 10604).

Proponente: Persona natural o jurídica, nacional o extranjera, entidad pública o privada que propone la realización de un proyecto (La Gaceta, 2017, p. 10604).

Proyecto: Conjunto de actividades que se encuentran interrelacionadas y coordinadas para alcanzar objetivos específicos dentro de los límites que imponen

un presupuesto, calidades establecidas y un lapso de tiempo previamente definido (La Gaceta, 2017, p. 10604).

Seguimiento y Control: Conjunto de procedimientos que tienen como objetivo vigilar y controlar el nivel de desempeño y cumplimiento. A los efectos de este Decreto se refiere a vigilar y controlar el cumplimiento de las medidas del Programa de Gestión Ambiental y condicionantes emanadas del Permiso, o Autorización Ambiental (La Gaceta, 2017, p. 10604).

Términos de Referencia: Documento técnico preparado por la Comisión Interinstitucional que describe el objetivo, contenido y alcance de un Estudio de Impacto Ambiental, Programa de Gestión Ambiental o Valoración Ambiental (La Gaceta, 2017, p. 10604).

Valor del impacto: Simboliza el grado de destrucción o disminución de la calidad ambiental de un factor, cuando tiene el carácter negativo, y el grado de mejora o aumento de la calidad, cuando es positivo. El valor, representa el grado cualitativo y cuantitativo en que un factor ambiental es alterado por la presión de una acción de la actividad (Conesa, 2010, p. 69).

Valoración Ambiental: Proceso que identifica y valora los Impactos Ambientales que pueden generar los proyectos y la cuantificación que se produce, sobre la base de valoraciones en el terreno, la normativa ambiental y las buenas prácticas, así como las medidas ambientales que serán adoptadas por el proponente del proyecto (La Gaceta, 2017, p. 10604).

Vulnerabilidad: Susceptibilidad a recibir daño como consecuencia de una acción o peligro generado por una actividad, proyecto, obra o industria.

2.3.2 METODOLOGÍAS DE IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

Matrices de relación causa-efecto: La mejor herramienta para determinar los impactos son las matrices de relaciones causa-efecto. Se parte del árbol de acciones de la obra y del árbol de factores ambientales afectados que se disponen

como entradas de una matriz. Se señalan las casillas de cruce cuando en ellas se tiene un impacto significativo (Garmendia, 2005, p. 216).

Matriz de Leopold: Una de las primeras matrices causa-efecto es la Matriz de Leopold, desarrollada en 1971 por el servicio geológico de Estados Unidos, y utilizada hasta el día de hoy en estudios de impacto ambiental.

La matriz incluye dos extensas listas de revisión, una de acciones del proyecto, con 100 acciones, y la otra con 88 elementos ambientales.

Cada elemento ambiental corresponde a una fila y cada acción a una columna que se relacionan mediante una matriz con 8,800 casillas, que corresponden a las posibles interacciones. Es una matriz causa-efecto donde cada causa o acción del proyecto se relaciona con el elemento o factor ambiental sobre el que actúa, produciendo un efecto o impacto ambiental. Si se supone que hay interacción, se señala con una línea diagonal, indicando en la parte superior la magnitud (M) de la alteración del factor ambiental con un signo «más» (+) o «menos» (-) según sea el impacto beneficioso o adverso, y en la parte inferior la importancia (I) de la alteración, ambas expresadas numéricamente y valoradas entre 1 y 10, calificando de 10 la máxima interacción posible y con 1 la mínima.

2.3.3 METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN IMPACTO AMBIENTAL

La valoración de impactos se basa en utilizar técnicas que mejoran la objetividad para emitir un juicio sobre los efectos en el medio, clasificándolos en categorías comúnmente utilizadas como: compatibles o irrelevantes, moderados, severos y críticos.

La valoración puede ser cualitativa o cuantitativa. En una valoración cualitativa se evalúan una serie de cualidades de los impactos ambientales, utilizando normalmente las definidas por alguna legislación, y obteniendo un valor numérico que se denomina **importancia**. Mientras que una valoración cuantitativa mide el valor de la **magnitud** del impacto utilizando indicadores numéricos y funciones de transformación para distintos elementos del medio afectados, y conseguir

comparaciones entre distintos impactos. Para seleccionar que métodos implementar en un estudio de impacto ambiental es preciso valorar los recursos disponibles de personas, presupuesto, conocimientos y tiempo, así como el uso de herramientas informáticas. Las valoraciones cuantitativas tienen mayores necesidades. (Garmendia, 2005, p. 226).

2.3.3.1 Métodos cualitativos

Las técnicas de valoración cualitativa evalúan de forma subjetiva, aunque el resultado obtenido sea numérico, sin embrago las distintas técnicas de valoración intentan disminuir la subjetividad de las conclusiones justificando de la mejor manera posible todos los juicios de valor que se realizan, para esto se implementa una serie de cualidades de los impactos de cada acción, asignando valores prefijados según esa cualidad sea alta, media o baja. La importancia del impacto mide la trascendencia de la acción sobre el factor alterado, mediante determinados atributos.

2.3.3.2 Método Conesa (1997)

La metodología de EIA propuesta por Vicente Conesa Fernández consiste en realizar el estudio de las posibles alteraciones ambientales ocasionadas por el proyecto, así como la valoración de las mismas, determinándose los límites de los valores de las variables que entran en juego. La medición del impacto es en base al grado de manifestación cualitativa del efecto que quedará reflejado, definido como la **Importancia del Impacto o Índice de Incidencia**.

La valoración cualitativa se efectúa a partir de la **matriz de impactos** (matriz causa-efecto). Cada casilla de cruce en la matriz o elemento tipo, dará una idea del efecto de cada acción impactante sobre cada factor ambiental impactado. Al ir determinado la importancia del impacto, de cada elemento tipo, en base al algoritmo que calcula la Importancia (I), de esta forma se construye la matriz de importancia.

Los elementos de la matriz identifican la Importancia (I_{ij}) del impacto ambiental generado por una acción simple de una actividad (A_i) sobre un factor ambiental considerado (F_j). (Conesa, 2010, p. 236)

La importancia del impacto, se establece por medio de once atributos denominados símbolos, cada uno con valores establecidos para el nivel de implicación del impacto en dicho atributo. Estos símbolos son:

Signo: El signo del impacto hace alusión al carácter beneficioso (+) o perjudicial (-) de las distintas acciones que van a actuar sobre los distintos factores considerados.

Intensidad (IN): Termino que se refiere al grado de incidencia de la acción sobre el factor. En el caso que se produzca un efecto negativo, expresa el grado de destrucción del factor considerado, independientemente de la extensión afectada. Puede producirse una destrucción muy alta, pero en una extensión muy pequeña.

La escala de valoración está comprendida entre 1 y 12, en el que el 12 expresará una destrucción total del factor en el área en la que se produce el efecto, el 1 una afección mínima y poco significativa. Los valores comprendidos entre esos dos términos reflejarán situaciones intermedias, Intensidad Muy alta (8); Intensidad Alta (4), Intensidad Media (2).

Extensión (EX): Es el atributo que refleja la fracción del medio afectada por la acción del proyecto. Se refiere, en sentido amplio, al área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del proyecto en que se sitúa el factor. Si la acción produce un efecto muy localizado, se considerará que el impacto tiene un carácter Puntual. Si, por el contrario, el efecto no admite una ubicación precisa dentro del entorno del proyecto, teniendo una influencia generalizada, el impacto será Total (8), considerando las situaciones intermedias, según su gradación, como impacto Parcial (2) y Extenso (4).

Momento (MO): El plazo de manifestación del impacto alude al tiempo (t_m) que transcurre entre la aparición de la acción (t_0) y el comienzo del efecto (t_j) sobre

el factor del medio considerado. El impacto será de manifestación inmediata cuando $t_m = 0$, asignándole un valor de 4. El impacto será de manifestación a corto plazo cuando el tiempo es menor a 1 año, asignándole un valor de 3. Si el periodo de tiempo está entre 1 y 10 años, será de medio plazo con un valor de 2. Si el tiempo de manifestación es mayor a 10 años será de largo plazo con un valor de 1.

Persistencia o duración (PE): Se refiere al tiempo que, supuestamente, permanecería el efecto desde su aparición y, a partir del cual el factor afectado retornaría a las condiciones iniciales previas a la acción. Si la permanencia del efecto tiene lugar durante menos de un año, se considera que la acción produce un efecto Momentáneo, asignándole un valor de 1. Si dura entre 1 y 10 años, el efecto es temporal o transitorio con un valor de 2; y si permanece entre 11 y 15 años es persistente o duradero con un valor de 3. Si la manifestación dura más de 15 años se toma como permanente, asignándole un valor de 4.

Reversibilidad (RV): Se refiere a la posibilidad de reconstrucción del factor afectado a las condiciones iniciales previas a la acción por medios naturales, una vez esta deja de actuar sobre el medio. Si el impacto es reversible a corto plazo se le asigna un valor de 1, si es a medio plazo será de 2, y para largo plazo de 3. También el impacto puede ser irreversible cuando el factor ambiental alterado no puede retornar, sin la intervención humana, a sus condiciones originales en un periodo inferior a 15 años, cuando esto es así se le asigna un valor de 4. Los plazos son los mismos tiempos de la Persistencia.

Recuperabilidad (MC): Se refiere a la posibilidad de reconstrucción, total o parcial, del factor afectado como consecuencia del proyecto, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medio de la intervención humana, con lo que serían medidas correctoras y restauradoras. Si el efecto es recuperable, este puede ser de manera inmediata con valor de 1, a corto plazo con valor de 2, medio plazo con 3, y 4 para largo plazo. Teniendo los mismos tiempos que la Persistencia y Reversibilidad.

Sinergia (SI): La sinergia se refiere a la acción de dos o más causas cuyo efecto es superior a la suma de los efectos individuales. La componente total de la manifestación de los efectos simples, provocados por acciones que actúan simultáneamente, es superior a la que se esperaría cuando las acciones que las provocan actúan de manera independiente no simultánea. Asimismo, se incluye en este tipo aquellos efectos cuyo modo de acción induce con el tiempo la aparición de otros nuevos. El efecto del impacto puede no tener sinergia (sin sinergismo) con un valor de 1. Al ser sinérgico su valor es 2, y si el efecto es muy sinérgico tendrá un valor de 4.

Acumulación (AC): Este atributo da idea del incremento progresivo de la manifestación del efecto, cuando persiste de forma continuada o reiterada la acción que lo genera. Cuando una acción se manifiesta sobre un solo componente ambiental, o cuyo modo de acción es individualizado, se tendrá un caso de acumulación simple, valorándose como 1. Cuando una acción al prolongarse en el tiempo, incrementa progresivamente la magnitud del efecto, se está ante una ocurrencia acumulativa, incrementándose el valor a 4.

Efecto (EF): Se refiere a la relación causa-efecto, o sea a la forma de manifestación del efecto sobre un factor, como consecuencia de una acción. El efecto puede ser directo con valor de 4, o indirecto cuando se produce por un impacto anterior, que en este caso actúa como agente casual, con un valor de 1.

Prioridad (PR): La periodicidad se refiere a la regularidad de manifestación del efecto, bien sea de manera continua (las acciones que lo producen permanecen constantes en el tiempo) valorándose con 4, periódica o recurrente (las acciones que lo producen actúan de manera regular) con un valor de 2, o irregular o esporádica valiendo 1.

Importancia del impacto (I): La importancia del impacto viene representada por un número que se deduce de la ecuación en función del valor asignado a los símbolos considerados.

La importancia del impacto toma valores entre 13 y 100. Se describe con la ecuación que Conesa plantea en su método:

$$I = \pm[3IN + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC] \qquad (2.44)$$

Y donde los valores que pueden tomar estos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 8 Valores que pueden tomar de los símbolos para obtención de importancia.

<table>
<tr><td>Signo: Naturaleza
Impacto beneficioso (+)
Impacto perjudicial (-)</td><td>Intensidad (IN)
(Grado de destrucción)
Baja: 1
Media: 2
Alta: 4
Muy alta: 8
Total: 12</td><td>Extensión (EX)
(Área de influencia)
Puntual: 1
Parcial: 2
Extenso: 4
Total: 8
Crítica: 12</td></tr>
<tr><td>Momento (MO)
(Plazo de manifestación)
Largo plazo: 1
Medio plazo: 2
Corto plazo: 3
Inmediato: 4
Crítico 8</td><td>Persistencia (PE)
(Permanencia del efecto)
Fugaz: 1
Temporal: 2
Persistente: 3
Permanente: 4</td><td>Reversibilidad (RV)
(Recuperación por medios naturales)
Corto plazo: 1
Medio plazo: 2
Largo plazo: 3
Irreversible: 4</td></tr>
<tr><td>Sinergia (SI)
(Regularidad de la manifestación)
Sin sinergismo: 1
Sinérgico: 2
Muy sinérgico: 4</td><td>Recuperabilidad (MC)
(Reconstrucción por medios humanos)
Recuperable de manera inmediata: 1
Recuperable a corto plazo: 2
Recuperable a medio plazo: 3
Recuperable a largo plazo: 4
Irrecuperable: 8</td><td>Acumulación (AC)
(Incremento)
Simple: 1
Acumulativo: 4</td></tr>
<tr><td colspan="2">Efecto (EF)
(Relación causa - efecto)
Indirecto (secundario): 1
Directo: 4</td><td>Periocidad (PR)
(Regularidad de la manifestación)
Irregular o Discontinuo: 1
Periódico: 2
Continuo 4</td></tr>
</table>

Los resultados de importancia de los impactos individuales, sobre la totalidad de impactos en un factor ambiental, o la atapa de un proyecto que más genera estos impactos, pueden clasificarse en cuatro las categorías.

Tabla 9 Categorías de impacto

Valor De Importancia (I)	Clasificación	Categoría
$I < 25$	Irrelevante	
$25 \leq I < 50$	Moderado	
$50 \leq I < 75$	Severo	
$I > 75$	Crítico	

2.3.4 PROCESO DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL EN NICARAGUA

2.3.4.1 Gestión ambiental en Nicaragua

Según Decreto 20-2017, el Sistema de Evaluación Ambiental de Nicaragua está compuesto por la Evaluación Ambiental Estratégica y la Evaluación Ambiental de Proyectos.

La Evaluación Ambiental Estratégica es el instrumento de la gestión ambiental que incorpora procedimientos para considerar los impactos ambientales de planes y programas en los niveles más altos del proceso de decisión, con objeto de alcanzar un desarrollo sostenible.

La Evaluación Ambiental de Proyectos está compuesto por las categorías ambientales:

Categoría Ambiental I: Proyectos que son considerados como Especiales de índole nacional o fronteriza.

Categoría Ambiental II: Proyectos que, en función de la naturaleza del proceso y los potenciales efectos ambientales, se consideran como de Alto Impacto Ambiental Potencial.

Categoría Ambiental III: Proyectos que, en función de la naturaleza del proceso y los potenciales efectos ambientales, se consideran como de Moderado Impacto Ambiental Potencial.

Categoría Ambiental IV: Proyectos, que, en función de la naturaleza del proceso y los potenciales efectos ambientales, se consideran como de bajo Impacto Ambiental Potencial.

Categoría Ambiental V: Proyectos experimentales o novedosos que están sujetos a investigación por desconocerse los potenciales impactos al medio ambiente y estarán sujetos a una valoración ambiental.

El Sistema de Evaluación Ambiental es administrado por el Ministerio de Recursos Naturales (MARENA) a través de la Dirección General de Calidad Ambiental.

Este se coordinará con diferentes autoridades y entidades según la Categoría Ambiental del proyecto a evaluar. Se coordinará con las Unidades de Gestión Ambiental Sectoriales, Gobiernos Regionales Autónomos de la Costa Caribe y los Gobiernos Municipales, para los proyectos de Categoría I y II.

En los proyectos de Categoría III será el MARENA a través de las Delegaciones Territoriales, en coordinación con las Unidades de Gestión Ambiental Sectoriales y los Gobiernos Municipales. En proyectos de Categoría IV serán administrado por MARENA a través de las Delegaciones Territoriales en coordinación con las Unidades de Gestión Ambiental Municipales. Los proyectos de Categoría V serán administrados por MARENA a través de la Dirección General de Calidad Ambiental en coordinación con las Unidades de Gestión Ambiental Sectoriales y Municipales, y las Delegaciones Territoriales de MARENA. Los procedimientos administrativos del Sistema de Evaluación Ambiental están establecidos en el Capítulo VI del Decreto 20-2017.

2.3.4.2 Marco Legal

La toma en consideración de los aspectos legales ambientales es esencial en la evaluación ambiental de un nuevo proyecto, dado que a través de la legislación se marcan los límites que se han de respetar y cumplir, así como los procedimientos a seguir en la tramitación del mismo.

El marco legal consta de todas las leyes, normas, y decretos. Ya sean dictado y aprobados por el poder legislativo o por el poder ejecutivo de la República de Nicaragua. De los cuales, se tomarán los que tienen mayor relación con el proyecto:

- Ley No. 217/ (2/mayo/1996): Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales.
- Ley No. 647/ (3 de abril/2008): Ley de Reformas y adiciones a la Ley No. 217.
- Decreto 20-2017/ (29/11/2017): Reforma del Sistema de Evaluación Ambiental de Permisos y Autorizaciones para el Uso Sostenible de los Recursos Naturales.
- Ley No. 620/ (04/09/2007): Ley general de Aguas Nacionales.
- Decreto 01-2007/ (11 enero 2007): Ley de Reforma a la Ley No. 524 Ley General de Transporte Terrestre.
- Decreto No.32-97/ (18 junio 1997): Reglamento General para el Control de Emisiones de los Vehículos Automotores de Nicaragua.
- NTON 05012-01/ (06/11/ 2002): Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense de Calidad del Aire.
- Ley No. 462/ (04 septiembre 2003): Ley de Conservación, fomento y desarrollo Sostenible del sector forestal.
- NTON 05 014-02/ (11/11/2001): Normas Técnicas Obligatorias Nicaragüenses para el manejo y eliminación de residuos no peligrosos.
- Ley No. 730/ (1 julio 2010): Ley especial para el uso de bancos de materiales selectos para el aprovechamiento en la infraestructura.
- NTON 05-021-02/ (09 julio 2003): Normas Técnicas Obligatoria Nicaragüense Aprovechamiento de bancos de materiales de préstamo para la construcción.
- NIC 2019/ (06 de diciembre del 2019): Especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes.

3 DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación actual se considera como investigación aplicada debido a que usan conocimientos e investigaciones de ingeniería a la solución del problema descrito, de igual forma tiene un enfoque mixto por tener datos cuantitativos como la determinación de precipitaciones y caudales máximos, además de datos cualitativos en la elaboración del estudio de impacto ambiental.

3.2 UBICACIÓN DEL PROYECTO

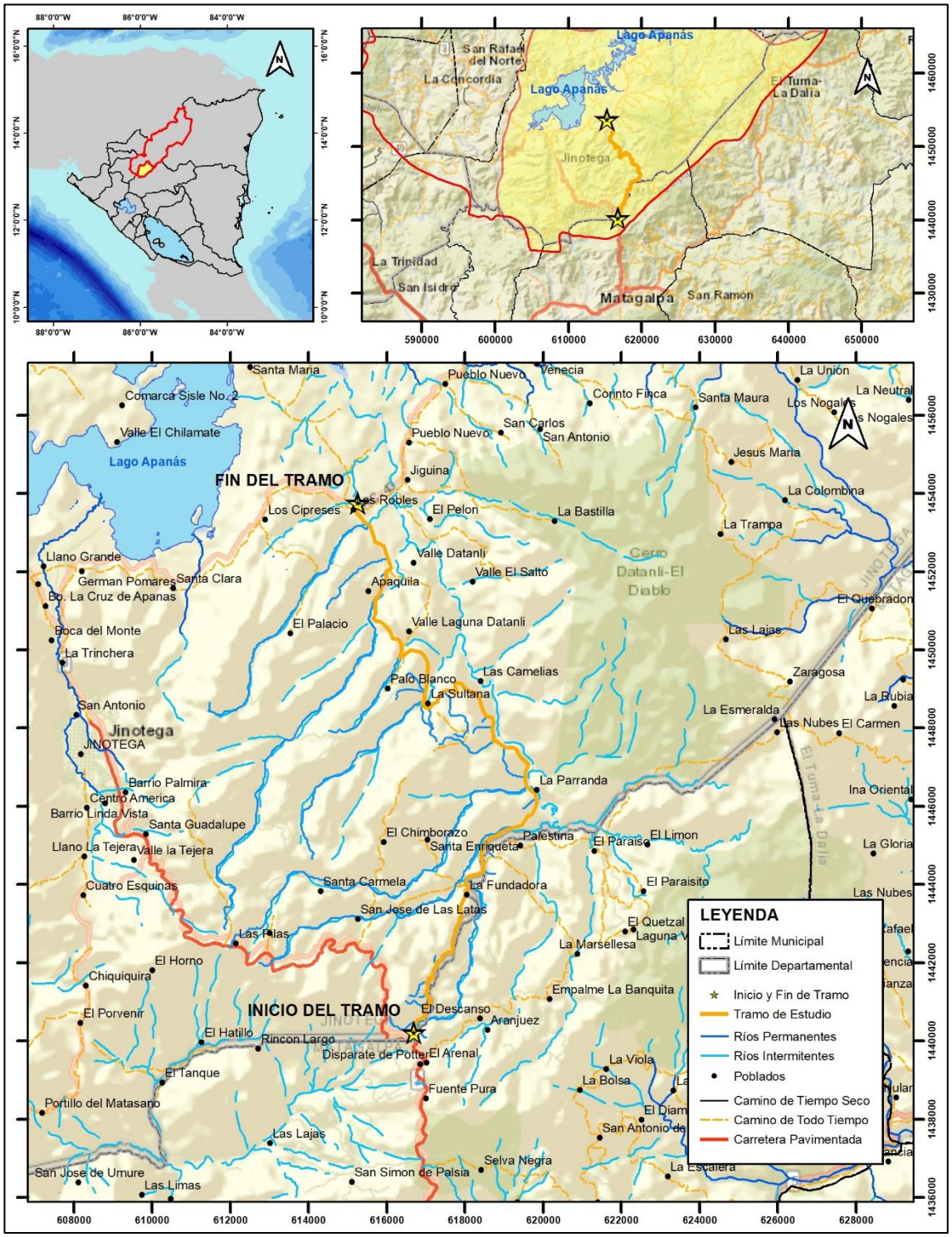
El proyecto se ubica en el municipio de Jinotega, departamento de Jinotega, en una región montañosa, a unos 1150 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con el Lago de Apanás, al sur con el Municipio de Matagalpa, al este con la Reserva Natural “Cerro Dantalí – El Diablo” y al oeste con la ciudad de Jinotega.

El tramo de carretera “El Arenal – Los Robles” se encuentra ubicado desde el Empalme “El Arenal” y se extiende por 20.5 km hasta la comunidad “Los Robles”. Según la red vial nacional, el tramo de proyecto se codifica como NN-58. Además, como clasificación funcional es un camino vecinal, cuyo tipo de superficie es camino de todo tiempo y de estación seca de aproximadamente cinco metros de calzada sin carpeta.

Tabla 10 Coordenadas inicio y fin de tramo

	Tramo de estudio	Este	Norte	Estación
Inicio	Empalme El Arenal	616691.084	1440217.23	0+000.00
Fin	Valle Los Robles	615249.317	1453760.88	20+525.66

Figura 18 Macro Localización tramo de estudio.



3.3 INFORMACIÓN PRELIMINAR

3.3.1 ESTRUCTURAS DE DRENAJE EXISTENTES

El día 26 de marzo de 2024 se realizó una visita de campo al sitio del proyecto para identificar el estado actual de las Obras de Drenaje Transversal existentes (ODT). Los datos obtenidos fueron los siguientes: nombre de la ODT, coordenadas georreferenciadas (N, E), estación, y tipo de obra existente. Se identificaron 27 ODT en el tramo.

Figura 19 Ubicación de Obras de Drenaje Transversal existentes

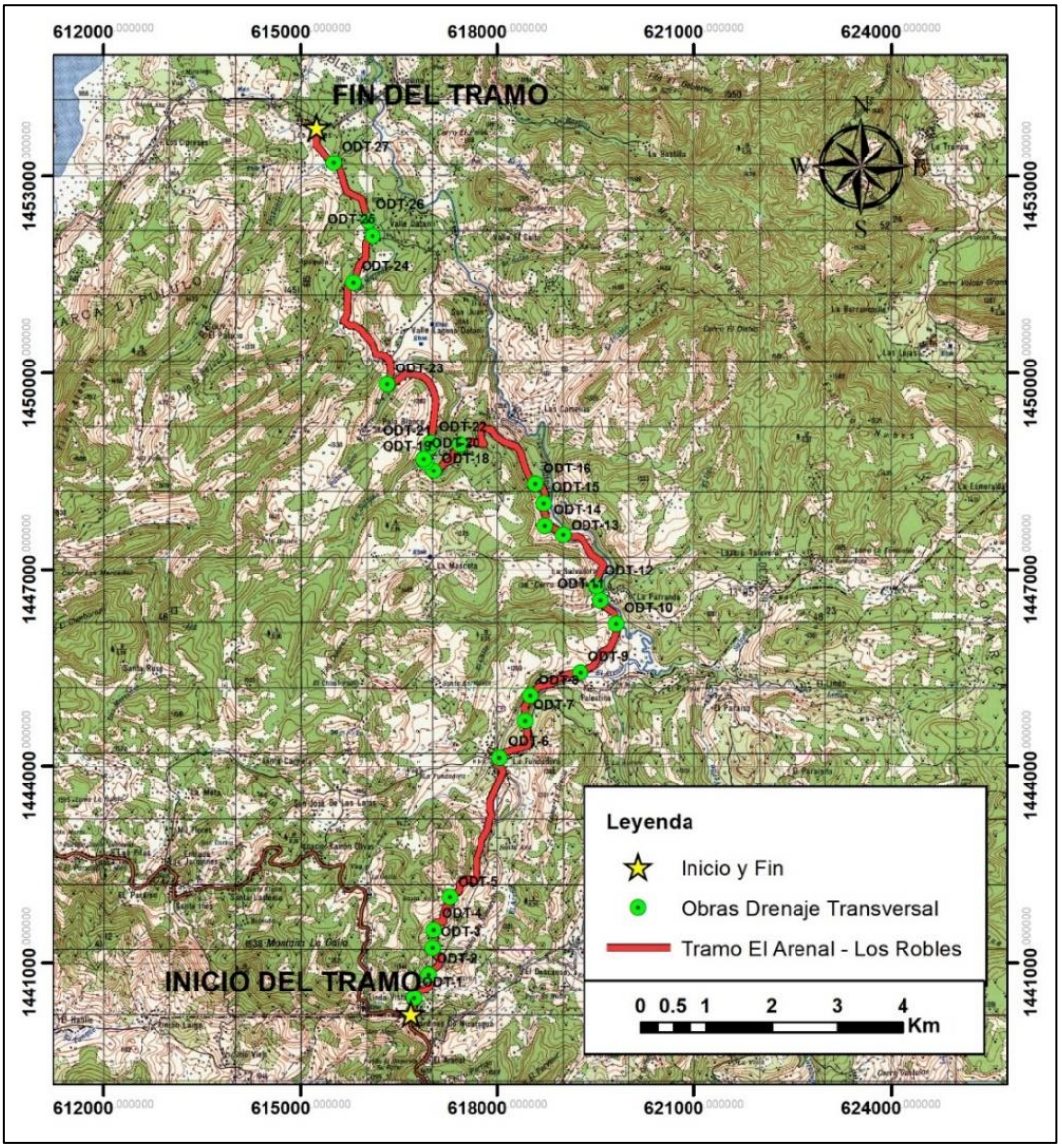


Tabla 11 Inventario de Obras de Drenaje Transversal existentes

ODT	E	N	Estación	Estructura Existente
INICIO	616691.0844	1440217.23	0+000.00	-
ODT-1	616735.5198	1440457.5	0+248.72	3 TCR 38
ODT-2	616955.6385	1440820.29	0+764.34	1 TCR 28
ODT-3	617014.2216	1441226.77	1+303.23	1 TCR 20
ODT-4	617031.4028	1441500.88	1+605.66	2 TCR 42
ODT-5	617279.5276	1441995.65	2+255.98	1 TCR 28
ODT-6	618045.1455	1444132.72	4+861.21	2 TCR 60
ODT-7	618430.57	1444689.28	5+705.53	1 TCR 28
ODT-8	618504.3642	1445071.38	6+121.65	VADO 6.6 X 4.60
ODT-9	619267.2901	1445433.21	6+964.08	2 CCR 3.5 X 2
ODT-10	619818.9028	1446170.71	7+991.81	VADO 6.40 X 4.0
ODT-11	619581.4028	1446533.21	8+447.19	PUENTE 8.20 X 5.40
ODT-12	619520.8144	1446745.71	8+669.87	1 TCR 24
ODT-13	619006.9786	1447537.01	9+849.61	1 TCR 20
ODT-14	618731.4028	1447670.71	10+160.51	1 METAL 36
ODT-15	618708.778	1448008.11	10+501.77	VADO 8.20 X 4.6
ODT-16	618582.4388	1448305.25	10+879.91	VADO 7.5 X 4.2
ODT-17	617428.5678	1448918.43	12+835.92	1 TCR 60
ODT-18	617034.3756	1448514.76	13+454.57	VADO 5.2 X 4.1
ODT-19	616904.1502	1448644.59	13+655.74	VADO 5.5 X 3.9
ODT-20	616881.2198	1448695.61	13+760.00	PUENTE PEATONAL 7.5m
ODT-21	616981.4028	1448883.21	13+916.13	VADO 6.3 X 4.5
ODT-22	616993.312	1448941.93	13+984.31	VADO 6.1 X 2.8
ODT-23	616330.4533	1449832.35	15+653.30	VADO 5.5 X 7.7
ODT-24	615806.4028	1451383.21	17+685.44	PUENTE PEATONAL 8.6m
ODT-25	616104.9688	1452106.77	18+528.33	VADO 4.9 X 2.40
ODT-26	616031.4028	1452333.21	18+768.84	PUENTE PEATONAL 5.5m
ODT-27	615507.1297	1453214.27	19+860.88	PUENTE PEATONAL 10m
FIN	615249.3171	1453760.88	20+525.66	-

Se encontraron un total de 10 cruces de vados, también llamados badén estándar; 8 cruces de alcantarillas simples de entre 20” y 60”, 2 cruces de alcantarillas dobles de 42” y 60”, 1 cruce de alcantarilla triple de 38”, 1 cruce de una alcantarilla rectangular 3.5m x 2m y 5 cruces de puentes peatonales.

3.3.2 USO Y TIPO DE SUELOS

Los archivos de uso y tipo de suelos de la zona de estudio fueron obtenidos por el INETER en formato shapefile (.shp) para su procesamiento en el software ArcGIS. El archivo de Tipo de Suelos corresponde al mapa de orden y sub orden taxonómicos de los suelos y el archivo del Uso del Suelo corresponde al mapa de cobertura y uso actual de la tierra.

- **Uso de suelo**

El Atlas de Suelos 2021 presenta el mapa de cobertura y uso actual de la tierra 2018, el cual se construyó bajo la metodología de *Corine Land Cover* a través de patrones identificados en imágenes satelitales *Landsat 8* (INETER, 2021, p. 30).

- **Tipo de Suelo**

Así mismo, según INETER (2021) en Nicaragua los suelos pueden clasificarse por el sistema del Servicio de Conservación de Recursos Naturales de Estados Unidos llamada Soil Taxonomy, y la World Reference Base de la FAO y UNESCO (p. 44). Este sistema de clasificación está organizado en seis categorías: Orden, Suborden, Gran grupo, Subgrupo, Familia y Serie, describiendo las características de suelos desde lo general hasta lo específico. (INETER, 2021, p. 44)

Los mapas de uso y tipo de suelo se intersecan (*CNPoly*) para determinar los valores de CN del sitio, se utiliza una adaptación de la tabla de Curva Número (*CNLookUp*), y posteriormente pondera para cada área de subcuenca.

Tabla 12 Tabla de curva número (CNLookUp)

Descripción de uso de suelos	Grupo A	Grupo B	Grupo C	Grupo D
Suelo sin vegetación	49	69	79	84
Pasto	39	61	74	80
Tacotal y vegetación arbustiva	30	58	71	78
Cultivo anual y permanente	35	56	65	77
Bosque latifoliado denso	32	58	72	79
Bosque latifoliado ralo	45	66	77	83
Ciudades, poblados y caseríos	59	74	82	86

3.3.3 INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

Por medio de las intensidades históricas de la Estación Hidrometeorológica Principal de Jinotega, se obtienen las curvas IDF. El Instituto de Estudios Territoriales (INETER) proporcionó las curvas IDF y sus parámetros de ajuste para la estación Meteorológica de Jinotega para calcular las intensidades. Así mismo, esta estación presenta factores de coeficiente de cambio climático, los cuales los plantea el MTI en la Guía meteorológica de Hidrotecnia Vial.

Tabla 13 Parámetros de ajuste de Curvas IDF y Kcc para Estación Jinotega

Curvas IDF Jinotega (1987-2019) Para ecuaciones de la forma $I = A/(t+d)^b$					
T: Años	**r**	**A**	**d**	**b**	**K_{CC} P50**
25	-0.9985	910.692	2.0	0.690	1.15
50	-0.9986	1000.047	2.0	0.690	1.18
100	-0.9987	1088.675	2.0	0.689	1.22

Nota. Adaptado de *Curvas Ajustadas Estación Jinotega*, de INETER, 2019.

El factor de cambio climático utilizado para este estudio es el P50, esto porque el tramo de carretera donde se encuentran las obras de drenaje transversal, El Arenal – Los Robles, corresponde según el MTI a “Camino Vecinal”, es decir, que no corresponde al P90 de servicios ni al P70 de carreteras troncales o colectoras principales, así que corresponde al P50 de resto de los casos. Según el tipo de cálculos a realizar, corresponden los períodos de retorno de 25, 50 y 100 años, por lo que los coeficientes son $Kcc_{TR25} = 1.15, Kcc_{TR50} = 1.18$ y $Kcc_{TR25} = 1.22$.

3.3.4 RELIEVE DE LA ZONA DE ESTUDIO

Se obtuvo un Modelo de Elevación Digital (DEM) del sitio Alaska Satelite Facility (ASF) en un formato ráster cuyo tamaño de celda es de 12.5x12.5 m para su debido procesamiento en el software ArcGIS. Así mismo el relieve del sito se debe verificar con carta topográfica, la que corresponde es la codificada como 3055-III “La Fundadora”.

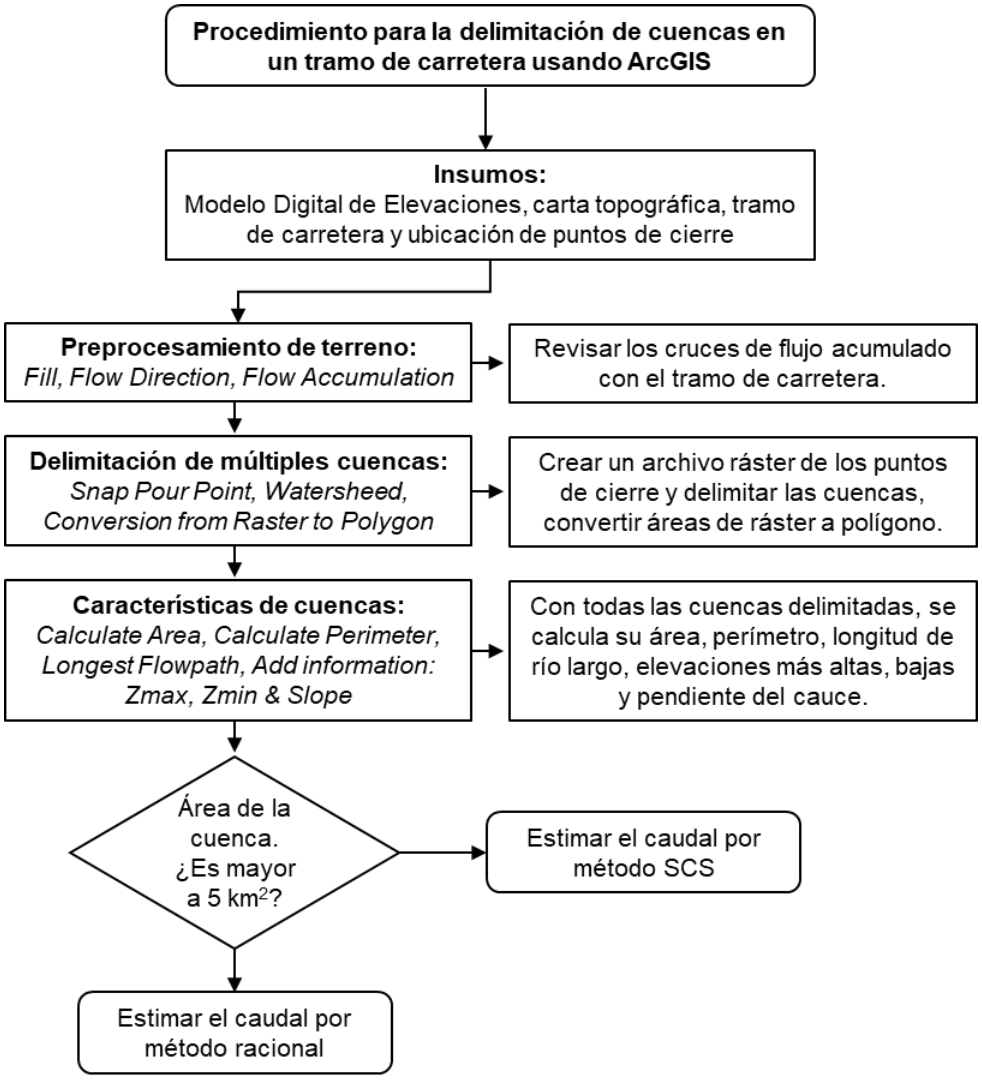
3.4 ESTUDIO HIDROTÉCNICO

3.4.1 ESTUDIO HIDROLÓGICO

3.4.1.1 Delimitación de cuencas

Se cargaron los datos al ArcGIS, los cuales son: DEM, tramo de estudio, carta topográfica y coordenadas de las ODT. Se utilizó un procedimiento para delimitar las cuencas y obtener sus características morfológicas, principalmente el área para posteriormente calcular el caudal de cada una.

Figura 20 Pasos para delimitación de cuencas

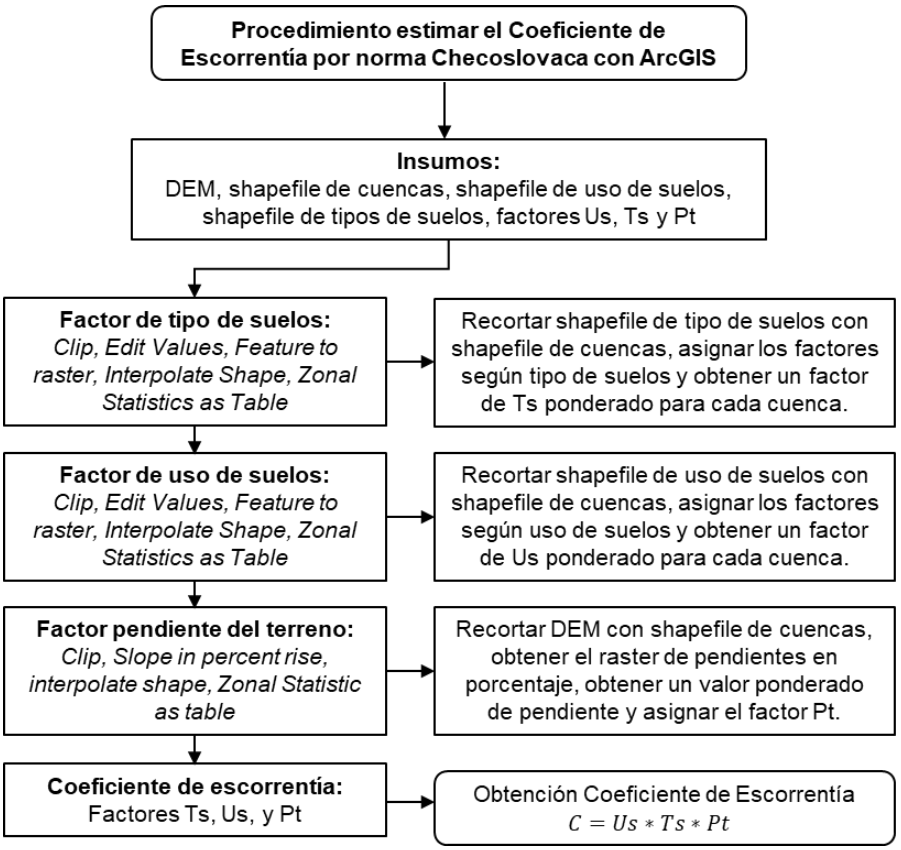


Al finalizar, se elaboraron mapas temáticos con las cuencas delimitadas.

3.4.1.2 Determinación del caudal por método racional

Para las cuencas menores de 5 km^2 se calculó el tiempo de concentración del cauce de la cuenca por la ecuación del Proyecto Hidrocentroamericano. Se calculó la intensidad con las curvas IDF y se aplicó el coeficiente de cambio climático P50 porque es carretera de camino vecinal, para los períodos de retorno 25, 50 y 100 años. El coeficiente de escorrentía se estimó usando los mapas de uso de suelos, tipo de suelos y pendientes por el método Checoslovaco para obtener los coeficientes correspondientes. Se presentan los pasos a continuación.

Figura 21 Pasos para obtener coeficiente de escorrentía

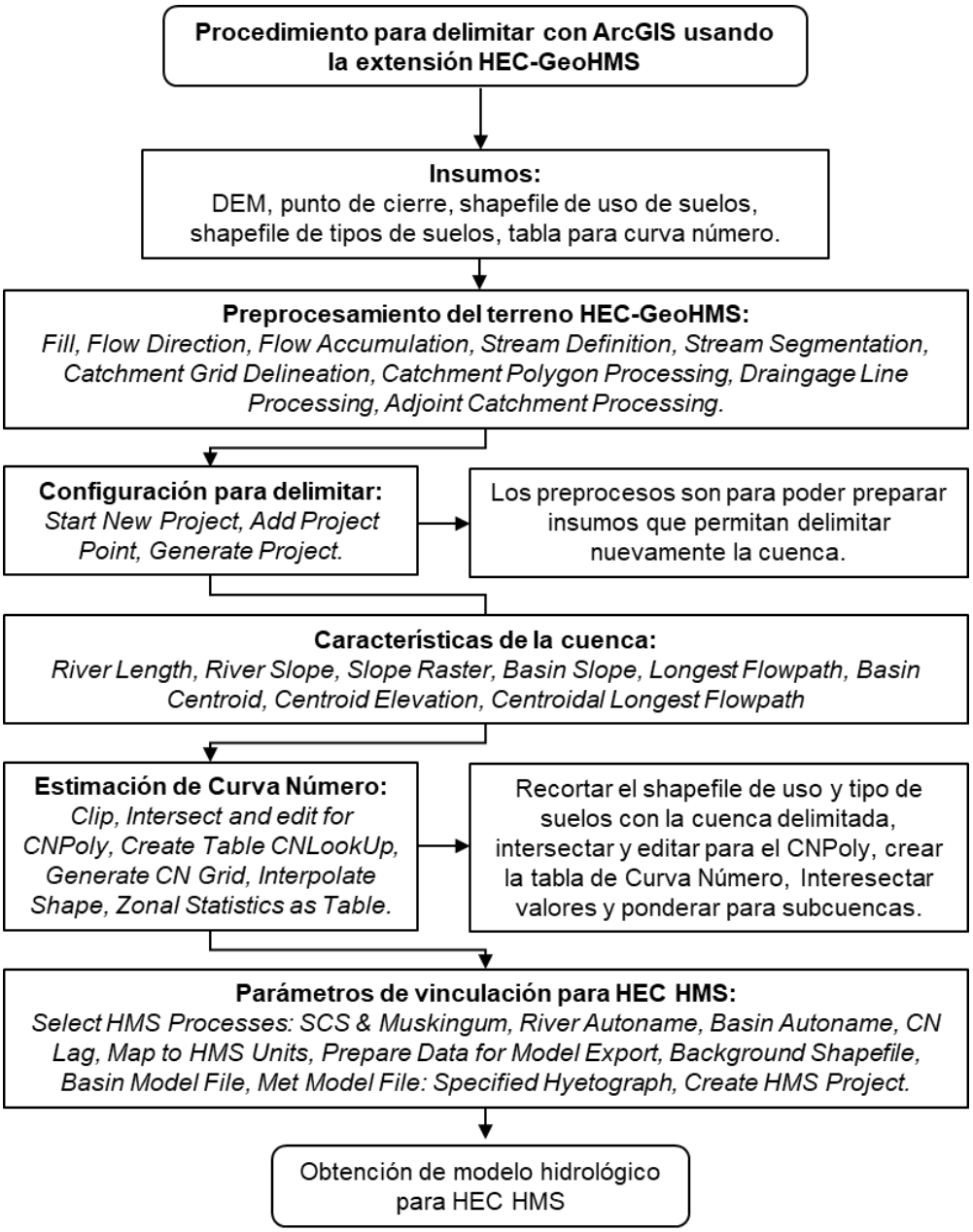


Con el área, el coeficiente de escorrentía y los valores de intensidades para los períodos de retorno indicados, se calculó el caudal por el método racional para cada cuenca correspondiente a cada obra de drenaje transversal.

3.4.1.3 Determinación del caudal por método SCS

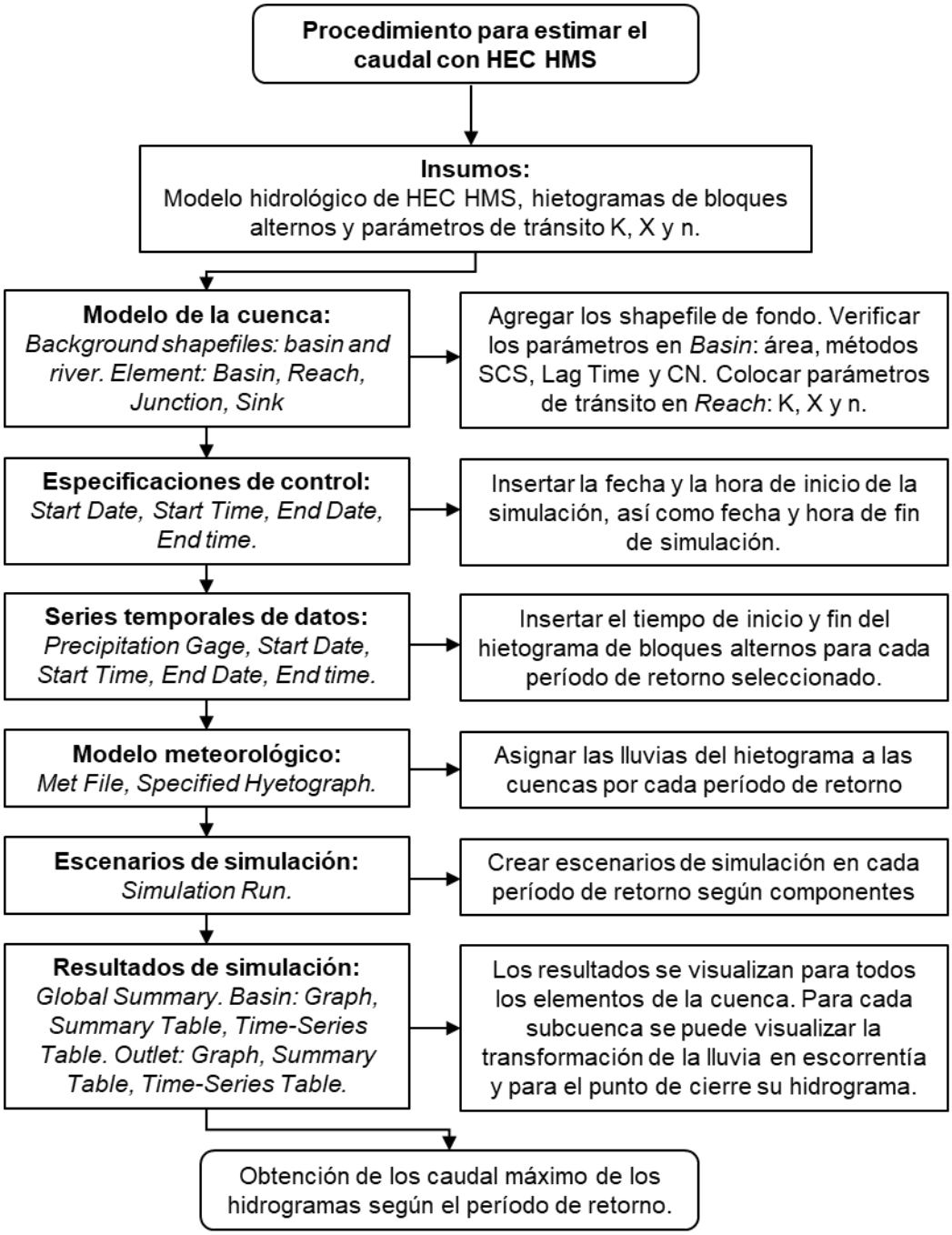
Para cada una de las cuencas con área mayor de 5 km^2, se usó la extensión HecGEO-HMS. El proceso de delimitación con ArcGIS, obtención de parámetros, estimación de curva número, selección de método SCS para abstracciones y método Muskingum de tránsito hidrológico son descritos a continuación.

Figura 22 Pasos para delimitar con HEC-GeoHMS



A continuación, se presenta el procedimiento para el determinar el caudal máximo de avenidas usando el HEC-HMS. Se requiere de lluvias de diseño, las cuales fueron elaboradas por hietograma de bloques alternos, para los períodos de retorno 25, 50 y 100 años, (procedimiento se puede revisar en los anexos).

Figura 23 Pasos para el uso de HEC-HMS



3.4.2 ESTUDIO HIDRÁULICO

Una vez obtenidos los caudales de diseño por método racional y por método SCS para las cuencas de las estructuras de drenaje transversal, se utilizó el software HY-8 para evaluar ciertas estructuras existentes con los caudales obtenidos previamente, esto permitió determinar el desempeño de la obra existente. Así mismo, para el diseño, se insertaron los caudales de las obras y se propusieron sus nuevas dimensiones, como parte del dimensionamiento, cumplieron con diferentes criterios que plantean las normativas nacionales.

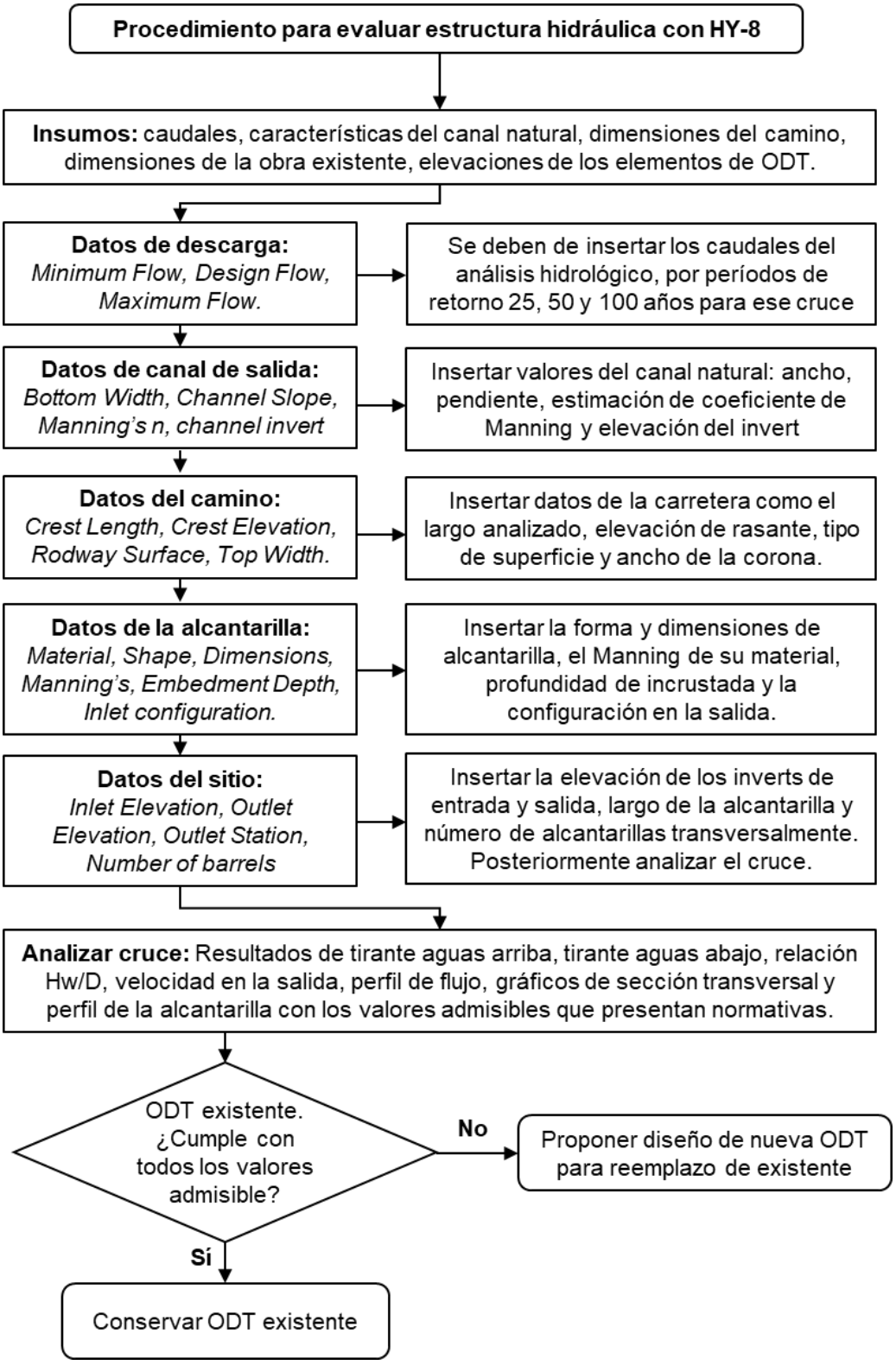
3.4.2.1 Evaluación usando HY-8

En la visita de campo se tomaron los datos de las obras de drenaje transversal existente: dimensiones de la ODT, ancho de corona del camino, longitud de desarrollo de la obra en el camino, estado del cauce natural, elevación del camino, el invert de entrada y el invert de salida. Se modeló y se analizaron los resultados. Lo que se revisa para evaluación es:

- El diámetro mínimo según el MTI es de 36”.
- La velocidad admisible en la alcantarilla debe estar entre 0.5 m/s y 6.0 m/s.
- Revisar en los gráficos de planta y de perfil la altura del nivel de aguas en la entrada de la alcantarilla y si con ese caudal se produce o no un desborde, y ver el desempeño de la alcantarilla a través de las líneas de energía.
- El valor de Hw/D tiene que ser inferior a 1.0.
- El perfil de flujo se recomienda que sea por control de entrada sin sumergir y con una curva de descenso correspondiente al tipo “1-S2n”.

Una vez analizados los resultados de la modelación hidráulica y con el uso de los criterios para la evaluación, si la alcantarilla cumple con lo establecido y se puede conservar el cruce existente, de lo contrario, se procede a diseñar una nueva obra.

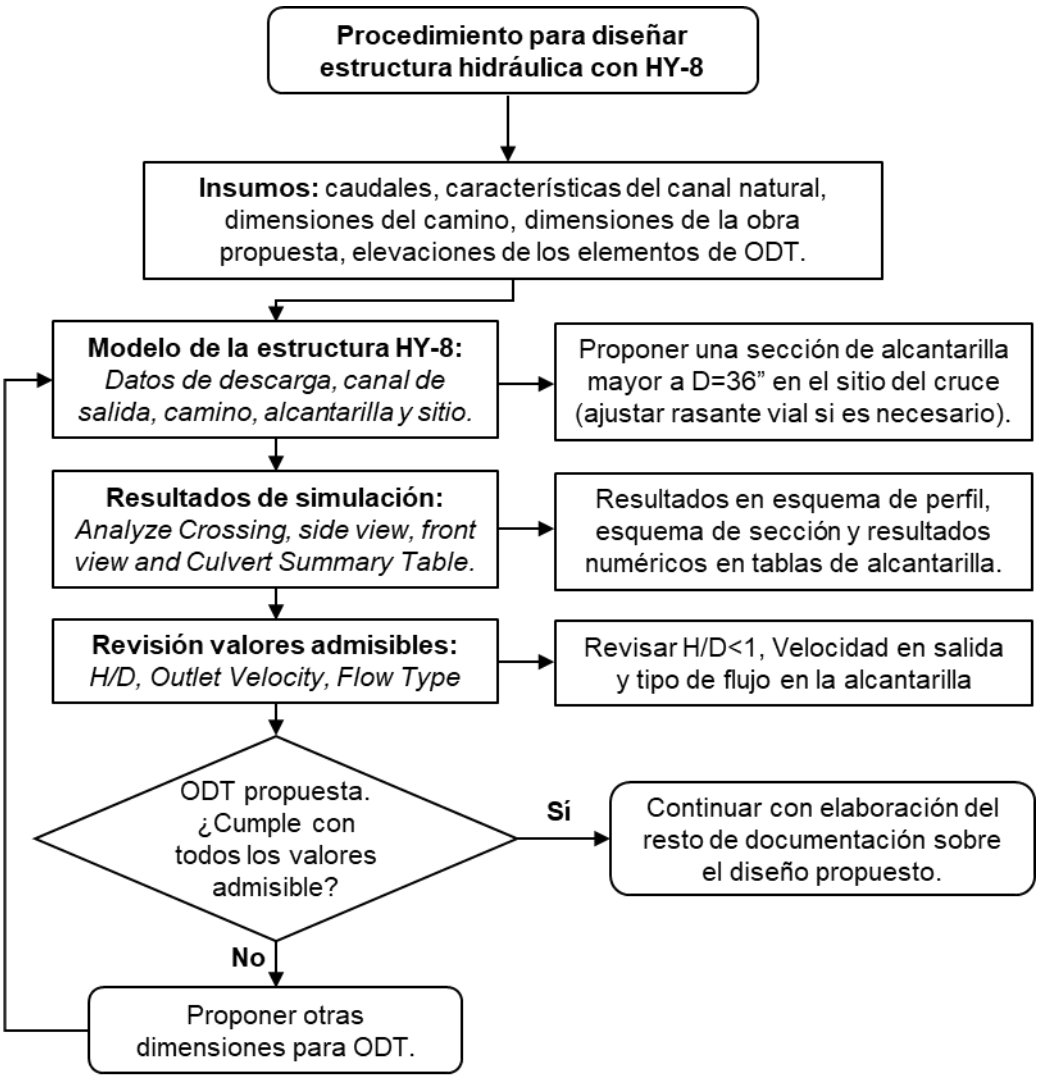
Figura 24 Pasos para evaluar una alcantarilla en HY-8



3.4.2.2 Diseño usando HY8

Para el diseño de cada obra en HY-8 se utilizaron datos que se tomaron en sitio sobre el canal natural, camino y caudales. Para el proceso de modelar la estructura, se utilizaron los pasos mencionados en la evaluación insertando los datos en los espacios correspondientes y revisando los resultados en el programa. A continuación, se describe de forma resumida el procedimiento de diseño de una estructura hidráulica usando HY-8.

Figura 25 Pasos para el diseño de una estructura hidráulica en HY-8



Después que se realizó la evaluación de una obra existente, se propuso el diseño de una nueva geometría como reemplazo de la actual con dimensiones mayores. Para la evaluación, se insertaron los datos del cruce anteriormente mencionados y los tres caudales que son obtenidos del estudio hidrológico realizado. El caudal mínimo es para garantizar que la velocidad sea suficiente para que la alcantarilla sea auto limpiante, el caudal de diseño es con quien se evalúan los parámetros y el máximo es para ver un escenario extremo.

El diseño de cada obra en HY8 tiene que cumplir con los diferentes criterios mencionados anteriormente como diámetro mínimo, velocidad en la salida, altura del tirante de agua y su relación con el diámetro de Hw/D<1 para que pueda trabajar como un conducto abierto y no con llenado total, así mismo, el flujo se recomienda que sea por control de entrada sin sumergir correspondiente al tipo "1-S2n" que indique el programa, recomendado por SIECA. Según el diagrama se tienen que revisar esos valores admisibles y que se cumplan, de lo contrario se debe proponer una nueva sección un poco más grande o aumentar el número de estructuras transversalmente si las condiciones del sitio lo permiten.

Para el caso de alcantarillas circulares o cajas puentes de grandes dimensiones, se tiene que verificar que esa estructura pueda alcanzar en el sitio del cruce, si no, existe la alternativa de elevar el nivel de rasante, que es subir la carretera debido a la cota de lámina de agua obtenida en la simulación.

3.4.2.3 Criterios de diseño y construcción para alcantarillas

Una vez que se han cumplido todos los valores admisibles para revisar en las estructuras diseñadas, se continúa con la elaboración del resto de información sobre el cruce propuesto.

- **Obras de protección**

Se propuso un delantal de protección en la salida de las alcantarillas circulares para evitar la erosión en el suelo, mediante el procedimiento propuesto por FHWA (2006) "HEC-14: Hydraulic Design of Energy Dissipators for Culverts and Channels" donde el diámetro del empedregado depende del caudal, diámetro y

tirante en la salida de la alcantarilla, y las dimensiones de este empedregado depende de la clase de diámetro de partícula obtenida.

- **Criterios constructivos**

Para las obras que son evaluadas y diseñadas, no se modificó la elevación del invert de entrada de la alcantarilla existente, siendo a partir de este la profundidad total de excavación de la zanja hasta el nivel de rasante. Esto en la mayoría de las obras nuevas diseñadas obligó a elevar el nivel de la rasante original.

En las obras que solo fueron diseñadas, debido a la inexistencia de alcantarilla y en su lugar un Vado, no se modificó la elevación de la rasante existente, siendo que a partir de esta se da la profundidad total de excavación de la zanja hasta un nivel de rasante calculado.

Los criterios fueron tomados de las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Calles y Puentes (NIC-2019).

Excavación

- La excavación y cobertura de la zanja de alcantarilla se compone del encamado o lecho de fundación, diámetro exterior de la propia tubería, relleno para alcantarilla y la cobertura de terraplén propuesta para alcanzar el nivel de rasante.
- La zanja para la tubería deberá ser suficientemente ancha para permitir el acoplamiento satisfactorio de los tubos y la adecuada compactación del material de lecho debajo y alrededor del tubo.
- El ancho de la excavación deberá ser, por lo menos, 90 centímetros mayor que el diámetro horizontal exterior de la tubería.
- Cuando no se encuentre una cimentación adecuada al nivel establecido, a causa de un terreno blando, esponjoso o en otra forma inestable, el material inestable bajo el nivel de la línea de flujo, deberá ser removido.

Encamado

- Colocar y conformar el material del lecho en capas que, después de ser compactados, no excedan 15 centímetros de espesor.
- Para alcantarillas tubulares o de cajón: apoyar las alcantarillas sobre una fundación preparada. Usar una de las Clases A, B y C (cuando no se especifique la clase, usar material de Clase C).

Juntas con mortero

- Las juntas deberán rellenarse y sellarse con mortero por dentro y por fuera. Se deberá limpiar el exceso de mortero de la parte interna de la junta.
- Curar el mortero de fuera de las juntas, cubriéndolas con hojas de polietileno, o rociándolas con un compuesto para curar.
- Colocar el relleno mientras el mortero esté plástico o si el mortero fragua antes de rellenar el tubo, espérese al menos, 24 horas antes de colocar el material de relleno.

Juntas herméticas

- Alinear las secciones de tubo. Forzar las juntas a ocupar su posición exacta usando el procedimiento recomendado por el Fabricante del tubo.
- No hincar o martillar a mano o a máquina. Bloquear la última sección de lo hecho en cada día para evitar el flujo plástico.

Relleno

- Los materiales para el relleno a cada lado de la alcantarilla, en todo el ancho de la zanja y hasta una altura de 30 centímetros por encima de la parte superior de la alcantarilla, deben estar formados de tierra fina, fácilmente compactable, o material granular escogido de la misma excavación.
- El material de relleno deberá llevarse hasta o cerca de su humedad óptima de compactación determinada por Proctor Estándar al 85%, 90% o 95% según sea la Categoría del suelo.

- Colocar en ambos lados de la alcantarilla y compactar en capas que no excedan 15 centímetros después de compactadas hasta llegar a una elevación de 30 centímetros por encima de la corona de la tubería.
- El relleno deberá ser construido uniformemente en ambos lados de la alcantarilla, en toda la longitud requerida, y fuera del borde de la zanja, se extenderá hasta un ancho de dos veces el diámetro de la alcantarilla; ó 3.66 m, el que sea menor.
- El resto del relleno será construido con material de excavación o préstamo que sea adecuado para la construcción del terraplén.
- Suministrar material granular o suelo fino libre de humedad excesiva, lodo, raíces, césped u otros materiales perjudiciales que cumplan con lo siguiente:
    (1) Máxima dimensión: 75 mm.
    (2) Material que pasa el tamiz de 75 µm AASHTO T 27 y T 11: 15% máx.
    (3) Límite Líquido, AASHTO T 89: 30% máx.
    (4) Índice de Plasticidad, AASHTO T 90., AASHTO T 90: 10% máx.

Selección del tipo y clase de alcantarilla

La Clase de tuberías que se seleccionaron fueron a partir de lo especificado en la norma ASTM C76. Especificación estándar para alcantarillas, drenajes pluviales y tuberías de alcantarillado de concreto reforzado. Las tuberías de concreto con refuerzo C-76 se fabrican en cinco clases diferentes, denominadas clase I, II, III, IV, y V.

Se llega a seleccionar la clase través de las especificaciones de la AASHTO de los tipos de instalación estándar, según diámetro nominal de tubería y el rango de profundidad de cobertura sobre la corona. Para la consideración de carga viva.

Tabla 14 Profundidades de instalación para tuberías ASTM C76 con carga viva de instalación Tipo II

	Clase I		Clase II		Clase III		Clase IV		Clase V	
D.I. (mm)	Prof. Min. (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min. (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min. (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min. (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min. (m)	Prof. Max (m)
300			0.90	3.35	0.60	4.85	0.30	7.90	0.30	11.55
375			0.60	3.65	0.60	4.85	0.30	7.90	0.30	11.55
450			0.60	3.65	0.60	4.85	0.30	7.90	0.30	11.55
525			0.60	3.65	0.30	4.85	0.30	7.90	0.30	11.55
600			0.60	3.65	0.30	4.85	0.30	7.90	0.30	11.55
675			0.60	3.65	0.30	4.85	0.30	7.90	0.30	11.55
750			0.30	3.65	0.30	4.85	0.30	7.90	0.30	11.55
825			0.30	3.65	0.30	4.85	0.30	7.90	0.30	11.55
900			0.30	3.65	0.30	4.85	0.30	7.90	0.30	11.55
1050			0.30	3.35	0.30	4.85	0.30	7.90	0.30	11.55
1200			0.30	3.35	0.30	4.85	0.30	7.90	0.30	11.55
1350			0.30	3.35	0.30	4.85	0.30	7.90	0.30	11.55
1500	0.30	2.40	0.30	3.35	0.30	4.55	0.30	7.90	0.30	11.25
1650	0.30	2.40	0.30	3.35	0.30	4.55	0.30	7.60	0.30	11.25
1800	0.30	2.10	0.30	3.35	0.30	4.55	0.30	7.60	0.30	11.25
1950	0.30	2.10	0.30	3.05	0.30	4.55	0.30	7.60		
2100	0.30	2.10	0.30	3.05	0.30	4.55	0.30	7.60		
2250	0.30	2.10	0.30	3.05	0.30	4.55				
2400	0.30	2.10	0.30	3.05	0.30	4.25				

Nota. Adaptado de *Manual Técnico PC – Productos de Concreto (15 ed)* (p. 49), de Productos de Concreto S.A., 2012.

Los tipos de instalación estándar se clasifican en cuatro, según el tipo material y compactación del mismo, lo que define el grado de rigidez de la cama de apoyo y confinamiento lateral de la tubería. Los tipos de instalación se determinan según las especificaciones de material y compactado del relleno según sean las categorías de suelos a implementar.

Tabla 15 Instalaciones estándar y requerimientos mínimos de compactación

Tipo de instalación	Espesor del encamado	Zona de acostillamiento y parte externa de la cama	Zona de soporte lateral
Tipo 1	Espesor mínimo Do/24, pero no menos de 75 mm. Si la fundación es roca, use un mínimo de Do/12, pero no menos de 150 mm	Suelo categoría I al 90% de Proctor Estándar	Suelo categoría I al 90% Proctor Estándar Suelo categoría II al 95% Proctor Estándar Suelo categoría III al 100% Proctor Estándar
Tipo 2	Espesor mínimo Do/24, pero no menos de 75 mm. Si la fundación es roca, use un mínimo de Do/12, pero no menos de 150 mm	Suelo categoría I al 90% Proctor Estándar Suelo categoría II al 95% Proctor Estándar	Suelo categoría I al 85% Proctor Estándar Suelo categoría II al 90% Proctor Estándar Suelo categoría III al 95% Proctor Estándar
Tipo 3	Espesor mínimo Do/24, pero no menos de 75 mm. Si la fundación es roca, use un mínimo de Do/12, pero no menos de 150 mm	Suelo categoría I al 85% Proctor Estándar Suelo categoría II al 90% Proctor Estándar Suelo categoría III al 95% Proctor Estándar	Suelo categoría I al 85% Proctor Estándar Suelo categoría II al 90% Proctor Estándar Suelo categoría III al 95% Proctor Estándar
Tipo 4	No requiere cama a menos que sea fundación en roca. Espesor Do/12 pero no menos de 150 mm	No requiere compactación para los suelos categoría I y II. Suelo categoría II al 85% Proctor Estándar	No requiere compactación para los suelos categoría I y II. Suelo categoría II al 85% Proctor Estándar

Nota. Adaptado de *Manual Técnico PC – Productos de Concreto (15 ed)* (p. 45), de Productos de Concreto S.A., 2012.

Los suelos se clasifican en cuatro categorías que relacionan el tipo de suelo y el nivel de compactación según la codificación del sistema unificado de clasificación de suelos UCSS, AASHTO.

Tabla 16 Clasificaciones USCS y AASHTO para designación de suelos

Categoría	USCS (ASTM D2487)	AASHTO (M145)	Descripción
Categoría 1 Arena Gravosa	Suelos granulares gruesos y límpios: SW, SP, GW, GP o cualquier tipo de suelo con alguno de las categorias anteriores con 12% o menos pasando la malla 200 (0.075 mm) (GW-GM, GP-GM, GW-GC, GP-GC, SW SC, SW-SM, SP-SC, SP-SM)	A-1, A-3	GW
			GP
			SW
			SP
Categoría 2 Arena Limosa	Suelos granulares gruesos con finos: GM, GC, SM, SC o cualquier suelo que comience con alguna de estas categorías y que contengan más del 12 % pasando la malla	A2, A4	GM
			GC
			SM
			SC
			ML
			CL
Categoría 3 Arcilla Limosa	Suelo granular finos: GC, SC, CL, M, o (CL ML, CL/ML, ML/CL) con menos de 30% retenido en la malla 200 (0.075 mm)	A5, A6	GC
			SC
			ML
			CL
Categoría 4, Pero no se permite en el acostlllamiento o encamado	MH, CH, OL, OH, PT	A7	MH
			CH
			OL
			OH
			PT

Nota. Adaptado de *Manual Técnico PC – Productos de Concreto (15 ed)* (p. 44), de Productos de Concreto S.A., 2012.

Cada clase de tubería proporciona una resistencia en proporción al diámetro nominal a elegir. La resistencia aumenta según la clase, siendo la Clase I la de menor capacidad y la Clase II la de mayor, no obstante, las tuberías prefabricadas con las especificaciones ASTM C76 son aptas para situaciones donde se necesitan mayores diámetros o una mayor resistencia estructural, tal como soportar grandes rellenos y/o tránsito de vehículos pesados.

Tabla 17 Resistencia de las tuberías ASTM C76

Clase (mm)	Carga de grieta $(N/m/mm)$	Carga última $(N/m/mm)$	Diámetro mínimo (mm)	Diámetro máximo (mm)
I	40	60	1500	2700
II	50	75	300	2700
III	65	100	300	2700
IV	100	150	300	2100
V	140	175	300	1800

Nota. Adaptado de *Manual Técnico PC – Productos de Concreto (15 ed)* (p. 35), de Productos de Concreto S.A., 2012.

La resistencia está dada en Newtons por m lineal de tubería por mm de diámetro. La carga de grieta es la que produce una grieta de 0.3 mm de ancho en 30 cm de largo.

- **Vehículo de diseño**

El vehículo de diseño del tramo de carretera estará determinado según datos de tráfico promedio diario anual histórico por tipo de vehículo del Anuario de Aforos de Tráfico 2020 del MTI. Donde se encontró la estación 316 de tipo ECS (Estación de Conteo Sumaria), en el tramo “El Arenal – La Sultana” el cual es parte del tramo de estudio “El Arenal – Los Robles”.

El vehículo de diseño escogido es con el fin de implementar sus condiciones de carga por ejes al componente de carga viva en la capacidad de resistencia de las alcantarillas tubulares prefabricadas, y como parte de un análisis estructural para el diseño y cálculo de materiales de las estructuras de cajas de concreto reforzado construidas, resultados que escapan de los objetivos de este trabajo monográfico.

3.5 ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

3.5.1 ÁREA DE INFLUENCIA DE LAS OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL

El área de influencia del proyecto de construcción de obras de drenaje transversal involucra un área común extensa del territorio que se tiene acceso por el tramo de carretera “El Arenal – Los Robles”. Las actividades son una intervención indirecta en las condiciones de transporte y comunicación, a su vez que las actividades constructivas, en magnitud y extensión, están limitadas a causar impactos directos en el área cercana a las propias obras, además del propio sitio que están ocupan.

3.5.1.1 Área de Influencia Directa (AID)

Se delimitó como el espacio ocupado, de forma permanente por la nueva obra, y temporal por parte de las actividades que intervienen durante sus etapas de desarrollo. Se consideraron también los espacios colindantes, a la carretera y el cauce, cercanos a la obra.

El AID comprende enteramente el área de construcción de la estructura de la obra y la carretera, así mismo se toma en cuanta, en caso de existir, asentamientos humanos muy cercanos al área de construcción.

3.5.1.2 Área de Influencia Indirecta (AII)

Se delimitó tomando en cuenta el espacio físico donde se llegará a apreciar la influencia de los efectos directos del proyecto sobre un determinado componente ambiental, u otros componentes ambientales, aunque con menor intensidad.

El AII comprende la total extensión del tramo de carretera, ya que la alteración de este en un sector crítico afecta las condiciones de movilización para las demás comunidades que se conectan a través del tramo, esto incluye zonas no muy retiradas en las que solo se puede acceder por medio de calles y caminos que se conectan al tramo de carretera.

Por otra parte, se considera el terreno aguas abajo de los causes de las obras de drenaje hasta su desembocadura al rio principal perteneciente al orden de cuencas mayores donde se ubica el proyecto.

3.5.2 CONSTRUCCIÓN DE LÍNEA BASE DEL PROYECTO

La línea base de la zona cercana a las obras de drenaje transversal del tramo de carretera “El Arenal – Los Robles” fue elaborada a partir de información consultada sobre los factores físicos y los recursos naturales de flora y fauna de la zona, además de datos comprobados de la visita de campo al sitio. La línea base muestra en orden la situación física, biológica y aspectos socioeconómicos actuales del área de influencia antes de realizarse la intervención, incluye todos los factores ambientales que necesariamente serán afectados directa o indirectamente para la ejecución del proyecto. Los elementos del medio que tengan impactos insignificantes y demasiado bajos para ser medidos no fueron incluidos en el árbol de factores evaluados.

La línea base derivó en la selección y organización del árbol de factores ambientales que se usó en la evaluación de impactos por la construcción de las dos obras seleccionadas, dividido en medios, categorías y factores ambientales.

- **Medio físico**

Es el medio con más elementos pues cada uno puede ser distinguido con mayor facilidad del resto, además que varios pueden ser descritos por diferentes enfoques. La información de los factores ambientales de este medio se obtuvo a partir de fuentes secundarias de estudios antecedentes en el mismo sitio, cerca de este o de la deducción de zonas amplias que contienen el área de estudio; y a través de un análisis satelital y procesamiento por SIG de archivos shapefile e imágenes de formaciones geológicas, hidrogeología y taxonomía de suelos, obtenidos de INETER.

Sin embargo, esta al ser limitada en algunos elementos fue necesario complementarla con datos observados o consultados en el sitio, tales como fuentes con caudal perenne, o sitios específicos a ser aprovechados como banco de materiales por su tipo de suelo.

- **Medio biótico**

La información de estos fue recopilada a través de fuentes secundarias de estudios de flora y fauna silvestre de la zona cercana al área de influencia del proyecto como lo es la Reserva Natural Cerro Datanlí – El Diablo, estos estudios son, entre otros, trabajos de diplomado de la Universidad Nacional Agraria (UNA).

- **Medio socioeconómico**

Es el medio más variado donde sus elementos comparten un mismo origen que es la acción del ser humano ocupando esa área. La información de algunos factores resultó escasa no por su desconocimiento sino por su no documentación. Es así que la mayor información que constituye este medio fue obtenida de fuente primaria por la vista de campo al sitio del proyecto donde, a grandes rasgos, se observaron las actividades económicas, servicios disponibles, y ubicación y nombre de las comunidades en el área de influencia. Por otro lado, los valores y distribución demográfica de la zona fueron consultados de los datos del VIII Censo de Población y IV de Vivienda en 2005.

3.5.3 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL

Se desarrolló una visión genérica y resumida del proyecto, relacionado las características y aspectos básicos que tuvieron relevancia medioambiental en el estudio. La descripción del proyecto de la nueva obra de drenaje transversal y sus acciones incluyó:

- Su localización.
- Descripción de las medidas de la obra existente y la nueva a ser construida, como resultado del diseño preliminar hidráulico.
- Se mencionan los materiales y maquinaria a ser empleada durante las actividades directas de construcción y las complementarias a estas.
- Se da la estimación de la magnitud de trabajos realizados con los materiales.

3.5.4 MÉTODOS UTILIZADOS

En el proceso de evaluación del impacto ambiental fue necesario primero identificar las acciones que pueden causar impactos sobre uno o más factores del medio susceptibles de recibirlos; en segundo término, se procedió a valorar los impactos para determinar su grado de significancia y, por último, se establecieron las medidas preventivas, correctivas o compensatorias necesarias.

En el desarrollo de la valoración de impactos sobre los diferentes factores del medio físico, biótico y social, se optó por emplear métodos matriciales cualitativos. Esto con el fin de dar un resultado de su importancia y cuánto se espera que afecte a un elemento del medio como para pasar desapercibido, donde sea necesario implementar medidas, o incluso haya que descartar actividades ocasionando que se planteen otras alternativas. Además, que una apreciación cualitativa, por el tipo de datos disponibles del sitio, permite una correcta utilización de la información en el análisis y procesamiento de datos.

Una valoración cuantitativa hubiese exigido mayores necesidades en mediciones de la mayoría de elementos ambientales cercanos al sitio de cada una de las obras de drenaje, esto para utilizar indicadores numéricos del impacto y funciones de transformación al termino de calidad ambiental.

3.5.4.1 Identificación de impactos

Se hizo uso de la matriz de relación causa-efecto para determinar los impactos positivos y negativos. Tomando aquellos elementos ambientales que se encuentran en el área próxima a las obras de drenaje y carretera. Así mismo se incluyen todas las actividades que intervienen en el medio y son necesarias en la construcción, operación y mantenimiento de estas.

El arreglo de esta matriz consistió en que las actividades de la obra se colocaron en fila y ordenado por secuencia constructiva, mientras que los elementos ambientales dispuestos en columna teniendo primero los del medio físico, luego el medio biótico y finalmente el medio socioeconómico.

Cada actividad y elemento ambiental se nombró con una nomenclatura simple compuesto de una letra y numeración. Así la intercepción de estos dio un código único para identificar el impacto, con la actividad que lo produce y el elemento ambiental que es afectando.

Para facilitar el visualizar dicha intercepción y descripción de cómo una actividad afecta un aspecto del medio, se organizaron en una tabla de identificación donde se describieron las consecuencias del impacto, incluyendo detalles de ubicación y tamaño de su efecto. La identificación de impactos se presentó en tres partes, separando los impactos sobre el medio físico, del medio biótico y medio socioeconómico.

3.5.4.2 Valoración de impactos

Con los impactos ambientales identificados, se procedió a valorar cada símbolo para calcular la importancia de cada impacto y categorizar su nivel de afectación. Esta valoración se realizó con la **Matriz de valoración de impactos** como evaluación cualitativa, que permite identificar la mayor o menor agresividad de las acciones, y los factores ambientales que sufren en mayor o menor medida las consecuencias de la actividad. La matriz empleada, junto a las variables y símbolos que contempla para valorar la importancia del impacto de una actividad en el medio, sigue la metodología original propuesta por Vicente Conesa Fernández en 1997.

3.5.4.3 Matriz de importancia

A partir de la matriz causa-efecto de identificación impactos se realizó la matriz de importancia sustituyendo en cada casilla de intercepción, donde se encontró afectación, el valor de la importancia, tanto para positivos y negativos. En esta matriz se realizó la evaluación general para mostrar la actividad que más impacto generó en los elementos del medio, como también el elemento ambiental más afectado en las diferentes actividades para la construcción y operación. Finalmente, de esta se encontró la afectación total (grado de alteración) de las obras de drenaje transversal evaluadas, y su calificación categórica de impacto en el medio ambiente.

3.5.4.4 Alternativas y medidas de mitigación

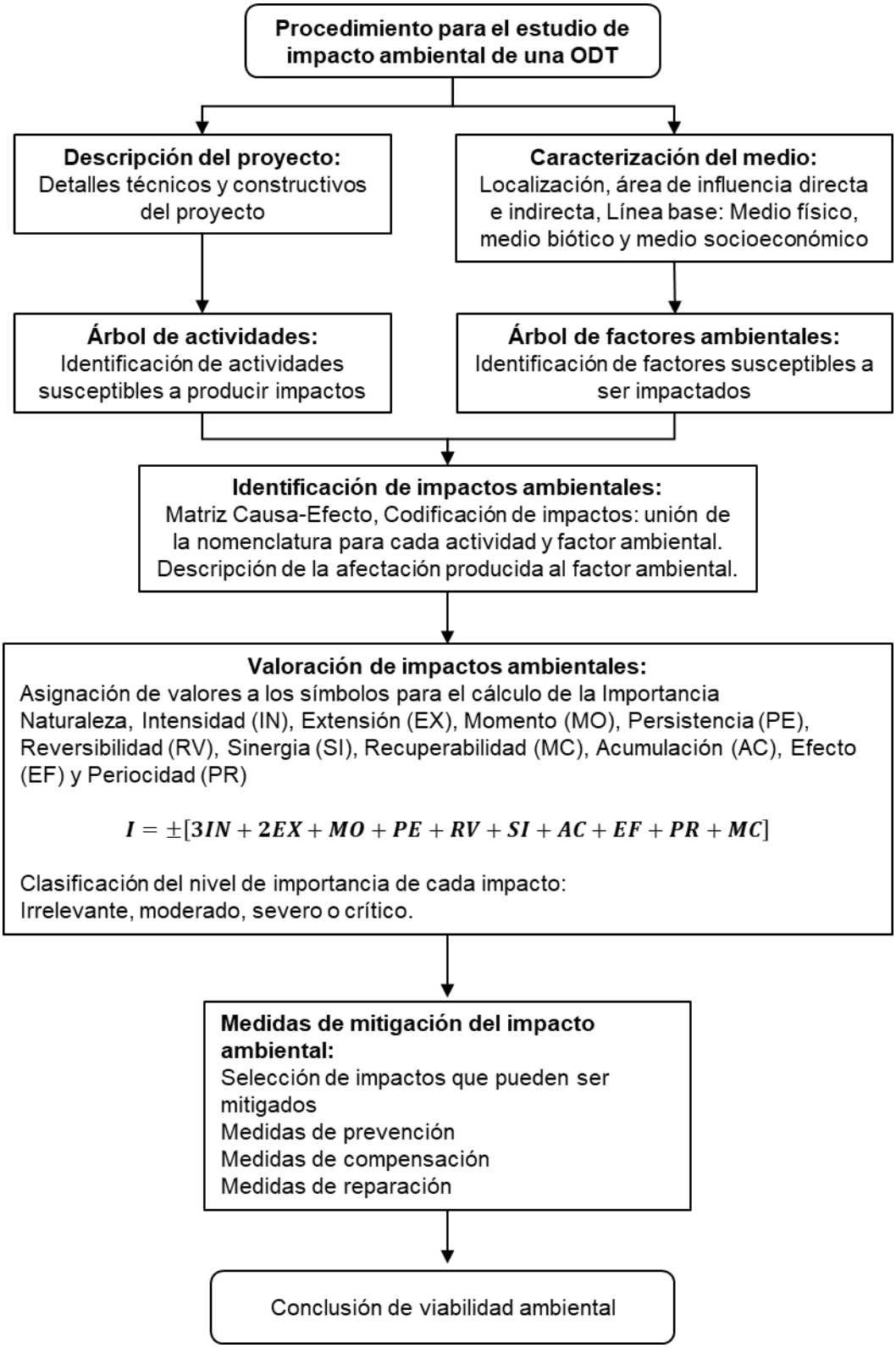
Para la propuesta de las medidas de mitigación se hizo la consulta a estudios de impacto ambiental anteriores sobre proyectos viales de distintas zonas del país. Las medidas de mitigación a ser implementadas son aplicadas a los impactos ambientales negativos con valores altos de importancia, aun cuando estos están en la categoría de impactos moderados, en aquellos que se estudió una forma posible de reducir o revertir el daño que estos generan. También dando respuesta a aquellos impactos que son más frecuentes durante todo el proceso de construcción. Estas medidas fueron elaboradas con el fin de incorporarse a un Plan de Gestión Ambiental del proyecto, al haber cumplido con los requerimientos y procedimiento que establece el Sistema de Evaluación Ambiental administrado por el MARENA. La capacidad de implementar medidas de mitigación a los impactos ambientales, dependerá de las fuentes de financiamiento a las que puede accederse. Por lo que su planificación y presupuesto debe tomarse en cuenta en fases anteriores de diseño del proyecto, disponiendo de la suficiente información de los estudios técnicos realizados, lo que sería en etapa de prefactibilidad.

A continuación, se presentan los pasos que se utilizaron para el estudio de impacto ambiental de una obra de drenaje transversal.

El procedimiento es sobre la relación secuencial de las actividades que involucra este estudio que es únicamente sobre la obra de drenaje transversal.

Al final, se debe evaluar y obtener una conclusión si es viable ambientalmente o no, es decir los daños que produce su construcción.

Figura 26 Pasos para el estudio de impacto ambiental de una ODT



4 ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS HIDROLÓGICO

Para el análisis hidrológico, se determinaron los caudales de todos los puntos de cierre, por el método racional y por el método SCS.

4.1.1 ANÁLISIS HIDROLÓGICO DEL DRENAJE MENOR

Se analizaron las propiedades morfológicas de las cuencas de estudio, se estimó el caudal de las cuencas usando el método racional.

4.1.1.1 Delimitación de cuencas del proyecto

Se delimitaron las cuencas a partir de la ubicación de cada ODT, se determinó su área, longitud de cauce, desniveles y se calculó la pendiente del río. En el mapa se observa la delimitación de las cuencas.

Figura 27 Delimitación de cuencas del tramo El Arenal – Los Robles

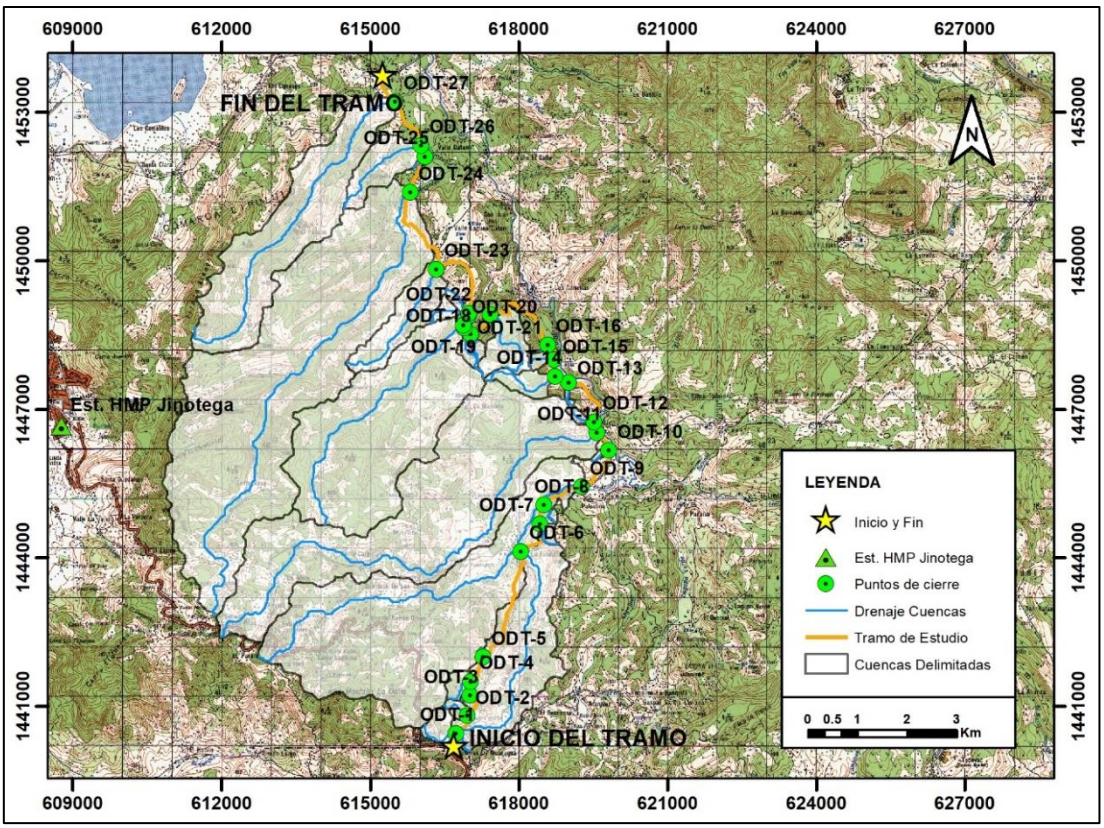


Tabla 18 Área de cuencas delimitadas y características del río principal

ODT	A (km^2)	L_{cauce} (m)	$H_{máx}$ $(msnm)$	H_{min} $(msnm)$	ΔH (m)	s_c (m/m)
ODT-1	0.3406	965.8	1538.0	1399.8	138.2	0.143
ODT-2	0.1316	657.3	1546.0	1395.2	150.8	0.230
ODT-3	0.0099	246.4	1486.0	1401.1	84.9	0.345
ODT-4	0.2224	746.3	1535.0	1398.0	137.0	0.184
ODT-5	0.0201	267.0	1466.0	1419.9	46.1	0.173
ODT-6*	**5.5738**	**5820.2**	**1506.0**	**1212.9**	**293.1**	**0.050**
ODT-7	0.1286	730.5	1364.0	1226.2	137.8	0.189
ODT-8	0.0432	535.0	1309.0	1186.9	122.1	0.228
ODT-9*	**18.5952**	**9171.4**	**1607.0**	**1137.0**	**470.0**	**0.051**
ODT-10	0.0420	459.3	1189.0	1097.6	91.4	0.199
ODT-11*	**13.5188**	**11587.0**	**1654.0**	**1092.0**	**562.0**	**0.049**
ODT-12	0.1209	858.0	1281.0	1094.2	186.8	0.218
ODT-13	0.0253	363.8	1281.0	1109.8	171.2	0.471
ODT-14	0.5033	1890.3	1368.0	1109.9	258.1	0.137
ODT-15	0.1222	627.1	1280.0	1090.0	190.0	0.303
ODT-16	0.0094	213.2	1228.0	1100.8	127.2	0.597
ODT-17	0.9402	2031.1	1305.0	1190.0	115.0	0.057
ODT-18	0.0863	662.7	1321.0	1144.3	176.7	0.267
ODT-19	0.1566	1290.4	1369.0	1127.0	242.0	0.188
ODT-20*	**9.4967**	**6165.0**	**1537.0**	**1127.0**	**410.0**	**0.067**
ODT-21	0.1841	994.9	1300.0	1131.7	168.3	0.169
ODT-22	0.0891	769.2	1283.0	1133.8	149.2	0.194
ODT-23	1.5745	3162.1	1408.0	1170.0	238.0	0.075
ODT-24*	**18.5325**	**11771.5**	**1587.0**	**1054.0**	**533.0**	**0.045**
ODT-25	0.0311	385.3	1072.0	1029.3	42.7	0.111
ODT-26	1.1557	2328.9	1337.0	1029.0	308.0	0.132
ODT-27*	**6.4644**	**7868.5**	**1580.0**	**1026.0**	**554.0**	**0.070**

***** Cuenca con área de drenaje mayor a 5 km^2, son consideradas como drenaje mayor.

Se obtuvieron 21 cuencas de drenaje menor y 6 cuencas con área de drenaje mayor a 5 km^2, por lo que para estas su caudal será calculado por método SCS. Existen 16 cuencas con ríos cortos y 11 cuencas con ríos mayores a 1000 m, así mismo, 8 de estos ríos tienen pendiente moderada y 19 de estos ríos son de pendiente fuerte por ser mayor a 10%.

4.1.1.2 Propiedades y análisis morfología de las cuencas

Tabla 19 Propiedades morfológicas de las cuencas

ODT	A (km^2)	P (km)	K_c	L_{eq} (km)	l_{eq} (km)	K_f
ODT-1	0.3406	2.40	1.15	0.74	0.46	0.63
ODT-2	0.1316	1.54	1.19	0.516	0.255	0.50
ODT-3	0.0099	0.58	1.64	0.252	0.039	0.16
ODT-4	0.2224	2.13	1.27	0.782	0.284	0.36
ODT-5	0.0201	0.66	1.31	0.252	0.080	0.32
ODT-6*	**5.5738**	**13.32**	**1.70**	**5.832**	**0.982**	**0.14**
ODT-7	0.1286	1.70	1.32	0.651	0.198	0.30
ODT-8	0.0432	1.12	1.52	0.471	0.092	0.20
ODT-9*	**18.5952**	**23.02**	**1.53**	**9.684**	**1.944**	**0.19**
ODT-10	0.0420	0.97	1.32	0.370	0.114	0.31
ODT-11*	**13.5188**	**24.89**	**1.90**	**11.247**	**1.202**	**0.11**
ODT-12	0.1209	1.88	1.51	0.786	0.154	0.20
ODT-13	0.0253	0.83	1.46	0.341	0.074	0.22
ODT-14	0.5033	3.70	1.46	1.520	0.331	0.22
ODT-15	0.1222	1.53	1.23	0.538	0.227	0.42
ODT-16	0.0094	0.53	1.52	0.220	0.043	0.19
ODT-17	0.9402	4.80	1.38	1.904	0.494	0.26
ODT-18	0.0863	1.51	1.44	0.617	0.140	0.23
ODT-19	0.1566	2.52	1.78	1.121	0.140	0.12
ODT-20*	**9.4967**	**15.49**	**1.42**	**6.254**	**1.528**	**0.24**
ODT-21	0.1841	2.43	1.58	1.037	0.178	0.17
ODT-22	0.0891	1.50	1.41	0.603	0.148	0.25
ODT-23	1.5745	7.17	1.60	3.071	0.513	0.17
ODT-24*	**18.5325**	**26.43**	**1.72**	**11.619**	**1.595**	**0.14**
ODT-25	0.0311	0.87	1.37	0.342	0.091	0.27
ODT-26	1.1557	5.28	1.38	2.086	0.554	0.27
ODT-27*	**6.4644**	**16.58**	**1.83**	**7.420**	**0.871**	**0.12**

* Cuenca con área de drenaje mayor a 5 km^2, se calculan sus parámetros.

Se encontraron 15 cuencas con K_c menor que 1.50, clasificadas en oval redonda y significa que tiende a concentrar fuertes volúmenes de agua de escurrimiento. También hay 23 cuencas con K_f menor que 0.36, clasificadas en ligeramente achatadas, tienen menos tendencia a concentrar intensidades de lluvia y por lo general presentan un cauce principal de respuesta rápida.

El tiempo de concentración para las cuencas de drenaje menor se calculó por las ecuaciones $Tc_{Kirpich}$, y Tc_{PHCA}.

Tabla 20 Tiempos de concentración de las cuencas

ODT	L_{cauce} (m)	s_c (m/m)	$Tc_{Kirpich}$ (min)	Tc_{PHCA} (min)
ODT-1	965.8	0.14	8.2	4.3
ODT-2	657.3	0.23	5.1	2.7
ODT-3	246.4	0.34	2.0	1.1
ODT-4	746.3	0.18	6.1	3.2
ODT-5	267.0	0.17	2.8	1.5
ODT-6*	5820.2	0.05	48.8	25.6
ODT-7	730.5	0.19	5.9	3.1
ODT-8	535.0	0.23	4.3	2.3
ODT-9*	9171.4	0.05	68.7	36.1
ODT-10	459.3	0.20	4.1	2.1
ODT-11*	11587.0	0.05	84.1	44.2
ODT-12	858.0	0.22	6.4	3.3
ODT-13	363.8	0.47	2.4	1.3
ODT-14	1890.3	0.14	14.0	7.3
ODT-15	627.1	0.30	4.4	2.3
ODT-16	213.2	0.60	1.5	0.8
ODT-17	2031.1	0.06	20.7	10.9
ODT-18	662.7	0.27	4.8	2.5
ODT-19	1290.4	0.19	9.2	4.8
ODT-20*	6165.0	0.07	45.8	24.1
ODT-21	994.9	0.17	7.8	4.1
ODT-22	769.2	0.19	6.1	3.2
ODT-23	3162.1	0.08	26.1	13.7
ODT-24*	11771.5	0.05	87.4	45.9
ODT-25	385.3	0.11	4.4	2.3
ODT-26	2328.9	0.13	16.6	8.7
ODT-27*	7868.5	0.07	54.1	28.4

* Cuenca con área de drenaje mayor a 5 km^2.

En las cuencas de drenaje menor, para la ecuación Tc_{PHCA} se encontraron 17 cuencas con tiempo de concentración inferior a 5 minutos por lo que presentan una respuesta rápida, y 4 cuencas entre 5 y 15 minutos, las cuales presentan una respuesta más tardía, lo cual implica que puede ocasionar inundaciones.

4.1.1.3 Estimación de la intensidad de lluvia

Se calculó la intensidad para TR25, TR50 y TR100 usando el Tc_{PHCA}.

Tabla 21 Determinación de intensidades en las cuencas

ODT	$I\ T_{R_{25}}$ (mm/h)	$I\ T_{R_{50}}$ (mm/h)	$I\ T_{R_{100}}$ (mm/h)	$I_{cc}\ T_{R_{25}}$ (mm/h)	$I_{cc}\ T_{R_{50}}$ (mm/h)	$I_{cc}\ T_{R_{100}}$ (mm/h)
ODT-1	237.8	261.3	284.6	273.5	308.4	347.3
ODT-2	237.8	261.3	284.6	273.5	308.4	347.3
ODT-3	237.8	261.3	284.6	273.5	308.4	347.3
ODT-4	237.8	261.3	284.6	273.5	308.4	347.3
ODT-5	237.8	261.3	284.6	273.5	308.4	347.3
ODT-6*	-	-	-	-	-	-
ODT-7	237.8	261.3	284.6	273.5	308.4	347.3
ODT-8	237.8	261.3	284.6	273.5	308.4	347.3
ODT-9*	-	-	-	-	-	-
ODT-10	237.8	261.3	284.6	273.5	308.4	347.3
ODT-11*	-	-	-	-	-	-
ODT-12	237.8	261.3	284.6	273.5	308.4	347.3
ODT-13	237.8	261.3	284.6	273.5	308.4	347.3
ODT-14	194.9	214.1	233.3	224.1	252.7	284.6
ODT-15	237.8	261.3	284.6	273.5	308.4	347.3
ODT-16	237.8	261.3	284.6	273.5	308.4	347.3
ODT-17	156.1	171.5	186.8	179.5	202.4	227.9
ODT-18	237.8	261.3	284.6	273.5	308.4	347.3
ODT-19	237.8	261.3	284.6	273.5	308.4	347.3
ODT-20*	-	-	-	-	-	-
ODT-21	237.8	261.3	284.6	273.5	308.4	347.3
ODT-22	237.8	261.3	284.6	273.5	308.4	347.3
ODT-23	136.1	149.6	162.9	156.5	176.5	198.8
ODT-24*	-	-	-	-	-	-
ODT-25	237.8	261.3	284.6	273.5	308.4	347.3
ODT-26	177.1	194.7	212.0	203.7	229.7	258.7
ODT-27*	-	-	-	-	-	-

* Cuenca con área de drenaje mayor a 5 km^2, no se calculan sus intensidades.

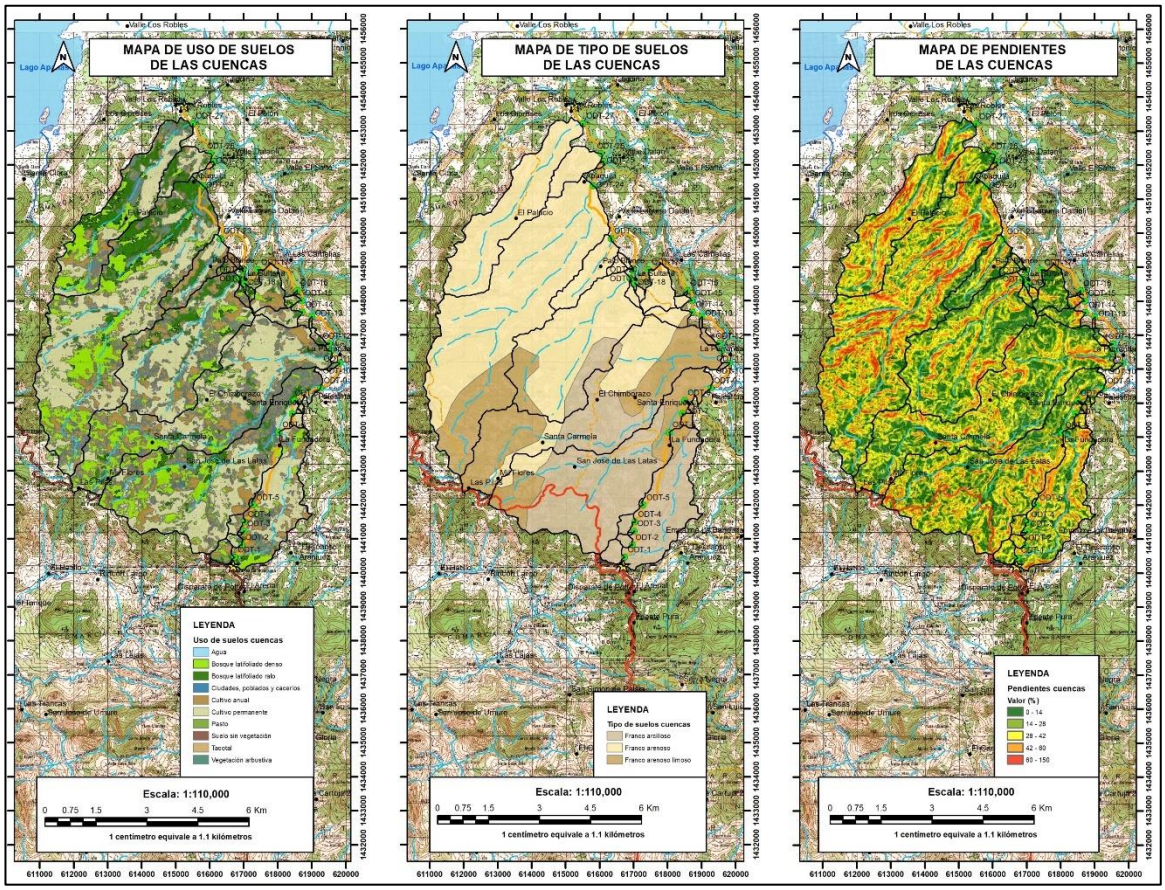
Se obtuvo para la intensidad $TR50 * Kcc$, 4 cuencas con intensidades de lluvias entre 100 mm/h y 300 mm/h y 17 cuencas con intensidades mayores a 300 mm/h. Esto es debido a que muchos ríos tienen $Tc_{PHCA} < 5\ min$.

4.1.1.4 Estimación del coeficiente de escorrentía

- **Mapas de uso, tipo y pendiente de las cuencas**

Se elaboraron los mapas de uso, tipo y pendiente de suelos, para cada una de las cuencas delimitadas anteriormente. El coeficiente de escorrentía se calculó únicamente para las cuencas cuya área de drenaje es menor a 5 km^2.

Figura 28 Mapas de uso de suelos, tipo de suelos y pendientes de cuencas



Para estimar el coeficiente de escorrentía se determinó un valor ponderado con respecto al área de uso de suelo, tipo de suelo y pendiente de la cuenca.

El valor de los coeficientes de uso de suelo, de tipo de suelo y de pendiente utilizado para la cuenca se calculó en base a promedio que existen en cada cuenca.

- **Análisis de tipo de suelo, uso de suelo y pendiente de las cuencas**

Con los mapas, se obtuvo el área y el porcentaje que existe según el tipo de suelos y uso de suelos para el área de todas las cuencas delimitadas.

Tabla 22 Porcentaje de tipos de suelos de las cuencas

Tipo de suelos	Área (m^2)	%
Franco arenoso con menos de 60% de arcilla	37,366,549.54	52.3%
Franco arenoso limoso con más de 60% de arcilla	15,022,035.32	21.0%
Franco arcilloso	19,049,488.20	26.7%
Total	71,438,073.06	100.0%

Por el tipo de suelos, se obtuvo un 52% de franco arenoso, un 21% franco areno limoso y un 27% franco arcilloso, por lo que indica que en su mayoría es suelo con buena infiltración.

Tabla 23 Porcentaje de usos de suelos de las cuencas

Uso de suelos	Área (m^2)	%
Bosque latifoliado denso	14,688,679.23	20.561%
Bosque latifoliado ralo	8,218,586.22	11.504%
Pasto	5,509,819.08	7.713%
Cultivo anual	12,312,049.70	17.235%
Cultivo permanente	27,519,050.35	38.522%
Ciudades, poblados y caseríos	118,680.34	0.166%
Vegetación arbustiva	3,057,925.54	4.281%
Tacotal	6,872.15	0.010%
Suelo sin vegetación	2,210.59	0.003%
Agua	4,199.86	0.006%
Total	**71,438,073.06**	**100%**

Respecto al uso de suelo, se obtuvo un 86% por café con sombra, 5% de uso de tacotal y 4% de uso en pasto, lo que indica que tienen una cubierta de maleza y vegetación densa lo que la hace buena cubierta vegetal para la infiltración.

En las pendientes, las cuencas se obtuvieron en el rango de 20% a 30% por lo que clasifica con respuesta rápida.

Para cada una de las cuencas se ponderaron sus factores de uso, tipo y pendiente de suelos. El producto de estos es el valor del coeficiente de escorrentía.

- **Cálculo de coeficiente de escorrentía**

Tabla 24 Estimación del coeficiente de escorrentía en las cuencas

ODT	Factor de uso de suelos, Us	Factor de tipo de suelos, Ts	Factor pendiente del terreno, Pt	Coeficiente de Escorrentía, C
ODT-1	0.0573	1.50	3	0.2580
ODT-2	0.0560	1.50	3	0.2522
ODT-3	0.0702	1.50	3	0.3159
ODT-4	0.0662	1.50	3	0.2979
ODT-5	0.0851	1.50	3	0.3830
ODT-6*	**-**	**-**	**-**	**-**
ODT-7	0.0657	1.00	3	0.1970
ODT-8	0.0592	1.00	3	0.1775
ODT-9*	**-**	**-**	**-**	**-**
ODT-10	0.0468	1.00	3	0.1404
ODT-11*	**-**	**-**	**-**	**-**
ODT-12	0.0632	1.00	3	0.1896
ODT-13	0.0523	1.00	3	0.1568
ODT-14	0.0653	1.00	3	0.1959
ODT-15	0.0488	1.00	3	0.1464
ODT-16	0.0494	1.00	3	0.1481
ODT-17	0.0662	1.00	2.5	0.1656
ODT-18	0.0457	1.00	3	0.1371
ODT-19	0.0695	1.00	3	0.2084
ODT-20*	**-**	**-**	**-**	**-**
ODT-21	0.0713	1.00	3	0.2138
ODT-22	0.0921	1.00	3	0.2762
ODT-23	0.0670	1.00	2.5	0.1674
ODT-24*	**-**	**-**	**-**	**-**
ODT-25	0.0588	1.00	3	0.1764
ODT-26	0.0559	1.07	3	0.1794
ODT-27*	**-**	**-**	**-**	**-**

* Cuenca con área de drenaje mayor a 5 km^2, no se calcula su coeficiente de escorrentía.

Los resultados indicaron que todas las cuencas tienen un coeficiente de escorrentía inferior de 0.25 por lo que las clasifica con un escurrimiento pobre y significa que son cuencas cuidadas, poseen una buena cubierta vegetal y un tipo de suelo que favorece la infiltración.

4.1.1.5 Resultados del caudal en cuencas drenaje menor

Tabla 25 Determinación del caudal máximo de diseño en drenaje menor

N° ODT	$Q\ TR25$	$Q\ TR50$	$Q\ TR100$	$Q * Kcc\ TR25$	$Q * Kcc\ TR50$	$Q * Kcc\ TR100$
–	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)
ODT-1	5.806	6.379	6.948	6.677	7.528	8.477
ODT-2	2.193	2.409	2.624	2.522	2.843	3.202
ODT-3	0.206	0.226	0.247	0.237	0.267	0.301
ODT-4	4.377	4.809	5.238	5.033	5.675	6.390
ODT-5	0.507	0.558	0.607	0.584	0.658	0.741
ODT-6*	-	-	-	-	-	-
ODT-7	1.673	1.838	2.002	1.924	2.169	2.443
ODT-8	0.506	0.556	0.606	0.582	0.657	0.739
ODT-9*	-	-	-	-	-	-
ODT-10	0.389	0.428	0.466	0.448	0.505	0.568
ODT-11*	-	-	-	-	-	-
ODT-12	1.514	1.664	1.812	1.741	1.963	2.211
ODT-13	0.261	0.287	0.313	0.300	0.339	0.381
ODT-14	5.337	5.864	6.387	6.137	6.920	7.793
ODT-15	1.181	1.298	1.414	1.359	1.532	1.725
ODT-16	0.092	0.101	0.110	0.106	0.119	0.134
ODT-17	6.750	7.418	8.080	7.762	8.753	9.858
ODT-18	0.781	0.858	0.935	0.899	1.013	1.141
ODT-19	2.157	2.370	2.581	2.480	2.796	3.149
ODT-20*	-	-	-	-	-	-
ODT-21	2.599	2.856	3.111	2.989	3.370	3.795
ODT-22	1.626	1.787	1.946	1.870	2.108	2.374
ODT-23	9.966	10.953	11.932	11.461	12.924	14.557
ODT-24*	-	-	-	-	-	-
ODT-25	0.362	0.398	0.433	0.416	0.469	0.529
ODT-26	10.201	11.210	12.211	11.732	13.228	14.898
ODT-27*	-	-	-	-	-	-

* Cuenca con área de drenaje mayor a 5 km^2, no se calcula su caudal por método racional.

Se determinaron los caudales por método racional $QKcc_{TR50}$ para las 21 cuencas de drenaje menor, están en un rango de 0.12 y 13.23 m^3/s. Se encontraron 7 cuencas con caudales menores a 1.0 m^3/s, 8 cuencas con caudales entre 1.0 y 5.0 m^3/s y 6 cuencas con caudales mayores a 5.0 m^3/s.

4.1.2 ANÁLISIS HIDROLÓGICO DEL DRENAJE MAYOR

Existen 6 cuencas con áreas mayores a $5.00\ km^2$, por lo que se usó el método SCS para abstracciones por curva número, el hidrograma adimensional SCS y para algunas de estas el tránsito de avenidas por Muskingum, para estimar su caudal máximo de diseño. Los resultados mostrados en las cuencas de drenaje mayor son, en su mayoría, directamente obtenidos de los procesos de la herramienta de delimitación HEC-GeoHMS, y de las simulaciones de la modelación hidrológica con HEC HMS.

4.1.2.1 Obtención de los hietogramas de diseño

Se calcularon los hietogramas de bloques alternos con las curvas IDF de la Estación Hidrometeorológica Principal de Jinotega para los períodos de retorno 25, 50 y 100 años, considerando también su coeficiente de cambio climático. Estos datos son los que se deben colocar en el HEC HMS para realizar la modelación hidrológica y obtener los caudales pico, para cada período de retorno.

Tabla 26 Hietogramas bloques alternos para estación Jinotega

Tiempo (min)	$T_{R_{50}}$ $P\ (mm)$	$T_{R_{25}}$ $P\ (mm)$	$T_{R_{100}}$ $P\ (mm)$
30	3.10	3.50	3.95
60	3.59	4.06	4.58
90	4.34	4.90	5.53
120	5.64	6.37	7.18
150	8.65	9.77	11.02
180	47.92	54.06	60.90
210	12.81	14.46	16.30
240	6.76	7.63	8.61
270	4.89	5.52	6.23
300	3.92	4.43	5.00
330	3.32	3.75	4.24
360	2.91	3.28	3.71

4.1.2.2 Análisis hidrológico de cuenca ODT-6

Se delimitó la cuenca ODT-6 con HEC-GeoHMS, se obtuvieron sus parámetros morfométricos, se elaboraron mapas de uso de suelos, tipo de suelos, pendientes del terreno, mapa de curva número y se estimó su caudal máximo probable para TR25, TR50 y TR100 años en HEC-HMS.

Tabla 27 Parámetros morfométricos de la cuenca ODT-6

Parámetros	Valor	Curva Hipsométrica
A	$5.57\ km^2$	
P	$13.32\ km$	
K_c	1.58	
L_{eq}	$5.68\ km$	
l_{eq}	$0.98\ km$	
K_f	0.17	
I_a	5.78	
H	$293\ m$	
E_m	$1352\ msnm$	
K_m	$242.56\ km/km^2$	
L_{cauce}	$5820.2\ m$	
s_c	$0.05\ m/m$	
$Tc_{Kirpich}$	$48.8\ min$	
Tc_{PHCA}	$25.6\ min$	

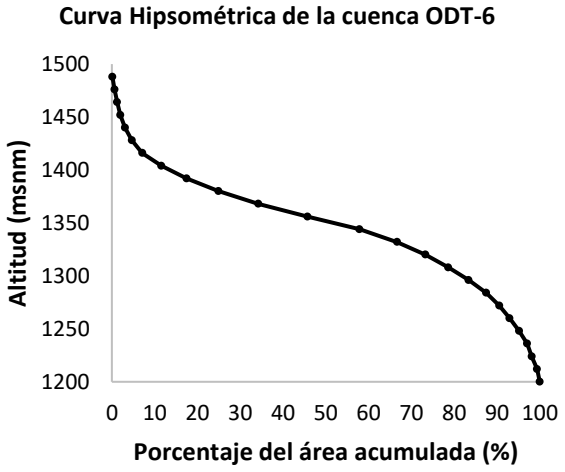


Tabla 28 Parámetros morfométricos de las subcuencas de ODT-6

Rio	Subcuencas	A (km^2)	L_{cauce} (m)	$H_{máx}$ $(msnm)$	$H_{mín}$ $(msnm)$	s_c (m/m)	(m/m)
R10	W20	5.537812	6312.005769	1539	1213	0.05	5.16

Tabla 29 Tiempos de concentración de las subcuencas de ODT-6

Rio	Subcuencas	$Tc_{Kirpich}$ (min)	Tc_{PHCA} (min)	Tc_{SCS} (min)
R10	W20	51.40	27.09	72.90

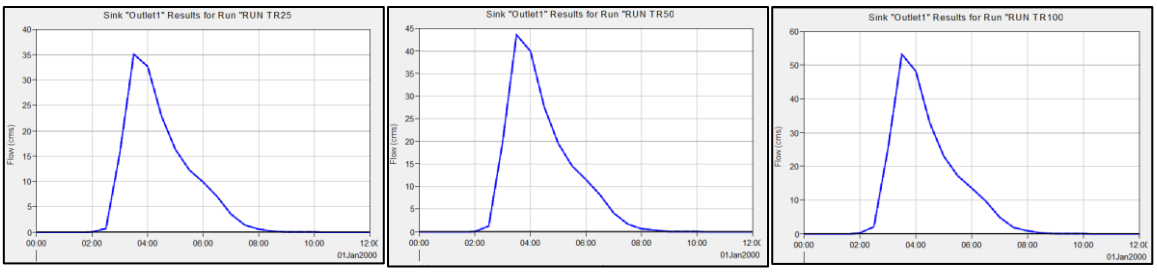
El mapa de uso de suelos nos indica una mayor presencia de cobertura vegetal de cultivos permanentes y anuales, con algo de bosques latifoliados, vegetación arbustiva y pasto. Por su parte, el mapa de tipo de suelos indica en la cuenca hay una alta presencia de un tipo franco arcilloso. Ambos son indicadores que esta cuenca tiene una mediana capacidad de infiltración. Respecto a la pendiente del terreno, se observa que son pendientes de moderadas a fuertes, lo que puede responder rápidamente a la escorrentía.

Tabla 30 Determinación de Lag Time en subcuencas de ODT-6

Rio	Subcuencas	BasinSlope (%)	BasinCN II	Longest Flowpath (m)	BasinLag (hr)	(%)
R10	W20	28.523264	77.308639	6312.01	0.729529	43.77

En el análisis del mapa de curva número, los valores oscilan entre 65 y 84, por lo que hay zonas bastante impermeables, lo que influencia en aumentar los caudales de la cuenca. No se realizó cálculo de los parámetros del tránsito de avenidas porque la cuenca no se segmentó en subcuencas más pequeñas, debido a su poca área (5.54 km^2) y no tener afluentes tributarios a su río principal.

Figura 29 Hidrogramas en TR25, TR50 y TR100 años para ODT-6



La cuenca ODT-6 tiene un área de 5.57 km^2, un perímetro de 13.32 km y su cauce principal tiene una longitud de $5.820\ km$, con una pendiente de 0.05 m/m, por lo que el cause se clasifica como corto y con pendiente suave. El tiempo de concentración con la ecuación de PHCA es de 25.6 min y con la ecuación de Kirpich es de 48.8 min. Por los parámetros morfométricos, el índice de compacidad es de 1.58, por lo que la clasifica como oval oblonga; su factor de forma es de 0.17, la clasifica como muy poco achatada; el valor de su índice de alargamiento es de 5.78, lo que la clasifica como muy alargada. Las longitudes del rectángulo equivalente son 5.68 km y 0.98 km respectivamente. El análisis indica que es una cuenca que tiene tendencia a concentrar poco volumen de agua.

La elevación media de la cuenca es de 1352 msnm según la curva hipsométrica, el coeficiente de masividad es de 242.56 km/km^2 lo que le da una característica de ser moderadamente montañosa. La curva hipsométrica indica una fase intermedia de evolución, con elevaciones altas inicialmente, seguidas por disminución gradual y procesos de erosión hacia niveles bajos.

Según las características del uso, tipo de suelo y pendientes del terreno, esta cuenca posee suelos con mediana capacidad de infiltración, lo que produce una moderada escorrentía directa.respecto a la precipitación sobre esta. Realizando la modelación hidrológica con el HEC-HMS se obtuvieron los caudales máximos de diseño por cada período de retorno.

Tabla 31 Caudales máximos probables en la cuenca ODT-6

Período de retorno (años)	**Caudal máximo de diseño** (m^3/s)
25	35.1
50	43.6
100	53.3

4.1.2.3 Análisis hidrológico de cuenca ODT-9

Se calcularon los parámetros para cuenca ODT-9 y se estimó su caudal.

Tabla 32 Parámetros morfométricos de la cuenca ODT-9

Parámetros	Valor	Curva Hipsométrica
A	$18.60\ km^2$	
P	$23.02\ km$	
K_c	1.53	
L_{eq}	$9.57\ km$	
l_{eq}	$1.94\ km$	
K_f	0.19	
I_a	4.92	
H	$470\ m$	
E_m	$1382\ msnm$	
K_m	$74.32\ km/km^2$	
L_{cauce}	$9171.4\ m$	
s_c	$0.05\ m/m$	
$Tc_{Kirpich}$	$68.7\ min$	
Tc_{PHCA}	$36.1\ min$	

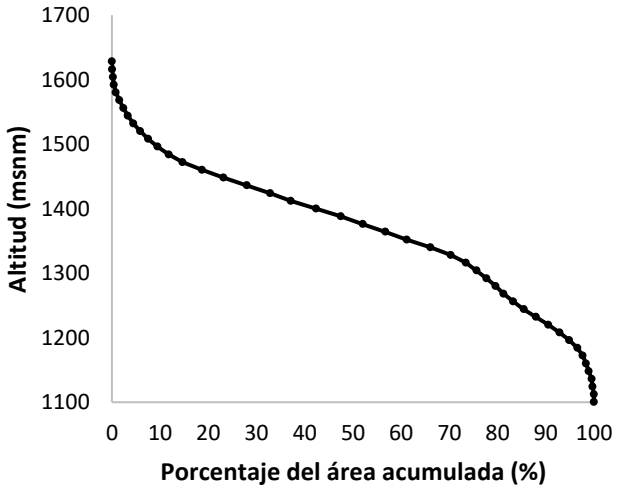


Tabla 33 Parámetros morfométricos de las subcuencas de ODT-9

Rio	Subcuencas	A (km^2)	L_{cauce} (m)	$H_{máx}$ $(msnm)$	$H_{mín}$ $(msnm)$	s_c (m/m)	(%)
R10	W60	1.783	2361.5	1271	1139	0.06	5.59
R20	W70	3.167	4013.7	1493	1209	0.07	7.08
R50	W80	5.545	6578.6	1539	1209	0.05	5.02
R30	W90	5.072	4784.4	1607	1315	0.06	6.10
R40	W100	3.028	3456.0	1541	1315	0.07	6.54

Tabla 34 Tiempos de concentración de las subcuencas de ODT-9

Rio	Subcuencas	$Tc_{Kirpich}$ (min)	Tc_{PHCA} (min)	Tc_{SCS} (min)
R10	W60	23.39	12.32	47.34
R20	W70	32.13	16.93	52.20
R50	W80	53.66	28.28	75.36
R30	W90	38.94	20.52	68.46
R40	W100	29.51	15.55	46.86

Se elaboraron los mapas de uso, tipo y pendiente de la cuenca ODT-9. El mapa de uso de suelos nos indica una presencia de cobertura vegetal como cultivos permanentes y anuales, y bosque latifoliado denso. Por su parte, el mapa de tipo de suelos indica en la cuenca una alta presencia de un tipo franco arcilloso, y algo de franco arenoso limoso. Son indicadores que esta cuenca tiene una mediana capacidad de infiltración. Respecto a la pendiente del terreno, se observa que son pendientes moderadas, lo que puede responder rápidamente a la escorrentía.

Tabla 35 Determinación de Lag Time en subcuencas de ODT-9

Rio	Subcuencas	BasinSlope (%)	BasinCN II	Longest Flowpath (m)	BasinLag (hr)	BasinLag (min)
R10	W60	20.43	70.67	2361.55	0.47	28.44
R20	W70	27.19	77.16	4013.74	0.52	31.34
R50	W80	28.55	77.29	6578.61	0.75	45.24
R30	W90	26.39	73.14	4784.45	0.69	41.11
R40	W100	25.39	77.91	3455.97	0.47	28.15

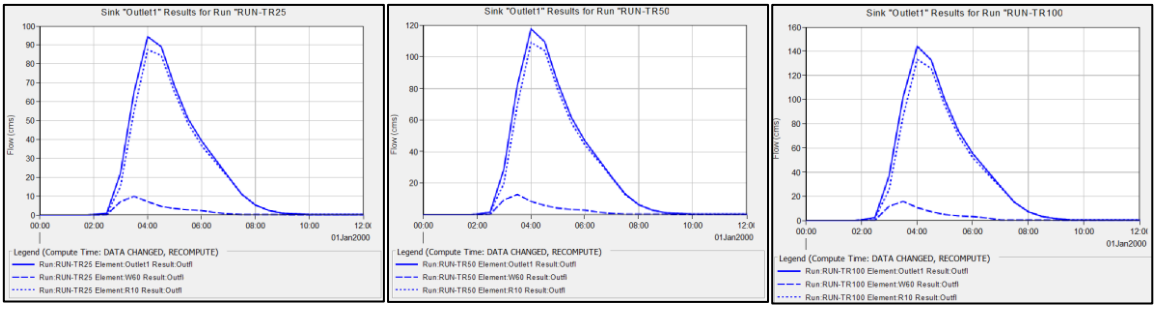
Se elaboró el mapa de Curva Número, los valores oscilan entre 56 y 86, por lo que hay zonas bastante impermeables, lo que influencia en aumentar los caudales de la cuenca. Así mismo, se realizó el cálculo de los parámetros del tránsito de avenidas del método Muskingum para modelar hidrológicamente en el HEC HMS.

Tabla 36 Determinación de parámetros de tránsito de ODT-9

Rio	Subcuencas	Δt (min)	Vc (m/s)	Vt (m/s)	K (hr)	X	n
R10	W60	8.25	1.68	2.04	0.32	0.20	2.00
R20	W70	9.09	2.08	2.00	0.56	0.20	2.00
R50	W80	13.12	2.04				
R30	W90	11.92	2.05				
R40	W100	8.16	1.95				

Se utilizaron los hietogramas de TR25, TR50 y TR100 considerando el factor de cambio climático para estimar el caudal máximo probable de la cuenca ODT-9.

Figura 30 Hidrogramas en TR25, TR50 y TR100 años para ODT-9



La cuenca ODT-9 tiene un área de 18.60 km^2, un perímetro de 23.02 km y su cauce principal tiene una longitud de 9.171 km, con una pendiente de 0.05 m/m, por lo que el cauce se clasifica como corto y con pendiente suave. El tiempo de concentración con la ecuación de PHCA es de 36.1 min y con la ecuación de Kirpich es de 68.7 min. Por los parámetros morfométricos, el índice de compacidad es de 1.53, por lo que la clasifica como oval oblonga; su factor de forma es de 0.19, la clasifica como ligeramente achatada; el valor de su índice de alargamiento es de 4.92, lo que la clasifica como muy alargada. Las longitudes del rectángulo equivalente son 9.57 km y 1.94 km respectivamente. El análisis indica que es una cuenca que tiene tendencia a concentrar fuerte volumen de agua.

La elevación media de la cuenca es de 1382 msnm según la curva hipsométrica, el coeficiente de masividad es de 74.32 km/km^2 lo que le da una característica de moderadamente montañosa. La curva hipsométrica indica una fase intermedia de evolución, con un comportamiento casi lineal desde las elevaciones altas a bajas.

Tabla 37 Caudales máximos probables en la cuenca ODT-9

Período de retorno (años)	Caudal máximo de diseño (m^3/s)
25	94.5
50	117.4
100	144

4.1.2.4 Análisis hidrológico de cuenca ODT-11

Se calcularon los parámetros para cuenca ODT-11 y se estimó su caudal.

Tabla 38 Parámetros morfométricos de la cuenca ODT-11

Parámetros	Valor	Curva Hipsométrica
A	$13.52\ km^2$	
P	$24.89\ km$	
K_c	1.90	
L_{eq}	$11.25\ km$	
l_{eq}	$1.20\ km$	
K_f	0.11	
I_a	9.35	
H	$562\ m$	
E_m	$1306\ msnm$	
K_m	$96.61\ km/km^2$	
L_{cauce}	$11587.0\ m$	
s_c	$0.05\ m/m$	
$Tc_{Kirpich}$	$84.1\ min$	
Tc_{PHCA}	$44.2\ min$	

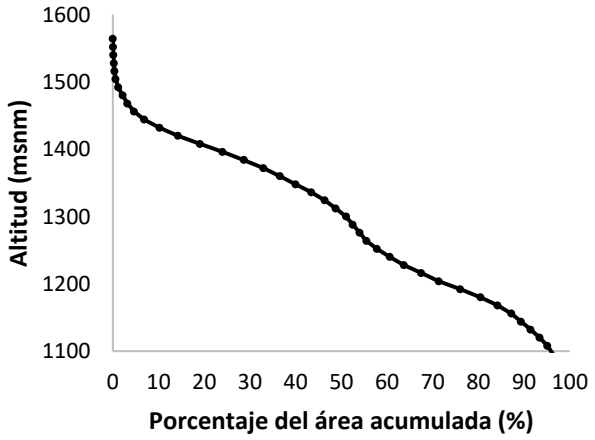


Tabla 39 Parámetros morfométricos de las subcuencas de ODT-11

Rio	Subcuencas	A (km^2)	L_{cauce} (m)	$H_{máx}$ $(msnm)$	$H_{mín}$ $(msnm)$	s_c (m/m)	s_c (%)
R10	W60	2.046	3459.4	1348	1093	0.07	7.37
R20	W70	1.861	2749.6	1510	1160	0.13	12.73
R30	W80	1.747	3587.4	1526	1160	0.10	10.20
R40	W90	1.070	2462.2	1475	1225	0.10	10.15
R50	W100	6.792	8216.2	1654	1225	0.05	5.22

Tabla 40 Tiempos de concentración de las subcuencas de ODT-11

Rio	Subcuencas	$Tc_{Kirpich}$ (min)	Tc_{PHCA} (min)	Tc_{SCS} (min)
R10	W60	28.21	14.87	67.08
R20	W70	19.15	10.09	62.94
R30	W80	25.59	13.49	71.64
R40	W90	19.19	10.11	38.46
R50	W100	62.70	33.04	115.44

Se elaboraron los mapas de uso, tipo y pendiente de la cuenca ODT-11. Haciendo uso del mapa de uso de suelos, existe una mayor presencia de cobertura vegetal como cultivos anuales y permanentes, con un poco de bosque latifoliado denso. Según los tipos de suelos se observa de manera distribuida suelos franco arcilloso, franco arenoso y franco arenoso limoso. Según el terreno, es de pendientes moderadas.

Tabla 41 Determinación de Lag Time en subcuencas de ODT-11

Rio	Subcuencas	BasinSlope (%)	BasinCN II	Longest Flowpath (m)	BasinLag (hr)	(min)
R10	W60	26.23	64.32	3459.40	0.67	40.28
R20	W70	25.73	60.02	2749.68	0.62	37.79
R30	W80	22.29	66.07	3587.41	0.71	42.99
R40	W90	27.13	74.24	2462.25	0.38	23.10
R50	W100	24.32	71.37	8216.20	1.15	69.30

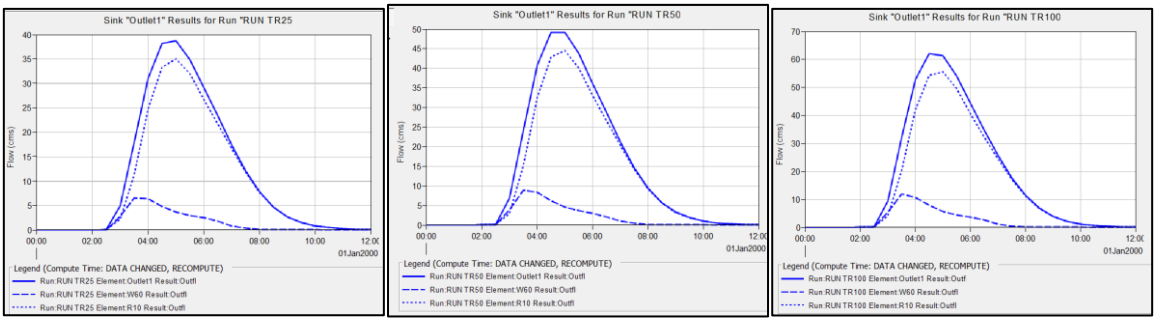
Se elaboró el mapa de Curva Número, se observan valores entre 56 y 83, en el mapa se observan bastantes zonas en la parte alta y baja de la cuenca con alta capacidad de infiltración, lo que ayuda a regular un poco la respuesta del caudal. Con el esquema hidrológico se realizó el cálculo de los parámetros de tránsito de avenidas de Muskingum en los dos tramos indicados.

Tabla 42 Determinación de parámetros de tránsito de ODT-11

Rio	Subcuencas	Δt (min)	Vc (m/s)	Vt (m/s)	K (hr)	X	n
R10	W60	11.68	2.04	2.30	0.42	0.20	2.00
R20	W70	10.96	2.39				
R30	W80	12.47	2.34	2.16	0.46	0.20	2.00
R40	W90	6.70	2.14				
R50	W100	20.10	2.18				

Se utilizaron los hietogramas de TR25, TR50 y TR100 considerando el factor de cambio climático para estimar el caudal máximo probable de la cuenca ODT-9

Figura 31 Hidrogramas en TR25, TR50 y TR100 años para ODT-11



La cuenca ODT-11 tiene un área de 13.52 km^2, un perímetro de 24.89 km y su cauce principal tiene una longitud de 11.587 km, con una pendiente de 0.05 m/m, por lo que el cauce se clasifica como corto y con pendiente suave. El tiempo de concentración con la ecuación de PHCA es de 44.2 min y con la ecuación de Kirpich es de 84.1 min. Por los parámetros morfométricos, el índice de compacidad es de 1.90, por lo que la clasifica como rectangular oblonga; su factor de forma es de 0.11, la clasifica como muy poco achatada; el valor de su índice de alargamiento es de 9.35, lo que la clasifica como muy alargada. Las longitudes del rectángulo equivalente son 11.25 km y 1.20 km respectivamente. Indica que es una cuenca que tiene tendencia a concentrar fuerte volumen de agua.

La elevación media de la cuenca es de 1306 msnm según la curva hipsométrica, el coeficiente de masividad es de 96.61 km/km^2 lo que le da una característica de moderadamente montañosa. Analizando su curva hipsométrica, presenta un descenso en las elevaciones más altas, y una disminución constante en las elevaciones medias y bajas, por lo que se podría considerar en estado de adultez.

Tabla 43 Caudales máximos probables en la cuenca ODT-11

Período de retorno (años)	Caudal máximo de diseño (m^3/s)
25	38.8
50	49.2
100	62.2

4.1.2.5 Análisis hidrológico de cuenca ODT-20

Se calcularon los parámetros para cuenca ODT-20 y se estimó su caudal.

Tabla 44 Parámetros morfométricos de la cuenca ODT-20

Parámetros	Valor	Curva Hipsométrica
A	$9.50\ km^2$	
P	$15.49\ km$	
K_c	1.41	
L_{eq}	$6.22\ km$	
l_{eq}	$1.53\ km$	
K_f	0.25	
I_a	4.07	
H	$410\ m$	
E_m	$1366\ msnm$	
K_m	$143.84\ km/km^2$	
L_{cauce}	$6165.0\ m$	
s_c	$0.07\ m/m$	
$Tc_{Kirpich}$	$45.8\ min$	
Tc_{PHCA}	$24.1\ min$	

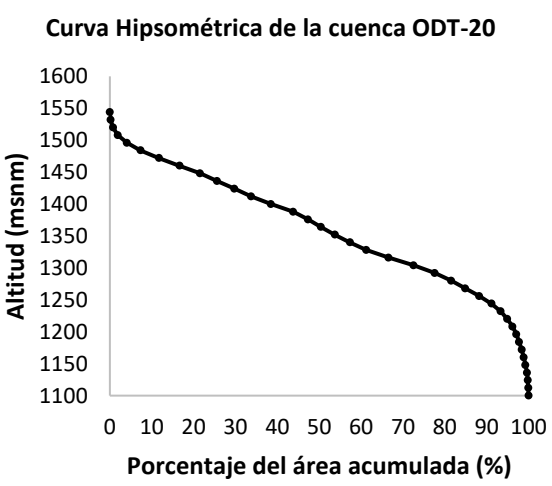


Tabla 45 Parámetros morfométricos de las subcuencas de ODT-20

Rio	Subcuencas	A (km^2)	L_{cauce} (m)	$H_{máx}$ $(msnm)$	$H_{mín}$ $(msnm)$	s_c (m/m)	(km^2)
R10	W60	0.709219	1691.726189	1318	1126	0.11	11.35
R30	W70	0.795625	1781.999007	1338	1173	0.09	9.26
R20	W80	1.167031	1893.166485	1439	1173	0.14	14.05
R40	W90	3.512344	4331.859665	1500	1235	0.06	6.12
R50	W100	3.3125	3843.915492	1531	1235	0.08	7.70

Tabla 46 Tiempos de concentración de las subcuencas de ODT-20

Rio	Subcuencas	$Tc_{Kirpich}$ (min)	Tc_{PHCA} (min)	Tc_{SCS} (min)
R10	W60	13.77	7.26	39.06
R30	W70	15.50	8.17	43.74
R20	W80	13.83	7.29	53.28
R40	W90	36.04	18.99	86.40
R50	W100	30.08	15.85	70.56

Se elaboraron los mapas de uso, tipo y pendiente de la cuenca ODT-20. El mapa de uso de suelos indica una mayor presencia de cobertura vegetal de cultivos permanentes, con algo de bosques latifoliados y cultivos anuales. Por su parte, el mapa de tipo de suelos indica en la cuenca hay una alta presencia de un tipo franco arenoso. Estos son indicadores que esta cuenca tiene un poco más de capacidad de infiltración respecto a las anteriores. De la pendiente del terreno, se observa que son pendientes de moderadas a fuertes.

Tabla 47 Determinación de Lag Time en subcuencas de ODT-20

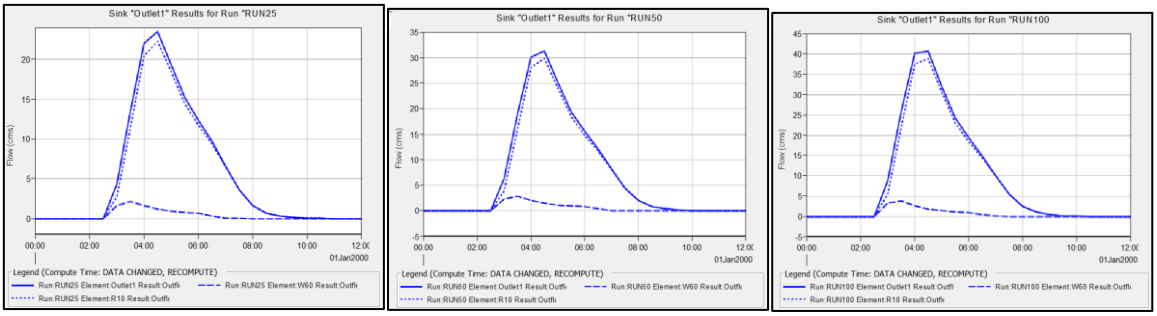
Rio	Subcuencas	BasinSlope	BasinCN II	Longest Flowpath	BasinLag	
		(%)		(m)	(hr)	(%)
R10	W60	29.896727	60.565888	1691.73	0.390726	23.44
R30	W70	27.451946	59.391987	1782.00	0.437915	26.27
R20	W80	20.587887	59.194374	1893.17	0.533419	32.01
R40	W90	27.020477	60.89321	4331.86	0.864769	51.89
R50	W100	27.476223	64.735623	3843.92	0.70623	42.37

Se elaboró el mapa de Curva Número, se observan valores entre 56 y 83, en el mapa se observan bastantes zonas en la parte alta y baja de la cuenca con alta capacidad de infiltración, lo que ayuda a regular un poco la respuesta del caudal. Con el esquema hidrológico se realizó el cálculo de los parámetros de tránsito de avenidas de Muskingum en los dos tramos indicados.

Tabla 48 Determinación de parámetros del tránsito de ODT-20

Rio	Subcuencas	Δt	Vc	Vt	K	X	n
		(min)	(m/s)	(m/s)	(hr)		
R10	W60	6.80	2.05	2.09	0.23	0.20	2.00
R30	W70	7.62	1.92	2.07	0.24	0.20	2.00
R20	W80	9.28	2.28				
R40	W90	15.05	2.00				
R50	W100	12.29	2.13				

Figura 32 Hidrogramas en TR25, TR50 y TR100 años para ODT-20



La cuenca ODT-20 tiene un área de 9.50 km^2, un perímetro de 15.49 km y su cauce principal tiene una longitud de $6.165\ km$, con una pendiente de 0.07 m/m, por lo que el cauce se clasifica como corto y con pendiente moderada. El tiempo de concentración con la ecuación de PHCA es de 24.1 min y con la ecuación de Kirpich es de 45.8 min. Por los parámetros morfométricos, el índice de compacidad es de 1.41, por lo que está entre oval redonda y oval oblonga; su factor de forma es de 0.25, la clasifica como ligeramente achatada; el valor de su índice de alargamiento es de 4.07, lo que la clasifica como muy alargada. Las longitudes del rectángulo equivalente son 6.22 km y 1.53 km respectivamente. El análisis indica que es una cuenca que tiene tendencia a concentrar fuerte volumen de agua.

La elevación media de la cuenca es de 1366 msnm según la curva hipsométrica, el coeficiente de masividad es de 143.84 km/km^2 lo que le da una característica de moderadamente montañosa. Analizando su curva hipsométrica, presenta un descenso en las elevaciones más altas, y una disminución constante en las elevaciones medias y bajas, por lo que se podría considerar en estado de adulte.

Tabla 49 Caudales máximos probables en la cuenca ODT-20

Período de retorno (años)	Caudal máximo de diseño (m^3/s)
25	23.5
50	31.3
100	40.8

4.1.2.6 Análisis hidrológico de cuenca ODT-24

Tabla 50 Parámetros morfométricos de la cuenca ODT-24

Parámetros	Valor	Curva Hipsométrica
A	$18.53\ km^2$	
P	$26.43\ km$	
K_c	1.72	
L_{eq}	$11.62\ km$	
l_{eq}	$1.59\ km$	
K_f	0.14	
I_a	7.29	
H	$533\ m$	
E_m	$1349\ msnm$	
K_m	$72.79\ km/km^2$	
L_{cauce}	$11771.5\ m$	
s_c	$0.05\ m/m$	
$Tc_{Kirpich}$	$87.4\ min$	
Tc_{PHCA}	$45.9\ min$	

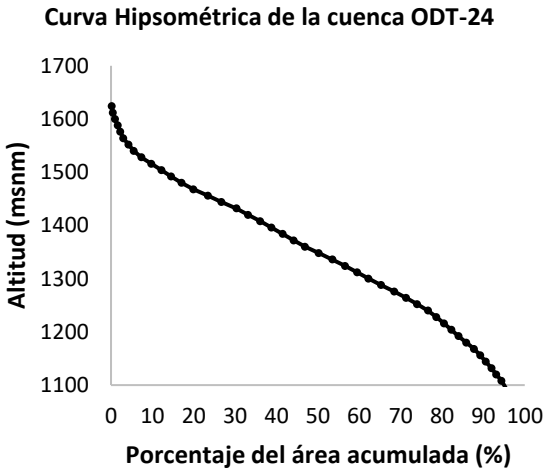


Tabla 51 Parámetros morfométricos de las subcuencas de ODT-24

Rio	Subcuencas	A (km^2)	L_{cauce} (m)	$H_{máx}$ $(msnm)$	$H_{mín}$ $(msnm)$	s_c (m/m)	(km^2)
R10	W80	1.01	1954.96	1342	1055	0.15	14.68
R20	W90	3.12	4144.59	1520	1074	0.11	10.76
R40	W100	4.26	5271.81	1469	1074	0.07	7.49
R30	W110	1.78	2811.66	1539	1240	0.11	10.63
R50	W120	0.46	1479.78	1527	1240	0.19	19.39
R60	W130	1.40	2837.25	1676	1272	0.14	14.24
R70	W140	6.50	5727.80	1591	1272	0.06	5.57

Tabla 52 Tiempos de concentración de las subcuencas de ODT-24

Rio	Subcuencas	$Tc_{Kirpich}$ (min)	Tc_{PHCA} (min)	Tc_{SCS} (min)
R10	W80	13.94	7.35	41.28
R20	W90	28.02	14.77	73.32
R40	W100	38.77	20.43	96.72
R30	W110	20.88	11.00	57.12
R50	W120	10.11	5.33	30.66
R60	W130	18.79	9.90	54.96
R70	W140	46.33	24.42	94.86

Se elaboraron los mapas de uso, tipo y pendiente de la cuenca ODT-24. El mapa de uso de suelos indica mayor presencia de cobertura vegetal de cultivos permanentes y bosques latifoliados. Por su parte, el mapa de tipo de suelos indica que la cuenca tiene en su mayoría un suelo de tipo franco arenoso y algo de suelo arenoso limoso, lo que indica una mayor capacidad de infiltración.

Tabla 53 Determinación de Lag Time en subcuencas de ODT-24

Rio	Subcuencas	BasinSlope	BasinCN II	Longest Flowpath	BasinLag	
		(%)		(m)	(hr)	(%)
R10	W80	30.31	62.62	1954.96	0.41	24.81
R20	W90	33.75	61.60	4144.59	0.73	44.02
R40	W100	35.52	57.26	5271.81	0.97	58.06
R30	W110	37.79	56.98	2811.66	0.57	34.28
R50	W120	43.35	58.54	1479.78	0.31	18.42
R60	W130	41.90	56.72	2837.25	0.55	33.00
R70	W140	30.91	63.37	5727.80	0.95	56.94

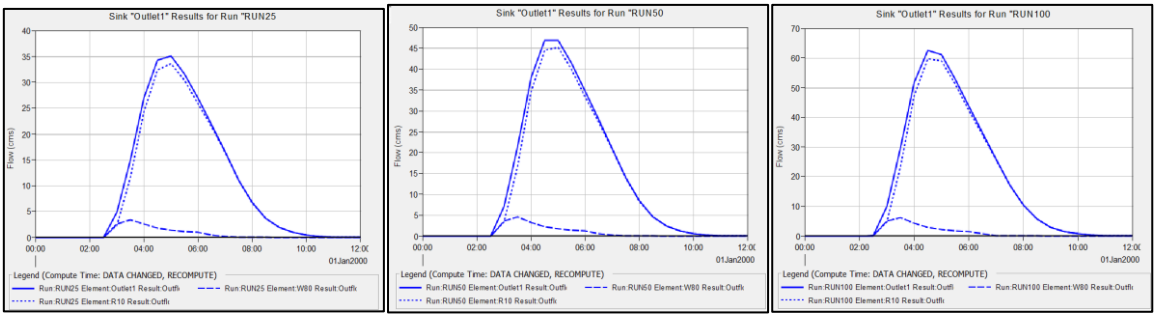
Se elaboró el mapa de Curva Número, los valores oscilan entre 56 y 77, esto tiene influencia en disminuir los caudales de la cuenca. Con el esquema hidrológico se realizó el cálculo de los parámetros de tránsito de avenidas de Muskingum en los dos tramos indicados.

Tabla 54 Determinación de parámetros del tránsito de ODT-24

Rio	Subcuencas	Δt	Vc	Vt	K	X	n
		(min)	(m/s)	(m/s)	(hr)		
R10	W80	7.19	2.34	2.35	0.23	0.20	2.00
R20	W90	12.76	2.47				
R40	W100	16.84	2.27	2.32	0.63	0.20	2.00
R30	W110	9.94	2.24				
R50	W120	5.34	2.44	2.29	0.18	0.20	2.00
R60	W130	9.57	2.52				
R70	W140	16.51	2.06				

En el HEC HMS se insertaron los hietogramas por cada período de retorno TR25, TR50 y TR100, lo cual en cada uno se obtuviero el hidrograma en el punto de cierre para esta cuenca de ODT-24.

Figura 33 Hidrogramas en TR25, TR50 y TR100 años para ODT-24



La cuenca ODT-24 tiene un área de 18.53 km^2, un perímetro de 26.43 km y su cauce principal tiene una longitud de 11.772 km, con una pendiente de 0.05 m/m, por lo que el cauce se clasifica como mediano y con pendiente suave. El tiempo de concentración con la ecuación de PHCA es de 45.9 min y con la ecuación de Kirpich es de 87.4 min. Por los parámetros morfométricos, el índice de compacidad es de 1.72, por lo que la clasifica como rectangular oblonga; su factor de forma es de 0.14, la clasifica como muy poco achatada; el valor de su índice de alargamiento es de 7.29, lo que la clasifica como muy alargada. Las longitudes del rectángulo equivalente son 11.62 km y 1.59 km respectivamente. El análisis indica que es una cuenca que tiene tendencia a concentrar fuerte volumen de agua.

La elevación media de la cuenca es de 1349 msnm según la curva hipsométrica, el coeficiente de masividad es de 72.79 km/km^2 lo que le da una característica de moderadamente montañosa. Analizando su curva hipsométrica, presenta un descenso en las elevaciones más altas, y una disminución constante en las elevaciones medias y bajas, por lo que se podría considerar en estado de adulte.

Tabla 55 Caudales máximos probables en la cuenca ODT-24

Período de retorno (años)	Caudal máximo de diseño (m^3/s)
25	35.1
50	46.9
100	62.6

4.1.2.7 Análisis hidrológico de cuenca ODT-27

Se delimitó la cuenca ODT-27 con HEC-GeoHMS, se obtuvieron sus parámetros morfométricos, se elaboraron mapas de uso de suelos, tipo de suelos, pendientes del terreno, mapa de curva número y se estimó su caudal máximo probable para TR25, TR50 y TR100 años en HEC-HMS.

Tabla 56 Parámetros morfométricos de la cuenca ODT-27

Parámetros	Valor	Curva Hipsométrica
A	$6.46\ km^2$	
P	$16.58\ km$	
K_c	1.83	
L_{eq}	$7.42\ km$	
l_{eq}	$0.87\ km$	
K_f	0.12	
I_a	8.52	
H	$554\ m$	
E_m	$1312\ msnm$	
K_m	$202.96\ km/km^2$	
L_{cauce}	$7868.5\ m$	
s_c	$0.07\ m/m$	
$Tc_{Kirpich}$	$54.1\ min$	
Tc_{PHCA}	$28.4\ min$	

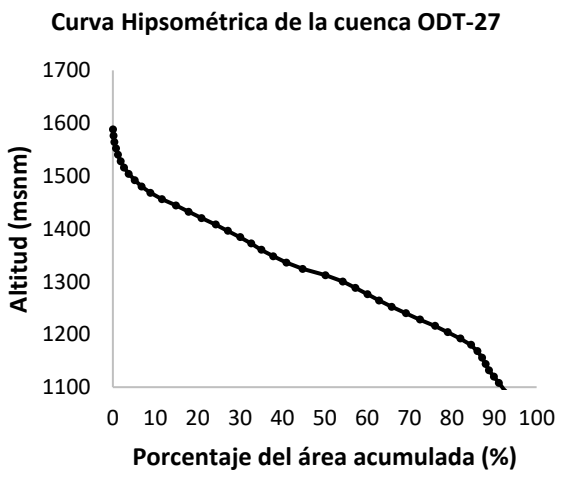


Tabla 57 Parámetros morfométricos de las subcuencas de ODT-27

Rio	Subcuencas	A (km^2)	L_{cauce} (m)	$H_{máx}$ $(msnm)$	$H_{mín}$ $(msnm)$	s_c (m/m)	(km^2)
R10	W20	6.464375	7868.529035	1576	1026	0.07	6.99

Tabla 58 Tiempos de concentración de las subcuencas de ODT-27

Rio	Subcuencas	$Tc_{Kirpich}$ (min)	Tc_{PHCA} (min)	Tc_{SCS} (min)
R10	W20	54.20	28.57	131.64

Se elaboraron los mapas de uso, tipo y pendiente de la cuenca ODT-27. El mapa de uso de suelos nos indica una mayor presencia de cobertura vegetal de cultivos permanentes y bosques latifoliados con algo de vegetación arbustiva. Por su parte, el mapa de tipo de suelos indica que la cuenca tiene un suelo de tipo franco arenoso, lo que indica una mayor capacidad de infiltración. Respecto a la pendiente del terreno, se observa que son pendientes de moderadas a fuertes, lo que puede responder rápidamente a la escorrentía.

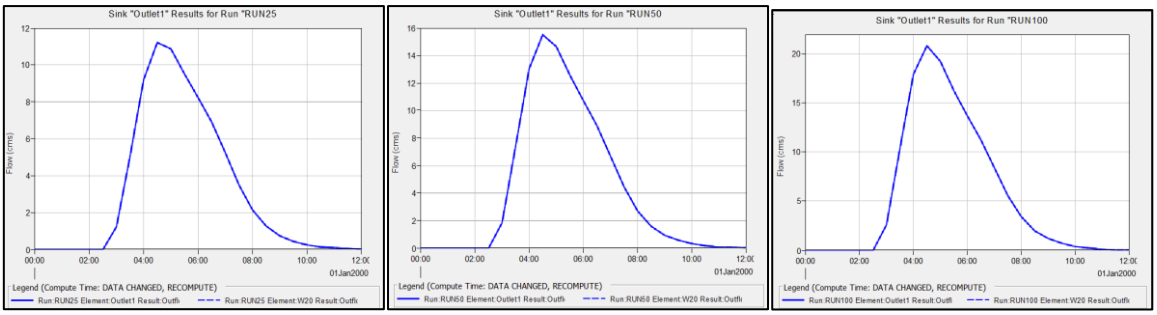
Tabla 59 Determinación de Lag Time en subcuencas de ODT-27

Rio	Subcuencas	BasinSlope (%)	BasinCN II	Longest Flowpath (m)	BasinLag (hr)	(%)
R10	W20	33.230591	59.051956	7868.53	1.317146	79.03

Se elaboró el mapa de Curva Número, los valores oscilan entre 56 y 66, por lo que hay zonas menos impermeables respecto a las anteriores cuencas del estudio, esto tiene influencia en disminuir los caudales de la cuenca. No se realizó cálculo de los parámetros del tránsito de avenidas porque la cuenca no se segmentó en subcuencas más pequeñas, debido a su poca área (6.46 km^2) y no tener afluentes tributarios a su río principal.

En el HEC HMS se insertaron los hietogramas por cada período de retorno TR25, TR50 y TR100, y para cada uno se obtuvieron el hidrogramas en el punto de cierre para esta cuenca de ODT-27.

Figura 34 Hidrogramas en TR25, TR50 y TR100 años para ODT-27



La cuenca ODT-27 tiene un área de 6.46 km^2, un perímetro de 16.58 km y su cauce principal tiene una longitud de 7.869 km, con una pendiente de 0.07 m/m, por lo que el cauce se clasifica como corto y con pendiente moderada. El tiempo de concentración con la ecuación de PHCA es de 28.4 min y con la ecuación de Kirpich es de 54.1 min. Por los parámetros morfométricos, el índice de compacidad es de 1.83, por lo que la clasifica como rectangular oblonga; su factor de forma es de 0.12, la clasifica como muy poco achatada; el valor de su índice de alargamiento es de 8.52, lo que la clasifica como muy alargada. Las longitudes del rectángulo equivalente son 7.42 km y 0.87 km respectivamente. Indica que es una cuenca que tiene tendencia a concentrar fuerte volumen de agua.

La elevación media de la cuenca es de 1312 msnm según la curva hipsométrica, el coeficiente de masividad es de 202.96 km/km^2 lo que le da una característica de moderadamente montañosa. Analizando su curva hipsométrica, presenta un descenso en las elevaciones más altas, y una disminución constante en las elevaciones medias y bajas, por lo que se podría considerar en estado de adultez.

Según las características del uso, tipo de suelo y pendientes del terreno, esta cuenca posee suelos con alta capacidad de infiltración, lo que tiende a dismiuir un poco la escorrentía directa. Realizando la modelación hidrológica con el HEC-HMS se obtuvieron los caudales máximos de diseño por cada período de retorno.

Tabla 60 Caudales máximos probables en la cuenca ODT-27

Período de retorno (años)	Caudal máximo de diseño (m^3/s)
25	11.2
50	15.5
100	20.8

4.1.2.8 Resultados del caudal en todas las cuencas

Todos los caudales máximos de diseño se presentan en una tabla de resultados con todas las cuencas del proyecto.

Tabla 61 Resultados de caudales máximos de diseño en todas las cuencas

ODT	Q Kcc $_{TR25}$ (m^3/s)	Q Kcc $_{TR50}$ (m^3/s)	Q Kcc $_{TR100}$ (m^3/s)
ODT-1	6.68	7.53	8.48
ODT-2	2.52	2.84	3.20
ODT-3	0.24	0.27	0.30
ODT-4	5.03	5.68	6.39
ODT-5	0.58	0.66	0.74
ODT-6*	**35.10**	**43.60**	**53.30**
ODT-7	1.92	2.17	2.44
ODT-8	0.58	0.66	0.74
ODT-9*	**94.50**	**117.40**	**144.00**
ODT-10	0.45	0.51	0.57
ODT-11*	**38.80**	**49.20**	**62.20**
ODT-12	1.74	1.96	2.21
ODT-13	0.30	0.34	0.38
ODT-14	6.14	6.92	7.79
ODT-15	1.36	1.53	1.73
ODT-16	0.11	0.12	0.13
ODT-17	7.76	8.75	9.86
ODT-18	0.90	1.01	1.14
ODT-19	2.48	2.80	3.15
ODT-20*	**23.50**	**31.30**	**40.80**
ODT-21	2.99	3.37	3.80
ODT-22	1.87	2.11	2.37
ODT-23	11.46	12.92	14.56
ODT-24*	**35.10**	**46.90**	**62.60**
ODT-25	0.42	0.47	0.53
ODT-26	11.73	13.23	14.90
ODT-27*	**11.20**	**15.50**	**20.80**

* Cuenca de drenaje mayor, caudal obtenido por método SCS.

4.2 EVALUACIÓN Y DISEÑO HIDRÁULICO

En el análisis hidráulico, todas las estructuras de drenaje se modelaron en el HY8 haciendo una evaluación, donde la mayoría no cumplían los criterios, por lo tanto, se diseñaron unas propuestas para esos cruces.

4.2.1 EVALUACIÓN HIDRÁULICA CON HY-8

La evaluación hidráulica es modelar la estructura de drenaje existente con los caudales obtenidos con el reciente estudio. El diseño es asegurar que la estructura funcione correctamente bajo los principios hidráulicos y siguiendo los parámetros de diseño de las normativas vigentes. Se eligieron dos de estas estructuras existente para realizar la evaluación y diseño hidráulico. Así mismo, se eligió una cuya estructura es un vado.

4.2.1.1 Evaluación hidráulica para la ODT-5

Datos tomados en sitio sobre la ODT-5, alcantarilla simple de 28".

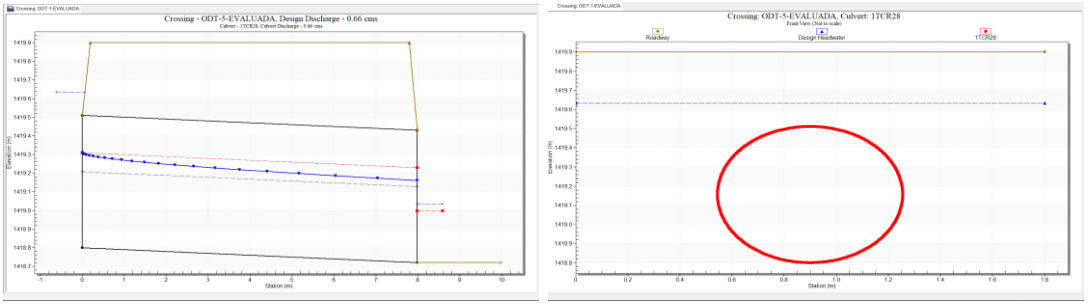
Tabla 62 Datos levantados para ODT-5

Datos a levantar en sitio	Valores	Fotografías
Nombre del cruce	ODT-5	
Estación	2+255.98	
Elevación de rasante geométrica	1419.90 $msnm$	
Estructura existente	1 TCR 28	
Longitud tramo de camino	1.80 m	
Ancho de corona de camino	7.60 m	
Elevación de invert de entrada	1418.80 $msnm$	
Estación inicio	0+000.00	
Elevación de invert de salida	1418.72 $msnm$	
Estación final	0+007.98	
Pendiente	1.00%	
Caudal TR25 años	0.584 m^3/s	
Caudal TR50 años	0.658 m^3/s	
Caudal TR100 años	0.741 m^3/s	

Se utilizó el HY-8 para modelar la geometría de la estructura y se insertaron los caudales que se obtuvieron de la hidrología.

Los resultados obtenidos del HY-8 son los esquemas de perfil y sección de la estructura modelada, donde se puede apreciar la altura de la lámina de agua que excede el diámetro actual de 28 pulgadas. Diámetro que es inferior al recomendado por el MTI.

Figura 35 Perfil y sección de HY-8 para Evaluación de ODT-5



En esta alcantarilla se observa que el tirante de agua está por encima de la corona de la alcantarilla y por debajo de la rasante vial, lo cual no es conveniente, su Relación $H/D = 1.17$ es mayor al límite propuesto de 1.0. Según el tipo de flujo de HY-8 es "5-S2n" indica que es sumergido en la entrada y por control de entrada.

Tabla 63 Tabla de cálculos en HY-8 para estructura existente de ODT-5

Culvert Summary Table	QTR 25	QTR 50	QTR 100
Total Discharge (m^3/s)	**0.58**	**0.66**	**0.74**
Culvert Discharge (m^3/s)	0.58	0.66	0.74
Headwater Elevation (m)	1419.56	1419.63	1419.73
Inlet Control Depth (m)	0.76	0.83	0.93
Outlet Control Depth (m)	0.59	0.67	0.85
Flow Type	5-S2n	5-S2n	5-S2n
Normal Depth (m)	0.38	0.41	0.44
Critical Depth (m)	0.48	0.51	0.54
Outlet Depth (m)	0.41	0.44	0.47
Tailwater Depth (m)	0.29	0.31	0.34
Outlet Velocity (m/s)	2.46	2.54	2.64
Tailwater Velocity (m/s)	1.4	1.45	1.51
$H/D < 1.00$	1.07	1.17	1.31

Según la tabla, sus velocidades son bajas y no producen erosión a la salida, pero los resultados y criterios que incumple, indican que se debe reemplazar con un nuevo diseño que sí los cumpla.

4.2.1.2 Evaluación hidráulica para la ODT-9

Datos tomados en sitio sobre la ODT-9, caja doble de 3.50m x 2.0m.

Tabla 64 Datos levantados para ODT-9

Datos a levantar en sitio	Valores	Fotografías
Nombre del cruce	ODT-5	
Estación	6+964.08	
Elevación de rasante geométrica	1137.00 $msnm$	
Estructura existente	2 CCR 3.5x2	
Longitud tramo de camino	8.70 m	
Ancho de corona de camino	4.20 m	
Elevación de invert de entrada	1134.80 $msnm$	
Estación inicio	0+000.00	
Elevación de invert de salida	1134.76 $msnm$	
Estación final	0+004.41	
Pendiente	1.00%	
Caudal TR25 años	94.5 m^3/s	
Caudal TR50 años	117.4 m^3/s	
Caudal TR100 años	144.0 m^3/s	

Los resultados del perfil y sección transversal indican que el tirante de agua sobrepasó el nivel de el alto de la sección tipo caja, incluso por encima de la rasante de la carretera, por lo que la obra se debe reemplazar por una que cumpla con el caudal de diseño y los requisitos de diseño vial.

Figura 36 Perfil y sección de HY-8 para Evaluación de ODT-9

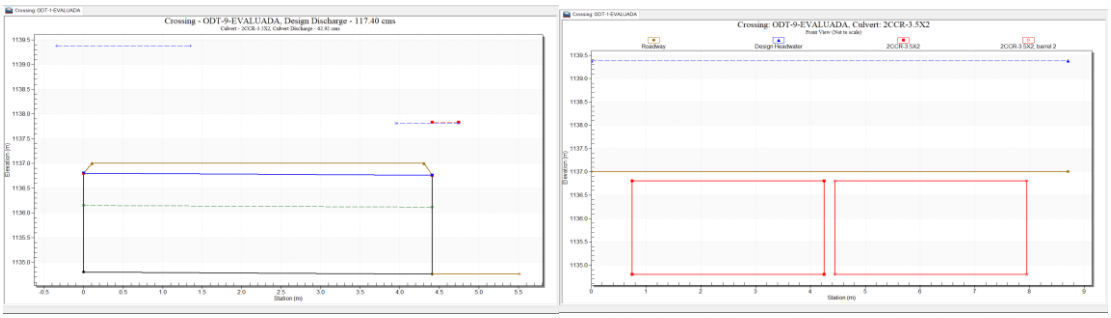


Tabla 65 Tabla de cálculos en HY-8 para estructura existente de ODT-9

Culvert Summary Table	QTR 25	QTR 50	QTR 100
Total Discharge (m^3/s)	**94.5**	**117.4**	**144**
Culvert Discharge (m^3/s)	59.57	62.92	65.8
Headwater Elevation (m)	1138.77	1139.38	1140.02
Inlet Control Depth (m)	3.94	4.22	4.47
Outlet Control Depth (m)	3.97	4.58	5.22
Flow Type	4-FFf	4-FFf	4-FFf
Normal Depth (m)	1.3	1.35	1.4
Critical Depth (m)	1.95	2	2
Outlet Depth (m)	2	2	2
Tailwater Depth (m)	2.6	3.05	3.55
Outlet Velocity (m/s)	4.25	4.49	4.7
Tailwater Velocity (m/s)	5.22	5.53	5.83
$H/D < 1.00$	1.99	2.29	2.61

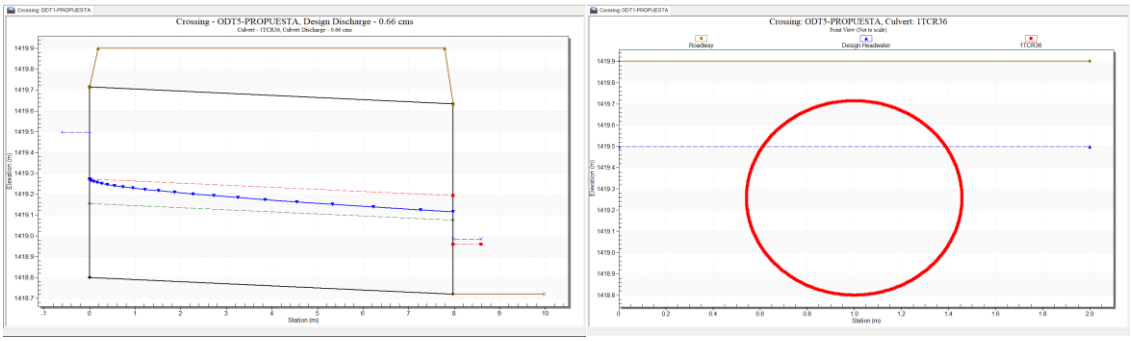
Según la tabla de resultados, la relación $H/D = 2.29$ es mayor al límite propuesto de 1.0. Según el tipo de flujo de HY-8 es “4-FFf” indica que es sumergido en la entrada y también en la salida, así mismo es de tipo por control de salida. Sus velocidades en la salida son altas, por lo que en el diseño que se proponga se deberá controlar ese valor.

4.2.2 DISEÑO HIDRÁULICO CON HY-8

4.2.2.1 Diseño hidráulico propuesto para la ODT-5

Para el diseño de la ODT-5 se propuso utilizar primero la sección recomendada por el MTI de 36”, se ajustaron los datos en el HY-8.

Figura 37 Perfil y sección de HY-8 para Diseño de ODT-5



Según el perfil y sección, el tirante de agua está por debajo de la corona de la alcantarilla, por lo que es no sumergida.

Tabla 66 Tabla de cálculos en HY-8 para propuesta de ODT-5

Culvert Summary Table	QTR 25	QTR 50	QTR 100
Total Discharge (m^3/s)	**0.58**	**0.66**	**0.74**
Culvert Discharge (m^3/s)	0.58	0.66	0.74
Headwater Elevation (m)	1419.45	1419.5	1419.55
Inlet Control Depth (m)	0.65	0.7	0.75
Outlet Control Depth (m)	0.43	0.48	0.53
Flow Type	1-S2n	1-S2n	1-S2n
Normal Depth (m)	0.33	0.36	0.38
Critical Depth (m)	0.44	0.47	0.5
Outlet Depth (m)	0.37	0.39	0.42
Tailwater Depth (m)	0.24	0.26	0.29
Outlet Velocity (m/s)	2.35	2.42	2.5
Tailwater Velocity (m/s)	1.33	1.39	1.44
$H/D < 1.00$	0.71	0.77	0.82

Así mismo, los resultados indican que la relación $H/D = 0.77$ por lo que es inferior y cumple con el criterio propuesto. El tipo de flujo es "1-S2n" indica que es por control de entrada, sin sumergir, las velocidades en la salida son bajas, se presenta el cálculo para empedregado utilizando la metodología de FHWA por HEC-14: $D_{50} = 0.08m$, $L = 3.66m$, $h = 0.27\ m$ y $W = 2.74\ m$.

- **Medidas constructivas**

La construcción de la nueva ODT-5 diseñada requerirá, además de la desinstalación de la 1-TCR-28 existente, la excavación de zanja necesaria para instalar la nueva tubería, de acuerdo a las especificaciones de NIC-2019. Los niveles en profundidad de zanja para la construcción de la nueva obra 1-TCR-36 son:

- Encamado de lecho de fundación: será de material Clase C de un espesor mínimo igual al 10% de la altura de la alcantarilla, $0.1 * D_E = 0.1 * 1.12\ m = 0.11\ m$.
- Altura de alcantarilla (D_E: diámetro externo) $D_E = 44\ pulg = 1.12\ m$.

- Relleno de alcantarilla: colocado a cada lado de la alcantarilla, en todo el ancho de la zanja y hasta una altura de 30 cm por encima de la corona de la alcantarilla, que será de material granular o suelo fino libre de humedad excesiva.
- Cobertura de terraplén hasta nivel de rasante: con el fin de dar lugar a un posterior diseño de pavimento o terracearías en la carretera se propone un espesor de 0.40 m.

Al no modificar la elevación del invert de entrada de la alcantarilla existente, esta altura de construcción de la nueva obra obliga a elevar el nivel de la rasante final, pasando a ser de 1419.9 msnm a 1420.62 msnm. La diferencia entre rasantes es de 0.72 m.

El ancho de la zanja será el establecido por el ancho propio de las tuberías, $1 * D_E = 1 * 1.12\ m = 1.12\ m$, más 0.90 m como mínimo, lo que resulta en 2.02 m que es mayor que el ancho (desarrollo) de la obra existente de 1.8 m.

- **Selección de tipo de tubería y condición de carga**

El suelo que se requiere para el relleno de la tubería, por sus características, corresponde a la Categoría 2 (arena limosa) para el cual se considerará una compactación de 95% Proctor Estándar. Por lo que el tipo de instalación estándar según AASHTO es Tipo II.

Para tuberías expuestas a carga viva producto de vehículos con instalación Tipo II. Además, la cobertura total sobre la tubería de alcantarilla (relleno sobre corona más cobertura de terraplén) es de 0.70 m. Se selecciona la Clase II que trabaja a profundidades de cobertura que van desde 0.30 m a 4.85 m para el diámetro de 36”, con una resistencia de grieta de 45 kN/m y de carga última de 67.5 kN/m.

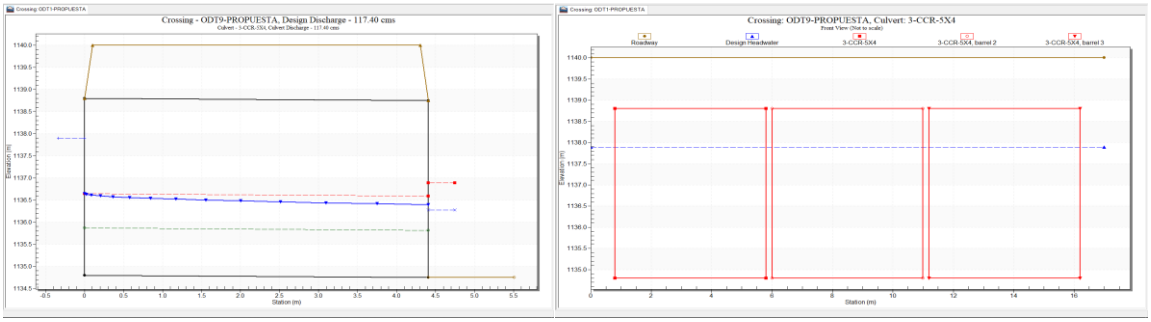
El vehículo de diseño del tramo de carretera considerado en la carga viva de la tubería es un C3 (camión de tres ejes), según anuario de aforos de tráfico 2020 por la estación 316 de tipo ECS (Estación de Conteo Sumaria). Además de la

carga pasiva del suelo de cobertura, que se supondrá de 1900 kg/m^2 por metro de profundidad, para una condición de suelo en estado húmedo.

4.2.2.2 Diseño hidráulico propuesto para la ODT-9

Se propone una caja triple de 5 metros de ancho y 4 metros de alto para ODT-9.

Figura 38 Perfil y sección de HY-8 para Diseño de ODT-9



El gráfico muestra que el tirante de agua es menor que el alto de la alcantarilla, sus cálculos están admisibles para su dimensionamiento hidráulico.

Tabla 67 Tabla de cálculos en HY-8 para propuesta de ODT-9

Culvert Summary Table	QTR 25	QTR 50	QTR 100
Total Discharge (m^3/s)	**94.5**	**117.4**	**144**
Culvert Discharge (m^3/s)	94.5	117.4	144
Headwater Elevation (m)	1137.49	1137.9	1138.35
Inlet Control Depth (m)	2.69	3.1	3.55
Outlet Control Depth (m)	1.73	2.09	2.5
Flow Type	1-S2n	1-S2n	1-S2n
Normal Depth (m)	0.92	1.07	1.23
Critical Depth (m)	1.59	1.84	2.11
Outlet Depth (m)	1.41	1.64	1.9
Tailwater Depth (m)	1.32	1.52	1.74
Outlet Velocity (m/s)	4.46	4.76	5.06
Tailwater Velocity (m/s)	5.96	6.43	6.9
$H/D < 1.00$	0.67	0.78	0.89

Su relación $H/D = 0.78$ indica que está bien cumpliendo con el criterio de ser inferior a 1.0. El tipo de flujo es “1-S2n” indica que es por control de entrada, sin sumergir. Para poder diseñar, se tuvo que elevar la rasante 1.80 m. La nueva estructura requerirá la desinstalación de la existente, para la construcción en sitio

de la 3-CCR-5x4. Se sugiere igualmente una protección en su salida para disminuir los efectos de la erosión.

El diseño estructural final no corresponde a los alcances de este proyecto.

4.2.2.3 Diseño hidráulico propuesto para la ODT-16

Tabla 68 Datos levantados para ODT-16

Datos de la ODT	Valores	Fotografías
Nombre del cruce	ODT-16	
Estación	10+879.91	
Elevación de rasante geométrica	1100.83	
Estructura existente	VADO 7.5 X 4.2	
Longitud tramo de camino	$4.20\ m$	
Ancho de corona de camino	$7.50\ m$	
Elevación de invert de entrada	-	
Estación inicio	-	Caudal TR25 años $0.106\ m^3/s$
Elevación de invert de salida	-	Caudal TR50 años $0.119\ m^3/s$
Pendiente	-	Caudal TR100 años $0.134\ m^3/s$

A continuación, se presenta el diseño propuesto para un cruce, cuya obra actual es un Vado, es decir, el agua pasa sobre la carretera sin una estructura definida. En sitio, se tomaron las dimensiones de su largo y ancho, sin embargo, al momento de diseño, directamente se propuso una estructura de tubería de concreto reforzado de 36" mínimo a como lo indica el MTI.

Para este diseño se eligió la alcantarilla mínima de 36" y se evaluó.

Figura 39 Perfil y sección de HY-8 para Diseño de ODT-16

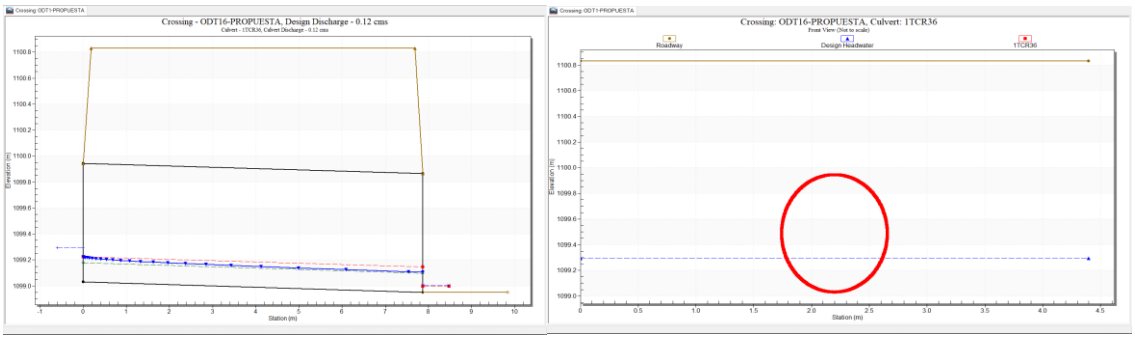


Tabla 69 Tabla de cálculos en HY-8 para propuesta de ODT-16

Culvert Summary Table	QTR 25	QTR 50	QTR 100
Total Discharge (m^3/s)	**0.11**	**0.12**	**0.13**
Culvert Discharge (m^3/s)	0.11	0.12	0.13
Headwater Elevation (m)	1099.28	1099.29	1099.31
Inlet Control Depth (m)	0.25	0.26	0.28
Outlet Control Depth (m)	0.11	0.12	0.13
Flow Type	1-S2n	1-S2n	1-S2n
Normal Depth (m)	0.14	0.15	0.16
Critical Depth (m)	0.18	0.2	0.21
Outlet Depth (m)	0.15	0.15	0.16
Tailwater Depth (m)	0.05	0.05	0.06
Outlet Velocity (m/s)	1.57	1.61	1.66
Tailwater Velocity (m/s)	0.53	0.56	0.59
$H/D < 1.00$	0.28	0.29	0.31

Se obtienen como resultados que todos los parámetros de diseño se cumplen. Revisar los detalles del HY-8 y diseño de protección en anexos.

- **Medidas constructivas**

La construcción de la nueva ODT-5 diseñada requerirá la excavación de zanja necesaria para instalar la nueva tubería, de acuerdo a las especificaciones de NIC-2019. Los niveles en profundidad de zanja para la construcción de la nueva obra 1-CCR-36 son:

- Encamado de lecho de fundación: de material Clase C de un espesor mínimo de $0.1 * D_E = 0.1 * 1.12\ m = 0.11\ m$.
- Altura de alcantarilla: $D_E = 44\ pulg = 1.12\ m$.
- Relleno de alcantarilla: colocado a cada lado de la alcantarilla, en todo el ancho de la zanja y hasta una altura de 30 cm por encima de la corona de la alcantarilla.
- Cobertura de terraplén hasta nivel de rasante: con el fin de dar lugar a un posterior diseño de pavimento o terracearías en la carretera se propone un espesor de 0.40 m.

En este caso no se modifica la elevación de la rasante existente de 1100.83 msnm. El nivel de invert de entrada es de 1099.01 msnm. La profundidad total de excavación es de 1.93 m.

El ancho de la zanja será como mínimo de 2.02 m, menor al ancho del Vado existente de 4.20 m.

- **Selección de tipo de tubería y condición de carga**

Clasificación del suelo de relleno: Categoría 2 (arena limosa).

Compactación: 95% Proctor Estándar.

Instalación estándar según AASHTO: Tipo II.

Condición de carga de la tubería: expuesta a carga viva de vehículos.

Cobertura total sobre alcantarilla: 0.70 m.

Clase de tubería: Clase II ASTM C76.

Entonces se selecciona la Clase II que trabaja a profundidades de cobertura que van desde 0.30 m a 4.85 m para el diámetro nominal de 36”, con una resistencia de grieta de 45 kN/m y de carga última de 67.5 kN/m.

El vehículo de diseño: C3 (camión de tres ejes).

Carga pasiva del suelo de cobertura: 1900 kg/m^2 de suelo en estado húmedo.

4.2.3 RESUMEN DE LAS OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL

Se presentan los resultados de las nuevas obras diseñadas y sus valores más representativos como los caudales, relación H/D y dimensiones de la protección. En anexos se podrán encontrar todos los resultados obtenidos del HY-8 tanto para las estructuras evaluadas como las diseñadas.

Tabla 70 Resumen del diseño de obras de drenaje transversal con caudales de diseño y protección

ODT	Estructura Existente	Caudales (m^3/s)			Propuesta									Protección de Empedregado			
					Tipo de Estructura	Invert de Entrada $(msnm)$	Pendiente	Longitud (m)	Invert de Salida $(msnm)$	Estación	$H/D < 1.00$			Diámetro	Ancho	Profundidad	Largo
		TR25	TR50	TR100							TR25	TR50	TR100	$D_{50}\ (m)$	$W\ (m)$	$h\ (m)$	$L\ (m)$
ODT-1	3 TCR 38	6.677	7.528	8.477	2 TCR 72	1395.94	1.0%	15.54	1395.78	0+248.72	0.72	0.77	0.83	0.16	9.14	0.38	7.32
ODT-2	1 TCR 28	2.522	2.843	3.202	1 TCR 60	1393.06	1.0%	13.44	1392.92	0+764.34	0.80	0.86	0.93	0.16	7.62	0.39	4.57
ODT-3	1 TCR 20	0.237	0.267	0.301	1 TCR 36	1399.88	1.0%	8.61	1399.79	1+303.23	0.42	0.44	0.47	0.02	3.66	0.08	2.74
ODT-4	2 TCR 42	5.033	5.675	6.39	2 TCR 60	1396.20	1.0%	14.28	1396.06	1+605.66	0.79	0.85	0.93	0.16	7.62	0.39	6.10
ODT-5	1 TCR 28	0.584	0.658	0.741	1 TCR 36	1418.80	1.0%	7.98	1418.72	2+255.98	0.77	0.77	0.82	0.08	3.66	0.27	2.74
ODT-6*	2 TCR 60	35.1	43.6	53.3	2 CCR 3 X 3.5	1207.24	1.0%	6.51	1207.18	4+861.21	0.73	0.84	0.96	0.51	24.00	1.02	12.00
ODT-7	1 TCR 28	1.924	2.169	2.443	1 TCR 60	1224.76	1.0%	5.46	1224.70	5+705.53	0.68	0.72	0.78	0.11	6.10	0.40	4.57
ODT-8	VADO 6.6 X 4.60	0.582	0.657	0.739	1 TCR 36	1185.06	1.0%	6.93	1184.99	6+121.65	0.71	0.77	0.82	0.08	3.66	0.27	2.74
ODT-9*	2 CCR 3.5 X 2	94.5	117.4	144	3 CCR 5 X 4	1134.80	1.1%	4.41	1134.75	6+964.08	0.67	0.78	0.89	0.34	30.00	0.75	25.00
ODT-10	VADO 6.40 X 4.0	0.448	0.505	0.568	1 TCR 36	1095.91	1.0%	6.72	1095.85	7+991.81	0.60	0.64	0.69	0.05	3.66	0.19	2.74
ODT-11*	PUENTE 8.20 X 5.40	38.8	49.2	62.2	2 CCR 3.5 X 3.5	1088.80	1.0%	5.67	1088.74	8+447.19	0.70	0.84	0.97	0.43	24.50	0.87	14.00
ODT-12	1 TCR 24	1.741	1.963	2.211	1 TCR 60	1091.66	1.0%	6.09	1091.60	8+669.87	0.63	0.68	0.74	0.10	6.10	0.35	4.57
ODT-13	1 TCR 20	0.3	0.339	0.381	1 TCR 36	1108.29	1.0%	6.72	1108.22	9+849.61	0.47	0.50	0.55	0.03	3.66	0.11	2.74
ODT-14	1 METAL 36	6.137	6.92	7.793	2 TCR 72	1107.34	1.0%	5.46	1107.29	10+160.51	0.68	0.73	0.79	0.14	7.32	0.46	7.32
ODT-15	VADO 8.20 X 4.6	1.359	1.532	1.725	1 TCR 48	1088.16	1.0%	8.61	1088.07	10+501.77	0.76	0.83	0.88	0.12	4.88	0.42	3.66
ODT-16	VADO 7.5 X 4.2	0.106	0.119	0.134	1 TCR 36	1099.03	1.0%	7.875	1098.95	10+879.91	0.28	0.29	0.31	0.01	3.66	0.03	2.74
ODT-17	1 TCR 60	7.762	8.753	9.858	2 TCR 72	1184.60	1.0%	5.04	1184.55	12+835.92	0.78	0.84	0.91	0.19	9.14	0.46	7.32
ODT-18	VADO 5.2 X 4.1	0.899	1.013	1.141	1 TCR 48	1142.52	1.0%	5.46	1142.46	13+454.57	0.59	0.64	0.69	0.07	4.88	0.24	3.66
ODT-19	VADO 5.5 X 3.9	2.48	2.796	3.149	1 TCR 60	1125.20	1.0%	5.775	1125.14	13+655.74	0.79	0.85	0.91	0.16	7.62	0.39	4.57
ODT-20*	PUENTE PEATONAL 7.5m	23.5	31.3	40.8	2 CCR 3 X 3	1125.00	1.0%	6.09	1124.94	13+760.00	0.65	0.79	0.94	0.33	18.00	0.72	12.00
ODT-21	VADO 6.3 X 4.5	2.989	3.37	3.795	2 TCR 48	1129.90	1.0%	6.615	1129.83	13+916.13	0.82	0.88	0.95	0.14	4.88	0.45	3.66
ODT-22	VADO 6.1 X 2.8	1.87	2.108	2.374	1 TCR 60	1132.04	1.0%	6.405	1131.98	13+984.31	0.66	0.71	0.77	0.11	6.10	0.39	3.05
ODT-23*	VADO 5.5 X 7.7	11.461	12.924	14.557	2 CCR 2 X 2	1168.20	1.0%	5.775	1168.14	15+653.30	0.79	0.86	0.93	0.26	12.00	0.57	8.00
ODT-24*	PUENTE PEATONAL 8.6m	35.1	46.9	62.6	2 CCR 3.5 X 3.5	1052.20	1.0%	6.405	1052.14	17+685.44	0.66	0.82	0.97	0.42	24.50	0.83	14.00
ODT-25	VADO 4.9 X 2.40	0.416	0.469	0.529	1 TCR 36	1027.52	1.0%	5.145	1027.47	18+528.33	0.58	0.62	0.66	0.05	3.66	0.17	1.83
ODT-26*	PUENTE PEATONAL 5.5m	11.732	13.228	14.898	2 CCR 2 X 2	1027.20	1.0%	5.46	1027.14	18+768.84	0.80	0.87	0.94	0.27	12.00	0.59	8.00
ODT-27*	PUENTE PEATONAL 10m	11.2	15.5	20.8	2 CCR 3 X 2	1024.20	1.0%	6.825	1024.13	19+860.88	0.60	0.75	0.90	0.13	12.00	0.44	12.00

* Estructura propuesta es una caja de concreto reforzado.

La propuesta de diseño para las 27 obras de drenaje transversal sería: 7 TCR simples de 36”, 2 TCR de 48”, 5 TCR de 60”, 1 TCR doble de 48”, 1 TCR doble de 60” y 3 TCR doble de 72”, para todas ellas se propusieron empedregado. Así mismo están descritas las dimensiones de las estructuras de cajas de concreto reforzado, dobles y triples debido al alto caudal.

Se presenta en detalle los niveles de excavación de zanja para alcantarillas circulares, así mismo el análisis sobre el cambio de las rasantes del tramo de carretera en algunas alcantarillas. Así mismo, se presenta la clase de tubería de concreto y la capacidad a la que está sometida por carga última según los cálculos.

Tabla 71 Resumen del diseño constructivo de las obras de drenaje transversal con tipo de tubería especificaciones

ODT	Estructura Existente	Rasante Inicial $(msnm)$	Profundidad (m)	Invert de Entrada $(msnm)$	Diámetro/ Ancho (m)	Relleno sobre alcantarilla (m)	Cobertura propuesta (m)	H (m)	Nueva rasante $(msnm)$	Diferencia de rasante (m)	Cobertura (m)	Lecho de fundación $(0.1 * D)$ (m)	Profundidad de zanja desde rasante actual (m)	¿Sube rasante?	Diámetro/ Ancho (m)	Ancho por tuberías (m)	Ancho mínimo (NIC-2019) (m)	Clase tubería	Resistencia a carga última (KN/m)
ODT-1	2 TCR 72	1399.84	**3.9**	1395.94	2.21	0.3	0.400	0.700	1398.85	0.99	1.69	0.220	4.120	NO	2.21	4.43	5.33	II	166.116
ODT-2	1 TCR 60	1395.16	**2.1**	1393.06	1.83	0.3	0.400	0.700	1395.59	-0.43	0.70	0.180	2.709	SI	1.83	1.83	2.73	II	137.16
ODT-3	1 TCR 36	1401.08	**0.9**	1400.18	1.12	0.3	0.400	0.700	1402.00	-0.92	0.70	0.110	1.928	SI	1.12	1.12	2.02	II	83.82
ODT-4	2 TCR 60	1398.00	**1.8**	1396.20	1.83	0.3	0.400	0.700	1398.73	-0.73	0.70	0.180	2.709	SI	1.83	3.66	4.56	II	137.16
ODT-5	1 TCR 36	1419.90	**1.1**	1418.80	1.12	0.3	0.400	0.700	1420.62	-0.72	0.70	0.110	1.928	SI	1.12	1.12	2.02	II	83.82
ODT-6*	2 CCR 3 X 3.5	1212.94	**5.7**	1207.24	3.50	-	-	-	1210.74	2.20	-	-	3.500	NO	3.00	6.00	6.90		
ODT-7	1 TCR 60	1226.16	**1.4**	1224.76	1.83	0.3	0.400	0.700	1227.29	-1.13	0.70	0.180	2.709	SI	1.83	1.83	2.73	II	137.16
ODT-8	1 TCR 36	1186.86	1.818	1185.04	1.12	0.3	0.400	0.700	1186.86	0.00	0.70	0.110	1.928	NO	1.12	1.12	2.02	II	83.82
ODT-9*	3 CCR 5 X 4	1137.00	**2.2**	1134.80	4.00	-	-	0.000	1138.80	-1.80	-	-	4.000	SI	5.00	15.00	15.90		
ODT-10	1 TCR 36	1097.61	1.818	1095.80	1.12	0.3	0.400	0.700	1097.61	0.00	0.70	0.110	1.928	NO	1.12	1.12	2.02	II	83.82
ODT-11*	2 CCR 3.5 X 3.5	1092.00	**3.2**	1088.80	3.50	-	-	0.000	1092.30	-0.30	-	-	3.500	SI	3.50	7.00	7.90		
ODT-12	1 TCR 60	1094.16	**2.5**	1091.66	1.83	0.3	0.400	0.700	1094.19	-0.03	0.70	0.180	2.709	SI	1.83	1.83	2.73	II	137.16
ODT-13	1 TCR 36	1109.79	**0.9**	1108.89	1.12	0.3	0.400	0.700	1110.71	-0.92	0.70	0.110	1.928	SI	1.12	1.12	2.02	II	83.82
ODT-14	2 TCR 72	1109.94	**2.6**	1107.34	2.21	0.3	0.400	0.700	1110.26	-0.31	0.70	0.220	3.135	SI	2.21	4.43	5.33	II	166.116
ODT-15	1 TCR 48	1089.96	2.194	1087.77	1.49	0.3	0.400	0.700	1089.96	0.00	0.70	0.150	2.344	NO	1.49	1.49	2.39	II	112.014
ODT-16	1 TCR 36	1100.83	1.818	1099.01	1.12	0.3	0.400	0.700	1100.83	0.00	0.70	0.110	1.928	NO	1.12	1.12	2.02	II	83.82
ODT-17	2 TCR 72	1190.00	**5.4**	1184.60	2.21	0.3	0.400	0.700	1187.51	2.49	3.19	0.220	5.620	NO	2.21	4.43	5.33	II	166.116
ODT-18	1 TCR 48	1144.32	2.194	1142.12	1.49	0.3	0.400	0.700	1144.32	0.00	0.70	0.150	2.344	NO	1.49	1.49	2.39	II	112.014
ODT-19	1 TCR 60	1127.00	2.529	1124.47	1.83	0.3	0.400	0.700	1127.00	0.00	0.70	0.180	2.709	NO	1.83	1.83	2.73	II	137.16
ODT-20*	2 CCR 3 X 3	1127.00		1127.00	3.00			0.000	1130.00	-3.00			3.000	SI	3.00	6.00	6.90		
ODT-21	2 TCR 48	1131.70	2.194	1129.50	1.49	0.3	0.400	0.700	1131.70	0.00	0.70	0.150	2.344	NO	1.49	2.99	3.89	II	112.014
ODT-22	1 TCR 60	1133.84	2.529	1131.32	1.83	0.3	0.400	0.700	1133.84	0.00	0.70	0.180	2.709	NO	1.83	1.83	2.73	II	137.16
ODT-23*	2 CCR 2 X 2	1170.00		1170.00	2.00				1172.00	-2.00			2.000	SI	0.00	0.00	0.90		
ODT-24*	2 CCR 3.5 X 3.5	1054.00		1054.00	3.50				1057.50	-3.50			3.500	SI	3.50	7.00	7.90		
ODT-25	1 TCR 36	1029.32	1.818	1027.51	1.12	0.3	0.400	0.700	1029.32	0.00	0.70	0.110	1.928	NO	1.12	1.12	2.02	II	83.82
ODT-26*	2 CCR 2 X 2	1029.00		1029.00	2.00				1031.00	-2.00			2.000	SI	0.00	0.00	0.90		
ODT-27*	2 CCR 3 X 2	1026.00		1026.00	2.00				1028.00	-2.00			2.000	SI	3.00	6.00	6.90		

* Estructura propuesta es una caja de concreto reforzado.

4.3 ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

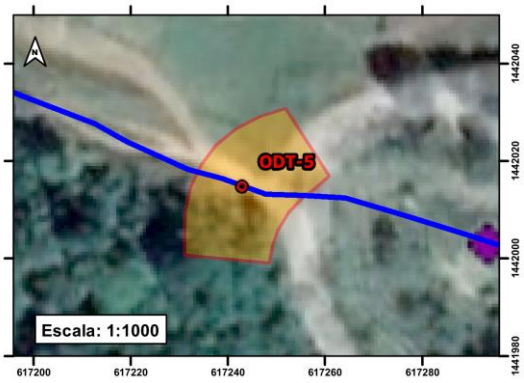
El estudio se realizó únicamente 2 de las 27 ODT diseñadas, ambas se tomaron al ser representativas, la ODT-5 es 1-TCR-36” y la ODT-9 es 3-CCR-5X4m siendo la más pequeña y más grande respectivamente.

4.3.1 ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO

4.3.1.1 Área de influencia directa

El área de influencia directa será única para cada obra de drenaje transversal porque ese es el alcance del estudio. En el caso de las obras de pequeñas dimensiones, una longitud de entre 15 y 20 o más metros antes y después del sitio exacto de la obra de drenaje. Así mismo, el área a lo ancho de la carretera de aproximadamente de entre 5 y 10 metros en cada banda. Como ejemplo de obra de pequeña dimensión, se tiene la ODT-5 que es una alcantarilla de 36”, cuya área de influencia es de 441 m^2.

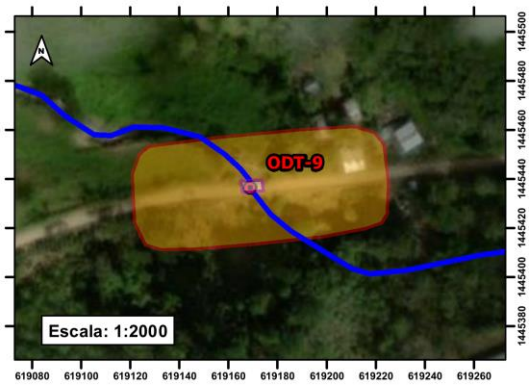
Figura 40 Área de influencia directa de ODT-5



Para el caso de las obras con mayores dimensiones, su longitud será mayor a 25 metros antes y después de la obra de drenaje, así mismo, el área a lo ancho de la carretera será de entre 10 y 20 metros en cada banda. Como ejemplo de obra gran dimensión, se toma la más grande, la cual tendrá un aumento de 2 metros en su rasante y además de ser una 3-CCR-5X4, la cual tiene 15 metros de longitud. Se consideró 60 metros antes del inicio de la obra y después del fin de

la obra, así como entre 20 y 25 metros en cada banda, lo cual, para la ODT-9 se tiene un área de influencia de 6,610 m^2.

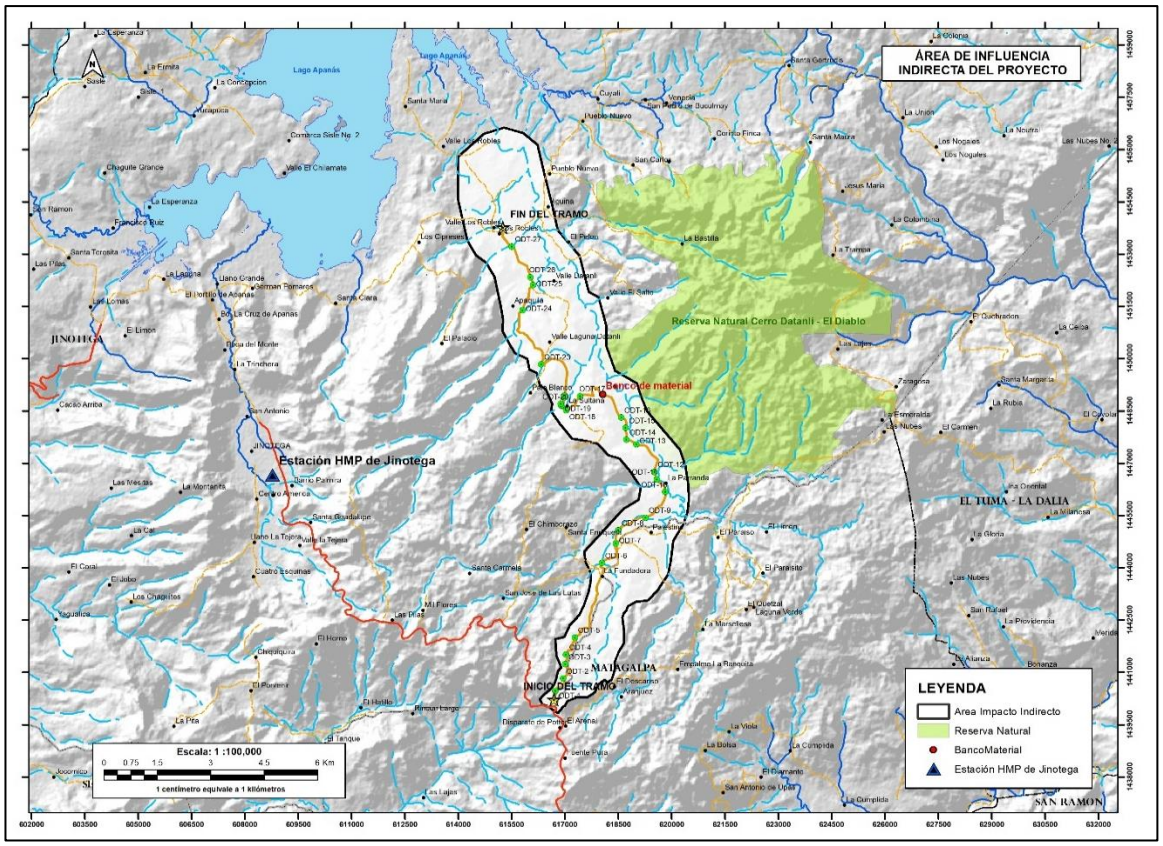
Figura 41 Área de influencia indirecta de ODT-9



4.3.1.2 Área de influencia indirecta

El área de influencia indirecta del proyecto es de 36.5 km^2.

Figura 42 Área de influencia indirecta del proyecto



4.3.2 LÍNEA BASE DEL PROYECTO

4.3.2.1 Descripción del medio físico

- **Geología**

Desde el punto de vista geológico y de acuerdo con el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER, 2010), en la Tabla 6 se presentan las formaciones geológicas de mayor relevancia en el Área de Influencia Directa (AID) del proyecto.

Tabla 72 Formaciones geológicas del área de influencia indirecta

Formación	Litología	Sistema	Área (%)	Área (km^2)
Grupo Coyol Superior	Rocas volcánicas: ignimbritas, brechas daciticas, lavas basalticas-andesiticas y piroclastitas	Neogeno	67.28%	24.35
Ningún nombre	Sedimentos recientes: guijarros, arenas, suelos arenosos, arcillas	Cuaternario	32.72%	11.84

Los datos geológicos indican que debajo del área hay materiales volcánicos de la Era Terciaria y material aluvial y coluvial indiferenciados de la Era Cuaternaria. Los materiales geológicos y la estructura geomórfica del área de influencia se dividen en dos regiones bien diferenciadas: la región noroeste y la región sureste.

Los materiales volcánicos de la región noroeste contienen aglomerado, lava andesítica, basalto, dacita, andesita e ignimbrita riolita del indiferenciado grupo Coyol (unidad Tpc) y dacita del grupo Coyol Inferior (unidad Tmcd).

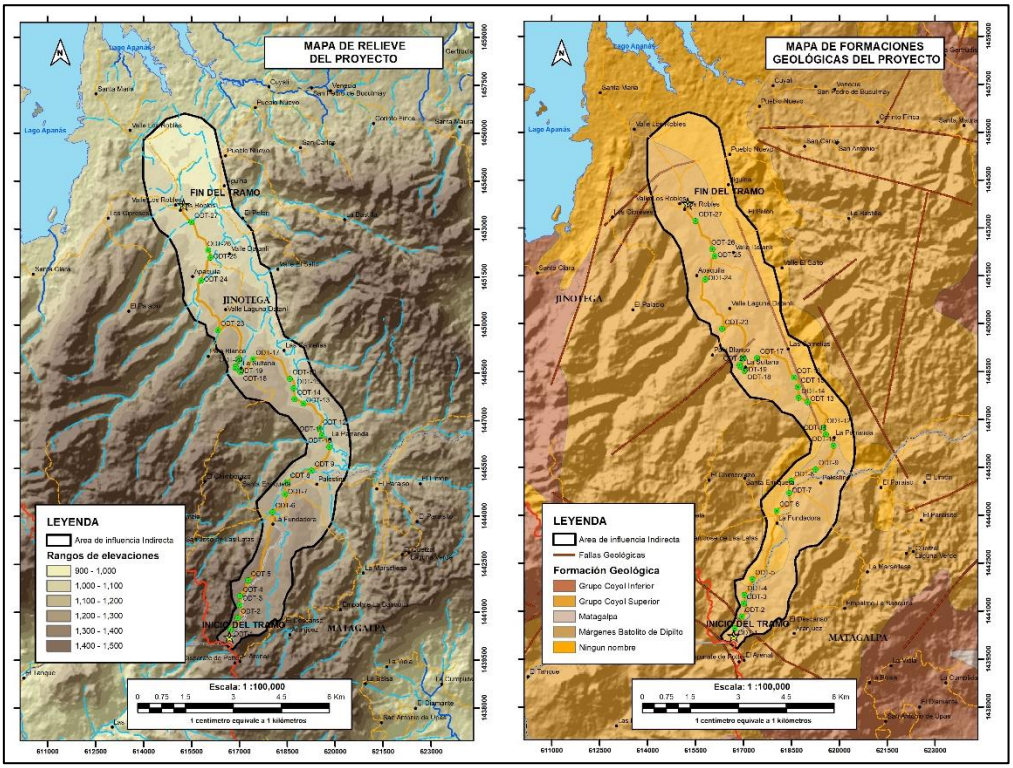
La unidad geológica Tmmi-b (de litología desconocida) y una pequeña sección de los basaltos del grupo Coyol superior (unidad Tpcb) se encuentran debajo de la mitad sureste del área de estudio.

- **Geomorfología**

En cuanto a su geomorfología presenta mesetas, planas y alargadas, que se disponen a diferentes altitudes, delimitando pequeños valles intramontanos por medio de escarpes abruptos. El lugar pertenece a la provincia de fisiográfica de las Tierras Montañosas del Centro.

La estructura geomórfica del área consiste en tierras altas ligeramente onduladas rodeadas de empinados frentes formados por unidades de flujo resistentes a la erosión y pendientes más leves que se extienden hasta el Valle Dantalí, al este del Lago de Apanás. Este plano de tierras altas se inclina ligeramente hacia el nordeste; sus elevaciones oscilan entre 1,600 m en el suroeste, hasta 1,200 m en el noreste. Una ramificada y sinuosa red de pequeños arroyos ha incidido en los materiales geológicos del sitio, lo que ha traído consigo una topografía empinada y escarpada.

Figura 43 Mapa de relieve y de formaciones geológicas del proyecto



- **Uso de suelos**

Según el área de influencia indirecta, se tiene un 45.20% de uso de suelos en cultivo permanente, un 16.08% como cultivos anuales, además de un 14.44% de bosque latifoliado ralo, lo que indica una alta presencia de cobertura vegetal.

Tabla 73 Uso de suelos del área de influencia indirecta del proyecto

Uso de suelos	**Área** (%)	**Área** (km^2)
Bosque latifoliado denso	6.52%	2.358
Bosque latifoliado ralo	14.44%	5.226
Pasto	11.90%	4.309
Cultivo anual	16.08%	5.820
Cultivo permanente	45.20%	16.361
Ciudades, poblados y caseríos	0.43%	0.155
Vegetación arbustiva	5.34%	1.931
Tacotal	0.02%	0.008
Suelo sin vegetación	0.07%	0.025
Agua	0.01%	0.003

- **Tipo de suelos**

Según el área de influencia indirecta se tienen tres grupos taxonómicos de suelos.

Tabla 74 Orden de suelos del área de influencia indirecta del proyecto

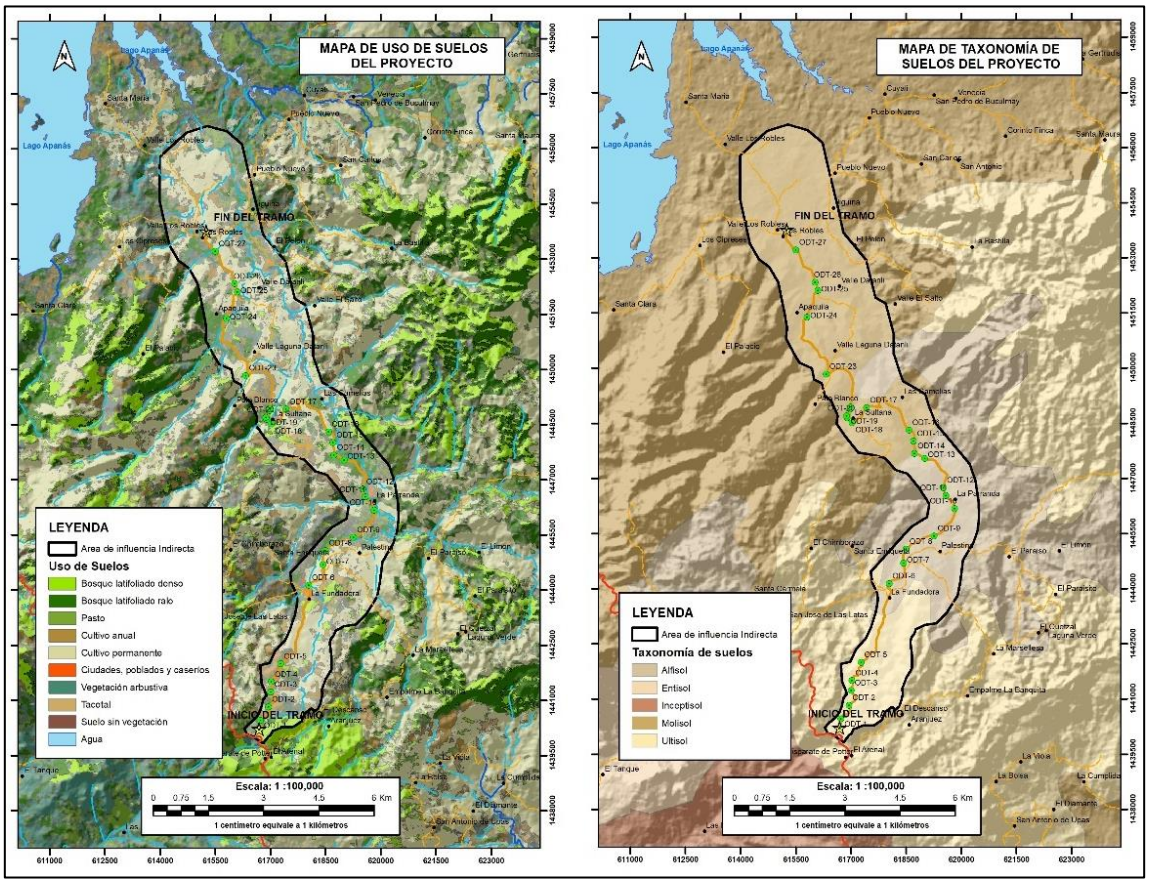
Orden	**Área** (%)	**Área** (km^2)
Alfisol	25.28%	9.15
Molisol	59.08%	21.38
Ultisol	15.65%	5.66

El grupo de suelos Alfisoles se caracterizan por ser fértiles y tener una alta capacidad de intercambio catiónico, lo que los hace adecuados para la agricultura, suelen tener una textura franca o franca arcillosa. Son suelos ideales para la agricultura y el crecimiento de bosques.

El grupo de los Molisoles se caracterizan principalmente por su horizonte superficial oscuro y fértil, que es rico en materia orgánica y nutrientes, suelen tener una textura franca a arcillosa. Son suelos extremadamente fértiles, ideales para la agricultura.

El grupo de suelos Ultisol son suelos muy lixiviados y con baja fertilidad natural, formados bajo climas húmedos. Tienden a ser ácidos debido a la lixiviación de bases, lo que puede limitar la disponibilidad de nutrientes para las plantas.

Figura 44 Mapa de uso de suelos y de taxonomía de suelos del proyecto



Así mismo, se propone un posible banco de materiales a ser aprovechado en terreno privado de René Dávila. Su estado actual es intervenido, está directamente en contacto con el tramo de carretera, a 2 km antes de llegar a la comunidad La Sultana, Estación 12+000. Su área posible de explotación no se tiene completamente determina debido a la capa vegetal existente, pero se estiman unos 31 m^2 de área aprovechable.

Se muestra la ubicación del banco de material en el mapa de área de influencia indirecta y las coordenadas en la siguiente tabla.

Tabla 75 Ubicación del banco de material propuesto

Propietario	Estado	Este	Norte	Área (m^2)	Volumen (m^3)
René Dávila	En explotación	618058.6	1448972	31	Desconocido

- **Clima**

Según la zona del área indirecta del proyecto, se considera como zona de transición hacia otros tipos de climas. Según la clasificación climática de Köppen el proyecto se ubica en el grupo climático AW1: “se presenta una estación seca y otra húmeda”.

- **Temperatura**

El municipio de Jinotega se caracteriza por tener un Clima Templado con temperaturas medias anuales de 20°C a 29°C variando según altitud. La temperatura máxima promedio diaria es de 28 °C. El mes más cálido del año es abril, con una temperatura máxima promedio de 29 °C y mínima de 17 °C.

- **Precipitación**

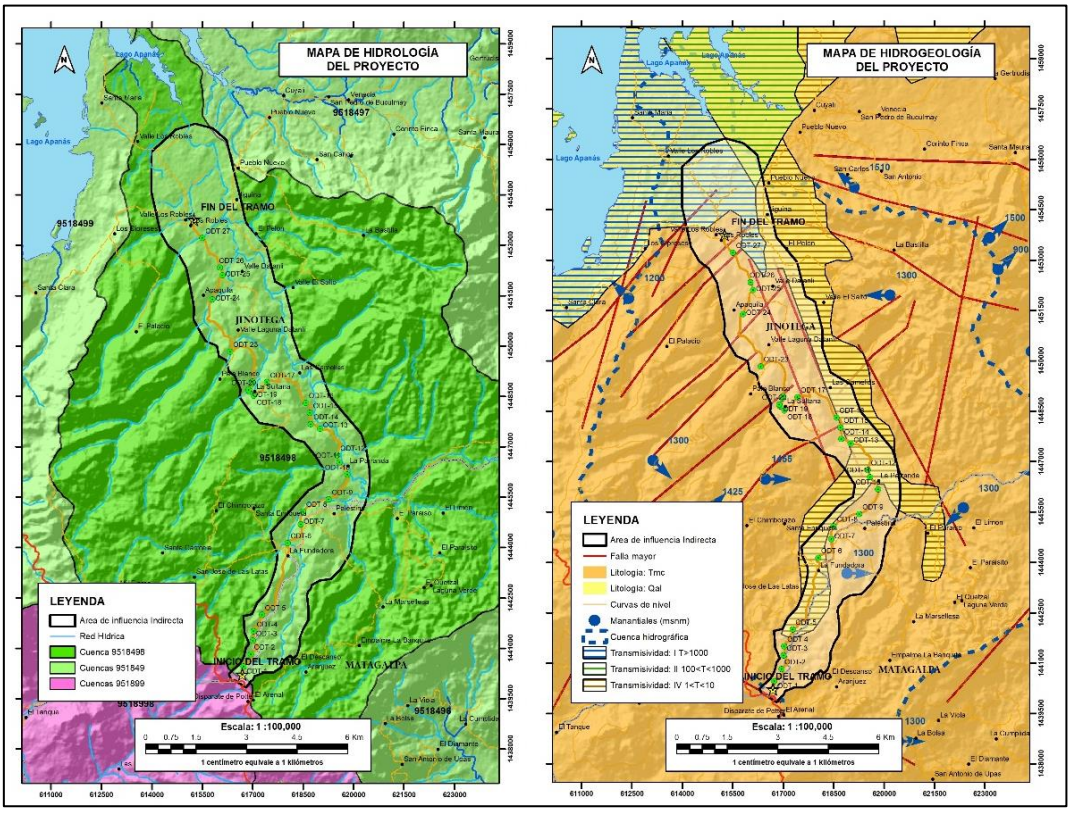
La temporada de lluvia dura aproximadamente 7 meses, de abril a diciembre, con un intervalo móvil de 30 días de lluvia de por lo menos 13 milímetros. El mes con más lluvia en Jinotega es septiembre, con un promedio de 154 milímetros de lluvia. El periodo del año sin lluvia dura 4.3 meses, del 2 de diciembre al 10 de abril. El mes con menos lluvia en Jinotega es enero, con un promedio de 1 milímetros de lluvia.

- **Hidrología**

Según la delimitación de cuencas hidrográficas de Nicaragua por Pfafstetter, el tramo en estudio se localiza en la cuenca nivel 6 del río Grande de Matagalpa, en la cuenca 9518498, cuya red hídrica la constituyen el río Jigüina y sus afluentes, este es colindante a la zona de amortiguamiento de la Reserva Natural Cerro Datanlí El Diablo, y desemboca en el noreste del lago de Apanás manteniendo un

caudal perenne durante todo el año. La mayoría del tramo recorre en paralelo al río Jigüina desde la estación 8+000 hasta el final de este, cruzándose con varios de sus afluentes, ya estudiados en este proyecto, provenientes del lado oeste de la cuenca. De todos los afluentes de las obras de drenaje transversal evaluadas y diseñadas, se observaron 8 que mantienen un caudal perenne que incluyen a las 6 cuencas de drenaje mayor evaluadas en el estudio hidrológico. Los afluentes destacados por ser de caudal perenne y estar cerca de poblaciones considerables son: el río El Arenal atraviesa la comunidad La Fundadora en la estación 4+970 (ODT-6), y la comunidad La Palestina en la estación 6+940 (ODT-9); uno de los afluentes del río Jigüina que atraviesa la comunidad La Parranda (ODT-11); y en la comunidad La Parranda que es atravesada por el río conocido como La Sultana en la estación 14+100 (ODT-20). Estos sitios, por su accesibilidad, cercanía y abundancia del recurso serán los utilizados como fuentes de explotación de agua durante la construcción de las obras hidráulicas.

Figura 45 Mapa de hidrología e hidrogeología del proyecto



- **Hidrogeología**

El tramo presenta características geológicas del Grupo Coyol Superior de la era del cuaternario perteneciente al período pleistoceno. Las dos unidades del Coyol presentan en superficie zonas alteradas permeables, capaces de transmitir y almacenar agua en cantidades apreciables. En profundidad, los basaltos, andesitas y basaltos andesíticos, fracturados del Coyol Superior presentan buenas condiciones hidrogeológicas.

4.3.2.2 Descripción del medio biótico

- **Fauna**

Según la bibliografía consultada, la fauna terrestre silvestre está conformada principalmente por pequeños mamíferos como conejos (Sylvilagus floridanus), guardatinajas (Agouti paco), ardilla común (Sciurus variegatoides), guatuzas (Dasyprocta punctata) y mapaches (Procyon lotor). La fauna avistada en el AID en su mayoría son aves acuáticas y migratorias en las que sobresalen garzas (Ardea alba) y patos (Phalacrocorax olivaceus). También, las especies de peces que más sobresalen son la mojarra (Amphilophus citrinellus), el róbalo (Centropomus undecimalis) y la tilapia (oreochromis niloticus). Estos son de consumo por la población.

- **Flora**

En la flora de AII se encuentran especies especies vegetales como jiñocuabo (Bursera simarouba), quebracho (Lysiloma divaricatum), cedro (Cedrela odorata) y llama del bosque (Spathodea campanulata). También se encuentran especies como espadillos (Yucca guatemalensis) utilizados como cercas vivas en propiedades privadas y remanentes de bosque secundario en zonas altas y áreas de transición en los puntos con afluentes naturales, en estos sitios el estado de la vegetación se encuentra en regeneración natural.

4.3.2.3 Descripción del medio socioeconómico

- **Población**

La población total del área de influencia es de 7,845 habitantes distribuidos en 12 comunidades rurales, de los cuales el 51.28% son hombres y 48.72 % son mujeres. Esto de acuerdo a los datos extraídos del informe publicado por INIDE (2008) del VIII Censo de Población y IV de Vivienda en 2005.

De acuerdo a consultas a pobladores se sabe que en este sector no existe población indígena ni afrodescendiente, el 100% de los habitantes de estas comunidades son mestizos. La siguiente tabla muestra las poblaciones por sexo de las comunidades en el área de influencia del proyecto.

Tabla 76 Distribución de la población en el área de influencia del proyecto

Municipio	Comunidades	Población Hombres	Población Mujeres	Población Total	Porcentaje Población
Matagalpa	El Arenal	288	261	549	6.42%
Jinotega	La Fundadora	240	262	502	5.87%
Jinotega	Santa Enriqueta	126	111	237	2.77%
Jinotega	La Palestina	118	138	256	3.00%
Jinotega	San José de las Vegas	372	330	702	8.21%
Jinotega	La Parranda	476	426	902	10.55%
Jinotega	Las Camelias	71	59	130	1.52%
Jinotega	La Sultana	175	150	325	3.80%
Jinotega	Palo Blanco	110	122	232	2.71%
Jinotega	Dantalí	744	679	1423	16.65%
Jinotega	Apaquila	179	160	339	3.97%
Jinotega	Los Robles	849	834	1683	19.69%
Jinotega	Jigüina	647	620	1267	14.82%
Totales		**4395**	**4152**	**8547**	**100.00%**

- **Educación**

En las comunidades que recorre el tramo existen cuatro centros educativos representativos que pertenecen al Distrito Rural No. 4 de Jinotega. En la siguiente tabla, se muestra la modalidad de estas escuelas y lugar donde se ubican.

Tabla 77 Centros educativos en área de influencia del proyecto

No.	Escuela	Modalidad	Comunidad
1	San José de las Vegas	Educación inicial y primaria multigrado	San José de las Vegas
2	La Sultana	Educación inicial y primaria multigrado	La Sultana
3	La Parranda	Educación inicial	La Parranda
4	La Parranda	Educación inicial	La Palestina

- **Salud**

Cuando los pobladores requieren atención médica especializada asisten al centro de salud ubicado en la comunidad La Fundadora, estos brindan atención secundaria, contando con personal médico. Para recibir atención primaria y más especializada en salud lo más cercano es hospitales de los municipios de Matagalpa y Jinotega.

- **Energía eléctrica**

Todas las viviendas de estas comunidades cuentan con el servicio de energía eléctrica a través de la empresa distribuidora proveedora de energía.

- **Abastecimiento de agua**

Todas las comunidades beneficiarias directas cuentan con acceso a agua segura a través del suministro de agua potable mediante pozos y a través del abastecimiento de las fuentes hídricas presentes en la zona con la conexión de mangueras.

- **Telecomunicaciones**

En relación a la comunicación telefónica, un 85% de la población tiene acceso a telefonía celular de las empresas proveedoras Claro y Tigo, aunque en algunos puntos no existe señal. También, la población cuenta con acceso a televisión por cable e internet y un mínimo porcentaje no cuenta con ningún tipo de comunicación.

- **Transporte**

En el tramo de carretera, todo el año hay una alta movilidad por el traslado de los productos que se cosechan en el sector, también, en el periodo de la cosecha cafetalera se incrementa la movilidad poblacional con la llegada de personas desde otros municipios que se desplazan para trabajar en las haciendas.

Durante los meses de mayor precipitación en época de invierno el transporte en el tramo se ve afectado por la crecida del caudal de los cruces de las obras sin estructura, siendo los más importantes de la ODT-20, ODT-24, y ODT-27 que impiden el pase de todo tipo de vehículos cuando sus niveles son bastante altos.

- **Economía local**

Las principales actividades económicas en las comunidades del trayecto, destacándose el rubro agropecuario, así como, el cultivo de café; también se cultiva papa, repollo, guineo, frijoles y verduras variadas, los cuales se ven beneficiados por su clima y tipo de suelos.

4.3.3 ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL ODT-5

4.3.3.1 Clasificación ambiental de ODT-5

Según el sistema de evaluación ambiental (Decreto 20-2017), publicado en la gaceta del diario oficial No. 228, establece en su capítulo V, artículo 18, la **Categoría Ambiental IV** para este tipo de proyecto.

Por lo que se considera que puede causar impactos ambientales bajos, los que quedaran sujetos al cumplimiento de las medidas ambientales, las que se integraran a un programa de gestión ambiental como condición para la emisión de una Autorización Ambiental dada por el MARENA, a través de sus Delegaciones Territoriales.

4.3.3.2 Descripción técnica de ODT-5

La estructura de drenaje transversal pasa de ser una TCR 28 (tubería de concreto reforzado de 28 pulg. de diámetro) a una TCR-36 (tubería de concreto reforzado de 36 pulg. de diámetro), teniendo una longitud en su perfil de 7.5 m. Las tuberías de concreto serán de 1.25 m de longitud fabricadas según especificación de ASTM C76-12A, y unidas por juntas correspondientes al diámetro de izaje tipo 1 agujero y tipo 2 KKG 1.3x65.

La obra también requiere la construcción en concreto de cabezal, aletones y delantal en la entrada y salida del agua. El cabezal y delantal de salida tiene la distinción de diseñarse como elemento de protección de la alcantarilla, construido en concreto con un empedrado establecido.

Las cantidades de materiales de construcción estimados a utilizar en la construcción de la ODT-5 son:

6 tuberías de concreto reforzado, d = 36”, de 1.25 m.

5 juntas de unión de tuberías de concreto para d = 36”

El volumen de excavación de tierra aproximado es de 29.6 m^3, se precisa de un levantamiento topográfico detallado para calcular con presión este y cualquier volumen de tierra a excavar o rellenar.

4.3.3.3 Etapas de construcción de ODT-5

Las actividades de construcción de la ODT-5 se realizarán con lo requerido de personal, equipos y maquinaria necesarios para su ejecución en un tiempo corto, considerando que el tamaño de esta obra es relativamente pequeño. Se estiman como máximo 2 días para finalizar la construcción de esta obra.

- **Preliminares**
  - **Limpieza de vegetación en el cauce cercana a la obra**

Trabajo manual que se realiza antes de empezar la obra para despejar sitios de colocación temporal de materiales, o donde se posicionaran equipos durante la ejecución de las demás actividades (instrumentos de topografía para tomar medidas antes, durante y al finalizar la construcción). Los recursos para ejecutar esta actividad son mínimos y puede ser previsible de las demás actividades.

  - **Señalización de construcción de obras**

La instalación de señales temporales de aviso y precaución por obras que se ejecutan en la carretera para alertar a los usuarios de la carretera.

- **Movimiento de tierra**
  - **Excavación del área de trabajo**

Se hará uso de maquinaria pesada para extraer y mover la tierra por sobre, alrededor y debajo de la alcantarilla existente. Aunque esta actividad se posicione antes de la demolición de la obra existe, en realidad estará presente después excavando los volúmenes necesarios de tierra para dar lugar a la construcción de la nueva obra.

- **Demolición de obra existente**
  - **Demolición de estructura de obra existente**

Se ejecutará haciendo uso de maquinaria pesada y especializada para romper los volúmenes macizos de concreto y quitar las tuberías de concreto reforzado de la obra existente

  - **Traslado y depósito de escombros de demolición**

Consiste en transportar y descargar en el sitio asignado como botadero los escombros de material de la obra demolida.

- **Construcción de obra de drenaje**
  - **Explotación de banco de materiales**

Es el conjunto de acciones de cortar material del sitio del banco, cargarlo y transportarlo hasta el lugar de construcción de la obra. En la construcción de las obras de este tipo (alcantarillas) el volumen de material de banco a utilizar es mínimo, ya que puede ser solo solicitado para la reconstrucción de estratos y rasante de carretera después de haber construido la nueva obra.

  - **Relleno con material seleccionado**

Uso de suelo mejorado como base a lo largo de la zanja donde se instalarán las tuberías de concreto y las estructuras de entrada y salida. Lo principal de este es la compactación que por el tamaño de la obra se realizará con compactadora manual.

  - **Instalación de obras de drenaje**

Es la propia construcción de la obra nueva diseñada. Se realiza el izaje de las tuberías con la ayuda de maquinaria adecuada (excavadora) y asistido por personal ayudante que se encargará de colocar las juntas entre estas.

También se construyen las obras de concreto del cabezal, aletones y delantal, haciendo uso de mezcladoras de concreto tipo trompo debido a no ser mucha la cantidad de concreto como para requerir camión mezclador.

- **Reconstrucción vial**

– **Relleno de terraplenes**

Consiste en la antes mencionada reconstrucción de los estratos de suelo adecuados de la carretera, que va desde por encima de la corona del tubo de alcantarilla hasta el nivel de rasante, utilizando material extraído del banco de materiales. La compactación por capas, precisada por un estudio de suelos, ocupará de riego de agua para humedecer el suelo y compactadora manual por no ser mucha el área a compactar.

– **Conformación de taludes**

Con las obras en la entrada y salida de la alcantarilla ya construidas se sigue con la excavación de los taludes laterales de la carretera alrededor de la obra. Se realizarán adecuadamente para no dañar la superficie final, para evitar la descompresión prematura o excesiva de su pie y contrarrestar cualquier otra causa que pueda comprometer la estabilidad del talud de corte final.

– **Compactación y nivelación de rasante**

Se reconstruirá la rasante de la carretera abarcada en el área de influencia directa dándole la elevación que pudo ser modificada por las dimensiones de la nueva obra, se conservara el ancho de carretera antes existente.

4.3.3.4 Matriz Causa – Efecto de impactos a generarse en ODT-5

ACCIONES DEL PROYECTO				ETAPAS DE CONSTRUCCIÓN											
				PRELIMINARES		MOVIMIENTO DE TIERRA	DEMOLOCIÓN DE OBRAS EXISTENTES		CONSTRUCCIÓN DE OBRA DE DRENAJE			RECONSTRUCCIÓN VIAL		
MEDIO	CATEGORIAS	FACTOR AMBIENTAL	CÓDIGO	Limpieza de vegetación en el cauce cercana a la obra	Señalización de construcción de obras	Excavación del área de trabajo	Demolición de estructura de obra existente	Traslado y depósito de escombros de demolición	Explotación de banco de materiales	Relleno con material seleccionado	Instalación de obras de drenaje	Relleno de terraplenes	Conformación de taludes	Compactación y nivelación de rasante
				B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11
MEDIO FÍSICO	Geología y Geomorfología	Topografía	M1			X			X				X	
	Suelo	Cobertura vegetal	M2						X					
		Contaminación del suelo	M3				X	X			X			
		Erosión (Pérdida de suelo)	M4	X		X			X					
		Sedimentación	M5					X						
	Agua	Agua superficial	M6								X			
		Agua subterránea	M7											
	Aire	Ruido	M8			X	X	X	X	X		X	X	X
		Partículas	M9			X	X	X	X	X		X		
		Gases	M10			X			X					
	Clima y Amenazas	Inundación	M11											
		Inestabilidad del terreno	M12			X						X	X	
	Paisaje	Paisaje Natural	M13	X					X					
MEDIO BIÓTICO	Flora	Arbustiva	M14	X		X			X					
		Especies forestales	M15						X					
	Fauna	Aves	M16						X					
		Especies terrestres	M17						X					
		Especies acuáticas	M18											
MEDIO SOCIOECONÓMICO	Economía	Empleo	M19	X		X	X		X	X	X	X	X	X
		Demanda de bienes y servicios	M20											
		Plusvalía del suelo	M21						X					
	Transporte y vialidad	Accesibilidad/Fluides del tránsito	M22			X								X
		Accidentalidad	M23		X								X	X
	Calidad de vida	Vivienda e infraestructura	M24						X					
		Salud	M25											

4.3.3.5 Identificación de impactos en ODT-5

- **Factores ambientales del medio físico a sufrir impactos**

ETAPA	ACTIVIDAD	FACTOR AMBIENTAL IMPACTADO	CÓDIGO	NATURALEZA DEL IMPACTO	DESCRIPCIÓN
PRELIMINARES	Limpieza de vegetación en el cauce cercana a la obra	Erosión (Pérdida de suelo)	B1M4	Negativo	Pérdida del suelo natural cercano al quedar desprotegido ante la erosión
	Limpieza de vegetación en el cauce cercana a la obra	Paisaje Natural	B1M13	Negativo	Alteración puntual del paisaje natural del tramo de carretera, percibido como un cambio provocado en este
MOVIMIENTO DE TIERRA	Excavación del área de trabajo	Topografía	B3M1	Negativo	Cambio local del relieve de la carretera y su alrededor en el área excavada
	Excavación del área de trabajo	Erosión (Pérdida de suelo)	B3M4	Negativo	Desprendimiento de suelo que conforma la carretera y su alrededor producto de la excavación
	Excavación del área de trabajo	Ruido	B3M8	Negativo	Ruido temporal y local en el ambiente generado temporalmente en el área de excavación
	Excavación del área de trabajo	Partículas	B3M9	Negativo	Desprendimiento de partículas de polvo producto de la excavación del área de la obra
	Excavación del área de trabajo	Gases	B3M10	Negativo	Contaminación del aire local por emisión de CO_2 de la maquinaría en la excavación
	Excavación del área de trabajo	Inestabilidad del terreno	B3M12	Negativo	Cambio de las propiedades físicas de la estructura del suelo con riesgo de desprendimiento en el área de excavación
DEMOLOCIÓN DE OBRAS EXISTENTES	Demolición de estructura de obra existente	Contaminación del suelo	B4M3	Negativo	Incorporación de elementos contaminantes (restos de escombros) en la superficie del suelo cerca de la obra que pueden introducirse en estratos más profundos
	Demolición de estructura de obra existente	Ruido	B4M8	Negativo	Ruido temporal en el ambiente durante la demolición de obra existente
	Demolición de estructura de obra existente	Partículas	B4M9	Negativo	Desprendimiento de partículas de polvo producto de la demolición de estructura existente
	Traslado y depósito de escombros de demolición	Contaminación del suelo	B5M3	Negativo	Incorporación de elementos contaminantes (restos de escombros) en la superficie del suelo de depósito que pueden introducirse en estratos más profundos
	Traslado y depósito de escombros de demolición	Sedimentación	B5M5	Negativo	Arrastre y acumulación de restos de escombros que alcancen fuentes de agua
	Traslado y depósito de escombros de demolición	Ruido	B5M8	Negativo	Ruido temporal en el ambiente durante el traslado de escombros de demolición
	Traslado y depósito de escombros de demolición	Partículas	B5M9	Negativo	Desprendimiento de partículas de polvo en el área de depósito de escombros

ETAPA	ACTIVIDAD	FACTOR AMBIENTAL IMPACTADO	CÓDIGO	NATURALEZA DEL IMPACTO	DESCRIPCIÓN
CONSTRUCCIÓN DE OBRA DE DRENAJE	Explotación de banco de materiales	Topografía	B6M1	Negativo	Cambio del relieve natural del área del banco de materiales
	Explotación de banco de materiales	Cobertura vegetal	B6M2	Negativo	Eliminación de la cobertura vegetal en el área del banco de materiales, cambiando el uso de suelo y alterando la protección de este, así como cambios en la escorrentía
	Explotación de banco de materiales	Erosión (Pérdida de suelo)	B6M4	Negativo	Pérdida de suelo en el área de explotación del banco de materiales, erosión a largo plazo del terreno
	Explotación de banco de materiales	Ruido	B6M8	Negativo	Ruido temporal en el ambiente por maquinaria pesada durante las operaciones de corte, carga y traslado de material
	Explotación de banco de materiales	Partículas	B6M9	Negativo	Desprendimiento de partículas de polvo (en un área extendida) producto del corte, carga y traslado del material de préstamo
	Explotación de banco de materiales	Gases	B6M10	Negativo	Contaminación del aire local por emisión de CO2 de la maquinaría en el banco de materiales
	Explotación de banco de materiales	Paisaje Natural	B6M13	Negativo	Alteración parcial del paisaje natural del sitio de explotación de banco de materiales
	Relleno con material seleccionado	Ruido	B7M8	Negativo	Ruido temporal en el ambiente por maquinaria realizando trabajos de relleno y compactación para estabilidad de estructura nueva
	Relleno con material seleccionado	Partículas	B7M9	Negativo	Desprendimiento de partículas de polvo producto del relleno y compactación para estabilidad de estructura nueva
	Instalación de obras de drenaje y su protección	Contaminación del suelo	B8M3	Negativo	Incorporación de elementos contaminantes (desperdicios de materiales de construcción) en la superficie del suelo cerca de la obra que pueden introducirse en estratos más profundos
	Instalación de obras de drenaje y su protección	Agua superficial	B8M6	Negativo	Cambio del escurrimiento natural y alteraciones físicas y químicas de la calidad del agua por incorporación de obra nueva
RECONSTRUCCIÓN VIAL	Relleno de terraplenes	Ruido	B9M8	Negativo	Ruido temporal en el ambiente por maquinaria realizando trabajos de relleno y compactación de terraplenes
	Relleno de terraplenes	Partículas	B9M9	Negativo	Desprendimiento de partículas de polvo producto del relleno y compactación para restauración de la vía
	Relleno de terraplenes	Inestabilidad del terreno	B9M12	Positivo	Mejora de las propiedades físicas de la estructura del suelo que evita daños sobre la via
	Conformación de taludes	Topografía	B10M1	Positivo	Cambio local del relieve lateral de la carretera para su mejoramiento
	Conformación de taludes	Ruido	B10M8	Negativo	Ruido temporal en el ambiente por maquinaria realizando trabajos de conformación de taludes
	Conformación de taludes	Inestabilidad del terreno	B10M12	Positivo	Mejora de las propiedades físicas de la estructura del suelo que evita daños cercanos a la via
	Compactación y nivelación de rasante	Ruido	B11M8	Negativo	Ruido temporal en el ambiente por maquinaria realizando trabajos de compactación y nivelación de rasante

- **Factores ambientales del medio biótico a sufrir impactos**

ETAPA	ACTIVIDAD	FACTOR AMBIENTAL IMPACTADO	CÓDIGO	NATURALEZA DEL IMPACTO	DESCRIPCIÓN
PRELIMINARES	Limpieza de vegetación en el cauce cercana a la obra	Flora arbustiva	B1M14	Negativo	Eliminación de vegetación arbustiva sobre el cauce muy cercanas a la entrada (aguas arriba) y salida (aguas abajo) de la obra
MOVIMIENTO DE TIERRA	Excavación del área de trabajo	Flora arbustiva	B3M14	Negativo	Daños y eliminación a la vegetación arbustiva cercana al área de excavación
CONSTRUCCIÓN DE OBRA DE DRENAJE	Explotación de banco de materiales	Flora arbustiva	B6M14	Negativo	Eliminación de vegetación arbustiva existente en el sitio destinado como banco de materiales
	Explotación de banco de materiales	Especies forestales	B6M15	Negativo	Disminución del número de ejemplares de especies forestales existente en el sitio destinado como banco de materiales
	Explotación de banco de materiales	Aves	B6M16	Negativo	El derribe de árboles elimina el hábitat y nidos de las especies de aves locales
	Explotación de banco de materiales	Especies terrestres	B6M17	Negativo	Deterioro de un considerable espacio de hábitat de animales terrestres

- **Factores ambientales del medio socioeconómico a sufrir impactos**

ETAPA	ACTIVIDAD	FACTOR AMBIENTAL IMPACTADO	CÓDIGO	NATURALEZA DEL IMPACTO	DESCRIPCIÓN
PRELIMINARES	Limpieza de vegetación en el cauce cercana a la obra	Empleo	B1M19	Positivo	Ocupación de personal para ejecutar este trabajo manual
	Señalización de construcción de obras	Accidentalidad	B5M23	Positivo	Permite al tránsito vehicular, y de personas, estar advertidos y evitar situaciones de riesgo
MOVIMIENTO DE TIERRA	Excavación del área de trabajo	Empleo	B3M19	Positivo	Involucra mayormente a operadores de maquinaria pesada para realizar esta actividad
	Excavación del área de trabajo	Accesibilidad/Fluides del tránsito	B3M22	Negativo	Afecta la vía de tránsito dificultando la movilización y aumentando los tiempos de viaje
DEMOLOCIÓN DE OBRAS EXISTENTES	Demolición de estructura de obra existente	Empleo	B4M19	Positivo	Trabajo realizado por operadores de maquinaría especializada complementado con labores manuales
CONSTRUCCIÓN DE OBRA DE DRENAJE	Explotación de banco de materiales	Empleo	B6M19	Positivo	Involucra mayormente a operadores de maquinaria pesada (corte, carga y transporte) para realizar esta actividad
	Explotación de banco de materiales	Plusvalía del suelo	B6M21	Positivo	Incremento en el valor del terreno en que se ubica el banco de materiales
	Explotación de banco de materiales	Vivienda e infraestructura	B6M24	Positivo	Acceso (por compra o acuerdos) al material disponible del BM para mejoras de suelo en caminos a terrenos privados o cimentaciones de estructuras considerables
	Relleno con material seleccionado	Empleo	B7M19	Positivo	Trabajo realizado por operadores de maquinaria pesada (descarga y compactación del material) complementado con labores manuales
	Instalación de obras de drenaje y su protección	Empleo	B8M19	Positivo	Involucra una considerable mano de obra de trabajo manual, con asistencia de maquinaria especializada (camión mezclador de concreto)
RECONSTRUCCIÓN VIAL	Relleno de terraplenes	Empleo	B9M19	Positivo	Trabajo realizado por operadores de maquinaria pesada complementado con labores manuales
	Conformación de taludes	Empleo	B10M19	Positivo	Trabajo realizado por operadores de maquinaria pesada complementado con labores manuales
	Conformación de taludes	Accidentalidad	B10M23	Positivo	Proporciona seguridad a la vía, y a los vehículos que en esta circulan, ante amenazas de inestabilidad de suelo
	Compactación y nivelación de rasante	Empleo	B11M19	Positivo	Trabajo realizado por operadores de maquinaria pesada complementado con labores manuales
	Compactación y nivelación de rasante	Accesibilidad/Fluides del tránsito	B11M22	Positivo	Restauración de la vía original con medidas adecuadas para la circulación vehicular
	Compactación y nivelación de rasante	Accidentalidad	B11M23	Positivo	Influye en la disminución de posibles accidentes vehiculares

4.3.3.6 Matriz de valoración de impactos en ODT-5

IMPACTOS	Valores de símbolos de los impactos											Importancia	Nivel de Importancia	Valor Máximo de Importancia
	Naturaleza	Intensidad (Grado de destrucción)	Extensión (área de influencia)	Momento (plazo de manifestación)	Persistencia (permanencia del efecto)	Reversibilidad	Sinergia (regularidad de manifestación)	Recuperabilidad (reconstrucción por medios humanos)	Acumulación (Incremento progresivo)	Efecto (relación causa-efecto)	Periocidad (regularidad de la manifestación)			
Código	**Signo**	**IN**	**EX**	**MO**	**PE**	**RV**	**SI**	**MC**	**AC**	**EF**	**PR**	**I**	**I**	**I**
B1M4	-	1	1	3	2	2	2	2	1	4	1	-22	IRRELEVANTE	100
B1M13	-	1	1	4	1	2	1	2	1	4	1	-21	IRRELEVANTE	100
B1M14	-	2	1	4	2	1	2	2	4	4	1	-28	MODERADO	100
B1M19	+	2	1	3	1	4	2	2	1	4	1	26	MODERADO	100
B2M23	+	1	1	1	1	4	2	2	1	4	1	21	IRRELEVANTE	100
B3M1	-	3	1	3	1	4	2	2	1	4	1	-29	MODERADO	100
B3M4	-	8	1	3	1	2	2	2	4	4	1	-45	MODERADO	100
B3M8	-	3	1	4	1	1	1	1	1	4	2	-26	MODERADO	100
B3M9	-	3	1	4	1	1	2	2	1	4	1	-27	MODERADO	100
B3M10	-	2	1	4	1	1	2	2	4	4	1	-27	MODERADO	100
B3M12	-	8	1	3	1	4	4	2	1	4	1	-46	MODERADO	100
B3M14	-	1	1	4	2	2	1	2	4	4	1	-25	MODERADO	100
B3M19	+	1	1	3	1	4	2	2	1	4	1	23	IRRELEVANTE	100
B3M22	-	4	4	4	1	4	2	2	4	4	1	-42	MODERADO	100
B4M3	-	2	1	2	3	3	2	2	4	4	1	-29	MODERADO	100
B4M8	-	2	1	4	1	1	1	1	1	4	2	-23	IRRELEVANTE	100
B4M9	-	2	1	4	1	1	2	2	1	4	1	-24	IRRELEVANTE	100
B4M19	+	1	1	3	1	4	2	2	1	4	1	23	IRRELEVANTE	100
B5M3	-	2	1	2	3	3	2	3	4	4	1	-30	MODERADO	100
B5M5	-	2	1	3	1	4	2	2	4	4	1	-29	MODERADO	100
B5M8	-	1	2	4	1	1	1	1	1	4	1	-21	IRRELEVANTE	100
B5M9	-	2	2	4	1	1	2	2	1	4	2	-27	MODERADO	100
B6M1	-	3	2	3	4	4	2	8	4	4	1	-43	MODERADO	100
B6M2	-	8	1	3	3	3	2	3	1	4	2	-47	MODERADO	100
B6M4	-	4	1	3	3	3	2	3	4	4	2	-38	MODERADO	100
B6M8	-	3	1	4	1	1	1	1	1	4	2	-26	MODERADO	100
B6M9	-	3	2	4	1	1	2	2	1	4	2	-30	MODERADO	100

IMPACTOS	Valores de símbolos de los impactos											Importancia	Nivel de Importancia	Valor Máximo de Importancia
	Naturaleza	Intensidad (Grado de destrucción)	Extensión (área de influencia)	Momento (plazo de manifestación)	Persistencia (permanencia del efecto)	Reversibilidad	Sinergia (regularidad de manifestación)	Recuperabilidad (reconstrucción por medios humanos)	Acumulación (Incremento progresivo)	Efecto (relación causa-efecto)	Periocidad (regularidad de la manifestación)			
Código	**Signo**	**IN**	**EX**	**MO**	**PE**	**RV**	**SI**	**MC**	**AC**	**EF**	**PR**	**I**	**I**	**I**
B6M10	-	2	1	4	1	1	2	2	4	4	2	-28	MODERADO	100
B6M13	-	3	2	3	4	4	1	8	1	4	2	-40	MODERADO	100
B6M14	-	4	1	4	3	3	2	3	4	4	2	-39	MODERADO	100
B6M15	-	4	1	4	3	3	2	4	1	4	2	-37	MODERADO	100
B6M16	-	4	1	3	2	3	1	4	1	4	2	-34	MODERADO	100
B6M17	-	2	1	3	2	2	2	4	1	4	2	-28	MODERADO	100
B6M19	+	2	2	3	1	4	2	2	1	4	2	29	MODERADO	100
B6M21	+	2	2	2	3	3	4	3	4	1	2	32	MODERADO	100
B6M24	+	2	2	2	3	3	4	3	4	1	1	31	MODERADO	100
B7M8	-	2	1	4	1	1	1	1	1	4	1	-22	IRRELEVANTE	100
B7M9	-	2	1	4	1	1	2	2	1	4	1	-24	IRRELEVANTE	100
B7M19	+	1	1	3	1	4	2	2	1	4	1	23	IRRELEVANTE	100
B8M3	-	4	1	3	3	3	2	8	4	4	1	-42	MODERADO	100
B8M6	-	4	1	3	4	4	2	2	1	4	4	-38	MODERADO	100
B8M19	+	2	1	3	1	4	2	2	1	4	1	26	MODERADO	100
B9M8	-	2	1	4	1	1	1	1	1	4	1	-22	IRRELEVANTE	100
B9M9	-	2	1	4	1	1	2	2	1	4	1	-24	IRRELEVANTE	100
B9M12	+	4	1	4	3	3	4	2	1	4	1	36	MODERADO	100
B9M19	+	1	1	3	1	4	2	2	1	4	1	23	IRRELEVANTE	100
B10M1	+	1	1	3	3	3	2	2	1	4	1	24	IRRELEVANTE	100
B10M8	-	2	1	4	1	1	1	1	1	4	1	-22	IRRELEVANTE	100
B10M12	+	4	1	3	2	2	4	2	1	4	1	33	MODERADO	100
B10M19	+	1	1	3	1	4	2	2	1	4	1	23	IRRELEVANTE	100
B10M23	+	2	2	4	4	2	4	2	1	4	4	35	MODERADO	100
B11M8	-	2	1	4	1	1	1	1	1	4	1	-22	IRRELEVANTE	100
B11M19	+	1	1	3	1	4	2	2	1	4	1	23	IRRELEVANTE	100
B11M22	+	2	2	4	4	2	2	2	4	4	4	36	MODERADO	100
B11M23	+	2	2	4	4	2	4	2	1	4	4	35	MODERADO	100

4.3.3.7 Matriz de importancia en ODT-5

ACCIONES DEL PROYECTO				ETAPAS DE CONSTRUCCIÓN													
				PRELIMINARES		MOVIMIENTO DE TIERRA	DEMOLOCIÓN DE OBRAS EXISTENTES		CONSTRUCCIÓN DE OBRA DE DRENAJE			RECONSTRUCCIÓN VIAL			Valor de alteración	Máximo valor de alteración	Grado de alteración
MEDIO	CATEGORIAS	FACTOR AMBIENTAL	CÓDIGO	Limpieza de vegetación en el cauce cercana a la obra	Señalización de construcción de obras	Excavación del área de trabajo	Demolición de estructura de obra existente	Traslado y depósito de escombros de demolición	Explotación de banco de materiales	Relleno con material seleccionado	Instalación de obras de drenaje	Relleno de terraplenes	Conformación de taludes	Compactación y nivelación de rasante			
				B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11			
MEDIO FÍSICO	Geología y Geomorfología	Topografía	M1			-29			-43				24		-48	300	-16.00
	Suelo	Cobertura vegetal	M2						-47						-47	100	-47.00
		Contaminación del suelo	M3				-29	-30			-42				-101	300	-33.67
		Erosión (Pérdida de suelo)	M4	-22		-45			-38						-105	300	-35.00
		Sedimentación	M5					-29							-29	100	-29.00
	Agua	Agua superficial	M6								-38				-38	100	-38.00
		Agua subterránea	M7												0	0	0.00
	Aire	Ruido	M8			-26	-23	-21	-26	-22		-22	-22	-22	-184	800	-23.00
		Partículas	M9			-27	-24	-27	-30	-24		-24			-156	600	-26.00
		Gases	M10			-27			-28						-55	200	-27.50
	Clima y Amenazas	Inundación	M11												0	0	0.00
		Inestabilidad del terreno	M12			-46						36	33		23	300	7.67
	Paisaje	Paisaje Natural	M13	-21					-40						-61	200	-30.50
MEDIO BIÓTICO	Flora	Arbustiva	M14	-28		-25			-39						-92	300	-30.67
		Especies forestales	M15						-37						-37	100	-37.00
	Fauna	Aves	M16						-34						-34	100	-34.00
		Especies terrestres	M17						-28						-28	100	-28.00
		Especies acuáticas	M18												0	0	0.00
MEDIO SOCIOECONÓMICO	Economía	Empleo	M19	26		23	23		29	23	26	23	23	23	219	900	24.33
		Demanda de bienes y servicios	M20												0	0	0.00
		Plusvalía del suelo	M21						32						32	100	32.00
	Transporte y vialidad	Accesibilidad/Fluides del tránsito	M22			-42								36	-6	200	-3.00
		Accidentalidad	M23		21								35	35	91	300	30.33
	Calidad de vida	Vivienda e infraestructura	M24						31						31	100	31.00
		Salud	M25												0	0	0.00
Valor de alteración				-45	21	-244	-53	-107	-298	-23	-54	13	93	72	-625		
Máximo valor de alteración				400	100	900	400	400	1400	300	300	400	500	400		1100	
Grado de alteración				-11.25	21.00	-27.11	-13.25	-26.75	-21.29	-7.67	-18.00	3.25	18.60	18.00			-11.36

4.3.3.8 Análisis del estudio de impacto ambiental en ODT-5

- **Identificación**

En la identificación de impactos se obtuvieron 55 impactos en los factores ambientales, siendo 18 positivos (33%) y 37 negativos (67%). Se observa que el factor que recibe más impactos negativos (8) por la ejecución de las actividades del proyecto es el del ruido en el aire (M8), pues muchas de las acciones utilizan maquinaria pesada que opera a niveles de considerables de ruido. Por el contrario, el factor que recibe más impactos positivos (9) es el del empleo temporal (M19), este también es el factor que más impactos recibe en la construcción del proyecto. No solo contando con los casos máximos, se observa una mayor concentración de impactos negativos sobre los medios físico y biótico, mientras que en el medio socioeconómico es mayor la presencia de impactos positivos.

Sin embargo, los factores de la topografía (M1), la inestabilidad del terreno (M12) y la accesibilidad (M22) son afectados por ambas naturalezas de impactos. Mientras que los factores de agua subterránea, inundación, especies acuáticas, demandas de bienes y servicios, y la salud, no se ven afectados por ningún impacto, debido a que los trabajos realizados en esta obra son sin presencia de escorrentía en el cauce de la misma. Además, que la poca magnitud y tiempo de los trabajos durante la construcción, y el no tener cerca viviendas ocupadas por pobladores, hace que la necesidad del personal por servicios e insumos, y el peligro por accidentes sea reducido a niveles mínimos haciendo imperceptible de medir tal impacto.

Al analizar desde las acciones que generan los impactos, todas las actividades de construcción producen por lo menos un impacto, siendo la explotación del banco de materiales (B6) la que más impactos ocasiona (14), con 11 negativos y 3 positivos. Por otro lado, la activada que más impactos positivos genera (4) corresponde a la conformación de taludes (B10) que es una acción de reconstrucción.

- **Importancia y grado de alteración**

La importancia calculada para los impactos resulta mayor en aquellos donde ciertas actividades inciden sobre todo en los atributos de intensidad, momento, reversibilidad, acumulación y efecto.

Muchos de los impactos tienen la condición, por el tipo de proyecto, de tener la persistencia (permanencia del impacto) como momentáneo, pues en la escala de tiempo que contempla este símbolo, se hace la reconstrucción del factor o para la alteración que se estaba produciendo. Sin embargo, algunos de los impactos no son momentáneos, pues estos no son de las acciones en el área de influencia directa, tal es el caso de la pérdida de cobertura vegetal en el área de explotación del banco de materiales (B6M2) que es el mayor impacto negativo en el proyecto con un valor de importancia de -47. Por su contraparte los mayores impactos positivos con un valor de 36, debidos a las actividades de reconstrucción vial, son por la mejora de la estabilidad del suelo (B9M12) comparado a las condiciones originales, y se recupera positivamente el tránsito por ese sector de la carretera (B11M22).

De la matriz de importancia de la construcción del proyecto de ODT-5 se obtuvo que el factor del empleo (M19), con la mayor cantidad de impactos, tiene un grado de alteración de 24.33, como promedio de la importancia de este en el proyecto. Mientras que en el factor con más impactos negativos (M8) resultó con un grado de alteración de -23.00. Sin embargo, los factores con valores más altos en grado de alteración son la cobertura vegetal (M2) y la plusvalía del suelo (M21) con -47.00 y 32.00 respectivamente. Esto se debe a que solo son afectados por un impacto.

Las actividades generadoras de más impactos, positivos y negativos, tuvieron un grado de alteración de 18.60 (B10) y -21.29 (B6) respectivamente. Aunque las de mayor grado de alteración fueron las actividades B2 con 21.00 y B3 con -27.11.

4.3.3.9 Medidas de mitigación del impacto ambiental en ODT-5

Las medidas de mitigación a implementar serán aplicadas a los impactos ambientales negativos con valores altos de importancia, todos aquellos que se estudió una forma posible de reducir o revertir el daño que estos generan. También dando respuesta a aquellos impactos que son más frecuentes durante todo el proceso de construcción.

Las medidas de mitigación que se presentan son para solventar el efecto del impacto moderado de algunas actividades, siendo unas de planificación anticipada incluso antes de empezar actividades, otras que se realizarán en simultaneo con las acciones constructivas, y las que son trabajos adicionales cuando ya una actividad dejó de intervenir en el medio o incluso ya habiendo finalizado el proyecto.

Se describe en la tabla el factor ambiental, la actividad generadora del impacto y las medidas ambientales propuestas.

Tabla 78 Medidas de mitigación de impactos ambientales para ODT-5

Factor Ambiental Impactado	Actividad Generadora del Impacto	Medidas Ambientales
Contaminación del suelo	Construcción de la obra de drenaje	Manejo adecuado de la basura y desechos sólidos sobrantes.
Erosión (Pérdida de suelo)	Excavación del área de trabajo	La tierra suelta por la excavación se debe mover temporalmente a una zona apartada del cauce de la obra. En caso de lluvias se deben cubrir estos volúmenes de tierra con lonas (plástico negro) para disminuir el arrastre de partículas de suelo.
	Explotación de banco de materiales	Realizar cálculos de volúmenes precisos antes de extraer el material del banco, minimizando así el desperdicio a generarse de suelo suelto propenso a erosionarse y ser arrastrado.
Ruido	Múltiples actividades que involucran maquinaria pesada	Dotar a los trabajadores que operan la maquinaria pesada y los que permanecen cerca de estas, protecciones individuales del aparato auditivo.

Factor Ambiental Impactado	Actividad Generadora del Impacto	Medidas Ambientales
Partículas	Múltiples actividades de movimiento tierra	Realizar riesgo con agua en lugares de trabajo y áreas pobladas para evitar la formación de polvo en exceso. Uso de mascarilla y gafas.
Inestabilidad del terreno	Excavación del área de trabajo	Las tierras extraídas se acopiarán a una distancia del borde de excavación igual o mayor a la profundidad de la misma. Tomar las medidas de seguridad para evitar accidentes por derrumbes de zanjas.
Paisaje Natural	Limpieza de vegetación en el cauce cercana a la obra	Cuando se realice destronque en sitios que lo ameriten, deberá realizarse inmediatamente la limpieza del lugar, evitando dejar escombros o suciedades a la vista de la vía pública.
Arbustiva	Explotación de banco de materiales	Las diferentes especies arbustivas que existan dentro del sitio del BM, deberán ser nuevamente sembradas al menos en el espacio que solo fue usado para amontono de material y operación de maquinaria de carga y transporte, al momento de darse el abandono del proyecto.
Especies forestales	Explotación de banco de materiales	Contabilizar el número de especímenes de especies forestales en el BM que serán necesariamente talados para realizar su reposición plantándolos en un área cercana.
Especies terrestres	Explotación de banco de materiales	Los animales de especies que sean consideradas como de alto riesgo y estén propensos a sufrir consecuencias por encontrarse cercanas al banco de material en uso, deberán ser recolocadas en dentro de un área silvestre dentro de la Reserva Natural Cerro Datanlí - El Diablo.
Accesibilidad (Fluidez del tránsito)	Excavación del área de trabajo	Colocar la correspondiente señalización vial de obstáculos con suficiente anticipación (conos, barreras, señal de hombres trabajando), de acuerdo a lo establecido en el Manual sobre Señales Viales Uniformes del SIECA (2014).

4.3.4 ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL ODT-9

4.3.4.1 Clasificación ambiental de ODT-9

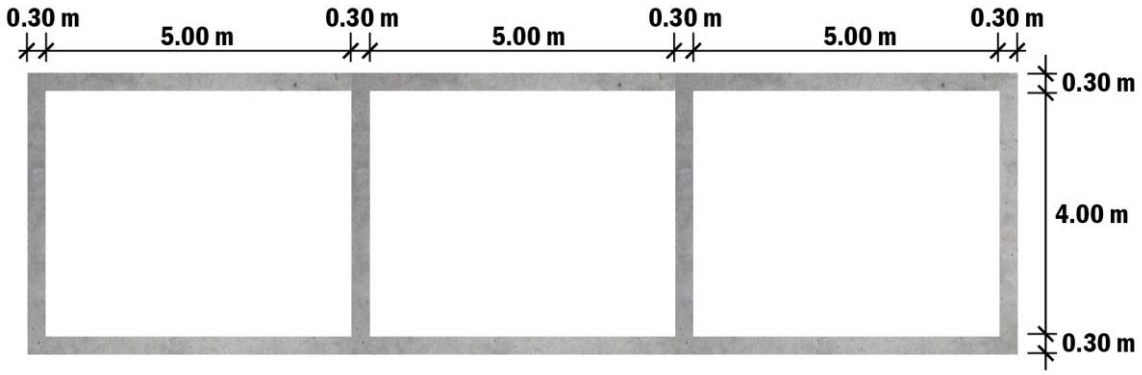
Según el sistema de evaluación ambiental (Decreto 20-2017), publicado en la gaceta del diario oficial No. 228, establece en su capítulo V, artículo 18, la **Categoría Ambiental IV** para este tipo de proyecto.

Por lo que se considera que puede causar impactos ambientales bajos, los que quedaran sujetos al cumplimiento de las medidas ambientales, las que se integraran a un programa de gestión ambiental como condición para la emisión de una Autorización Ambiental dada por el MARENA, a través de sus Delegaciones Territoriales.

4.3.4.2 Descripción técnica de ODT-9

La estructura de drenaje transversal pasa de ser una 2 CCR 3.5 x 2 (caja doble de concreto reforzado de 3.5 m de ancho por 2.0 m de alto) a una 3 CCR 5 x 4 (caja triple de concreto reforzado de 5 m de ancho por 4 m de alto), teniendo una longitud en su perfil de 5.0 m. La estructura de concreto de la triple caja se construirá en el sitio, siguiendo los planos y especificaciones técnicas de su diseño estructural. La estructura también incluye sus aletones en la entrada y salida del agua. Las medidas de la estructura de la caja triple se muestran en el siguiente esquema de su vista frontal.

Figura 46 Esquema de la caja puente propuesta para ODT-9



87.12 m^3 de concreto de 4000 psi (sin incluir aletones). El volumen de excavación de tierra es alto, se precisa de un levantamiento topográfico detallado para calcular con presión este y cualquier volumen de tierra a excavar o rellenar.

4.3.4.3 Etapas de construcción de ODT-9

Las actividades de construcción de la ODT-9 se realizarán con lo requerido de personal, equipos y maquinaria necesarios para su ejecución en un tiempo amplio, considerando que el tamaño de esta obra es lo bastante grande a comparación del resto de obras hidráulicas diseñadas. Se estima un tiempo de 2 meses para finalizar la construcción de esta obra.

- **Preliminares**

  - **Limpieza de vegetación en el cauce cercana a la obra**

Trabajo manual que se realiza antes de empezar la obra para despejar sitios de colocación temporal de materiales, o donde se posicionaran equipos durante la ejecución de las demás actividades (instrumentos de topografía para tomar medidas antes, durante y al finalizar la construcción). Los recursos para ejecutar esta actividad son mínimos y puede ser previsible de las demás actividades.

  - **Traslado de maquinaria y materiales**

La movilización de la maquinaria pesada y todos los materiales al sitio del proyecto puede no ser realizada en un mismo momento por lo que la ejecución de esta acción se hará notar en el tramo de carretera para acceder al sitio designado.

  - **Instalación de planteles y bodega**

Se incluyen tanto las labores de preparar el sitio, como de la operación de este mientras se realiza la construcción. En la operación de este lugar habrá personal a cargo del control de uso y almacenamiento de maquinaria, equipos y materiales a ser empleados en la obra.

  - **Desvío vehicular y redirección de la corriente de agua**

Se realizan obras temporales para permitir la circulación de vehículos y personas, a su vez por medio de canales excavados redireccionar la corriente de agua del cauce, para no dificultar las labores de construcción.

- **Señalización de construcción de obras**

La instalación de señales temporales de aviso y precaución por obras que se ejecutan en la carretera para alertar a los usuarios de la carretera.

- **Movimiento de tierra**

- **Excavación del área de trabajo**

Se hará uso de maquinaria pesada para extraer y mover la tierra alrededor de la obra existente hasta más de la longitud de la nueva obra.

- **Demolición de obra existente**

- **Demolición de estructura de obra existente**

Se ejecutará haciendo uso de maquinaria pesada y especializada para romper los elementos de concreto reforzado de la actual estructura.

- **Traslado y depósito de escombros de demolición**

Consiste en transportar y descargar en el sitio asignado como botadero los escombros de material de la obra demolida.

- **Construcción de obra de drenaje**

- **Explotación de banco de materiales**

Es el conjunto de acciones de cortar material del sitio del banco, cargarlo y transportarlo hasta el lugar de construcción de la obra. En la construcción de esta obra (la mayor de todos los diseños hidráulicos realizados) el volumen de material del banco a utilizar es mayor, ya que será solicitado en el relleno de suelo mejorado donde se asentará la estructura, además de la necesaria subida del nivel de rasante de la carretera en la proximidad a la nueva obra.

- **Explotación de fuentes de agua**

Para la conformación del relleno y estratos de suelo de la carretera antes, por encima y después de la obra, se requiere de una adecuada compactación que necesite suficiente agua para alcanzar los porcentajes de humedad necesarios. Por lo que se extraerá agua directamente de cualquiera de los lugares disponibles a ser explotados como fuentes de agua.

- **Relleno con material seleccionado**

Uso de suelo mejorado, desde un estrato firme, como base para la estructura de drenaje 3 CCR 5 x 4. Para la compactación de esta base se usará maquinaria pesada de compactación.

- **Construcción de estructura de la obra de drenaje**

Se iniciará por la losa inferior de la estructura, continuando luego con el armado en acero de los muros que dividen las 3 cajas, para luego encofrarlos y llenar de concreto. Después se continua con el armado, encofrado y vaciado de concreto para la losa superior, también se construyen los aletones en la entrada y salida.

Por los volúmenes de concreto de la obra se usarán camiones mezcladores para transportar y facilitar el vaciado del concreto.

- **Reconstrucción vial**

- **Relleno de terraplenes**

Consiste en el antes mencionado relleno y reconstrucción de los estratos de suelo adecuados de la carretera, utilizando material extraído del banco de materiales. La compactación por capas, precisada por un estudio de suelos, ocupará de riego de agua para humedecer el suelo por camión cisterna y compactadora de rodillo.

- **Conformación de taludes**

Con los aletones de la obra ya construidos, se sigue con la formación de los taludes laterales de la carretera alrededor de estos. Se realizarán adecuadamente para no dañar la superficie final, para evitar la descompresión prematura o excesiva de su pie y contrarrestar cualquier otra causa que pueda comprometer la estabilidad del talud de corte final.

- **Compactación y nivelación de rasante**

Se reconstruirá la rasante de la carretera abarcada en el área de influencia directa dándole la elevación que tuvo que ser aumentada por las dimensiones de la nueva obra, se conservara el ancho de carretera antes existente.

- **Disposiciones finales**

- **Movimiento de tierra sobrante**

Luego de finalizar la construcción, los volúmenes de tierra sobrante dispersos o amontonados en el área de influencia directa serán movidos y descargados en el sitio asignado como botadero de tierra sobrante.

- **Señalización vial**

Posterior a haber terminado actividades de construcción de la nueva obra se deberá colocar la respectiva señal vial de cruce de la obra hidráulica.

4.3.4.4 Matriz Causa – Efecto de impactos a generarse en ODT-9

ACCIONES DEL PROYECTO				ETAPAS DE CONSTRUCCIÓN																
				PRELIMINARES					MOVIMIENTO DE TIERRA	DEMOLOCIÓN DE OBRAS EXISTENTES		CONSTRUCCIÓN DE OBRA DE DRENAJE				RECONSTRUCCIÓN VIAL			DISPOSICIONES FINALES	
MEDIO	CATEGORIAS	FACTOR AMBIENTAL	CÓDIGO	Limpieza de vegetación en el cauce cercana a la obra	Transporte de maquinaria y materiales	Instalación de planteles y bodega	Desvio vehícular y redirección de la corriente de agua	Señalización de construcción de obras	Excavación del área de trabajo	Demolición de estructura de obra existente	Traslado y depósito de escombros de demolición	Explotación de banco de materiales	Explotación de fuentes de agua	Relleno con material seleccionado	Construcción de estructura de la obra de drenaje	Relleno de terraplenes	Conformación de taludes	Compactación y nivelación de rasante	Movimiento de tierra sobrante	Señalización vial
				C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17
MEDIO FÍSICO	Geología y Geomorfología	Topografía	M1				X		X			X					X			
	Suelo	Cobertura vegetal	M2			X	X		X			X								
		Contaminación del suelo	M3			X				X	X				X					
		Erosión (Pérdida de suelo)	M4	X		X			X			X								
		Sedimentación	M5				X				X								X	
	Agua	Agua superficial	M6				X		X				X		X					
		Agua subterranea	M7										X							
	Aire	Ruido	M8		X	X			X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	
		Partículas	M9				X		X	X	X	X		X		X	X		X	
		Gases	M10		X				X			X	X			X	X			
	Clima y Amenazas	Inundación	M11				X		X											
		Inestabilidad del terreno	M12						X							X	X		X	
	Paisaje	Paisaje Natural	M13	X		X	X		X			X								
MEDIO BIÓTICO	Flora	Arbustiva	M14	X					X			X								
		Especies forestales	M15									X								
	Fauna	Aves	M16									X								
		Especies terrestres	M17			X			X			X								
		Especies acuáticas	M18				X		X				X		X					
MEDIO SOCIOECONÓMICO	Economía	Empleo	M19	X		X	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X		
		Demanda de bienes y servicios	M20			X														
		Plusvalía del suelo	M21									X								
	Transporte y vialidad	Accesibilidad/Fluides del tránsito	M22		X		X		X									X		X
		Accidentalidad	M23					X									X	X		X
	Calidad de vida	Vivienda e infraestructura	M24									X								
		Salud	M25						X	X										

4.3.4.5 Identificación de impactos en ODT-9

- **Factores ambientales del medio físico a sufrir impactos**

ETAPA	ACTIVIDAD	FACTOR AMBIENTAL IMPACTADO	CÓDIGO	NATURALEZA DEL IMPACTO	DESCRIPCIÓN
PRELIMINARES	Limpieza de vegetación en el cauce cercana a la obra	Erosión (Pérdida de suelo)	C1M4	Negativo	Pérdida del suelo natural cercano al quedar desprotegido ante la erosión
	Limpieza de vegetación en el cauce cercana a la obra	Paisaje Natural	C1M13	Negativo	Alteración puntual del paisaje natural del tramo de carretera, percibido como un cambio provocado en este
	Transporte de maquinaria y materiales	Ruido	C2M8	Negativo	Ruido temporal en el ambiente y en zona puntual donde se transporte la maquinaria
	Transporte de maquinaria y materiales	Gases	C2M10	Negativo	Contaminación del aire local por emisión de CO2 de la maquinaría de transporte
	Instalación de planteles y bodega	Cobertura vegetal	C3M2	Negativo	Eliminación de la cobertura vegetal en la zona ocupada por planteles, cambiando el uso de suelo y alterando la protección de este, así como cambios en la escorrentía
	Instalación de planteles y bodega	Contaminación del suelo	C3M3	Negativo	Incorporación de elementos contaminantes en la superficie del suelo del área de planteles que pueden introducirse en estratos más profundos
	Instalación de planteles y bodega	Erosión (Pérdida de suelo)	C3M4	Negativo	Pérdida del suelo natural en el área ocupada por plantel y bodega
	Instalación de planteles y bodega	Ruido	C3M8	Negativo	Ruido persistente durante la construcción del proyecto y percibido localmente en el área de planteles
	Instalación de planteles y bodega	Paisaje Natural	C3M13	Negativo	Alteración puntual del paisaje natural del tramo de carretera, percibido con elementos no naturales
	Desvío para el tránsito vehicular	Topografía	C4M1	Negativo	Cambio local del relieve natural y trazado de la carretera con el cauce
	Desvío para el tránsito vehicular	Cobertura vegetal	C4M2	Negativo	Eliminación de la cobertura vegetal en zona cercana al cauce, cambiando el uso de suelo y alterando la protección de este, así como cambios en la escorrentía
	Desvío para el tránsito vehicular	Sedimentación	C4M5	Negativo	Arrastre y acumulación de partículas de suelo aguas abajo, producto de la construcción de obra de desvío
	Desvío para el tránsito vehicular	Agua superficial	C4M6	Negativo	Cambio del escurrimiento natural y alteraciones físicas y químicas de la calidad del agua por obra de desvío
	Desvío para el tránsito vehicular	Partículas	C4M9	Negativo	Desprendimiento de partículas de polvo producto de la construcción del desvío
	Desvío para el tránsito vehicular	Inundación	C4M11	Negativo	Riesgo de inundación entre la zona de la obra existente y la obra de desvío al modificar forma natural de la corriente
	Desvío para el tránsito vehicular	Paisaje Natural	C4M13	Negativo	Alteración local del paisaje natural del tramo de carretera debido al cambio de elementos del ambiente

ETAPA	ACTIVIDAD	FACTOR AMBIENTAL IMPACTADO	CÓDIGO	NATURALEZA DEL IMPACTO	DESCRIPCIÓN
MOVIMIENTO DE TIERRA	Excavación del área de trabajo	Topografía	C6M1	Negativo	Cambio local del relieve de la carretera y su alrededor en el área excavada
	Excavación del área de trabajo	Cobertura vegetal	C6M2	Negativo	Eliminación de la cobertura vegetal en zona cercana a la obra, alterando la protección natural del suelo
	Excavación del área de trabajo	Erosión (Pérdida de suelo)	C6M4	Negativo	Desprendimiento de suelo que conforma la carretera y su alrededor producto de la excavación
	Excavación del área de trabajo	Agua superficial	C6M6	Negativo	Alteraciones físicas y químicas de la calidad del agua por contacto con material excavado
	Excavación del área de trabajo	Ruido	C6M8	Negativo	Ruido temporal y local en el ambiente generado temporalmente en el área de excavación
	Excavación del área de trabajo	Partículas	C6M9	Negativo	Desprendimiento de partículas de polvo producto de la excavación del área de la obra
	Excavación del área de trabajo	Gases	C6M10	Negativo	Contaminación del aire local por emisión de CO2 de la maquinaría en la excavación
	Excavación del área de trabajo	Inundación	C6M11	Negativo	Riesgo de inundación en la zona de la obra existente al modificar forma natural de la corriente
	Excavación del área de trabajo	Inestabilidad del terreno	C6M12	Negativo	Cambio de las propiedades físicas de la estructura del suelo con riesgo de desprendimiento en el área de excavación
	Excavación del área de trabajo	Paisaje Natural	C6M13	Negativo	Alteración local del paisaje natural del tramo de carretera debido al área excavada en la obra
DEMOLOCIÓN DE OBRAS EXISTENTES	Demolición de estructura de obra existente	Contaminación del suelo	C7M3	Negativo	Incorporación de elementos contaminantes (restos de escombros) en la superficie del suelo cerca de la obra que pueden introducirse en estratos más profundos
	Demolición de estructura de obra existente	Ruido	C7M8	Negativo	Ruido temporal en el ambiente durante la demolición de obra existente
	Demolición de estructura de obra existente	Partículas	C7M9	Negativo	Desprendimiento de partículas de polvo producto de la demolición de estructura existente
	Traslado y depósito de escombros de demolición	Contaminación del suelo	C8M3	Negativo	Incorporación de elementos contaminantes (restos de escombros) en la superficie del suelo de depósito que pueden introducirse en estratos más profundos
	Traslado y depósito de escombros de demolición	Sedimentación	C8M5	Negativo	Arrastre y acumulación de restos de escombros que alcancen fuentes de agua
	Traslado y depósito de escombros de demolición	Ruido	C8M8	Negativo	Ruido temporal en el ambiente durante el traslado de escombros de demolición
	Traslado y depósito de escombros de demolición	Partículas	C8M9	Negativo	Desprendimiento de partículas de polvo en el área de depósito de escombros

ETAPA	ACTIVIDAD	FACTOR AMBIENTAL IMPACTADO	CÓDIGO	NATURALEZA DEL IMPACTO	DESCRIPCIÓN
CONSTRUCCIÓN DE OBRA DE DRENAJE	Explotación de banco de materiales	Topografía	C9M1	Negativo	Cambio del relieve natural del área del banco de materiales
	Explotación de banco de materiales	Cobertura vegetal	C9M2	Negativo	Eliminación de la cobertura vegetal en el área del banco de materiales, cambiando el uso de suelo y alterando la protección de este, así como cambios en la escorrentía
	Explotación de banco de materiales	Erosión (Pérdida de suelo)	C9M4	Negativo	Pérdida de suelo en el área de explotación del banco de materiales, erosión a largo plazo del terreno
	Explotación de banco de materiales	Ruido	C9M8	Negativo	Ruido temporal en el ambiente por maquinaria pesada durante las operaciones de corte, carga y traslado de material
	Explotación de banco de materiales	Partículas	C9M9	Negativo	Desprendimiento de partículas de polvo (en un área extendida) producto del corte, carga y traslado del material de préstamo
	Explotación de banco de materiales	Gases	C9M10	Negativo	Contaminación del aire local por emisión de CO2 de la maquinaría en el banco de materiales
	Explotación de banco de materiales	Paisaje Natural	C9M13	Negativo	Alteración parcial del paisaje natural del sitio de explotación de banco de materiales
	Explotación de fuentes de agua	Agua superficial	C10M6	Negativo	Disminución del escurrimiento natural y alteraciones físicas y químicas de la calidad del agua
	Explotación de fuentes de agua	Agua subterránea	C10M7	Negativo	Alteración de la recarga natural de agua subterránea
	Explotación de fuentes de agua	Ruido	C10M8	Negativo	Ruido temporal en el ambiente por maquinaria de transporte de agua para uso en la obra
	Explotación de fuentes de agua	Gases	C10M10	Negativo	Contaminación del aire local por emisión de CO2 de la maquinaria para transporte de agua usada en la obra
	Relleno con material seleccionado	Ruido	C11M8	Negativo	Ruido temporal en el ambiente por maquinaria realizando trabajos de relleno y compactación para estabilidad de estructura nueva
	Relleno con material seleccionado	Partículas	C11M9	Negativo	Desprendimiento de partículas de polvo producto del relleno y compactación para estabilidad de estructura nueva
	Instalación de obras de drenaje y su protección	Contaminación del suelo	C12M3	Negativo	Incorporación de elementos contaminantes (desperdicios de materiales de construcción) en la superficie del suelo cerca de la obra que pueden introducirse en estratos más profundos
	Instalación de obras de drenaje y su protección	Agua superficial	C12M6	Negativo	Cambio del escurrimiento natural y alteraciones físicas y químicas de la calidad del agua por incorporación de obra nueva
RECONSTRUCCIÓN VIAL	Relleno de terraplenes	Ruido	C13M8	Negativo	Ruido temporal en el ambiente por maquinaria realizando trabajos de relleno y compactación de terraplenes
	Relleno de terraplenes	Partículas	C13M9	Negativo	Desprendimiento de partículas de polvo producto del relleno y compactación para restauración de la vía
	Relleno de terraplenes	Gases	C13M10	Negativo	Contaminación del aire local por emisión de CO2 de la maquinaría empleada en el relleno y compactación de terraplenes

ETAPA	ACTIVIDAD	FACTOR AMBIENTAL IMPACTADO	CÓDIGO	NATURALEZA DEL IMPACTO	DESCRIPCIÓN
	Relleno de terraplenes	Inestabilidad del terreno	C13M12	Positivo	Mejora de las propiedades físicas de la estructura del suelo que evita daños sobre la vía
	Conformación de taludes	Topografía	C14M1	Positivo	Cambio local del relieve lateral de la carretera para su mejoramiento
	Conformación de taludes	Ruido	C14M8	Negativo	Ruido temporal en el ambiente por maquinaria realizando trabajos de conformación de taludes
	Conformación de taludes	Partículas	C14M9	Negativo	Desprendimiento de partículas de polvo producto de la conformación de taludes laterales entre la obra y la carretera
	Conformación de taludes	Gases	C14M10	Negativo	Contaminación del aire local por emisión de CO2 de la maquinaría empleada en la conformación de taludes
	Conformación de taludes	Inestabilidad del terreno	C14M12	Positivo	Mejora de las propiedades físicas de la estructura del suelo que evita daños cercanos a la vía
	Compactación y nivelación de rasante	Ruido	C15M8	Negativo	Ruido temporal en el ambiente por maquinaria realizando trabajos de compactación y nivelación de rasante
DISPOSICIONES FINALES	Movimiento de tierra sobrante	Sedimentación	C16M5	Negativo	Arrastre y acumulación de suelo que alcancen fuentes de agua
	Movimiento de tierra sobrante	Ruido	C16M8	Negativo	Ruido temporal en el ambiente durante el traslado de tierra sobrante
	Movimiento de tierra sobrante	Partículas	C16M9	Negativo	Desprendimiento de partículas de polvo en el área de depósito para tierra sobrante
	Movimiento de tierra sobrante	Inestabilidad del terreno	C16M12	Negativo	Generación de estructura del suelo inestable en el lugar de depósito de tierra sobrante

- **Factores ambientales del medio biótico a sufrir impactos**

ETAPA	ACTIVIDAD	FACTOR AMBIENTAL IMPACTADO	CÓDIGO	NATURALEZA DEL IMPACTO	DESCRIPCIÓN
PRELIMINARES	Limpieza de vegetación en el cauce cercana a la obra	Flora arbustiva	C1M14	Negativo	Eliminación de vegetación arbustiva sobre el cauce muy cercanas a la entrada (aguas arriba) y salida (aguas abajo) de la obra
	Instalación de planteles y bodega	Especies terrestres	C3M17	Negativo	Área que ocupa un pequeño espacio de hábitat de animales terrestres pequeñas
	Desvío para el tránsito vehicular	Especies acuáticas	C4M18	Negativo	Se afecta considerablemente al habitad y recorridos de especies acuáticas de río
MOVIMIENTO DE TIERRA	Excavación del área de trabajo	Flora arbustiva	C6M14	Negativo	Daños y eliminación a la vegetación arbustiva cercana al área de excavación
	Excavación del área de trabajo	Especies terrestres	C6M17	Negativo	Cambio en el hábitat de especies terrestres pequeñas por restricciones de las excavaciones
	Excavación del área de trabajo	Especies acuáticas	C6M18	Negativo	Daños en el hábitat de especies acuáticas por tierra dispersa aguas abajo sobre la corriente
CONSTRUCCIÓN DE OBRA DE DRENAJE	Explotación de banco de materiales	Flora arbustiva	C9M14	Negativo	Eliminación de vegetación arbustiva existente en el sitio destinado como banco de materiales
	Explotación de banco de materiales	Especies forestales	C9M15	Negativo	Disminución del número de ejemplares de especies forestales existente en el sitio destinado como banco de materiales
	Explotación de banco de materiales	Aves	C9M16	Negativo	El derribe de árboles elimina el hábitat y nidos de las especies de aves locales
	Explotación de banco de materiales	Especies terrestres	C9M17	Negativo	Deterioro de un considerable espacio de hábitat de animales terrestres
	Explotación de fuentes de agua	Especies acuáticas	C10M18	Negativo	Afectaciones a las especies acuáticas
	Instalación de obras de drenaje y su protección	Especies acuáticas	C12M18	Negativo	Daños en el hábitat de especies acuáticas por restos de materiales de construcción dispersos aguas abajo sobre la corriente

- **Factores ambientales del medio socioeconómico a sufrir impactos**

ETAPA	ACTIVIDAD	FACTOR AMBIENTAL IMPACTADO	CÓDIGO	NATURALEZA DEL IMPACTO	DESCRIPCIÓN
PRELIMINARES	Limpieza de vegetación en el cauce cercana a la obra	Empleo	C1M19	Positivo	Ocupación de personal para ejecutar este trabajo manual
	Transporte de maquinaria y materiales	Accesibilidad/Fluides del tránsito	C2M22	Negativo	Ocasiona de forma breve la obstrucción de las vías que conectan las poblaciones en el AII
	Instalación de planteles y bodega	Empleo	C3M19	Positivo	Brinda trabajo al personal que se encargue de la construcción y operación de este sitio
	Instalación de planteles y bodega	Demanda de bienes y servicios	C3M20	Positivo	Incremento en la economía de productos consumibles y servicios básicos de la zona
	Desvío para el tránsito vehicular	Empleo	C4M19	Positivo	Involucra mayormente a operadores de maquinaria pesada para realizar estas modificaciones
	Desvío para el tránsito vehicular	Accesibilidad/Fluides del tránsito	C4M22	Negativo	Cambio en la circulación normal del tránsito aumentando los tiempos de viaje
	Señalización de construcción de obras	Accidentalidad	C5M23	Positivo	Permite al tránsito vehicular, y de personas, estar advertidos y evitar situaciones de riesgo
MOVIMIENTO DE TIERRA	Excavación del área de trabajo	Empleo	C6M19	Positivo	Involucra mayormente a operadores de maquinaria pesada para realizar esta actividad
	Excavación del área de trabajo	Accesibilidad/Fluides del tránsito	C6M22	Negativo	Afecta la vía de tránsito dificultando la movilización y aumentando los tiempos de viaje
	Excavación del área de trabajo	Salud	C6M25	Negativo	Riesgo de accidentes con la maquinaria o material debido a la cercanía de viviendas habitadas
DEMOLOCIÓN DE OBRAS EXISTENTES	Demolición de estructura de obra existente	Empleo	C7M19	Positivo	Trabajo realizado por operadores de maquinaría especializada complementado con labores manuales
	Demolición de estructura de obra existente	Vivienda e infraestructura	C7M25	Negativo	Riesgo de accidentes con la maquinaria o material debido a la cercanía de viviendas habitadas
CONSTRUCCIÓN DE OBRA DE DRENAJE	Explotación de banco de materiales	Empleo	C9M19	Positivo	Involucra mayormente a operadores de maquinaria pesada (corte, carga y transporte) para realizar esta actividad
	Explotación de banco de materiales	Plusvalía del suelo	C9M21	Positivo	Incremento en el valor del terreno en que se ubica el banco de materiales
	Explotación de banco de materiales	Vivienda e infraestructura	C9M24	Positivo	Acceso (por compra o acuerdos) al material disponible del BM para mejoras de suelo en caminos a terrenos privados o cimentaciones de estructuras considerables
	Explotación de fuentes de agua	Empleo	C10M19	Positivo	Involucra mayormente a operadores de maquinaria de transporte (camión cisterna) para realizar esta actividad
	Relleno con material seleccionado	Empleo	C11M19	Positivo	Trabajo realizado por operadores de maquinaria pesada (descarga y compactación del material) complementado con labores manuales
	Instalación de obras de drenaje y su protección	Empleo	C12M19	Positivo	Involucra una considerable mano de obra de trabajo manual, con asistencia de maquinaria especializada (camión mezclador de concreto)
RECONSTRUCCIÓN VIAL	Relleno de terraplenes	Empleo	C13M19	Positivo	Trabajo realizado por operadores de maquinaria pesada complementado con labores manuales
	Conformación de taludes	Empleo	C14M19	Positivo	Trabajo realizado por operadores de maquinaria pesada complementado con labores manuales
	Conformación de taludes	Accidentalidad	C14M23	Positivo	Proporciona seguridad a la vía, y a los vehículos que en esta circulan, ante amenazas de inestabilidad de suelo
	Compactación y nivelación de rasante	Empleo	C15M19	Positivo	Trabajo realizado por operadores de maquinaria pesada complementado con labores manuales
	Compactación y nivelación de rasante	Accesibilidad/Fluides del tránsito	C15M22	Positivo	Restauración de la vía original con medidas adecuadas para la circulación vehicular
	Compactación y nivelación de rasante	Accidentalidad	C15M23	Positivo	Influye en la disminución de posibles accidentes vehiculares
DISPOSICIONES FINALES	Señalización vial	Accesibilidad/Fluides del tránsito	C17M22	Positivo	Mejora en tiempos de viaje y conocimiento de la obra mejorada
	Señalización vial	Accidentalidad	C17M23	Positivo	Permite a los conductores ver con antelación la presencia de la obra y tomar precauciones

4.3.4.6 Matriz de valoración de impactos en ODT-9

IMPACTOS	Valores de los símbolos de los impactos											Importancia	Nivel de Importancia	Valor Máximo de Importancia
	Naturaleza	Intensidad (Grado de destrucción)	Extensión (área de influencia)	Momento (plazo de manifestación)	Persistencia (permanencia del efecto)	Reversibilidad	Sinergia (regularidad de manifestación)	Recuperabilidad (reconstrucción por medios humanos)	Acumulación (Incremento progresivo)	Efecto (relación causa-efecto)	Periocidad (regularidad de la manifestación)			
Código	**Signo**	**IN**	**EX**	**MO**	**PE**	**RV**	**SI**	**MC**	**AC**	**EF**	**PR**	**I**	**I**	**I**
C1M4	-	1	1	3	2	2	2	2	1	4	1	-22	IRRELEVANTE	100
C1M13	-	1	1	4	1	2	1	2	1	4	1	-21	IRRELEVANTE	100
C1M14	-	2	1	4	2	1	2	2	4	4	1	-28	MODERADO	100
C1M19	+	2	1	3	1	4	2	2	1	4	1	26	MODERADO	100
C2M8	-	2	2	4	1	1	1	1	1	4	2	-25	MODERADO	100
C2M10	-	2	2	4	1	1	2	2	4	4	2	-30	MODERADO	100
C2M22	-	2	2	4	1	4	2	1	4	4	2	-32	MODERADO	100
C3M2	-	1	1	3	2	2	2	2	4	4	2	-26	MODERADO	100
C3M3	-	1	1	3	2	2	2	3	4	1	2	-24	IRRELEVANTE	100
C3M4	-	2	1	3	2	2	2	2	1	4	1	-25	MODERADO	100
C3M8	-	1	1	4	1	1	1	1	1	4	2	-20	IRRELEVANTE	100
C3M13	-	2	1	3	2	3	1	2	1	4	1	-25	MODERADO	100
C3M17	-	1	1	3	2	2	1	2	1	1	2	-19	IRRELEVANTE	100
C3M19	+	3	1	2	1	4	2	2	1	4	2	29	MODERADO	100
C3M20	+	2	2	2	2	4	2	3	4	4	2	33	MODERADO	100
C4M1	-	2	1	3	1	4	2	2	1	4	1	-26	MODERADO	100
C4M2	-	1	1	4	2	3	2	2	1	4	1	-24	IRRELEVANTE	100
C4M5	-	4	2	3	1	4	2	3	4	4	2	-39	MODERADO	100
C4M6	-	4	2	4	1	2	2	3	4	4	1	-37	MODERADO	100
C4M9	-	2	1	4	1	1	2	2	1	4	1	-24	IRRELEVANTE	100
C4M11	-	4	2	3	1	3	2	2	4	1	1	-33	MODERADO	100
C4M13	-	2	1	3	1	4	1	2	1	4	1	-25	MODERADO	100
C4M18	-	4	4	3	2	1	2	2	4	4	1	-39	MODERADO	100
C4M19	+	2	1	3	1	4	2	2	1	4	1	26	MODERADO	100
C4M22	-	4	4	4	1	4	2	3	4	4	2	-44	MODERADO	100
C5M23	+	1	1	1	1	4	2	2	1	4	1	21	IRRELEVANTE	100
C6M1	-	3	1	3	1	4	2	2	1	4	1	-29	MODERADO	100
C6M2	-	2	1	4	1	1	2	2	1	4	1	-24	IRRELEVANTE	100
C6M4	-	8	1	3	1	2	2	2	4	4	1	-45	MODERADO	100
C6M6	-	2	4	4	1	2	2	3	4	4	1	-35	MODERADO	100
C6M8	-	3	1	4	1	1	1	1	1	4	2	-26	MODERADO	100
C6M9	-	3	1	4	1	1	2	2	1	4	1	-27	MODERADO	100
C6M10	-	2	1	4	1	1	2	2	4	4	1	-27	MODERADO	100

IMPACTOS	Valores de los símbolos de los impactos											Importancia	Nivel de Importancia	Valor Máximo de Importancia
	Naturaleza	Intensidad (Grado de destrucción)	Extensión (área de influencia)	Momento (plazo de manifestación)	Persistencia (permanencia del efecto)	Reversibilidad	Sinergia (regularidad de manifestación)	Recuperabilidad (reconstrucción por medios humanos)	Acumulación (Incremento progresivo)	Efecto (relación causa-efecto)	Periocidad (regularidad de la manifestación)			
Código	**Signo**	**IN**	**EX**	**MO**	**PE**	**RV**	**SI**	**MC**	**AC**	**EF**	**PR**	**I**	**I**	**I**
C6M11	-	4	2	3	1	3	2	2	4	1	1	-33	MODERADO	100
C6M12	-	8	1	3	1	4	4	2	1	4	1	-46	MODERADO	100
C6M13	-	2	1	4	1	4	1	2	1	4	1	-26	MODERADO	100
C6M14	-	1	1	4	2	2	1	2	4	4	1	-25	MODERADO	100
C6M17	-	1	1	3	1	2	2	2	1	1	1	-18	IRRELEVANTE	100
C6M18	-	2	4	3	1	1	1	2	4	4	2	-32	MODERADO	100
C6M19	+	1	1	3	1	4	2	2	1	4	1	23	IRRELEVANTE	100
C6M22	-	4	4	4	1	4	2	2	4	4	1	-42	MODERADO	100
C6M25	-	1	1	3	1	4	1	3	4	1	1	-23	IRRELEVANTE	100
C7M3	-	2	1	2	3	3	2	2	4	4	1	-29	MODERADO	100
C7M8	-	2	1	4	1	1	1	1	1	4	2	-23	IRRELEVANTE	100
C7M9	-	2	1	4	1	1	2	2	1	4	1	-24	IRRELEVANTE	100
C7M19	+	1	1	3	1	4	2	2	1	4	1	23	IRRELEVANTE	100
C7M25	-	1	1	3	1	4	1	3	4	1	1	-23	IRRELEVANTE	100
C8M3	-	2	1	2	3	3	2	3	4	4	1	-30	MODERADO	100
C8M5	-	2	1	3	1	4	2	2	4	4	1	-29	MODERADO	100
C8M8	-	1	2	4	1	1	1	1	1	4	1	-21	IRRELEVANTE	100
C8M9	-	2	2	4	1	1	2	2	1	4	2	-27	MODERADO	100
C9M1	-	3	2	3	4	4	2	8	4	4	1	-43	MODERADO	100
C9M2	-	8	1	3	3	3	2	3	1	4	2	-47	MODERADO	100
C9M4	-	4	1	3	3	3	2	3	4	4	2	-38	MODERADO	100
C9M8	-	3	1	4	1	1	1	1	1	4	2	-26	MODERADO	100
C9M9	-	3	2	4	1	1	2	2	1	4	2	-30	MODERADO	100
C9M10	-	2	1	4	1	1	2	2	4	4	2	-28	MODERADO	100
C9M13	-	3	2	3	4	4	1	8	1	4	2	-40	MODERADO	100
C9M14	-	4	1	4	3	3	2	3	4	4	2	-39	MODERADO	100
C9M15	-	4	1	4	3	3	2	4	1	4	2	-37	MODERADO	100
C9M16	-	4	1	3	2	3	1	4	1	4	2	-34	MODERADO	100
C9M17	-	2	1	3	2	2	2	4	1	4	2	-28	MODERADO	100
C9M19	+	2	2	3	1	4	2	2	1	4	2	29	MODERADO	100
C9M21	+	2	2	2	3	3	4	3	4	1	2	32	MODERADO	100
C9M24	+	2	2	2	3	3	4	3	4	1	1	31	MODERADO	100
C10M6	-	4	2	4	1	1	2	3	1	4	1	-33	MODERADO	100
C10M7	-	1	2	2	1	1	2	8	1	1	1	-24	IRRELEVANTE	100
C10M8	-	1	2	4	1	1	1	1	1	4	2	-22	IRRELEVANTE	100
C10M10	-	1	1	4	1	1	2	1	4	4	1	-23	IRRELEVANTE	100
C10M18	-	4	2	4	1	1	2	4	4	4	1	-37	MODERADO	100
C10M19	+	1	2	3	1	4	2	2	1	4	2	26	MODERADO	100
C11M8	-	2	1	4	1	1	1	1	1	4	1	-22	IRRELEVANTE	100
C11M9	-	2	1	4	1	1	2	2	1	4	1	-24	IRRELEVANTE	100

IMPACTOS	Valores de los símbolos de los impactos											Importancia	Nivel de Importancia	Valor Máximo de Importancia
	Naturaleza	Intensidad (Grado de destrucción)	Extensión (área de influencia)	Momento (plazo de manifestación)	Persistencia (permanencia del efecto)	Reversibilidad	Sinergia (regularidad de manifestación)	Recuperabilidad (reconstrucción por medios humanos)	Acumulación (Incremento progresivo)	Efecto (relación causa-efecto)	Periocidad (regularidad de la manifestación)			
Código	**Signo**	**IN**	**EX**	**MO**	**PE**	**RV**	**SI**	**MC**	**AC**	**EF**	**PR**	**I**	**I**	**I**
C11M19	+	1	1	3	1	4	2	2	1	4	1	23	IRRELEVANTE	100
C12M3	-	4	1	3	3	3	2	8	4	4	1	-42	MODERADO	100
C12M6	-	4	1	3	4	4	2	2	1	4	4	-38	MODERADO	100
C12M18	-	2	1	3	2	1	2	2	4	1	1	-24	IRRELEVANTE	100
C12M19	+	2	1	3	1	4	2	2	1	4	1	26	MODERADO	100
C13M8	-	2	1	4	1	1	1	1	1	4	1	-22	IRRELEVANTE	100
C13M9	-	2	1	4	1	1	2	2	1	4	1	-24	IRRELEVANTE	100
C13M10	-	2	1	4	1	1	2	2	4	4	1	-27	MODERADO	100
C13M12	+	4	1	4	3	3	4	2	1	4	1	36	MODERADO	100
C13M19	+	1	1	3	1	4	2	2	1	4	1	23	IRRELEVANTE	100
C14M1	+	1	1	3	3	3	2	2	1	4	1	24	IRRELEVANTE	100
C14M8	-	2	1	4	1	1	1	1	1	4	1	-22	IRRELEVANTE	100
C14M9	-	2	1	4	1	1	2	2	1	4	1	-24	IRRELEVANTE	100
C14M10	-	2	1	4	1	1	2	2	4	4	1	-27	MODERADO	100
C14M12	+	4	1	3	2	2	4	2	1	4	1	33	MODERADO	100
C14M19	+	1	1	3	1	4	2	2	1	4	1	23	IRRELEVANTE	100
C14M23	+	2	2	4	4	2	4	2	1	4	4	35	MODERADO	100
C15M8	-	2	1	4	1	1	1	1	1	4	1	-22	IRRELEVANTE	100
C15M19	+	1	1	3	1	4	2	2	1	4	1	23	IRRELEVANTE	100
C15M22	+	2	2	4	4	2	2	2	4	4	4	36	MODERADO	100
C15M23	+	2	2	4	4	2	4	2	1	4	4	35	MODERADO	100
C16M5	-	4	1	3	1	4	2	2	4	4	1	-35	MODERADO	100
C16M8	-	1	2	4	1	1	1	1	1	4	1	-21	IRRELEVANTE	100
C16M9	-	2	2	4	1	1	2	2	1	4	2	-27	MODERADO	100
C16M12	-	4	1	4	2	2	4	2	1	4	1	-34	MODERADO	100
C17M22	+	2	1	4	4	4	1	2	1	1	4	29	MODERADO	100
C17M23	+	1	1	4	4	4	1	2	1	1	1	23	IRRELEVANTE	100

4.3.4.7 Matriz de importancia en ODT-9

ACCIONES DEL PROYECTO				ETAPAS DE CONSTRUCCIÓN																				
				PRELIMINARES					MOVIMIENTO DE TIERRA	DEMOLOCIÓN DE OBRAS EXISTENTES		CONSTRUCCIÓN DE OBRA DE DRENAJE				RECONSTRUCCIÓN VIAL			DISPOSICIONES FINALES		Valor de alteración	Máximo valor de alteración	Grado de alteración
MEDIO	CATEGORIAS	FACTOR AMBIENTAL	CÓDIGO	Limpieza de vegetación en el cauce cercana a la	Transporte de maquinaria y	Instalación de planteles y bodega	Desvío vehícular y redirección de la corriente de agua	Señalización de construcción de	Excavación del área de trabajo	Demolición de estructura de obra existente	Traslado y depósito de escombros de demolición	Explotación de banco de materiales	Explotación de fuentes de agua	Relleno con material seleccionado	Construcción de estructura de la obra de drenaje	Relleno de terraplenes	Conformación de taludes	Compactación y nivelación de rasante	Movimiento de tierra sobrante	Señalización vial			
				C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17			
MEDIO FÍSICO	Geología y Geomorfología	Topografía	M1				-26		-29			-43					24				-74	400	-18.5
	Suelo	Cobertura vegetal	M2			-26	-24		-24			-47									-121	400	-30.25
		Contaminación del suelo	M3			-24				-29	-30				-42						-125	400	-31.25
		Erosión (Pérdida de suelo)	M4	-22		-25			-45			-38									-130	400	-32.5
		Sedimentación	M5				-39				-29								-35		-103	300	-34.33
	Agua	Agua superficial	M6				-37		-35				-33		-38						-143	400	-35.75
		Agua subterránea	M7										-24								-24	100	-24
	Aire	Ruido	M8		-25	-20			-26	-23	-21	-26	-22	-22		-22	-22	-22	-21		-272	1200	-22.67
		Partículas	M9				-24		-27	-24	-27	-30		-24		-24	-24		-27		-231	900	-25.67
		Gases	M10		-30				-27			-28	-23			-27	-27				-162	600	-27
	Clima y Amenazas	Inundación	M11				-33		-33												-66	200	-33
		Inestabilidad del terreno	M12						-46							36	33		-34		-11	400	-2.75
	Paisaje	Paisaje Natural	M13	-21		-25	-25		-26			-40									-137	500	-27.4
MEDIO BIÓTICO	Flora	Arbustiva	M14	-28					-25			-39									-92	300	-30.67
		Especies forestales	M15									-37									-37	100	-37
	Fauna	Aves	M16									-34									-34	100	-34
		Especies terrestres	M17			-19			-18			-28									-65	300	-21.67
		Especies acuáticas	M18				-39		-32				-37		-24						-132	400	-33
MEDIO SOCIOECONÓMICO	Economía	Empleo	M19	26		29	26		23	23		29	26	23	26	23	23	23			300	1200	25
		Demanda de bienes y servicios	M20			33															33	100	33
		Plusvalía del suelo	M21									32									32	100	32
	Transporte y vialidad	Accesibilidad/Fluides del tránsito	M22		-32		-44		-42									36		29	-53	500	-10.6
		Accidentalidad	M23					21									35	35		23	114	400	28.5
	Calidad de vida	Vivienda e infraestructura	M24									31									31	100	31
		Salud	M25						-23	-23											-46	200	-23
Valor de alteración				-45	-87	-77	-265	21	-435	-76	-107	-298	-113	-23	-78	-14	42	72	-117	52	-1548		
Máximo valor de alteración				400	300	800	1000	100	1600	500	400	1400	600	300	400	500	700	400	400	200		1700	
Grado de alteración				-11.25	-29	-9.63	-26.5	21	-27.19	-15.2	-26.75	-21.29	-18.83	-7.67	-19.5	-2.8	6	18	-29.25	26			-15.48

4.3.4.8 Análisis del estudio de impacto ambiental en ODT-9

- **Identificación**

En la identificación de impactos se obtuvieron 100 impactos en los factores ambientales, siendo 24 positivos (24%) y 76 negativos (76%). Se observa que el factor que recibe más impactos negativos (12) por la ejecución de las actividades del proyecto es el del ruido en el aire (M8), pues muchas de las acciones utilizan maquinaria pesada que opera a niveles de considerables de ruido. Por el contrario, el factor que recibe más impactos positivos (12) es el del empleo temporal (M19). Se observa una mayor concentración de impactos negativos sobre los medios físico y biótico, mientras que en el medio socioeconómico es mayor la presencia de impactos positivos. Además, los factores de la topografía (M1), la inestabilidad del terreno (M12) y la accesibilidad (M22) son afectados por ambas naturalezas de impactos.

Al analizar desde las acciones que generan los impactos, la excavación del área de trabajo (C6) la que más impactos ocasiona (16), con 15 negativos y 1 positivo. Por otro lado, la activada que más impactos positivos genera (4) corresponde a la conformación de taludes (C14) que es una acción de reconstrucción.

- **Importancia y grado de alteración**

De la matriz de importancia de la construcción del proyecto de ODT-9 se obtuvo que el factor del ruido (M8), con la mayor cantidad de impactos negativos, tiene un grado de alteración de -22.67, como promedio de la importancia de este en el proyecto. Mientras que el factor del empleo (M19), con la mayor cantidad de impactos positivos, tiene un grado de alteración de 25.

Sin embargo, los factores con los valores más altos en grado de alteración son las especies forestales (M15) y la demanda de bienes y servicios (M20) con -37 y 33 respectivamente. Esto se debe a que solo son afectados por un impacto.

Las actividades generadoras de más impactos, negativos y positivos, tuvieron un grado de alteración de -27.19 (C6) y 6 (C14) respectivamente. Aunque las de mayor grado de alteración fueron las actividades C2 con -29 y C17 con 26.

4.3.4.9 Medidas de mitigación del impacto ambiental en ODT-9

Las medidas de mitigación a implementar serán aplicadas a los impactos ambientales negativos con valores altos de importancia, también dando respuesta a aquellos impactos que son más frecuentes durante todo el proceso de construcción. Se tuvieron impactos en la pérdida de suelo, pérdida de cobertura vegetal y la alteración al paisaje natural del sitio de explotación del banco de materiales, con un valor alto de importancia, donde no existen medidas de mitigación realistas o ejecutables a corto plazo que puedan solventar el daño una vez que se interviene en esta área y se abandona, teniendo por el contrario la posibilidad de que en un futuro se vuelva a intervenir para otras obras relacionadas al mejoramiento vial del tramo de carretera o de algún otro cercano.

Se describe en la tabla el factor ambiental, la actividad generadora del impacto y las medidas ambientales propuestas.

Tabla 79 Medidas de mitigación de impactos ambientales para ODT-9

Factor Ambiental Impactado	Actividad Generadora del Impacto	Medidas Ambientales
Cobertura vegetal	Instalación de planteles y bodega	Restauración de la capa vegetal descapotada para instalar el plantel, en caso de haber utilizado una propiedad no intervenida.
Contaminación del suelo	Construcción de estructura de la obra de drenaje	Manejo adecuado de la basura y desechos sólidos sobrantes.
Erosión (Pérdida de suelo)	Excavación del área de trabajo	La tierra suelta por la excavación se debe mover temporalmente a una zona apartada del cauce de la obra. En caso de lluvias se deben cubrir estos volúmenes de tierra con lonas (plástico negro) para disminuir el arrastre de partículas de suelo.
	Explotación de banco de materiales	Realizar cálculos de volúmenes precisos antes de extraer el material del banco, minimizando así el desperdicio a generarse de suelo suelto propenso a erosionarse y ser arrastrado.
Sedimentación	Desvío vehicular y redirección de la corriente de agua	Diseño hidráulico de canal de conducción para el desvío de la corriente de agua, controlando que partículas sueltas no sean sedimentadas aguas abajo en la unión de la corriente con el cauce natural.

Factor Ambiental Impactado	Actividad Generadora del Impacto	Medidas Ambientales
		Construir adecuadamente el canal de desvío del agua colocan tablestacas que retengan el agua mientras se hace la excavación del canal desde aguas abajo. Hacer una previa limpieza al cauce natural de suciedad, material flotante o fácilmente arrastrable
Agua superficial	Desvío vehicular y redirección de la corriente de agua	El canal que conduce el agua desviada debe estar bien conformado y apartado de los movimientos de tierra donde se construye la obra.
	Construcción de estructura de la obra de drenaje	Se conformará el terreno del cauce natural aguas arriba y abajo de la obra implementado pasos naturalizados para peces (rampa de escollera con sección cóncava).
Ruido	Múltiples actividades que involucran maquinaria pesada	Dotar a los trabajadores que operan la maquinaria pesada y los que permanecen cerca de estas, protecciones individuales del aparato auditivo.
Partículas	Múltiples actividades de movimiento tierra	Realizar riesgo con agua en lugares de trabajo y áreas pobladas para evitar la formación de polvo en exceso. Uso de mascarilla y gafas.
Inestabilidad del terreno	Excavación del área de trabajo	Las tierras extraídas se acopiarán a una distancia del borde de excavación igual o mayor a la profundidad de la misma. Tomar las medidas de seguridad para evitar accidentes por derrumbes de zanjas.
Paisaje Natural	Limpieza de vegetación en el cauce cercana a la obra	Cuando se realice destronque en sitios que lo ameriten, deberá realizarse inmediatamente la limpieza del lugar, evitando dejar escombros o suciedades a la vista de la vía pública.
	Instalación de planteles y bodega	Los campamentos y planteles deberán estar resguardados por una fachada o estructura que impida la visualización desde el exterior hacia dentro.
Arbustiva	Explotación de banco de materiales	Las diferentes especies arbustivas que existan dentro del sitio del BM, deberán ser nuevamente sembradas al menos en el espacio que solo fue usado para amontono de material y operación de maquinaria de carga y transporte, al momento de darse el abandono del proyecto.

Factor Ambiental Impactado	Actividad Generadora del Impacto	Medidas Ambientales
Especies forestales	Explotación de banco de materiales	Contabilizar el número de especímenes de especies forestales en el BM que serán necesariamente talados para realizar su reposición plantándolos en un área cercana.
Especies terrestres	Instalación de planteles y bodega	Dentro de las instalaciones de los campamentos y planteles, quedará enteramente prohibido domesticar especies que sean propias de la zona y hayan sido capturadas durante la puesta en marcha de la obra.
	Explotación de banco de materiales	Los animales de especies que sean consideradas como de alto riesgo y estén propensos a sufrir consecuencias por encontrarse cercanas al banco de material en uso, deberán ser recolocadas en dentro de un área silvestre dentro de la Reserva Natural Cerro Datanlí - El Diablo.
Especies acuáticas	Desvío vehicular y redirección de la corriente de agua	El canal de redirección del agua se construirá implementando pasos naturalizados para peces.
Especies acuáticas Accesibilidad (Fluidez del tránsito)	Explotación de fuentes de agua	En los sitios designados para extraer agua de los arroyos naturales se deberá excavar un saliente en la orilla de estos, con barreras adecuadas para impedir la entrada de peces, que será donde se bombee agua que transportará el camión cisterna.
	Desvío vehicular y redirección de la corriente de agua	Colocar la correspondiente señalización vial de desvíos con suficiente anticipación (conos, delineador direccional, barriles), de acuerdo a lo establecido en el Manual sobre Señales Viales Uniformes del SIECA (2014). Construir un desvió con fácil accesibilidad y a una distancia no muy próxima a las obras de excavación y construcción, donde la maquinaria pesada pueda obstruir o causar accidentes. Asignar personal para el controlar los turnos del pase de los vehículos mediante señales de mano con paletas o banderas.
Accesibilidad (Fluidez del tránsito)	Excavación del área de trabajo	Colocar la correspondiente señalización vial de obstáculos con suficiente anticipación (conos, barreras, señal de hombres trabajando), de acuerdo a lo establecido en el Manual sobre Señales Viales Uniformes del SIECA (2014).

5 CONCLUSIONES

- **Hidrología**

En el estudio hidrológico se obtuvieron los parámetros morfológicos de las 27 cuencas delimitadas en ArcGIS, obteniendo 21 cuencas de entre 0.01 km^2 y 1.57 km^2 correspondientes al drenaje menor, y 6 cuencas entre 5.57 km^2 y 18.60 km^2. La mitad de cuencas de drenaje mayor tienden a concentrar grandes cantidades de escorrentía superficial debido al tipo de suelo ante la infiltración, por otro lado, varias de las cuencas de drenaje menor tienen un cauce principal de respuesta rápida con tiempo de concentración menor a 5 minutos.

Así mismo se calculó la intensidad para los períodos de retorno de 25, 50 y 100 años afectadas por el coeficiente de cambio climático. Se elaboraron mapas temáticos de uso de suelo y tipo de suelo, y pendiente de terreno, los cuales permitieron estimar el coeficiente de escorrentía, donde para todas las cuencas menores este valor es inferior a 0.25 e indica que el suelo posee una buena cubierta vegetal. Los caudales obtenidos por método racional están en un rango de 0.12 m^3/s y 13.23 m^3/s para el período de retorno de 50 años que es el recomendado para diseño.

Las 6 cuencas de drenaje mayor se delimitaron en ArcGIS por medio de HEC-GeoHMS, 4 de estas se dividieron en subcuencas, donde se obtuvieron los parámetros morfológicos como su curva hipsométrica. También se elaboraron mapas temáticos de uso y tipo de suelo, pendiente y curva número, necesarios para el método de estimación de caudal por abstracciones e hidrogramas del SCS y tránsito de avenidas por Muskingum con el HEC HMS, donde utilizando hietogramas de diseño por bloques alternos para los períodos de retorno de 25, 50 y 100 años, los caudales obtenidos fueron $15.5\,m^3/s$ (ODT-27), $31.3\,m^3/s$ (ODT-20), $43.6\,m^3/s$ (ODT-6), $46.9\,m^3/s$ (ODT-24), $49.2\,m^3/s$ (ODT-11) y $117.4\,m^3/s$ (ODT-9) para el período de retorno de 50 años que es el empleado en la evaluación y el diseño hidráulico.

- **Hidráulica**

Los resultados obtenidos en la evaluación hidráulica son para 13 obras que presentan estructura de drenaje existente en el sitio, estas se pudieron modelar en HY-8 donde se incluyen alcantarillas simples, dobles, triple y un puente de 8.20 metros de claro, los cuales se evaluaron con los caudales máximos obtenidos del estudio hidrológico. Ninguna de estas 13 obras cumplió con los criterios y normativas de diseño actuales, por lo que se diseñaron nuevas propuestas de estructuras. Así también para las otras 14 obras que correspondían a puentes peatonales y vados sobre la carretera, fueron diseñadas las nuevas propuestas de obras de drenaje transversal.

Para las 27 obras de drenaje transversal, se diseñaron a nivel hidráulico sus dimensiones y protección ante la erosión en la salida con la metodología de HEC-14, obteniendo: 14 cruces de alcantarillas simples, donde las de menor tamaño tienen el mínimo diámetro permitido de 36 pulgadas; 5 cruces de alcantarillas dobles con diámetros máximos de 72 pulgadas; 7 cruces de alcantarillas tipo cajas dobles de concreto reforzado, con dimensiones de 2.00 x 2.00 m y 3.00 x 3.00 m; y 1 cruce de caja triple de 5.00 x 4.00 m cuyas dimensiones la hacen la estructura más grande del proyecto.

- **Ambiental**

Se elaboró un estudio de impacto ambiental para las obras de drenaje transversal diseñadas, evaluando cualitativamente los impactos en el medio físico, biótico y socioeconómico de dos obras representativas para las estructuras de drenaje mayores (ODT-9) y menores (ODT-5), resultando en que el elemento ambiental más afectado negativamente es el aire por los impactos del ruido, partículas y gases de combustión producto de maquinarias. Sin embargo, los impactos ambientales negativos generados por el proyecto de construcción de las obras son, en su mayoría, de baja intensidad, poca extensión, o de persistencia momentánea, no superando la categoría de impactos moderados. Por lo que el

daño a los elementos ambientales puede recuperarse gracias a procesos naturales no muy prolongados en el tiempo, o mitigarse por medio de la intervención humana a través de lineamientos y medidas ambientales.

El grado de alteración total por la construcción de la ODT-5 fue de -11.36, mientras que de la ODT-9 resultó de -15.48, concluyendo que, para cualquiera de las demás obras de drenaje transversal diseñadas para el tramo de carretera, cuando lleguen a ser construidas, tendrán un grado de alteración total similar a estos dos valores y dentro del intervalo conformado por estos mismos, debido a la semejanza en la extensión del área afectada por la construcción que contiene elementos ambientales comunes en todas estas obras.

Se proponen diversas medidas de mitigación y prevención de los impactos ambientales dirigidas a: dar seguridad y fluidez al tránsito vial, tomando acciones para la restauración de la flora y protección de la fauna, cuido de la imagen paisajística, mitigar el deterioro al suelo y fuentes de agua, y a la protección del personal ante el daño auditivo y respiratorio. Asegurando de esta manera la viabilidad del proyecto requerido ante la necesidad de respuesta adecuada de las obras de drenaje por eventos extremos de caudales.

6 RECOMENDACIONES

- Se recomienda para los estudios hidrológicos contar con los insumos más actualizados posibles y usar softwares especializados para que el estudio sea lo más preciso y eficiente posible.
- Se debe implementar prácticas agrícolas responsables y el uso eficiente de los recursos naturales para asegurar la protección de las cuencas.
- Para cada una de las obras se recomienda tener un levantamiento topográfico donde se indiquen las elevaciones de los inverts de las obras de drenaje existentes y proyectadas, así como las elevaciones de rasante.
- Contar con un diseño geométrico vial de la carretera que permita diseñar el drenaje longitudinal a través de cunetas y otras obras de cruce de alivio.
- Para los sitios de estructuras de cajas de concreto reforzado, se recomienda realizar al menos en dos puntos sondeos manuales para determinar granulometría del fondo del canal, realizar la prueba de penetración estándar (SPT) para determinar la capacidad de carga del suelo para la estructura y ensayos de tipo Proctor para el banco de materiales para determinar sus características.
- Realizar estudios y mediciones que aumenten la información del inventario ambiental del sitio, a nivel que pueda realizarse una valoración de la calidad ambiental de elementos del medio, con el fin de aplicar métodos cuantitativos de valoración de impactos que mejoren la objetividad de los resultados.
- Asegurar el cumplimiento de las medidas de mitigación establecidas para la construcción de las obras de drenaje transversal diseñadas en este trabajo monográfico, por medio de un control y seguimiento de parte de las Unidades de Gestión Ambiental de las entidades correspondientes y/o Alcaldía de Jinotega.
- Se recomienda calcular la inversión económica que se requiere para implementar las medidas y lineamientos de mitigación, incluyendo el seguimiento y control, para los impactos considerables del proyecto.

7 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

Aparicio Mijares, F. J. (1992). *Fundamentos de hidrología de superficie.* Limusa.

Asamblea Nacional. (29 de noviembre de 2017). *Decreto No. 20-2017. Sistema de Evaluación Ambiental de Permisos y Autorizaciones para el Uso Sostenible de los Recursos Naturales. LA GACETA,* (228), 10601–10644. http://digesto.asamblea.gob.ni/consultas/util/pdf.php?type=rdd&rdd=r8SzATbg4U4%3D

Asamblea Nacional. (8 de Febrero de 2021). Acuerdo Presidencial No. 26-2021 – 29-2021. *LA GACETA,* (26), 1067–1086. http://digesto.asamblea.gob.ni/consultas/util/pdf.php?type=rdd&rdd=nLXt%2BYmXGdI%3D

Bodhaine, G. L. (1982). *Measurement of peak discharge at culverts by indirect methods.* USGS.

Campos Cedeño, A. (2016). *Hidráulica e hidrología para ingeniería. Manual de diseño.* Universidad de la Amistad de los Pueblos de Rusia.

Chow, V. T. (1994). *Hidráulica de canales abiertos.* McGraw Hill.

Chow, V. T., Maidment, D. R. y Mays, L. W. (1994). *Hidrología aplicada.* McGraw Hill.

Conesa Fernández, V. (2010). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental* (4 ed.). Mundi-Prensa.

Corea y Asociados S.A. (2008). *Manual para la revisión de estudios hidrotécnicos de drenaje menor.* MTI.

Fattorelli, S. y Fernández, P. C. (2011). *Diseño hidrológico* (2 ed.). WASA-GN. https://www.wasa-gn.net/index.php?id1=6

Federal Highway Administration. (2021). *HY-8 Culver analysis program. User's Manual.* Edición del Autor.

Gámez Morales, W. R. (2010). *Texto básico de hidrología.* Universidad Nacional Agraria.

Garmendia Salvador, A., Salvador Alcaide, A., Crespo Sánchez, C., y Garmendia Salvador, L. (2005). *Evaluación de impacto ambiental.* PEARSON.

Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. (2014). *Cuencas hidrográficas de Nicaragua bajo la metodología Pfafstetter.* INETER; ANA; UNI; GIZ; PROATAS.

Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. (2021). *1er Atlas Nacional de Suelos de la República de Nicaragua.* Edición del Autor.

Lanza Mejía, N. J. (2010). *Análisis hidrológico* [Curso de Maestría]*.* Universidad Nacional de Ingeniería.

Ministerio de Fomento. (2019). *Norma 5.2-IC de la institución de carreteras: Drenaje superficial.* Secretaría General Técnica–Secretariado del Gobierno de España.

Ministerio de Transporte e Infraestructura. (2011). *Guía hidráulica para el diseño de obras de drenaje en caminos rurales.* Edición del Autor.

Ministerio de Transporte e Infraestructura. (2017). *Guía metodológica: Hidrotecnia vial incorporando la adaptación al cambio climático.* MTI; Idom; CONDISA; NCG.

Ministerio de Transporte e Infraestructura. (2019). *Especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes (NIC-2019)*. Edición del Autor.

Ministerio de Transporte e Infraestructura. (2020). *Anuario de puentes de la red vial de Nicaragua año 2019.* Edición del Autor.

Ministerio de Transporte e Infraestructura. (2021). *Anuario de aforos de tráfico 2020.* Edición del Autor.

Ministerio de Transporte e Infraestructura. (2021). *Red Vial de Nicaragua 2020.* Edición del Autor.

Price, M. H. (2019). *Mastering ArcGIS* (8 ed). McGraw Hill.

Productos de Concreto S.A. (2012). *Manual técnico* (15 ed). Edición del Autor.

Schall, J. D., Thompson, P. L., Zerges, S. M., Kilgore, R. T. y Morris, J. L. (2012). *Hydraulic design of highway culverts* (3 ed.). Federal Highway Administration.

Secretaría de Integración Económica Centroamericana. (2016). *Manual de consideraciones técnicas hidrológicas e hidráulicas para la infraestructura vial en Centroamérica* (1 ed). COMITRAN; SIECA; DACGER; JICA.

Subramanya, K. (2009). *Flow in open channels* (3 ed). McGraw-Hill.

Thompson, P. L. y Kilgore, R. T. (2006). *Hydraulic design of energy dissipators for culverts and channels*. *Hydraulic engineering circular Number 14* (3 ed.). Federal Highway Administration.

Villón Béjar, M. (2002). *Hidrología.* Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Villón Béjar, M. (2003). *Diseño de estructuras hidráulicas.* Instituto Tecnológico de Costa Rica.

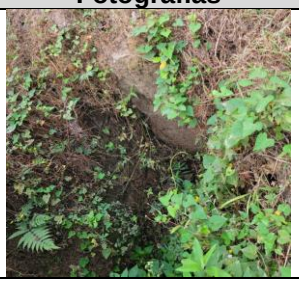
Villón Béjar, M. (2007). *Hidráulica de canales* (2 ed). Editorial Villón.

8 ANEXOS

8.1 FICHAS DE LAS OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL

Datos de la ODT-1	Valores	Fotografías
Obra de drenaje propuesta	2 TCR 72	
Estación	0+248.72	
Elevación de rasante geométrica $(msnm)$	1399.84	
Estructura existente	3 TCR 38	
Longitud tramo de camino (m)	7.6	
Ancho de corona de camino (m)	14.8	
Elevación de invert de entrada $(msnm)$	1395.94	
Estación inicio	0+000.00	
Elevación de invert de salida $(msnm)$	1395.78	
Estación final	0+015.54	
Pendiente	1.00%	
Caudal TR25 años (m^3/s)	6.7	
Caudal TR50 años (m^3/s)	7.5	
Caudal TR100 años(m^3/s)	8.5	

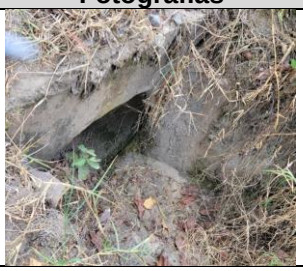
Datos de la ODT-2	Valores	Fotografías
Obra de drenaje propuesta	1 TRC 60	
Estación	0+764.34	
Elevación de rasante geométrica $(msnm)$	1395.16	
Estructura existente	1 TCR 28	
Longitud tramo de camino (m)	2.5	
Ancho de corona de camino (m)	12.8	
Elevación de invert de entrada $(msnm)$	1393.06	
Estación inicio	0+000.00	
Elevación de invert de salida $(msnm)$	1392.92	
Estación final	0+013.44	
Pendiente	1.00%	
Caudal TR25 años (m^3/s)	2.5	
Caudal TR50 años (m^3/s)	2.8	
Caudal TR100 años(m^3/s)	3.2	

Datos de la ODT-3	Valores	Fotografías
Obra de drenaje propuesta	1 TRC 36	
Estación	1+303.23	
Elevación de rasante geométrica $(msnm)$	1401.08	
Estructura existente	1 TCR 20	
Longitud tramo de camino (m)	0.7	
Ancho de corona de camino (m)	8.2	
Elevación de invert de entrada $(msnm)$	1400.18	
Estación inicio	0+000.00	
Elevación de invert de salida $(msnm)$	1400.09	
Estación final	0+008.61	
Pendiente	1.00%	
Caudal TR25 años (m^3/s)	0.2	
Caudal TR50 años (m^3/s)	0.3	
Caudal TR100 años(m^3/s)	0.3	

Datos de la ODT-4	Valores	Fotografías
Obra de drenaje propuesta	2 TCR 60	
Estación	1+605.66	
Elevación de rasante geométrica $(msnm)$	1398.00	
Estructura existente	2 TCR 42	
Longitud tramo de camino (m)	4.4	
Ancho de corona de camino (m)	13.6	
Elevación de invert de entrada $(msnm)$	1396.20	
Estación inicio	0+000.00	
Elevación de invert de salida $(msnm)$	1396.06	
Estación final	0+014.28	
Pendiente	1.00%	
Caudal TR25 años (m^3/s)	5.0	
Caudal TR50 años (m^3/s)	5.7	
Caudal TR100 años(m^3/s)	6.4	

Datos de la ODT-5	Valores	Fotografías
Obra de drenaje propuesta	1 TCR 36	
Estación	2+255.98	
Elevación de rasante geométrica $(msnm)$	1419.90	
Estructura existente	1 TCR 28	
Longitud tramo de camino (m)	1.8	
Ancho de corona de camino (m)	7.6	
Elevación de invert de entrada $(msnm)$	1418.80	
Estación inicio	0+000.00	
Elevación de invert de salida $(msnm)$	1418.72	
Estación final	0+007.98	
Pendiente	1.00%	
Caudal TR25 años (m^3/s)	0.6	
Caudal TR50 años (m^3/s)	0.7	
Caudal TR100 años(m^3/s)	0.7	

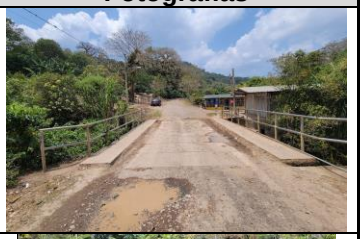
Datos de la ODT-6	Valores	Fotografías
Obra de drenaje propuesta	2 CCR 3 X 3.5	
Estación	4+861.21	
Elevación de rasante geométrica $(msnm)$	1212.94	
Estructura existente	2 TCR 60	
Longitud tramo de camino (m)	6.5	
Ancho de corona de camino (m)	6.2	
Elevación de invert de entrada $(msnm)$	1207.24	
Estación inicio	0+000.00	
Elevación de invert de salida $(msnm)$	1207.18	
Estación final	0+006.51	
Pendiente	1.00%	
Caudal TR25 años (m^3/s)	35.1	
Caudal TR50 años (m^3/s)	43.6	
Caudal TR100 años(m^3/s)	53.3	

Datos de la ODT-7	Valores	Fotografías
Obra de drenaje propuesta	1 TCR 60	
Estación	5+705.53	
Elevación de rasante geométrica $(msnm)$	1226.16	
Estructura existente	1 TCR 28	
Longitud tramo de camino (m)	6.4	
Ancho de corona de camino (m)	5.2	
Elevación de invert de entrada $(msnm)$	1224.76	
Estación inicio	0+000.00	
Elevación de invert de salida $(msnm)$	1224.70	
Estación final	0+005.46	
Pendiente	1.00%	
Caudal TR25 años (m^3/s)	1.9	
Caudal TR50 años (m^3/s)	2.2	
Caudal TR100 años(m^3/s)	2.4	

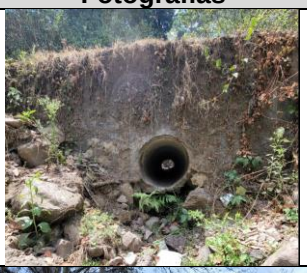
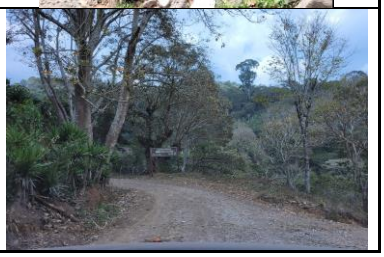
Datos de la ODT-8	Valores	Fotografías
Obra de drenaje propuesta	1 TCR 36	
Estación	6+121.65	
Elevación de rasante geométrica $(msnm)$	1186.86	
Estructura existente	VADO 6.6 X 4.60	
Longitud tramo de camino (m)	4.6	
Ancho de corona de camino (m)	6.6	
Elevación de invert de entrada $(msnm)$	1185.04	
Estación inicio	0+000.00	
Elevación de invert de salida $(msnm)$	1184.97	
Estación final	0+006.93	
Pendiente	1.00%	
Caudal TR25 años (m^3/s)	0.6	
Caudal TR50 años (m^3/s)	0.7	
Caudal TR100 años(m^3/s)	0.7	

Datos de la ODT-9	Valores	Fotografías
Obra de drenaje propuesta	3 CCR 5 X 4	
Estación	6+964.08	
Elevación de rasante geométrica $(msnm)$	1137.00	
Estructura existente	2 CCR 3.5 X 2	
Longitud tramo de camino (m)	8.7	
Ancho de corona de camino (m)	4.2	
Elevación de invert de entrada $(msnm)$	1134.80	
Estación inicio	0+000.00	
Elevación de invert de salida $(msnm)$	1134.76	
Estación final	0+004.41	
Pendiente	1.00%	
Caudal TR25 años (m^3/s)	94.5	
Caudal TR50 años (m^3/s)	117.4	
Caudal TR100 años(m^3/s)	144.0	

Datos de la ODT-10	Valores	Fotografías
Obra de drenaje propuesta	1 TCR 36	
Estación	7+991.81	
Elevación de rasante geométrica $(msnm)$	1097.61	
Estructura existente	VADO 6.40 X 4.0	
Longitud tramo de camino (m)	4	
Ancho de corona de camino (m)	6.4	
Elevación de invert de entrada $(msnm)$	1095.80	
Estación inicio	0+000.00	
Elevación de invert de salida $(msnm)$	1095.73	
Estación final	0+006.72	
Pendiente	1.00%	
Caudal TR25 años (m^3/s)	0.4	
Caudal TR50 años (m^3/s)	0.5	
Caudal TR100 años(m^3/s)	0.6	

Datos de la ODT-11	Valores	Fotografías
Obra de drenaje propuesta	2 CCR 3.5 X 3.5	
Estación	8+447.19	
Elevación de rasante geométrica $(msnm)$	1092.00	
Estructura existente	PUENTE 8.20 X 5.40	
Longitud tramo de camino (m)	12.2	
Ancho de corona de camino (m)	5.4	
Elevación de invert de entrada $(msnm)$	1088.80	
Estación inicio	0+000.00	
Elevación de invert de salida $(msnm)$	1088.74	
Estación final	0+005.67	
Pendiente	1.00%	
Caudal TR25 años (m^3/s)	38.8	
Caudal TR50 años (m^3/s)	49.2	
Caudal TR100 años(m^3/s)	62.2	

Datos de la ODT-12	Valores	Fotografías
Obra de drenaje propuesta	1 TCR 60	
Estación	8+669.87	
Elevación de rasante geométrica $(msnm)$	1094.16	
Estructura existente	1 TCR 24	
Longitud tramo de camino (m)	4.4	
Ancho de corona de camino (m)	5.8	
Elevación de invert de entrada $(msnm)$	1091.66	
Estación inicio	0+000.00	
Elevación de invert de salida $(msnm)$	1091.60	
Estación final	0+006.09	
Pendiente	1.00%	
Caudal TR25 años (m^3/s)	1.7	
Caudal TR50 años (m^3/s)	2.0	
Caudal TR100 años(m^3/s)	2.2	

Datos de la ODT-13	Valores	Fotografías
Obra de drenaje propuesta	1 TCR 36	
Estación	9+849.61	
Elevación de rasante geométrica $(msnm)$	1109.79	
Estructura existente	1 TCR 20	
Longitud tramo de camino (m)	1.2	
Ancho de corona de camino (m)	6.4	
Elevación de invert de entrada $(msnm)$	1108.89	
Estación inicio	0+000.00	
Elevación de invert de salida $(msnm)$	1108.82	
Estación final	0+006.72	
Pendiente	1.00%	
Caudal TR25 años (m^3/s)	0.3	
Caudal TR50 años (m^3/s)	0.3	
Caudal TR100 años(m^3/s)	0.4	

Datos de la ODT-14	Valores	Fotografías
Obra de drenaje propuesta	2 TCR 72	
Estación	10+160.51	
Elevación de rasante geométrica $(msnm)$	1109.94	
Estructura existente	1 METAL 36	
Longitud tramo de camino (m)	3.1	
Ancho de corona de camino (m)	5.2	
Elevación de invert de entrada $(msnm)$	1107.34	
Estación inicio	0+000.00	
Elevación de invert de salida $(msnm)$	1107.29	
Estación final	0+005.46	
Pendiente	1.00%	
Caudal TR25 años (m^3/s)	6.1	
Caudal TR50 años (m^3/s)	6.9	
Caudal TR100 años(m^3/s)	7.8	

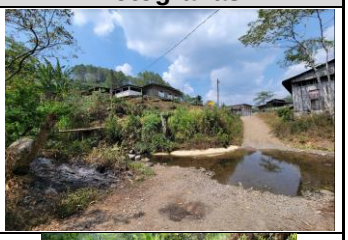
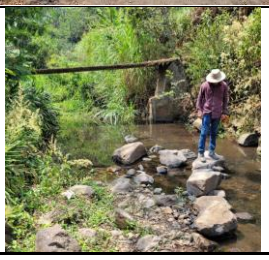
Datos de la ODT-15	Valores	Fotografías
Obra de drenaje propuesta	1 TCR 48	
Estación	10+501.77	
Elevación de rasante geométrica $(msnm)$	1089.96	
Estructura existente	VADO 8.20 X 4.6	
Longitud tramo de camino (m)	4.6	
Ancho de corona de camino (m)	8.2	
Elevación de invert de entrada $(msnm)$	1087.77	
Estación inicio	0+000.00	
Elevación de invert de salida $(msnm)$	1087.68	
Estación final	0+008.61	
Pendiente	1.00%	
Caudal TR25 años (m^3/s)	1.4	
Caudal TR50 años (m^3/s)	1.5	
Caudal TR100 años(m^3/s)	1.7	

Datos de la ODT-16	Valores	Fotografías
Obra de drenaje propuesta	1 TCR 36	
Estación	10+879.91	
Elevación de rasante geométrica $(msnm)$	1100.83	
Estructura existente	VADO 7.5 X 4.2	
Longitud tramo de camino (m)	4.2	
Ancho de corona de camino (m)	7.5	
Elevación de invert de entrada $(msnm)$	1099.01	
Estación inicio	0+000.00	
Elevación de invert de salida $(msnm)$	1098.93	
Estación final	0+007.88	
Pendiente	1.00%	
Caudal TR25 años (m^3/s)	0.1	
Caudal TR50 años (m^3/s)	0.1	
Caudal TR100 años(m^3/s)	0.1	

Datos de la ODT-17	Valores	Fotografías
Obra de drenaje propuesta	2 TCR 72	
Estación	12+835.92	
Elevación de rasante geométrica $(msnm)$	1190.00	
Estructura existente	1 TCR 60	
Longitud tramo de camino (m)	8.6	
Ancho de corona de camino (m)	4.8	
Elevación de invert de entrada $(msnm)$	1184.60	
Estación inicio	0+000.00	
Elevación de invert de salida $(msnm)$	1184.55	
Estación final	0+005.04	
Pendiente	1.00%	
Caudal TR25 años (m^3/s)	7.8	
Caudal TR50 años (m^3/s)	8.8	
Caudal TR100 años(m^3/s)	9.9	

Datos de la ODT-18	Valores	Fotografías
Obra de drenaje propuesta	1 TCR 48	
Estación	13+454.57	
Elevación de rasante geométrica $(msnm)$	1144.32	
Estructura existente	VADO 5.2 X 4.1	
Longitud tramo de camino (m)	4.1	
Ancho de corona de camino (m)	5.2	
Elevación de invert de entrada $(msnm)$	1142.12	
Estación inicio	0+000.00	
Elevación de invert de salida $(msnm)$	1142.07	
Estación final	0+005.46	
Pendiente	1.00%	
Caudal TR25 años (m^3/s)	0.9	
Caudal TR50 años (m^3/s)	1.0	
Caudal TR100 años(m^3/s)	1.1	

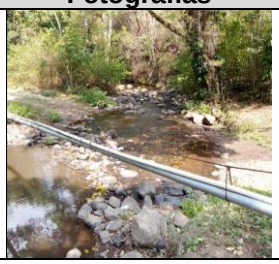
Datos de la ODT-19	Valores	Fotografías
Obra de drenaje propuesta	1 TCR 60	
Estación	13+655.74	
Elevación de rasante geométrica $(msnm)$	1127.00	
Estructura existente	VADO 5.5 X 3.9	
Longitud tramo de camino (m)	3.9	
Ancho de corona de camino (m)	5.5	
Elevación de invert de entrada $(msnm)$	1124.47	
Estación inicio	0+000.00	
Elevación de invert de salida $(msnm)$	1124.41	
Estación final	0+005.78	
Pendiente	1.00%	
Caudal TR25 años (m^3/s)	2.5	
Caudal TR50 años (m^3/s)	2.8	
Caudal TR100 años(m^3/s)	3.1	

Datos de la ODT-20	Valores	Fotografías
Obra de drenaje propuesta	2 CCR 3 X 3	
Estación	13+760.00	
Elevación de rasante geométrica $(msnm)$	1127.00	
Estructura existente	PUENTE PEATONAL 7.5m	
Longitud tramo de camino (m)	7.5	
Ancho de corona de camino (m)	5.8	
Elevación de invert de entrada $(msnm)$	1127.00	
Estación inicio	0+000.00	
Elevación de invert de salida $(msnm)$	1126.94	
Estación final	0+006.09	
Pendiente	1.00%	
Caudal TR25 años (m^3/s)	23.5	
Caudal TR50 años (m^3/s)	31.3	
Caudal TR100 años(m^3/s)	40.8	

Datos de la ODT-21	Valores	Fotografías
Obra de drenaje propuesta	2 TCR 48	
Estación	13+916.13	
Elevación de rasante geométrica $(msnm)$	1131.70	
Estructura existente	VADO 6.3 X 4.5	
Longitud tramo de camino (m)	4.5	
Ancho de corona de camino (m)	6.3	
Elevación de invert de entrada $(msnm)$	1129.50	
Estación inicio	0+000.00	
Elevación de invert de salida $(msnm)$	1129.44	
Estación final	0+006.62	
Pendiente	1.00%	
Caudal TR25 años (m^3/s)	3.0	
Caudal TR50 años (m^3/s)	3.4	
Caudal TR100 años(m^3/s)	3.8	

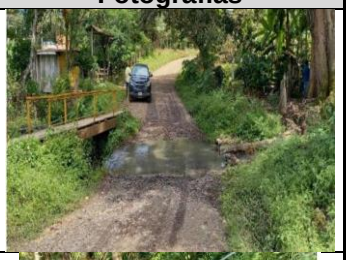
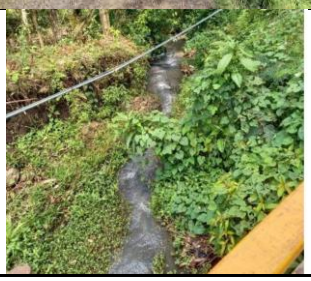
Datos de la ODT-22	Valores	Fotografías
Obra de drenaje propuesta	ODT-22	
Estación	13+984.31	
Elevación de rasante geométrica $(msnm)$	1133.84	
Estructura existente	VADO 6.1 X 2.8	
Longitud tramo de camino (m)	2.8	
Ancho de corona de camino (m)	6.1	
Elevación de invert de entrada $(msnm)$	1131.32	
Estación inicio	0+000.00	
Elevación de invert de salida $(msnm)$	1131.25	
Estación final	0+006.41	
Pendiente	1.00%	
Caudal TR25 años (m^3/s)	1.9	
Caudal TR50 años (m^3/s)	2.1	
Caudal TR100 años(m^3/s)	2.4	

Datos de la ODT-23	Valores	Fotografías
Obra de drenaje propuesta	2 CCR 2 X 2	
Estación	15+653.30	
Elevación de rasante geométrica $(msnm)$	1170.00	
Estructura existente	VADO 5.5 X 7.7	
Longitud tramo de camino (m)	7.7	
Ancho de corona de camino (m)	5.5	
Elevación de invert de entrada $(msnm)$	1170.00	
Estación inicio	0+000.00	
Elevación de invert de salida $(msnm)$	1169.94	
Estación final	0+005.78	
Pendiente	1.00%	
Caudal TR25 años (m^3/s)	11.5	
Caudal TR50 años (m^3/s)	12.9	
Caudal TR100 años(m^3/s)	14.6	

Datos de la ODT-24	Valores	Fotografías
Obra de drenaje propuesta	2 CCR 3.5 X 3.5	
Estación	17+685.44	
Elevación de rasante geométrica $(msnm)$	1054.00	
Estructura existente	PUENTE PEATONAL 8.6m	
Longitud tramo de camino (m)	8.6	
Ancho de corona de camino (m)	6.1	
Elevación de invert de entrada $(msnm)$	1054.00	
Estación inicio	0+000.00	
Elevación de invert de salida $(msnm)$	1053.94	
Estación final	0+006.41	
Pendiente	1.00%	
Caudal TR25 años (m^3/s)	35.1	
Caudal TR50 años (m^3/s)	46.9	
Caudal TR100 años(m^3/s)	62.6	

Datos de la ODT-25	Valores	Fotografías
Obra de drenaje propuesta	1 TCR 36	
Estación	18+528.33	
Elevación de rasante geométrica $(msnm)$	1029.32	
Estructura existente	VADO 4.9 X 2.40	
Longitud tramo de camino (m)	2.4	
Ancho de corona de camino (m)	4.9	
Elevación de invert de entrada $(msnm)$	1027.51	
Estación inicio	0+000.00	
Elevación de invert de salida $(msnm)$	1027.46	
Estación final	0+005.15	
Pendiente	1.00%	
Caudal TR25 años (m^3/s)	0.4	
Caudal TR50 años (m^3/s)	0.5	
Caudal TR100 años(m^3/s)	0.5	

Datos de la ODT-26	Valores	Fotografías
Obra de drenaje propuesta	2 CCR 2 X 2	
Estación	18+768.84	
Elevación de rasante geométrica $(msnm)$	1029.00	
Estructura existente	PUENTE PEATONAL 5.5m	
Longitud tramo de camino (m)	5.5	
Ancho de corona de camino (m)	5.2	
Elevación de invert de entrada $(msnm)$	1029.00	
Estación inicio	0+000.00	
Elevación de invert de salida $(msnm)$	1028.95	
Estación final	0+005.46	
Pendiente	1.00%	
Caudal TR25 años (m^3/s)	11.7	
Caudal TR50 años (m^3/s)	13.2	
Caudal TR100 años(m^3/s)	14.9	

Datos de la ODT-27	Valores	Fotografías
Obra de drenaje propuesta	2 CCR 3 X 2	
Estación	19+860.88	
Elevación de rasante geométrica $(msnm)$	1026.00	
Estructura existente	PUENTE PEATONAL 10m	
Longitud tramo de camino (m)	10	
Ancho de corona de camino (m)	6.5	
Elevación de invert de entrada $(msnm)$	1026.00	
Estación inicio	0+000.00	
Elevación de invert de salida $(msnm)$	1025.93	
Estación final	0+006.83	
Pendiente	1.00%	
Caudal TR25 años (m^3/s)	11.2	
Caudal TR50 años (m^3/s)	15.5	
Caudal TR100 años(m^3/s)	20.8	

8.2 RESULTADOS DE HIDRÁULICA CON HY-8

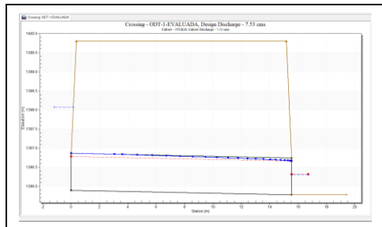
8.2.1 EVALUACIÓN DE OBRAS EXISTENTES

8.2.1.1 TABLA DE RESULTADOS DE HY-8 - EVALUACIÓN

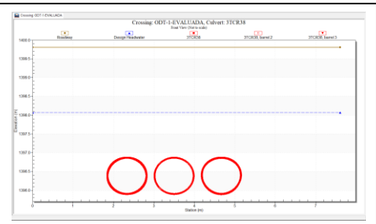
ODT	Estructura Existente	Total Discharge (m^3/s)	Culvert Discharge (m^3/s)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)	H/D<1.00
ODT-1	3 TCR 38	6.68	6.68	1397.74	1.84~	1.66	7-M2c	0.97	0.85	0.85	0.49	3.26	2.25	1.87
		7.53	7.53	1398.07	2.17~	1.87	7-M2c	0.97	0.88	0.88	0.53	3.58	2.35	2.21
		8.48	8.48	1398.48	2.58~	2.18	7-M2c	0.97	0.91	0.91	0.57	3.95	2.45	2.63
ODT-2	1 TCR 28	2.52	1.55	1395.55	2.49~	2.03	7-M2c	0.71	0.69	0.69	0.6	3.94	2.09	3.50
		2.84	1.58	1395.62	2.56	2.08	6-FFc	0.71	0.71	0.71	0.66	3.98	2.16	3.60
		3.2	1.61	1395.7	2.64	2.14	4-FFf	0.71	0.71	0.71	0.72	4.04	2.23	3.72
ODT-3	1 TCR 20	0.24	0.24	1400.7	0.52	0.41	5-S2n	0.27	0.33	0.28	0.36	2.08	1.17	1.03
		0.27	0.27	1400.75	0.57	0.48	5-S2n	0.29	0.35	0.3	0.4	2.14	1.2	1.12
		0.3	0.3	1400.81	0.63	0.56	5-S2n	0.31	0.37	0.32	0.44	2.21	1.23	1.24
ODT-4	2 TCR 42	5.03	5.03	1397.93	1.73	1.53	5-S2n	0.72	0.89	0.78	0.61	3.59	2.35	1.62
		5.68	5.44	1398.11	1.91	1.66	5-S2n	0.76	0.92	0.82	0.66	3.69	2.45	1.79
		6.39	5.69	1398.22	2.02	1.75	5-S2n	0.79	0.94	0.85	0.71	3.75	2.55	1.89
ODT-5	1 TCR 28	0.58	0.58	1419.56	0.76	0.59	5-S2n	0.38	0.48	0.41	0.29	2.46	1.4	1.07
		0.66	0.66	1419.63	0.83	0.67	5-S2n	0.41	0.51	0.44	0.31	2.54	1.45	1.17
		0.74	0.74	1419.73	0.93	0.85	5-S2n	0.44	0.54	0.47	0.34	2.64	1.51	1.31
ODT-6	2 TCR 60	35.1	23.87	1213.98	6.74	4.88	6-FFc	1.52	1.52	1.52	1.67	6.54	4.04	4.42
		43.6	24.67	1214.38	7.14	5.11	6-FFc	1.52	1.52	1.52	1.95	6.76	4.3	4.68
		53.3	25.44	1214.79	7.55	5.34	6-FFc	1.52	1.52	1.52	2.26	6.97	4.54	4.95
ODT-7	1 TCR 28	1.92	1.16	1226.34	1.58	1.34	5-S2n	0.63	0.65	0.64	0.25	3.1	1.5	2.22
		2.17	1.18	1226.38	1.62~	1.38	7-M2c	0.71	0.65	0.65	0.27	3.09	1.57	2.28
		2.44	1.2	1226.41	1.65~	1.4	7-M2c	0.71	0.66	0.66	0.29	3.13	1.64	2.32
ODT-9	2 CCR 3.5 X 2	94.5	59.57	1138.77	3.94	3.97	4-FFf	1.3	1.95	2	2.6	4.25	5.22	1.99
		117.4	62.92	1139.38	4.22	4.58	4-FFf	1.35	2	2	3.05	4.49	5.53	2.29
		144	65.8	1140.02	4.47	5.22	4-FFf	1.4	2	2	3.55	4.7	5.83	2.61
ODT-11	PUENTE 8.20 X 5.40	38.8	38.8	1091.05	2.25	1.48	1-S2n	0.76	1.34	1.16	1.08	4.2	3.68	0.75
		50.5	50.5	1091.48	2.68	1.88	1-S2n	0.9	1.6	1.39	1.28	4.53	4.04	0.89
		62.2	62.2	1091.9	3.1	2.29	5-S2n	1.03	1.83	1.62	1.47	4.81	4.34	1.03

ODT	Estructura Existente	Total Discharge (m^3/s)	Culvert Discharge (m^3/s)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)	H/D<1.00
ODT-12	1 TCR 24	1.74	1.21	1094.35	2.69	2.04	6-FFc	0.61	0.61	0.61	0.3	4.13	1.63	4.42
		1.96	1.22	1094.39	2.73	2.06	6-FFc	0.61	0.61	0.61	0.33	4.17	1.7	4.48
		2.21	1.23	1094.43	2.77	2.09	6-FFc	0.61	0.61	0.61	0.35	4.21	1.77	4.55
ODT-13	1 TCR 20	0.3	0.3	1109.52	0.63	0.5	5-S2n	0.31	0.37	0.33	0.26	2.18	1.22	1.24
		0.34	0.34	1109.59	0.7	0.64	5-S2n	0.34	0.4	0.35	0.28	2.26	1.26	1.38
		0.38	0.38	1109.69	0.8	0.72	5-S2n	0.37	0.42	0.38	0.3	2.34	1.3	1.58
ODT-14	1 METAL 36	6.14	3.02	1110.66	3.32	2.97	4-FFf	0.91	0.91	0.91	0.94	4.59	2.63	3.63
		6.92	3.08	1110.77	3.43**	3.14	4-FFf	0.91	0.91	0.91	1.03	4.68	2.72	3.75
		7.79	3.13	1110.88	3.54**	3.32	4-FFf	0.91	0.91	0.91	1.12	4.77	2.81	3.87
ODT-17	1 TCR 60	7.76	7.76	1187.96	3.36	2.84	5-S2n	1.21	1.39	1.33	0.49	4.59	2.29	2.20
		8.75	8.75	1188.61	4.01~	3.27	7-M2c	1.52	1.43	1.43	0.53	4.92	2.39	2.63
		9.86	9.86	1189.44	4.84~	3.78	7-M2c	1.52	1.4	1.4	0.57	5.63	2.49	3.18

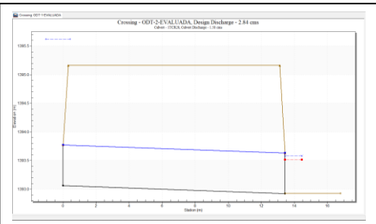
8.2.1.2 ESQUEMAS DE PERFIL Y SECCIÓN HY-8 - EVALUACIÓN



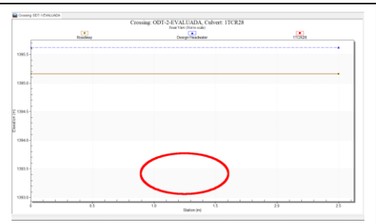
ODT-1



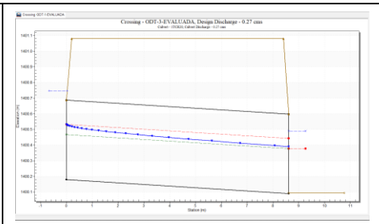
3 TRC 38



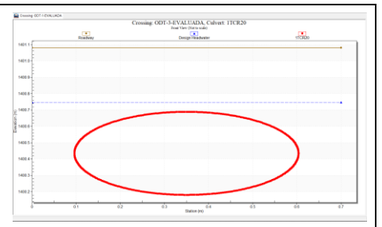
ODT-2



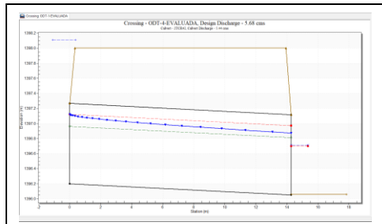
1 TCR 28



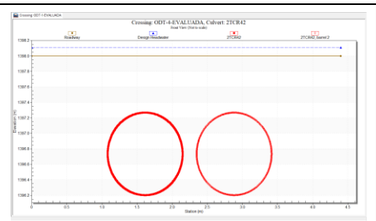
ODT-3



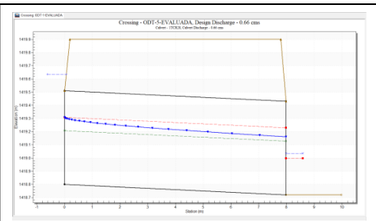
1 TCR 20



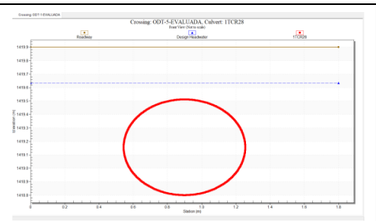
ODT-4



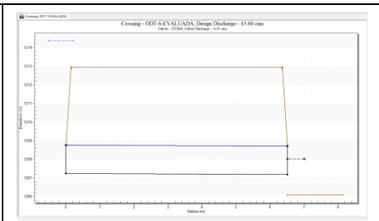
2 TCR 42



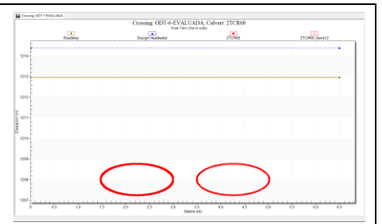
ODT-5



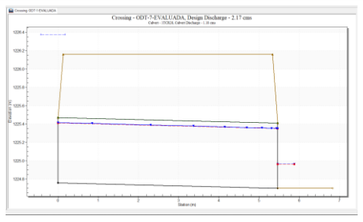
1 TCR 28



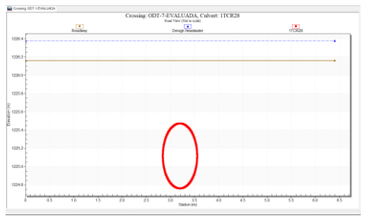
ODT-6



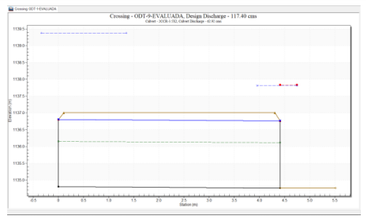
2 TCR 60



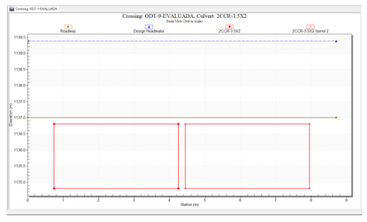
ODT-7



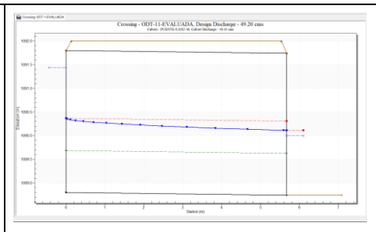
1 TCR 28



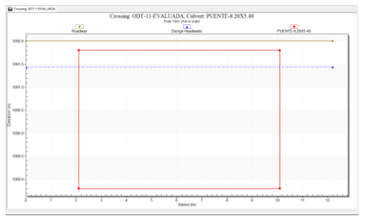
ODT-9



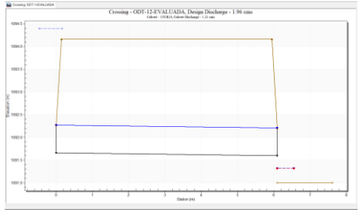
2 CCR 3.5 X 2



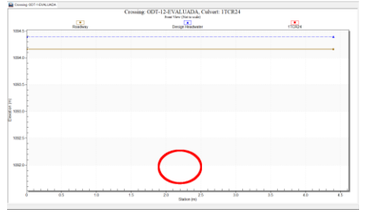
ODT-11



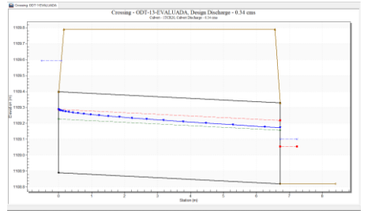
PUENTE 8.20 X 5.40



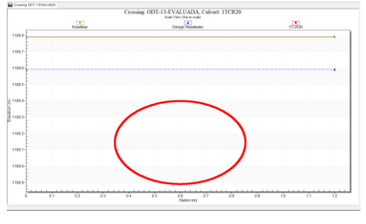
ODT-12



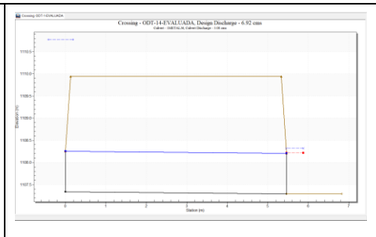
1 TCR 24



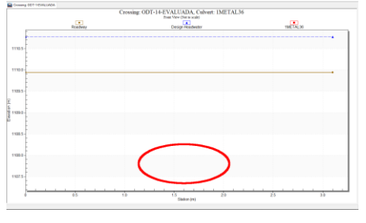
ODT-13



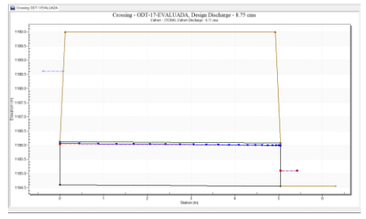
1 TCR 20



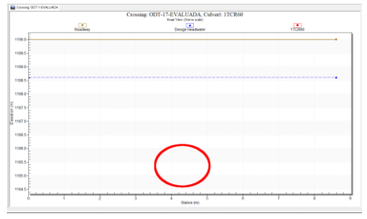
ODT-14



1 TCR 36



ODT-17



1 TCR 60

8.2.2 PROPUESTAS DE DISEÑO

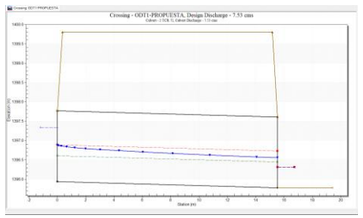
8.2.2.1 TABLA DE RESULTADOS DE HY-8 - DISEÑO

ODT	Estructura Propuesta	Total Discharge (m^3/s)	Culvert Discharge (m^3/s)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)	H/D<1.00	Type of Protection	Dimensions Riprap
ODT-1	2-TCR-72	6.68	6.68	1397.25	1.31	0.87	1-S2n	0.63	0.89	0.73	0.49	3.43	2.25	0.72	Longitud delantal	12.80 m
		7.53	7.53	1397.34	1.4	0.96	1-S2n	0.67	0.95	0.78	0.53	3.53	2.35	0.77	Ancho delantal	7.32 m
		8.48	8.48	1397.45	1.51	1.07	1-S2n	0.71	1.01	0.83	0.57	3.64	2.45	0.83	D_{50}	3.94 cm
ODT-2	1-TCR-60	2.52	2.52	1394.27	1.21	0.84	1-S2n	0.58	0.82	0.67	0.6	3.27	2.09	0.80	Longitud delantal	7.62 m
		2.84	2.84	1394.37	1.31	0.93	1-S2n	0.62	0.87	0.72	0.66	3.37	2.16	0.86	Ancho delantal	4.57 m
		3.2	3.2	1394.47	1.41	1.04	1-S2n	0.66	0.92	0.77	0.72	3.47	2.23	0.93	D_{50}	1.64 cm
ODT-3	1-TCR-36	0.24	0.24	1400.26	0.38	0.2	1-S2n	0.21	0.28	0.22	0.2	1.93	1.1	0.42	Longitud delantal	3.66 m
		0.27	0.27	1400.28	0.4	0.22	1-S2n	0.22	0.3	0.24	0.21	1.99	1.15	0.44	Ancho delantal	2.74 m
		0.3	0.3	1400.31	0.43	0.24	1-S2n	0.23	0.31	0.25	0.23	2.04	1.19	0.47	D_{50}	0.23 cm
ODT-4	2-TCR-60	5.03	5.03	1397.41	1.21	0.84	1-S2n	0.59	0.82	0.67	0.54	3.24	2.27	0.79	Longitud delantal	10.67 m
		5.68	5.68	1397.5	1.3	0.93	1-S2n	0.63	0.87	0.72	0.58	3.35	2.36	0.85	Ancho delantal	6.10 m
		6.39	6.39	1397.61	1.41	1.04	1-S2n	0.67	0.92	0.77	0.63	3.45	2.46	0.93	D_{50}	4.14 cm
ODT-5	1-TCR-36	0.58	0.58	1419.45	0.65	0.43	1-S2n	0.33	0.44	0.37	0.24	2.35	1.33	0.71	Longitud delantal	3.66 m
		0.66	0.66	1419.5	0.7	0.48	1-S2n	0.36	0.47	0.39	0.26	2.42	1.39	0.77	Ancho delantal	2.74 m
		0.74	0.74	1419.55	0.75	0.53	1-S2n	0.38	0.5	0.42	0.29	2.5	1.44	0.82	D_{50}	0.77 cm
ODT-6	2-CCR-3X3.5	35.1	35.1	1209.8	2.56	1.67	1-S2n	1.02	1.52	1.34	1.47	4.35	3.97	0.73	Longitud delantal	24.00 m
		43.6	43.6	1210.19	2.95	2.03	1-S2n	1.19	1.75	1.57	1.71	4.63	4.24	0.84	Ancho delantal	12.00 m
		53.3	53.3	1210.62	3.38	2.44	1-S2n	1.38	2	1.81	1.97	4.91	4.49	0.96	D_{50}	12.90 cm
ODT-7	1-TCR-60	1.92	1.92	1225.79	1.03	0.74	1-S2n	0.5	0.71	0.61	0.23	2.84	1.42	0.68	Longitud delantal	6.10 m
		2.17	2.17	1225.86	1.1	0.81	1-S2n	0.53	0.75	0.65	0.25	2.93	1.49	0.72	Ancho delantal	4.57 m
		2.44	2.44	1225.95	1.19	0.89	1-S2n	0.56	0.8	0.69	0.26	3.02	1.56	0.78	D_{50}	1.15 cm
ODT-8	1-TCR-36	0.58	0.58	1185.71	0.65	0.44	1-S2n	0.33	0.44	0.37	0.13	2.33	1.01	0.71	Longitud delantal	3.66 m
		0.66	0.66	1185.76	0.7	0.49	1-S2n	0.35	0.47	0.4	0.14	2.4	1.05	0.77	Ancho delantal	2.74 m
		0.74	0.74	1185.81	0.75	0.54	1-S2n	0.38	0.5	0.43	0.16	2.47	1.1	0.82	D_{50}	0.77 cm
ODT-9	3-CCR-5X4	94.5	94.5	1137.49	2.69	1.73	1-S2n	0.92	1.59	1.41	1.32	4.46	5.96	0.67	Longitud delantal	40.00 m
		117.4	117.4	1137.9	3.1	2.09	1-S2n	1.07	1.84	1.64	1.52	4.76	6.43	0.78	Ancho delantal	25.00 m
		144	144	1138.35	3.55	2.5	1-S2n	1.23	2.11	1.9	1.74	5.06	6.9	0.89	D_{50}	14.67 cm
ODT-10	1-TCR-36	0.45	0.45	1096.46	0.55	0.36	1-S2n	0.29	0.39	0.32	0.12	2.19	0.95	0.60	Longitud delantal	3.66 m
		0.51	0.51	1096.5	0.59	0.39	1-S2n	0.31	0.41	0.34	0.13	2.26	1	0.64	Ancho delantal	2.74 m
		0.57	0.57	1096.55	0.64	0.43	1-S2n	0.33	0.44	0.37	0.14	2.32	1.05	0.69	D_{50}	0.55 cm
ODT-11	2-CCR-3.5X3.5	38.8	38.8	1091.26	2.46	1.6	1-S2n	0.91	1.46	1.28	0.98	4.32	3.54	0.70	Longitud delantal	28.00 m
		50.5	50.5	1091.73	2.93	2.01	1-S2n	1.09	1.74	1.55	1.16	4.66	3.9	0.84	Ancho delantal	14.00 m
		62.2	62.2	1092.18	3.38	2.44	1-S2n	1.27	2	1.79	1.33	4.95	4.19	0.97	D_{50}	10.95 cm

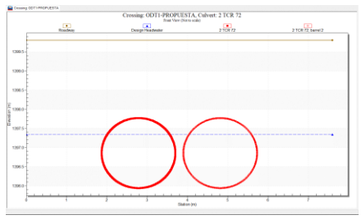
ODT	Estructura Propuesta	Total Discharge (m^3/s)	Culvert Discharge (m^3/s)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)	H/D<1.00	Type of Protection	Dimensions Riprap
ODT-12	1-TCR-60	1.74	1.74	1092.62	0.96	0.69	1-S2n	0.48	0.67	0.58	0.27	2.75	1.55	0.63	Longitud delantal	6.10 m
		1.96	1.96	1092.7	1.04	0.75	1-S2n	0.52	0.72	0.62	0.29	2.83	1.62	0.68	Ancho delantal	4.57 m
		2.21	2.21	1092.78	1.12	0.82	1-S2n	0.55	0.76	0.66	0.32	2.92	1.69	0.74	D_{50}	1.00 cm
ODT-13	1-TCR-36	0.3	0.3	1108.72	0.43	0.26	1-S2n	0.23	0.31	0.26	0.21	1.99	1.16	0.47	Longitud delantal	3.66 m
		0.34	0.34	1108.75	0.46	0.29	1-S2n	0.25	0.33	0.27	0.22	2.05	1.2	0.50	Ancho delantal	2.74 m
		0.38	0.38	1108.79	0.5	0.31	1-S2n	0.26	0.36	0.29	0.24	2.11	1.25	0.55	D_{50}	0.32 cm
ODT-14	2-TCR-72	6.14	6.14	1108.58	1.24	0.91	1-S2n	0.62	0.86	0.75	0.67	3.01	2.49	0.68	Longitud delantal	12.80 m
		6.92	6.92	1108.67	1.33	1.00	1-S2n	0.66	0.91	0.81	0.73	3.11	2.59	0.73	Ancho delantal	7.32 m
		7.79	7.79	1108.78	1.44	1.09	1-S2n	0.7	0.97	0.86	0.79	3.21	2.69	0.79	D_{50}	3.52 cm
ODT-15	1-TCR-48	1.36	1.36	1089.09	0.93	0.65	1-S2n	0.46	0.63	0.53	0.23	2.8	1.39	0.76	Longitud delantal	4.88 m
		1.53	1.53	1089.17	1.01	0.73	1-S2n	0.49	0.67	0.57	0.24	2.89	1.45	0.83	Ancho delantal	3.66 m
		1.72	1.72	1089.24	1.08	0.81	1-S2n	0.52	0.72	0.61	0.26	2.98	1.52	0.88	D_{50}	1.21 cm
ODT-16	1-TCR-36	0.11	0.11	1099.28	0.25	0.11	1-S2n	0.14	0.18	0.15	0.05	1.57	0.53	0.28	Longitud delantal	3.66 m
		0.12	0.12	1099.29	0.26	0.12	1-S2n	0.15	0.2	0.15	0.05	1.61	0.56	0.29	Ancho delantal	2.74 m
		0.13	0.13	1099.31	0.28	0.13	1-S2n	0.16	0.21	0.16	0.06	1.66	0.59	0.31	D_{50}	0.08 cm
ODT-17	2-TCR-72	7.76	7.76	1186.03	1.43	1.09	1-S2n	0.69	0.97	0.86	0.45	3.22	2.18	0.78	Longitud delantal	12.80 m
		8.75	8.75	1186.14	1.54	1.2	1-S2n	0.73	1.03	0.92	0.48	3.33	2.28	0.84	Ancho delantal	7.32 m
		9.86	9.86	1186.26	1.66	1.32	1-S2n	0.78	1.1	0.98	0.52	3.45	2.39	0.91	D_{50}	4.81 cm
ODT-18	1-TCR-48	0.9	0.9	1143.24	0.72	0.5	1-S2n	0.36	0.51	0.43	0.19	2.45	1.23	0.59	Longitud delantal	4.88 m
		1.01	1.01	1143.3	0.78	0.54	1-S2n	0.39	0.54	0.46	0.2	2.52	1.29	0.64	Ancho delantal	3.66 m
		1.14	1.14	1143.36	0.84	0.59	1-S2n	0.41	0.58	0.49	0.22	2.6	1.35	0.69	D_{50}	0.70 cm
ODT-19	1-TCR-60	2.48	2.48	1126.4	1.2	0.9	1-S2n	0.58	0.81	0.7	0.37	3.02	1.82	0.79	Longitud delantal	7.62 m
		2.8	2.8	1126.49	1.29	0.99	1-S2n	0.62	0.86	0.75	0.4	3.12	1.9	0.85	Ancho delantal	4.57 m
		3.15	3.15	1126.59	1.39	1.09	1-S2n	0.66	0.92	0.8	0.43	3.23	1.98	0.91	D_{50}	1.61 cm
ODT-20	2-CCR-3X3	23.5	23.5	1126.96	1.96	1.23	1-S2n	0.75	1.16	1.01	1	3.89	3.38	0.65	Longitud delantal	24.00 m
		31.3	31.3	1127.36	2.36	1.58	1-S2n	0.92	1.4	1.24	1.21	4.22	3.72	0.79	Ancho delantal	12.00 m
		40.8	40.8	1127.82	2.82	2.02	1-S2n	1.11	1.68	1.49	1.45	4.56	4.06	0.94	D_{50}	8.29 cm
ODT-21	2-TCR-48	2.99	2.99	1130.89	0.99	0.73	1-S2n	0.48	0.67	0.57	0.38	2.81	1.87	0.82	Longitud delantal	7.32 m
		3.37	3.37	1130.97	1.07	0.81	1-S2n	0.51	0.71	0.61	0.41	2.9	1.96	0.88	Ancho delantal	3.66 m
		3.79	3.79	1131.05	1.15	0.9	1-S2n	0.55	0.75	0.65	0.44	3	2.04	0.95	D_{50}	3.47 cm
ODT-22	1-TCR-60	1.87	1.87	1133.05	1.01	0.72	1-S2n	0.51	0.7	0.6	0.39	2.79	1.79	0.66	Longitud delantal	6.10 m
		2.11	2.11	1133.13	1.09	0.79	1-S2n	0.54	0.74	0.64	0.42	2.88	1.87	0.71	Ancho delantal	3.05 m
		2.37	2.37	1133.21	1.17	0.87	1-S2n	0.58	0.79	0.69	0.45	2.97	1.94	0.77	D_{50}	1.10 cm
ODT-23	2-CCR-2X2	11.46	11.46	1169.78	1.58	1.04	1-S2n	0.63	0.94	0.81	0.62	3.53	2.61	0.79	Longitud delantal	16.00 m
		12.92	12.92	1169.92	1.72	1.17	1-S2n	0.69	1.02	0.89	0.67	3.65	2.72	0.86	Ancho delantal	8.00 m
		14.56	14.56	1170.06	1.86	1.3	1-S2n	0.75	1.11	0.96	0.72	3.77	2.84	0.93	D_{50}	6.56 cm
ODT-24	2-CCR-3.5X3.5	35.1	35.1	1054.51	2.31	1.47	1-S2n	0.88	1.37	1.2	1.18	4.18	3.75	0.66	Longitud delantal	28.00 m
		48.85	48.85	1055.07	2.87	1.95	1-S2n	1.12	1.71	1.52	1.47	4.6	4.19	0.82	Ancho delantal	14.00 m
		62.6	62.6	1055.6	3.4	2.46	1-S2n	1.33	2.01	1.81	1.74	4.94	4.54	0.97	D_{50}	10.48 cm

ODT	Estructura Propuesta	Total Discharge (m^3/s)	Culvert Discharge (m^3/s)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)	H/D<1.00	Type of Protection	Dimensions Riprap
ODT-25	1-TCR-36	0.42	0.42	1028.05	0.53	0.36	1-S2n	0.28	0.37	0.31	0.16	2.08	1.09	0.58	Longitud delantal	3.66 m
		0.47	0.47	1028.09	0.57	0.39	1-S2n	0.3	0.4	0.34	0.18	2.14	1.14	0.62	Ancho delantal	1.83 m
		0.53	0.53	1028.13	0.61	0.43	1-S2n	0.32	0.42	0.36	0.19	2.2	1.19	0.66	D_{50}	0.49 cm
ODT-26	2-CCR-2X2	11.73	11.73	1028.81	1.61	1.07	1-S2n	0.63	0.96	0.82	0.8	3.56	2.87	0.80	Longitud delantal	16.00 m
		13.23	13.23	1028.94	1.74	1.19	1-S2n	0.69	1.04	0.9	0.86	3.68	2.99	0.87	Ancho delantal	8.00 m
		14.9	14.9	1029.09	1.89	1.33	1-S2n	0.75	1.12	0.98	0.93	3.81	3.11	0.94	D_{50}	6.77 cm
ODT-27	2-CCR-3X2	11.2	11.2	1025.4	1.2	0.71	1-S2n	0.45	0.71	0.58	0.51	3.2	2.38	0.60	Longitud delantal	18.00 m
		16	16	1025.71	1.51	0.97	1-S2n	0.57	0.9	0.76	0.64	3.53	2.72	0.75	Ancho delantal	12.00 m
		20.8	20.8	1026	1.8	1.24	1-S2n	0.68	1.07	0.91	0.76	3.8	3	0.90	D_{50}	3.39 cm

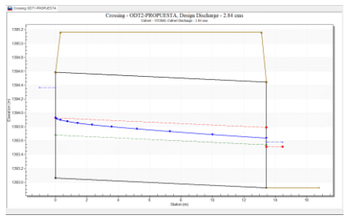
8.2.2.2 ESQUEMAS DE PERFIL Y SECCIÓN HY-8 - DISEÑO



ODT-1

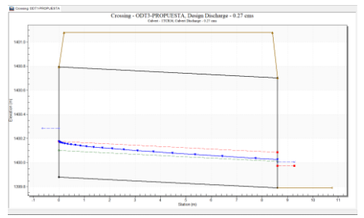


2 TCR 72

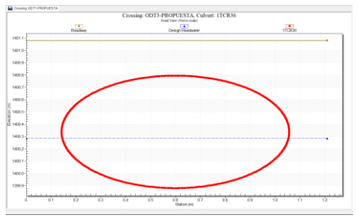


ODT-2

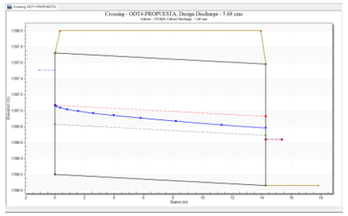
1 TCR 60



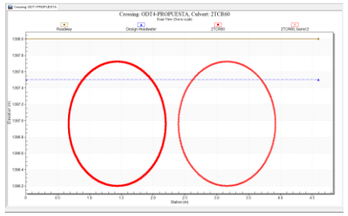
ODT-3



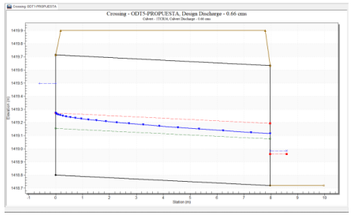
1 TCR 36



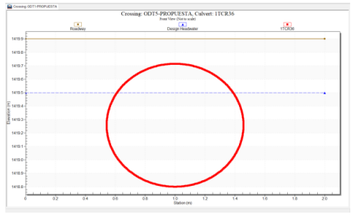
ODT-4



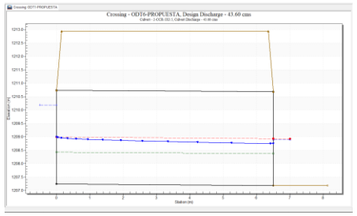
2 TCR 60



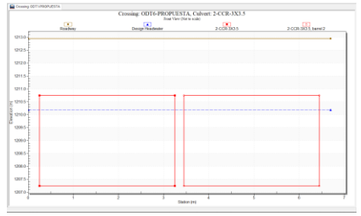
ODT-5



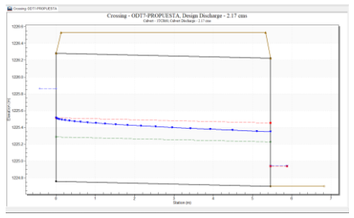
1 TCR 36



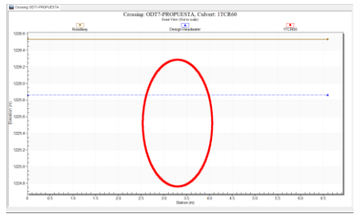
ODT-6



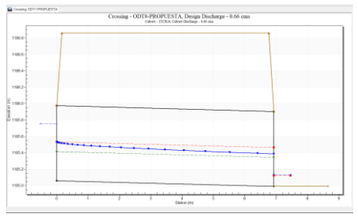
2 CCR 3.5X3.5



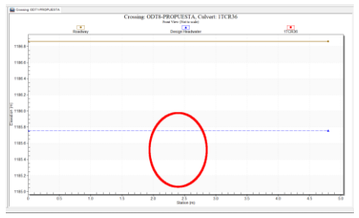
ODT-7



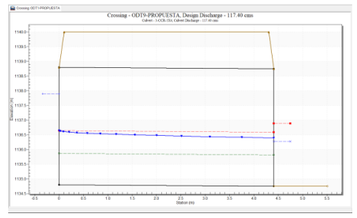
1 TCR 60



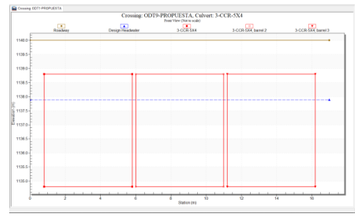
ODT-8



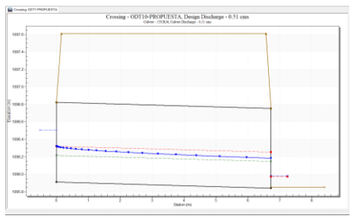
1 TCR 36



ODT-9

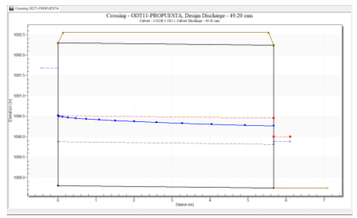


3 CCR 5X4

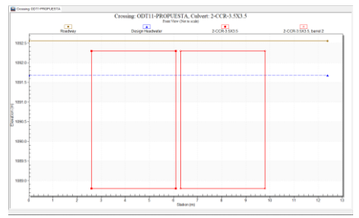


ODT-10

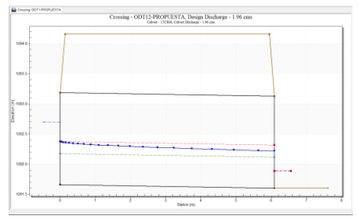
1 TCR 36



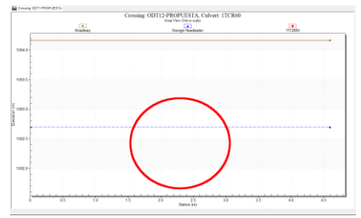
ODT-11



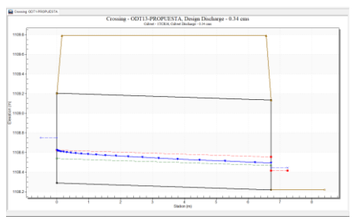
2 CCR 3.5 X 3.5



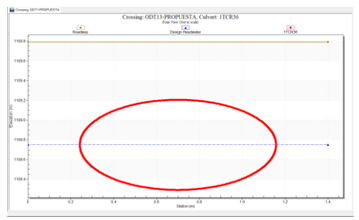
ODT-12



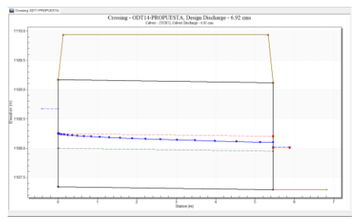
1 TCR 60



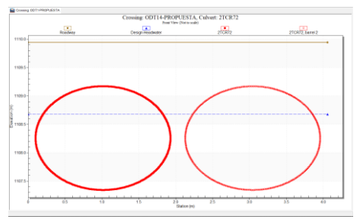
ODT-13



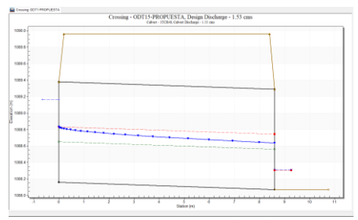
1 TCR 36



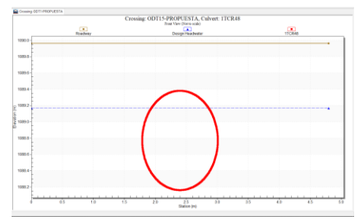
ODT-14



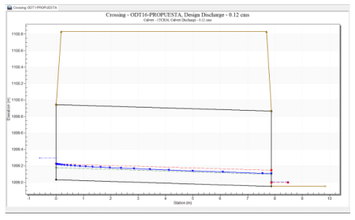
2 TCR 72



ODT-15

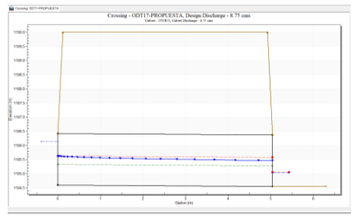


1 TCR 48



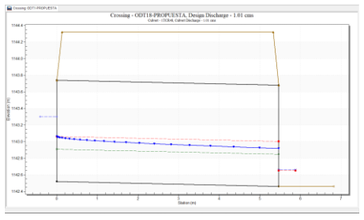
ODT-16

1 TCR 36

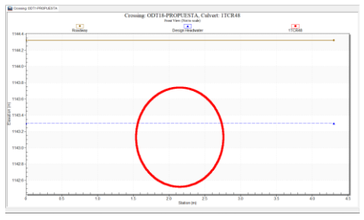


ODT-17

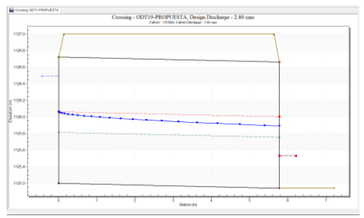
2 TCR 72



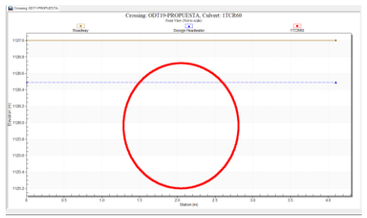
ODT-18



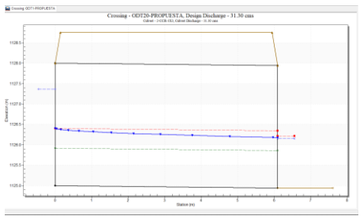
1 TCR 48



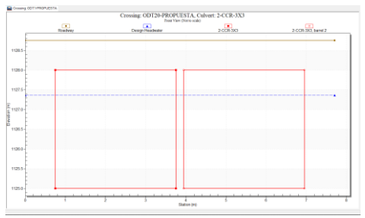
ODT-19



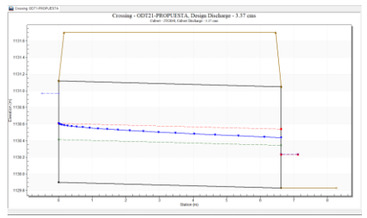
1 TCR 60



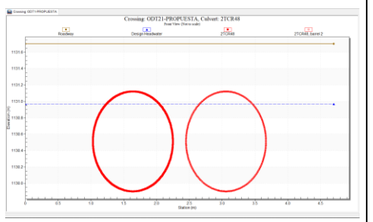
ODT-20



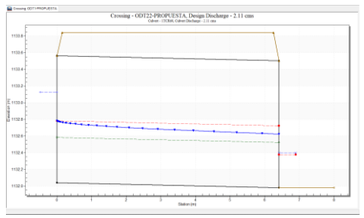
2 CCR 2 X 2



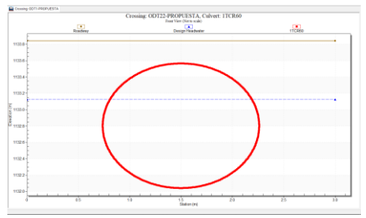
ODT-21



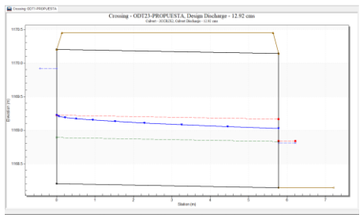
1 TCR 48



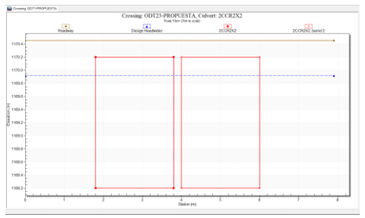
ODT-22



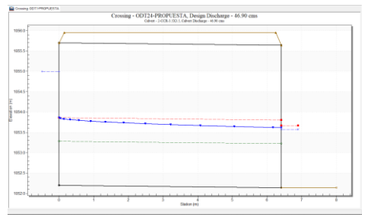
1 TCR 60



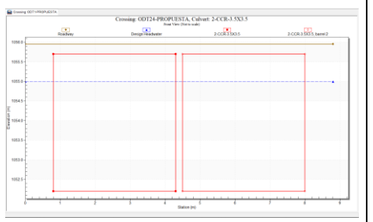
ODT-23



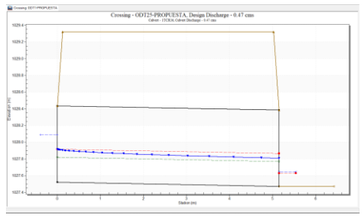
2 CCR 2 X 2



ODT-24

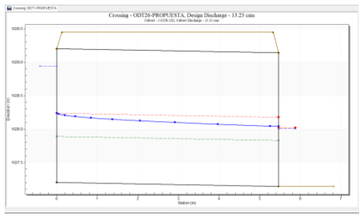


2 CCR 3.5 X 3.5

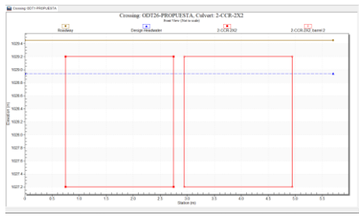


ODT-25

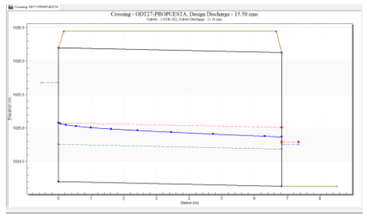
1 TCR 36



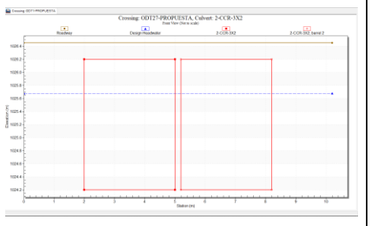
ODT-26



2 CCR 2X2



ODT-27

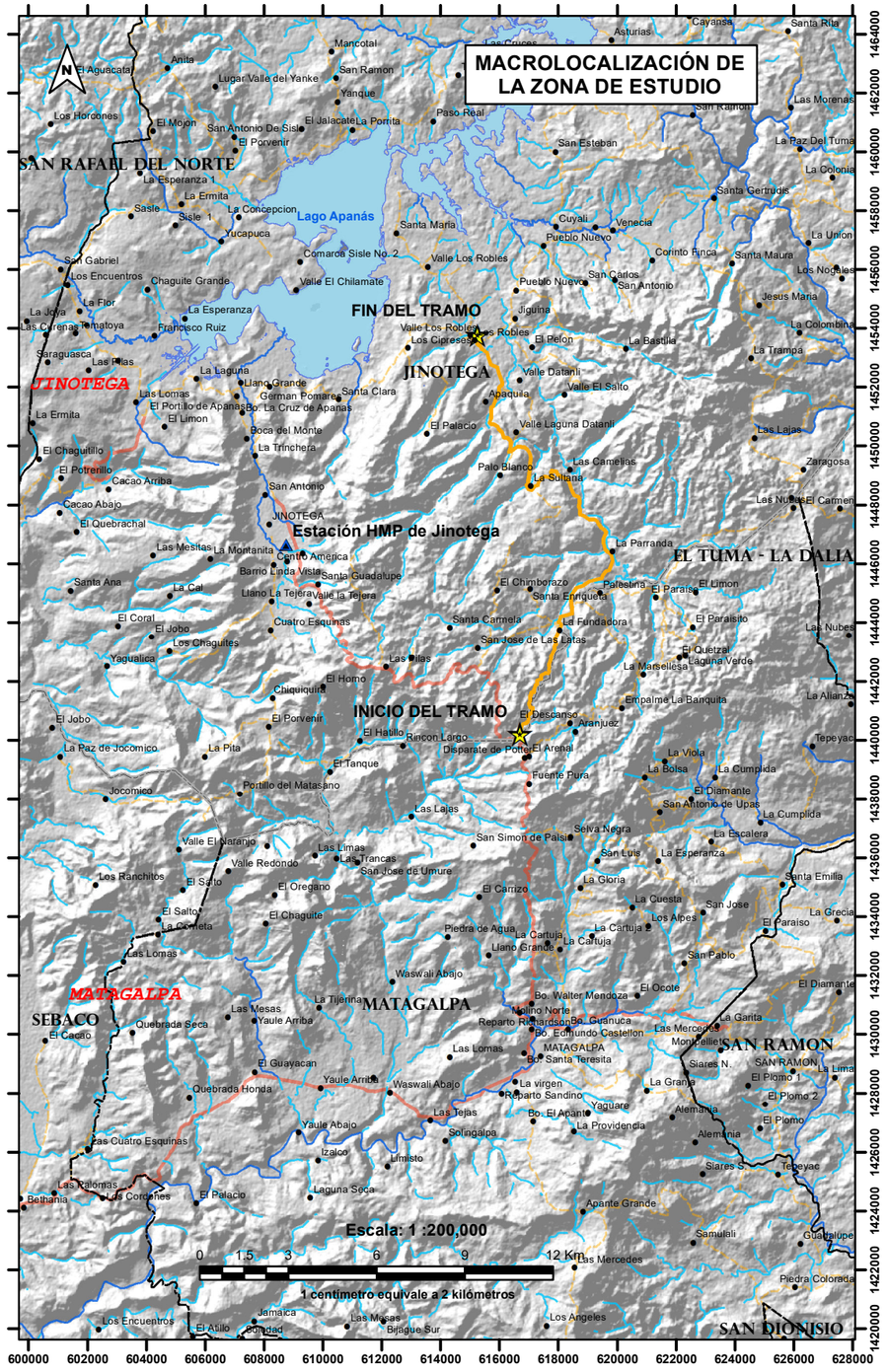


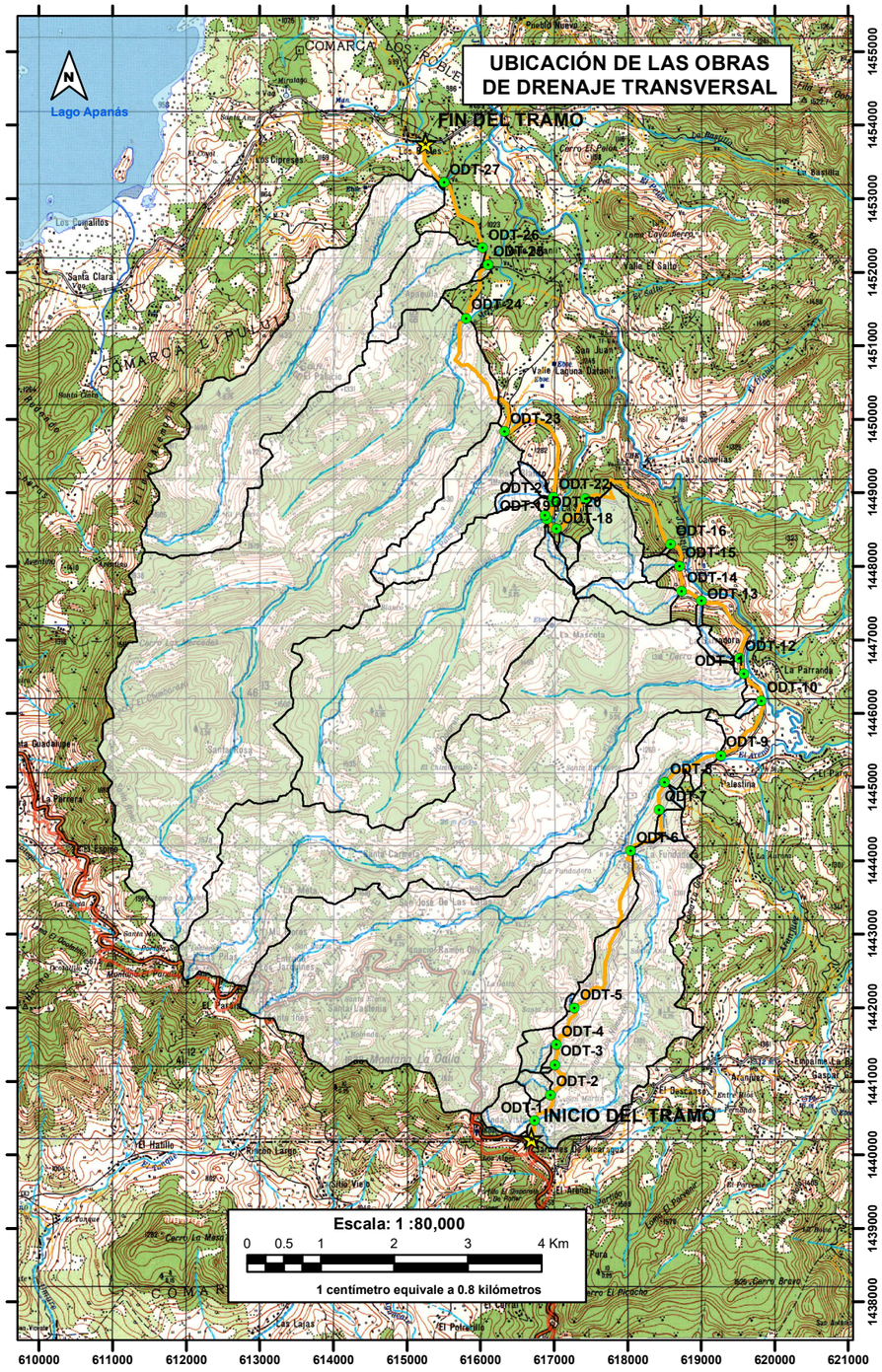
2 CCR 3 X 2

8.3 MAPAS ELABORADOS

NÚMERO DE MAPA	TÍTULO DEL MAPA DEL ESTUDIO HIDROLÓGICO – CUENCAS DE DRENAJE MENOR Y DRENAJE MAYOR
MAPA 1	MAPA MACRO LOCALIZACIÓN Y UBICACIÓN DE OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL
MAPA 2	MAPAS DE USO DE SUELOS, TIPO DE SUELOS Y MAPA DE PENDIENTES DE CUENCAS
MAPA 3	MAPAS DE CUENCA ODT-6: USO DE SUELOS, TIPOS DE SUELOS, Y PENDIENTE
MAPA 4	MAPAS DE CUENCA ODT-6: CURVA NÚMERO Y ESQUEMA HIDROLÓGICO HEC-HMS
MAPA 5	MAPAS DE CUENCA ODT-9: USO DE SUELOS, TIPOS DE SUELOS, Y PENDIENTE
MAPA 6	MAPAS DE CUENCA ODT-9: CURVA NÚMERO Y ESQUEMA HIDROLÓGICO HEC-HMS
MAPA 7	MAPAS DE CUENCA ODT-11: USO DE SUELOS, TIPOS DE SUELOS, Y PENDIENTE
MAPA 8	MAPAS DE CUENCA ODT-11: CURVA NÚMERO Y ESQUEMA HIDROLÓGICO HEC-HMS
MAPA 9	MAPAS DE CUENCA ODT-20: USO DE SUELOS, TIPOS DE SUELOS, Y PENDIENTE
MAPA 10	MAPAS DE CUENCA ODT-20: CURVA NÚMERO Y ESQUEMA HIDROLÓGICO HEC-HMS
MAPA 11	MAPAS DE CUENCA ODT-24: USO DE SUELOS, TIPOS DE SUELOS, Y PENDIENTE
MAPA 12	MAPAS DE CUENCA ODT-24: CURVA NÚMERO Y ESQUEMA HIDROLÓGICO HEC-HMS
MAPA 13	MAPAS DE CUENCA ODT-27: USO DE SUELOS, TIPOS DE SUELOS, Y PENDIENTE
MAPA 14	MAPAS DE CUENCA ODT-27: CURVA NÚMERO Y ESQUEMA HIDROLÓGICO HEC-HMS

NÚMERO DE MAPA	TÍTULO DEL MAPA DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL
MAPA 1	MAPA DE ÁREA DE INFLUENCIA INDIRECTA DEL PROYECTO
MAPA 2	MAPAS DE ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA DE ODT-1 A ODT-9
MAPA 3	MAPAS DE ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA DE ODT-10 A ODT-18
MAPA 4	MAPAS DE ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA DE ODT-19 A ODT-27
MAPA 5	MAPA DE RELIEVE Y MAPA DE FORMACIONES GEOLÓGICAS DEL PROYECTO
MAPA 6	MAPA DE USO DE SUELOS Y MAPA DE GRUPOS TAXONÓMICOS DEL PROYECTO
MAPA 7	MAPA DE HIDROLOGÍA Y MAPA DE HIDROGEOLOGÍA DEL PROYECTO





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

TESIS:

DISEÑO HIDROTÉCNICO DE LAS OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL Y SU IMPACTO AMBIENTAL, DEL TRAMO DE CARRETERA: "EL ARENAL - LOS ROBLES", MUNICIPIO DE JINOTEGA

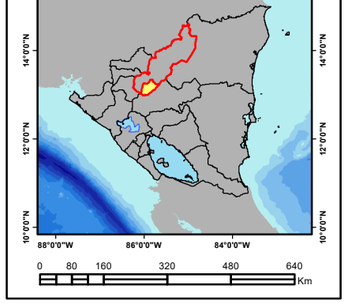
TÍTULO DEL MAPA:

MAPA MACRO LOCALIZACIÓN Y UBICACIÓN DE OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL

SIMBOLOGÍA

- Límite Municipal
- Límite Departamental
- Inicio y Fin de Tramo
- Tramo de Estudio
- Ríos Permanentes
- Ríos Intermitentes
- Poblados
- Drenaje Cuencas
- Puntos de Cierre
- Cuencas Delimitadas
- Camino de Tiempo Seco
- Camino de Todo Tiempo
- Carretera Pavimentada

MACROLOCALIZACIÓN



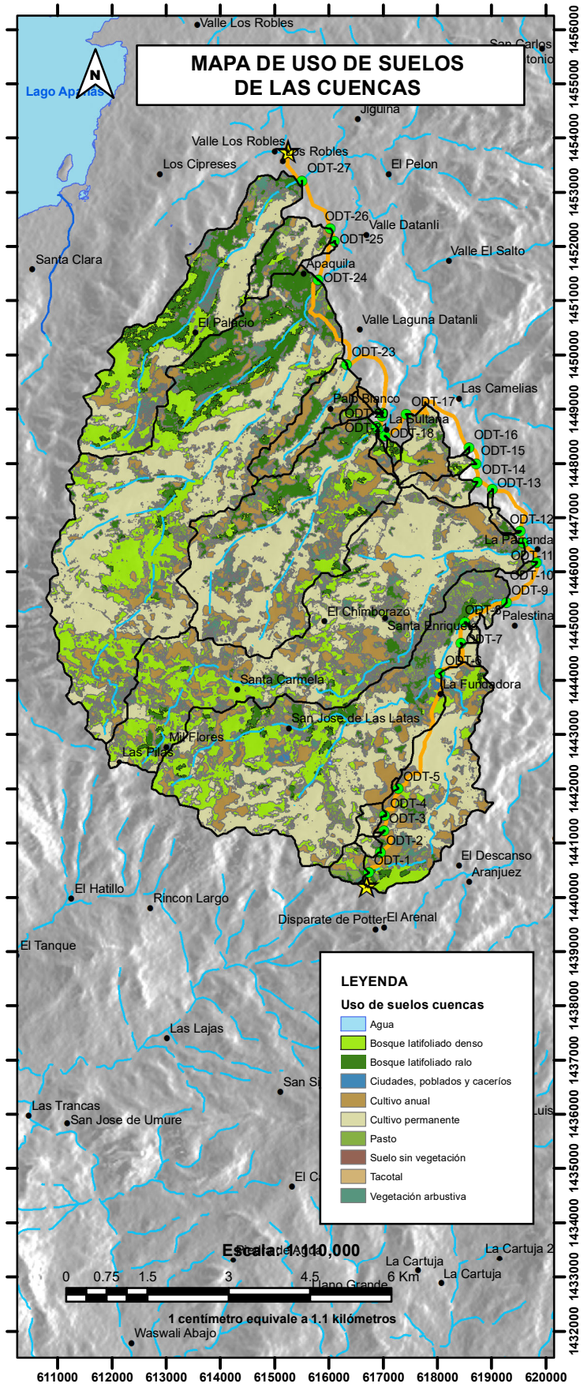
PROYECCIÓN.....UTM, ZONA 16N
DATUM.....WGS 1984
CARTA TOPOGRÁFICA.....3055 III

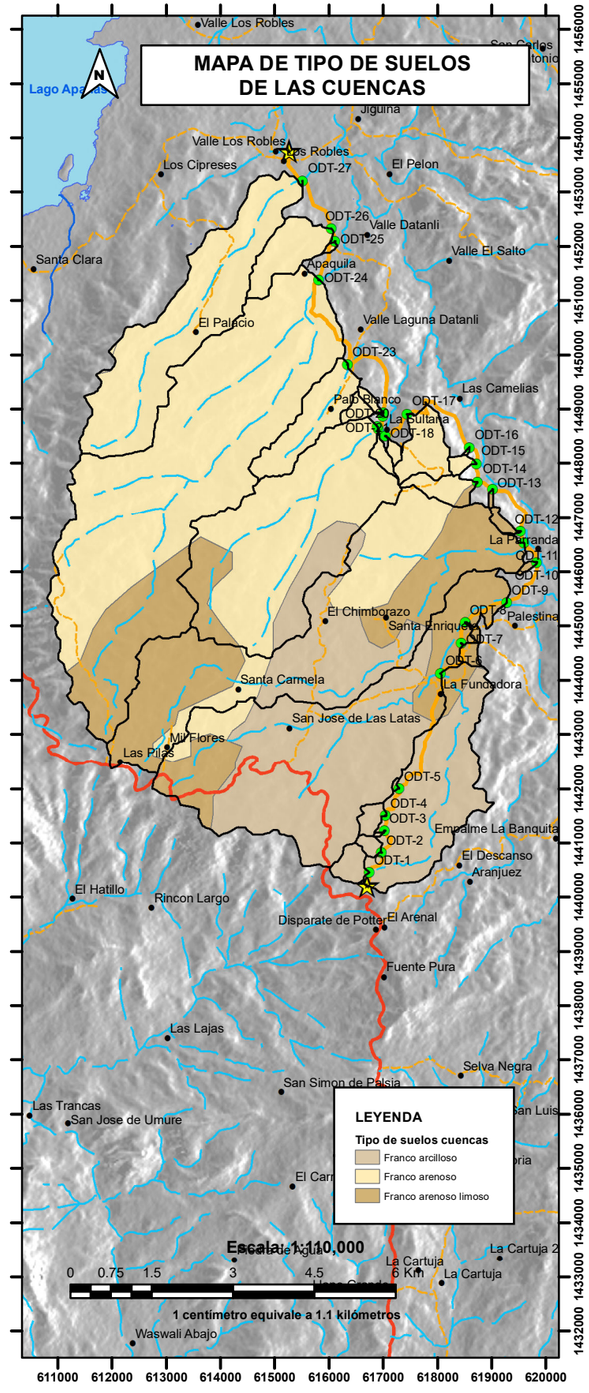
ELABORADO POR:
BR. ELIÁN JOSÉ ROJAS MURILLO
BR. ELÍAS ALBERTO CASTILLO LARGAESPADA

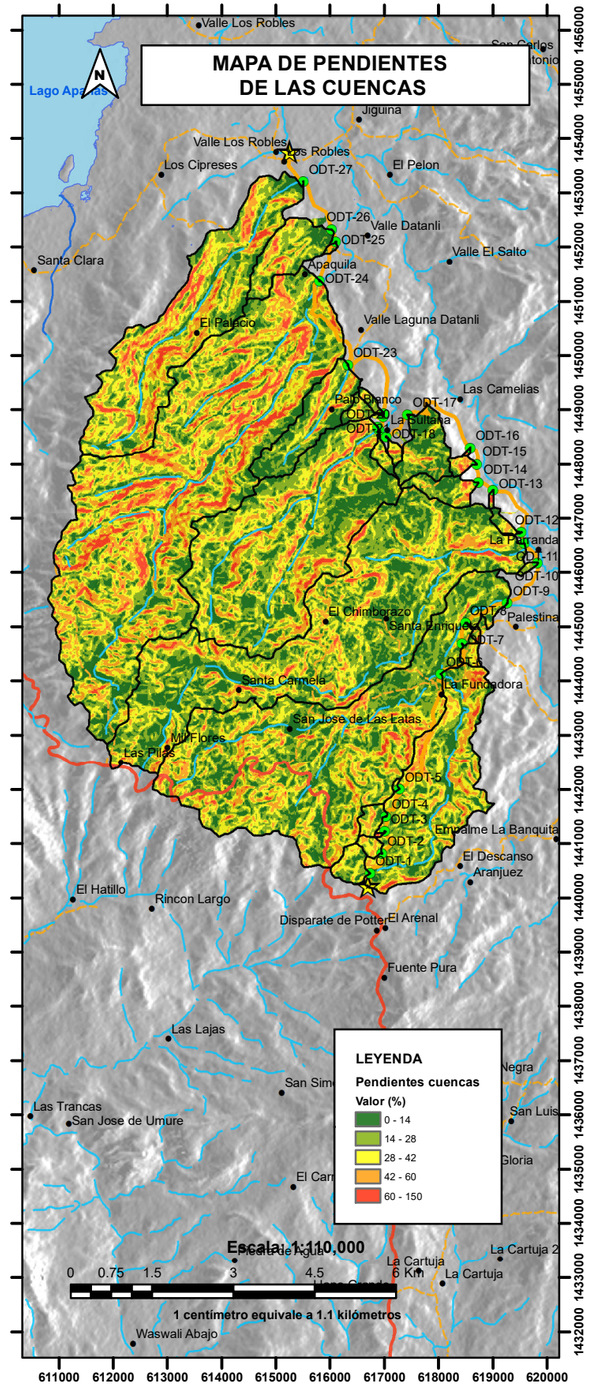
TUTOR:
DR. ING. NÉSTOR JAVIER LANZA MEJÍA

ASESOR:
M.SC. ING. JOSÉ ÁNGEL BALTODANO

FECHA:	CONSECUTIVA:
MAYO 2024	MAPA 01
ESCALA:	**TOTAL:**
INDICADA	14 MAPAS







UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

TESIS:

DISEÑO HIDROTÉCNICO DE LAS OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL Y SU IMPACTO AMBIENTAL, DEL TRAMO DE CARRETERA: "EL ARENAL - LOS ROBLES", MUNICIPIO DE JINOTEGA

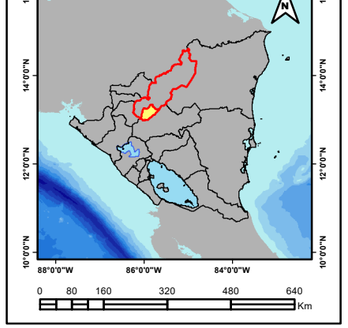
TÍTULO DEL MAPA:

MAPAS DE USO DE SUELOS, TIPO DE SUELOS, Y MAPA DE PENDIENTES DE CUENCAS

SIMBOLOGÍA

- Límite Municipal
- Límite Departamental
- Inicio y Fin de Tramo
- Tramo de Estudio
- Ríos Permanentes
- Ríos Intermitentes
- Poblados
- Drenaje Cuencas
- Puntos de Cierre
- Cuencas Delimitadas
- Camino de Tiempo Seco
- Camino de Todo Tiempo
- Carretera Pavimentada

MACROLOCALIZACIÓN



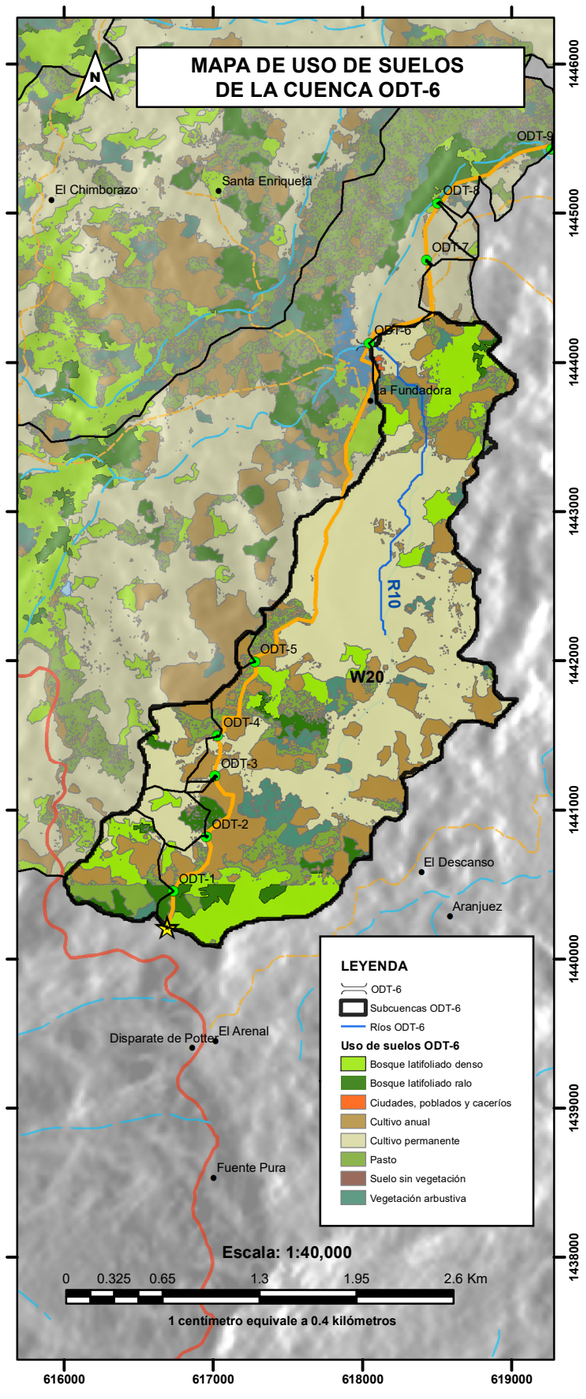
PROYECCIÓN.....UTM, ZONA 16N
DATUM.....WGS 1984
CARTA TOPOGRÁFICA.....3055 III

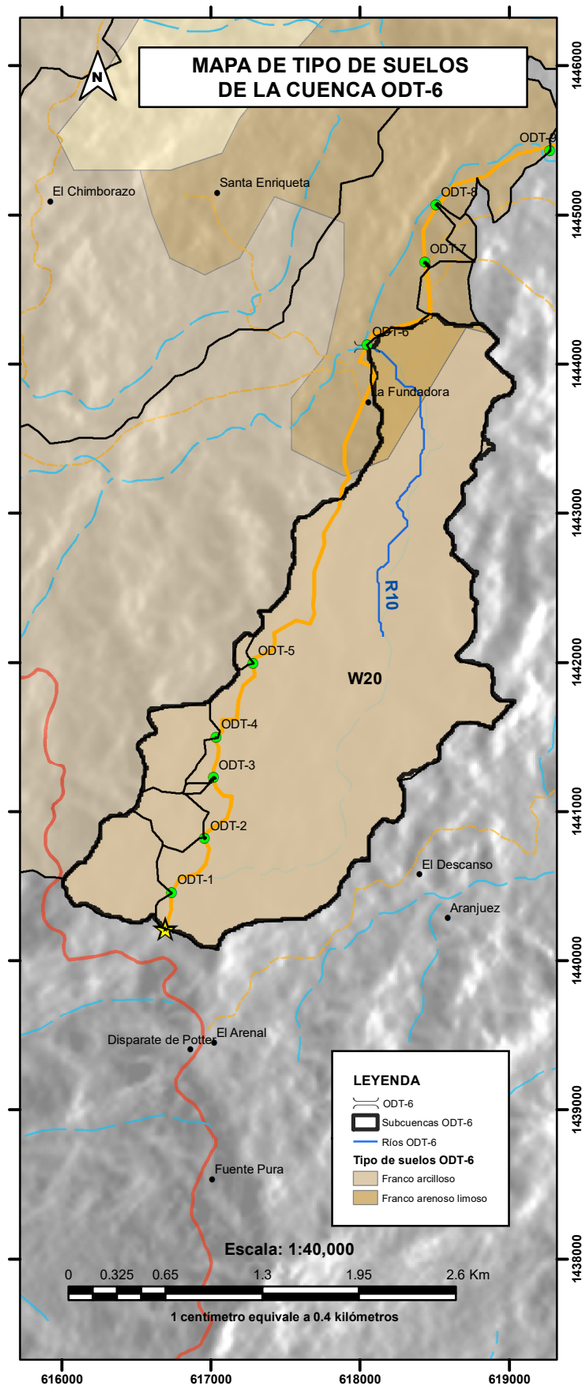
ELABORADO POR:
BR. ELIÁN JOSÉ ROJAS MURILLO
BR. ELÍAS ALBERTO CASTILLO LARGAESPADA

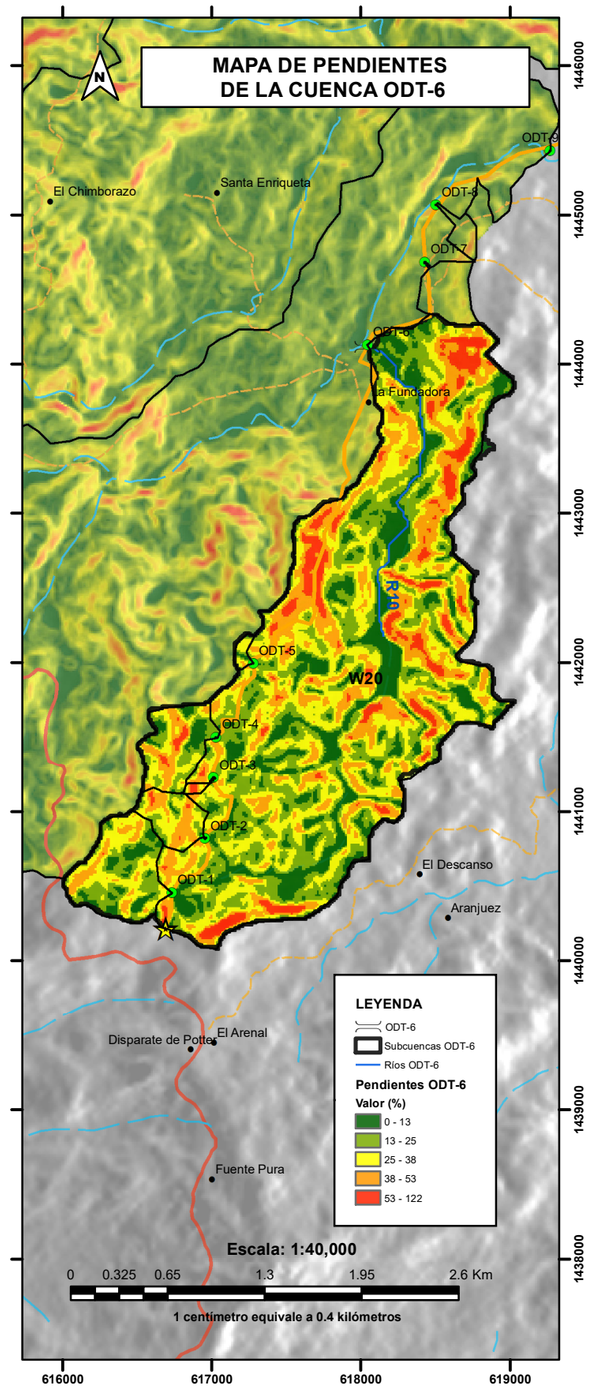
TUTOR:
DR. ING. NÉSTOR JAVIER LANZA MEJÍA

ASESOR:
M.SC. ING. JOSÉ ÁNGEL BALTODANO

FECHA:	CONSECUTIVA:
MAYO 2024	MAPA 02
ESCALA:	**TOTAL:**
INDICADA	14 MAPAS







UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

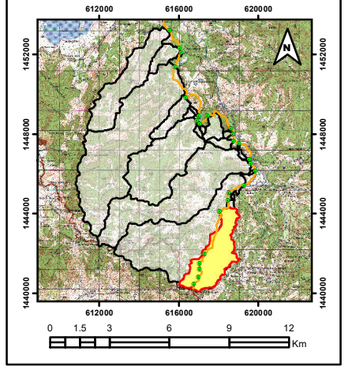
TESIS:
DISEÑO HIDROTÉCNICO DE LAS OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL Y SU IMPACTO AMBIENTAL, DEL TRAMO DE CARRETERA: "EL ARENAL - LOS ROBLES", MUNICIPIO DE JINOTEGA

TÍTULO DEL MAPA:
MAPAS DE CUENCA ODT-6: USO DE SUELOS, TIPO DE SUELOS Y PENDIENTE

SIMBOLOGÍA

- Límite Municipal
- Límite Departamental
- Inicio y Fin de Tramo
- Tramo de Estudio
- Ríos Permanentes
- Ríos Intermitentes
- Poblados
- Drenaje Cuencas
- Puntos de Cierre
- Cuencas Delimitadas
- Camino de Tiempo Seco
- Camino de Todo Tiempo
- Carretera Pavimentada

MICROLOCALIZACIÓN



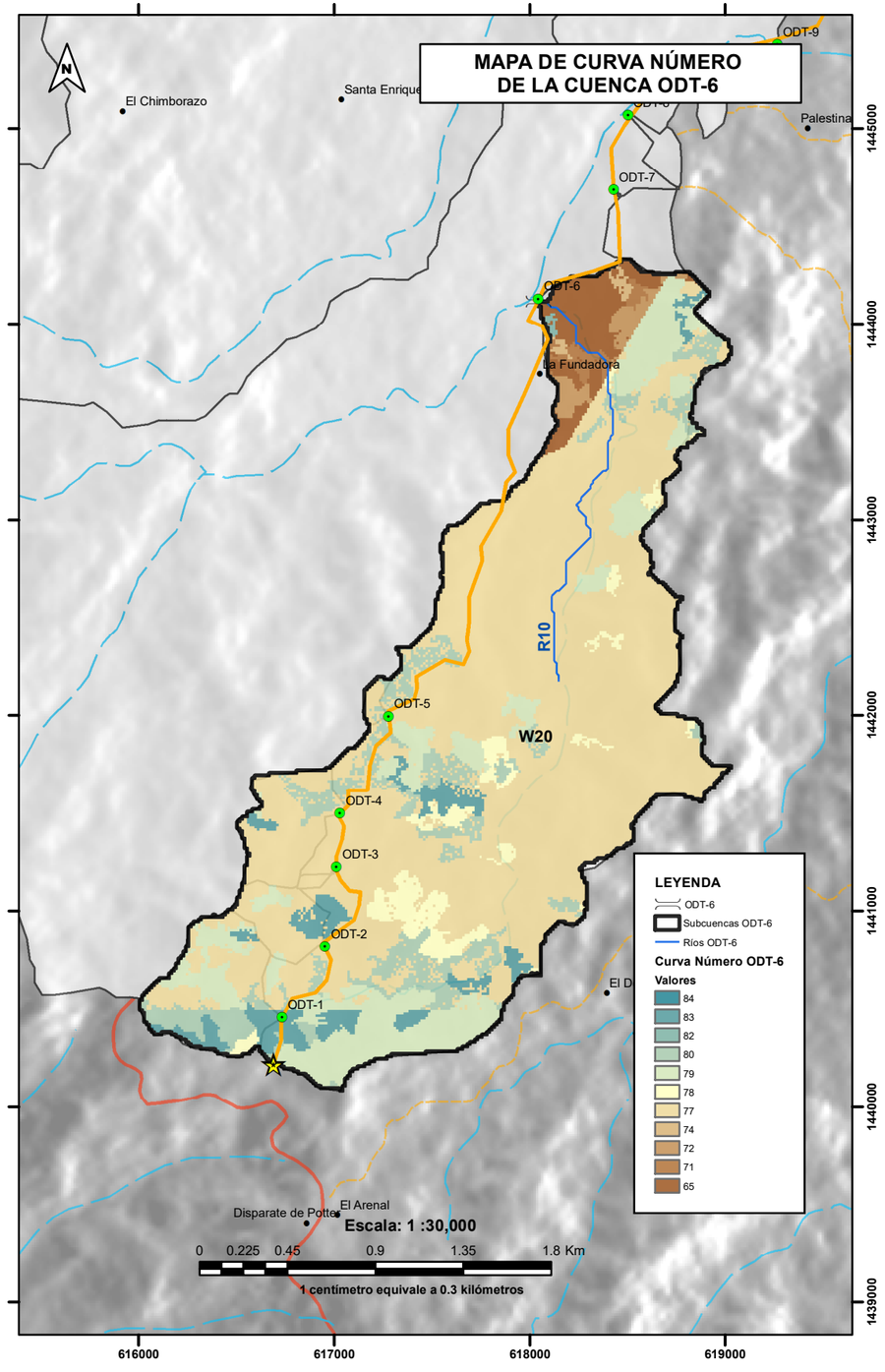
PROYECCIÓN.....UTM, ZONA 16N
DATUM.....WGS 1984
CARTA TOPOGRÁFICA.....3055 III

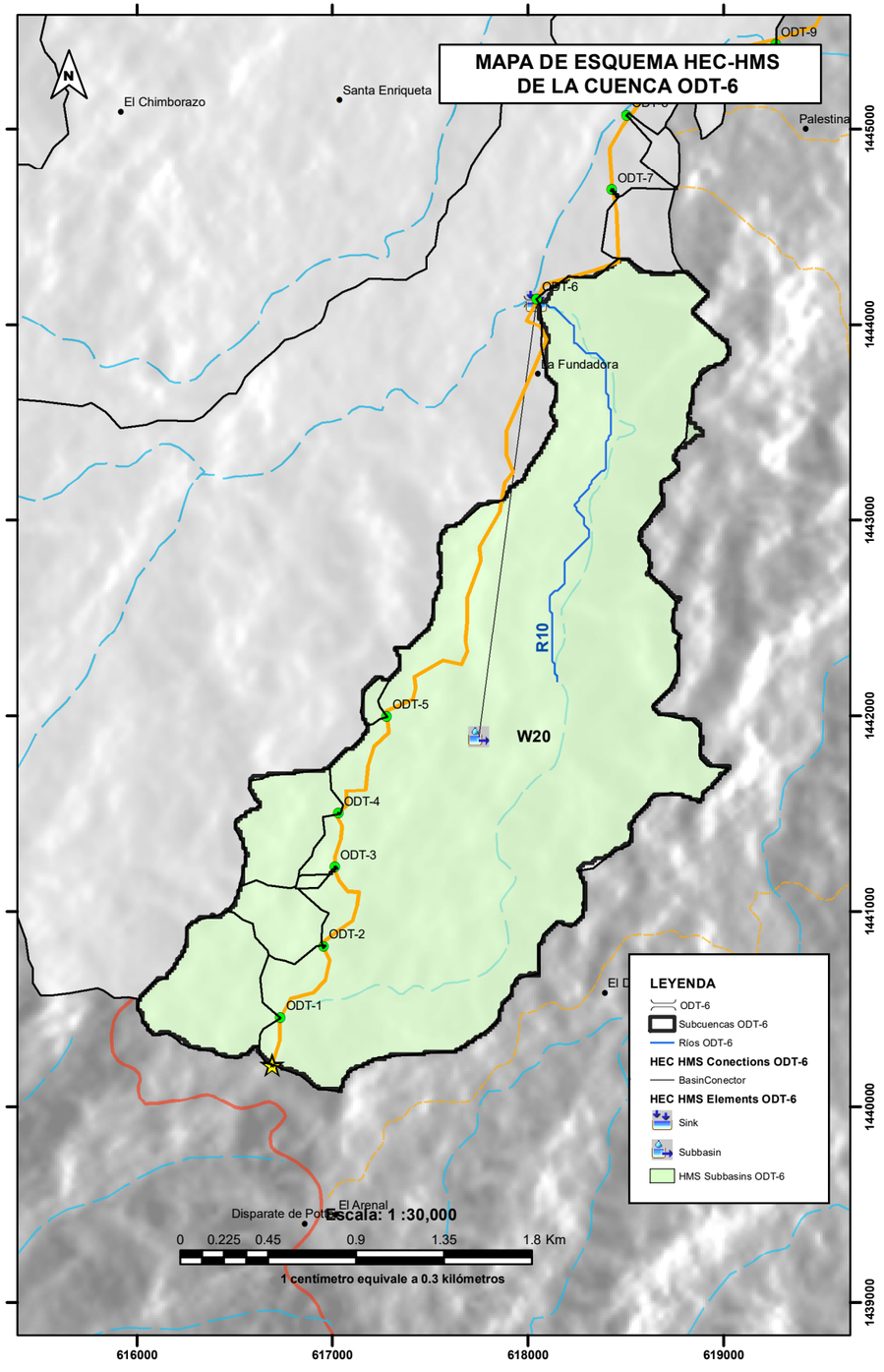
ELABORADO POR:
BR. ELIÁN JOSÉ ROJAS MURILLO
BR. ELÍAS ALBERTO CASTILLO LARGAESPADA

TUTOR:
DR. ING. NÉSTOR JAVIER LANZA MEJÍA

ASESOR:
M.SC. ING. JOSÉ ÁNGEL BALTODANO

FECHA:	CONSECUTIVA:
MAYO 2024	MAPA 03
ESCALA:	**TOTAL:**
INDICADA	14 MAPAS





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

TESIS:

DISEÑO HIDROTÉCNICO DE LAS OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL Y SU IMPACTO AMBIENTAL, DEL TRAMO DE CARRETERA: "EL ARENAL - LOS ROBLES", MUNICIPIO DE JINOTEGA

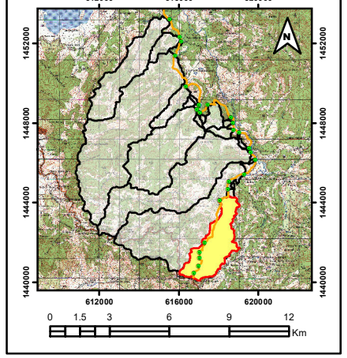
TÍTULO DEL MAPA:

MAPAS DE CUENCA ODT-6: CURVA NÚMERO Y ESQUEMA HIDROLÓGICO HEC-HMS

SIMBOLOGÍA

- Límite Municipal
- Límite Departamental
- Inicio y Fin de Tramo
- Tramo de Estudio
- Ríos Permanentes
- Ríos Intermitentes
- Poblados
- Drenaje Cuencas
- Puntos de Cierre
- Cuencas Delimitadas
- Camino de Tiempo Seco
- Camino de Todo Tiempo
- Carretera Pavimentada

MICROLOCALIZACIÓN



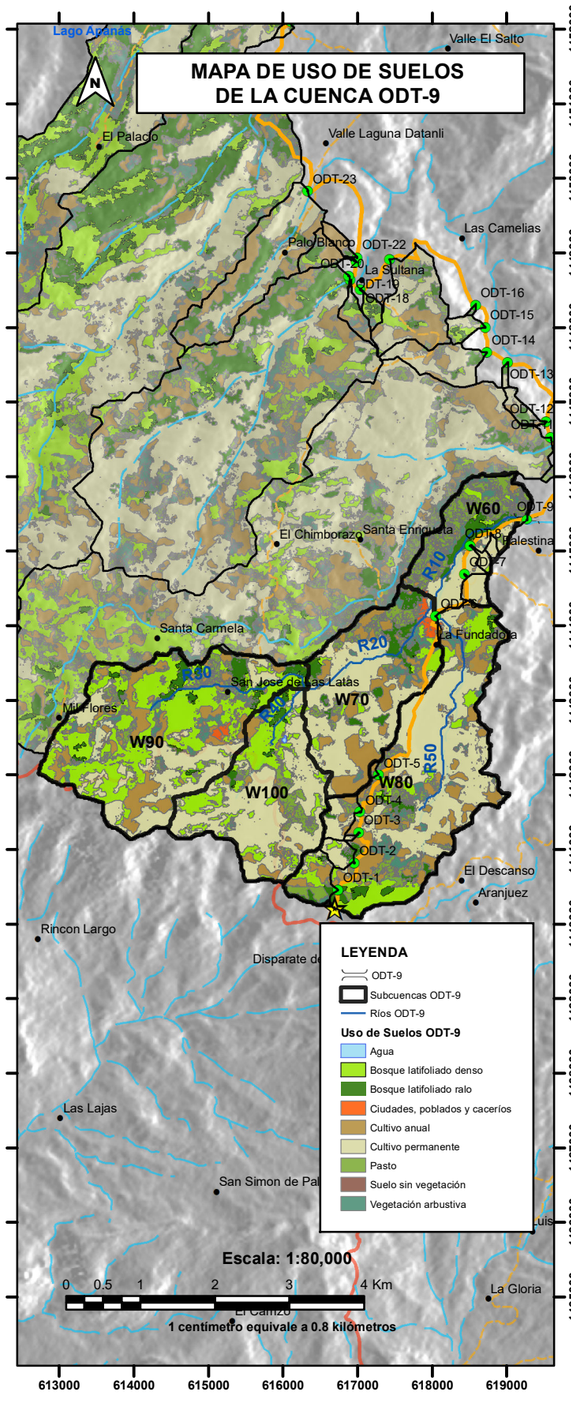
PROYECCIÓN.....UTM, ZONA 16N
DATUM.....WGS 1984
CARTA TOPOGRÁFICA.....3055 III

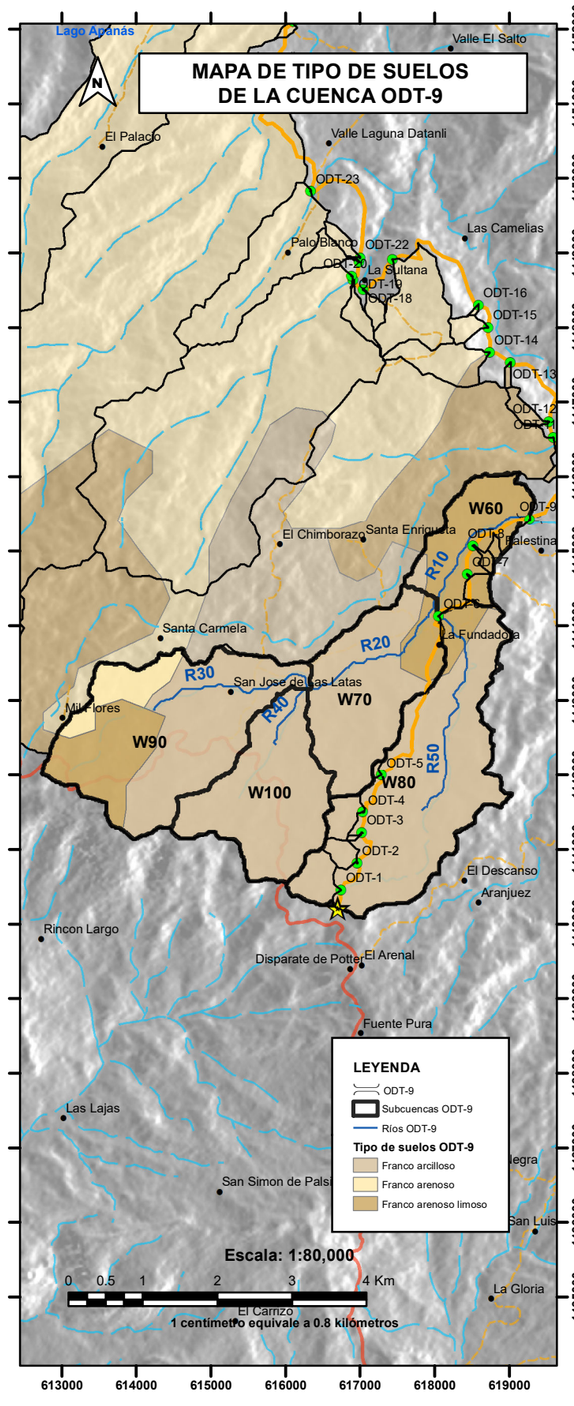
ELABORADO POR:
BR. ELIÁN JOSÉ ROJAS MURILLO
BR. ELÍAS ALBERTO CASTILLO LARGAESPADA

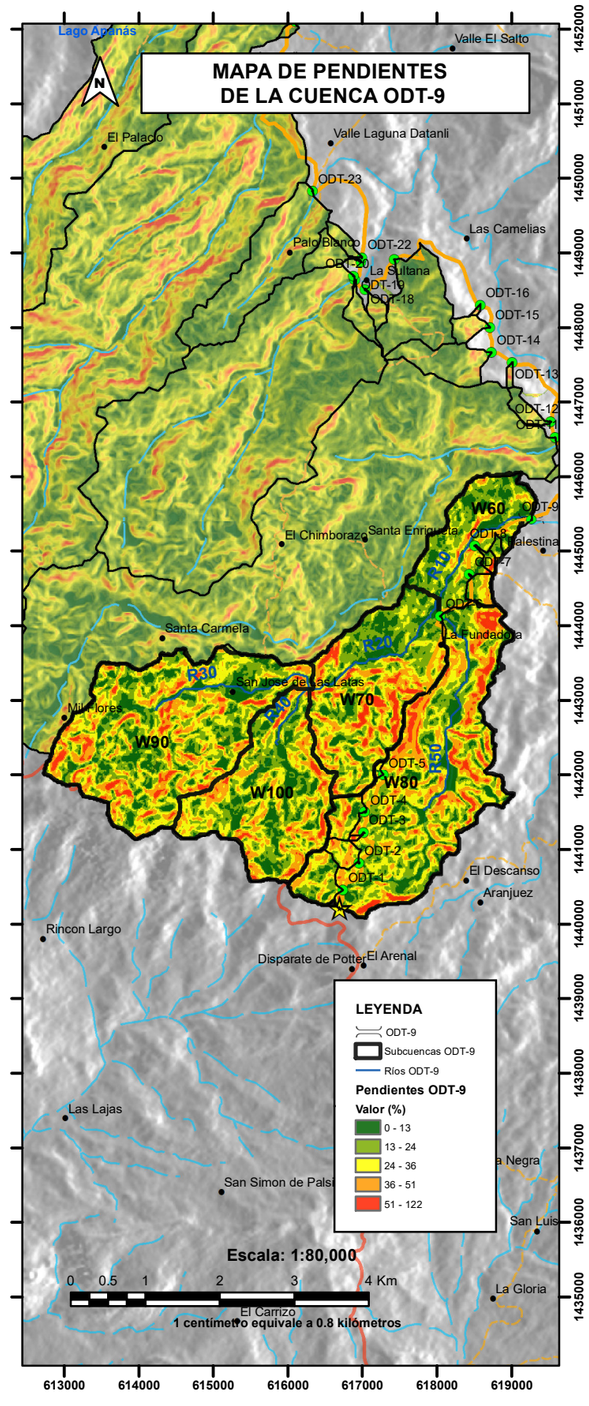
TUTOR:
DR. ING. NÉSTOR JAVIER LANZA MEJÍA

ASESOR:
M.SC. ING. JOSÉ ÁNGEL BALTODANO

FECHA:	CONSECUTIVA:
MAYO 2024	MAPA 04
ESCALA:	**TOTAL:**
INDICADA	14 MAPAS







UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

TESIS:

DISEÑO HIDROTÉCNICO DE LAS OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL Y SU IMPACTO AMBIENTAL, DEL TRAMO DE CARRETERA: "EL ARENAL - LOS ROBLES", MUNICIPIO DE JINOTEGA

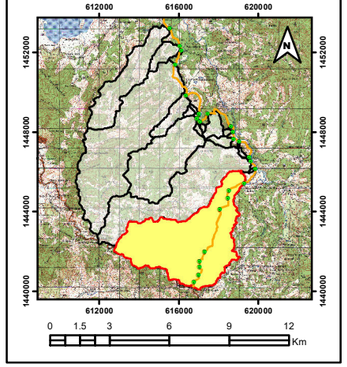
TÍTULO DEL MAPA:

MAPAS DE CUENCA ODT-9: USO DE SUELOS, TIPO DE SUELOS Y PENDIENTE

SIMBOLOGÍA

- Límite Municipal
- Límite Departamental
- Inicio y Fin de Tramo
- Tramo de Estudio
- Ríos Permanentes
- Ríos Intermitentes
- Poblados
- Drenaje Cuencas
- Puntos de Cierre
- Cuencas Delimitadas
- Camino de Tiempo Seco
- Camino de Todo Tiempo
- Carretera Pavimentada

MICROLOCALIZACIÓN



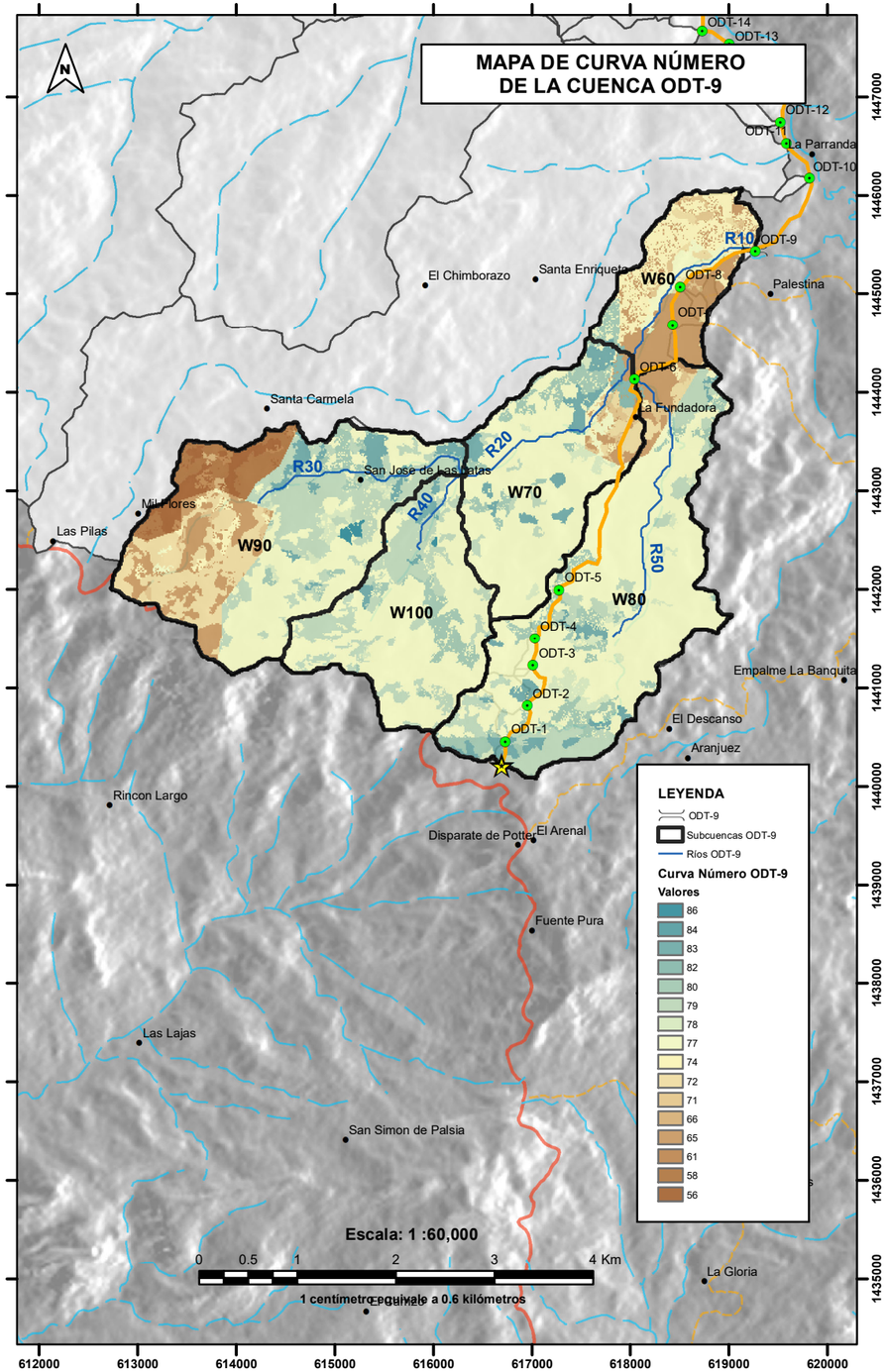
PROYECCIÓN.....UTM, ZONA 16N
DATUM.....WGS 1984
CARTA TOPOGRÁFICA.....3055 III

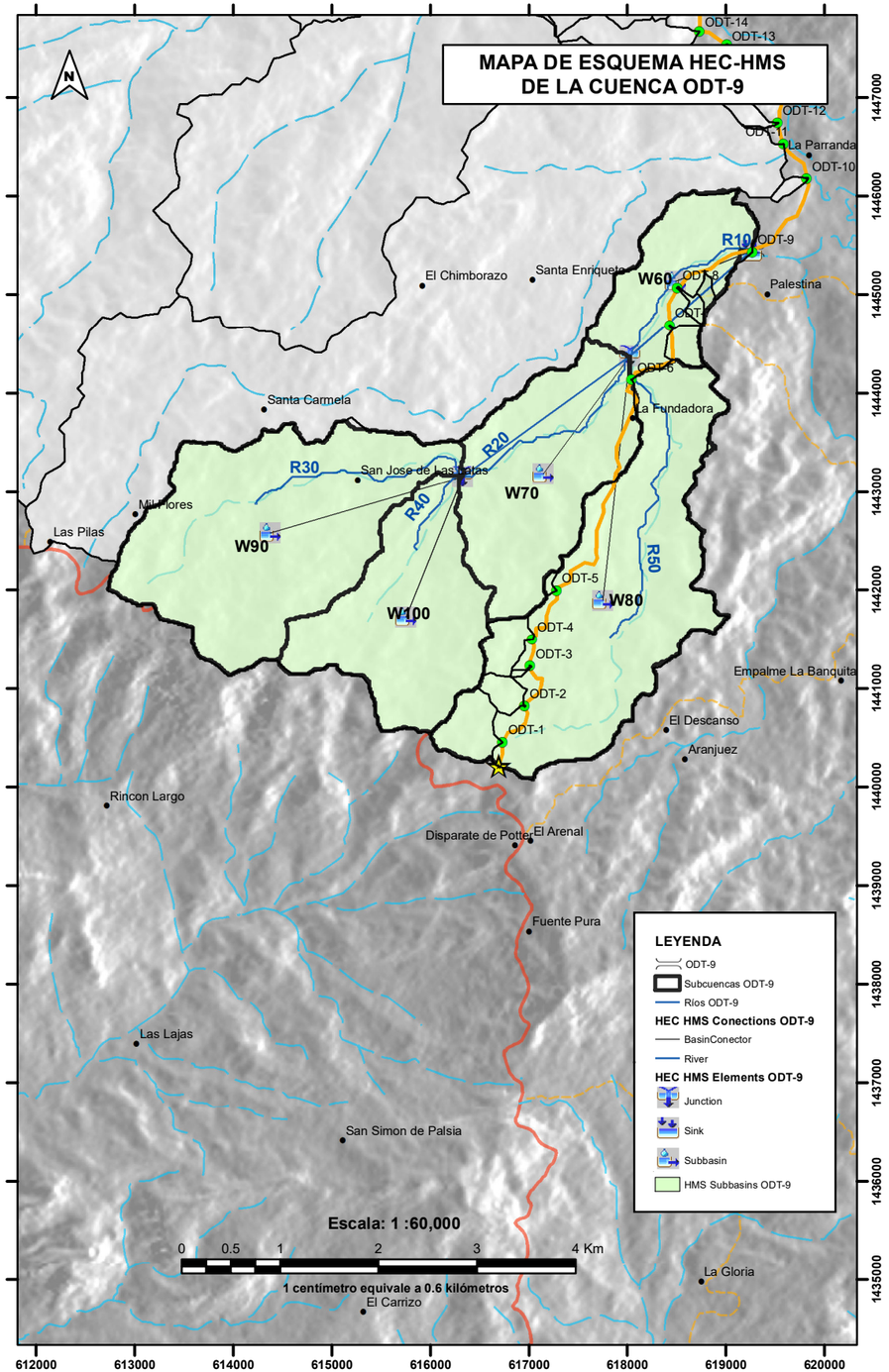
ELABORADO POR:
BR. ELIÁN JOSÉ ROJAS MURILLO
BR. ELÍAS ALBERTO CASTILLO LARGAESPADA

TUTOR:
DR. ING. NÉSTOR JAVIER LANZA MEJÍA

ASESOR:
M.SC. ING. JOSÉ ÁNGEL BALTODANO

FECHA:	CONSECUTIVA:
MAYO 2024	MAPA 05
ESCALA:	**TOTAL:**
INDICADA	14 MAPAS





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

TESIS:

DISEÑO HIDROTÉCNICO DE LAS OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL Y SU IMPACTO AMBIENTAL, DEL TRAMO DE CARRETERA: "EL ARENAL - LOS ROBLES", MUNICIPIO DE JINOTEGA

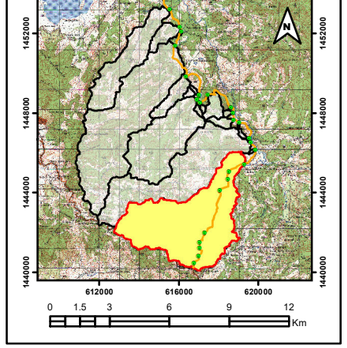
TÍTULO DEL MAPA:

MAPAS DE CUENCA ODT-9: CURVA NÚMERO Y ESQUEMA HIDROLÓGICO HEC-HMS

SIMBOLOGÍA

- Límite Municipal
- Límite Departamental
- Inicio y Fin de Tramo
- Tramo de Estudio
- Ríos Permanentes
- Ríos Intermitentes
- Poblados
- Drenaje Cuencas
- Puntos de Cierre
- Cuencas Delimitadas
- Camino de Tiempo Seco
- Camino de Todo Tiempo
- Carretera Pavimentada

MICROLOCALIZACIÓN



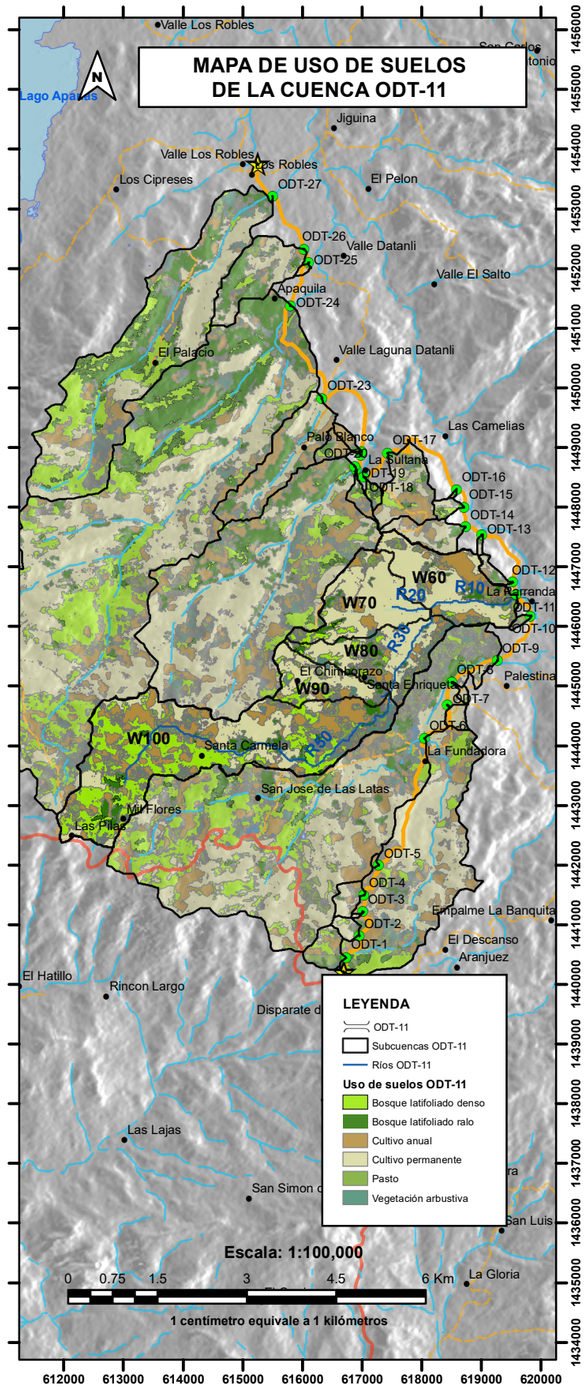
PROYECCIÓN.....UTM, ZONA 16N
DATUM.....WGS 1984
CARTA TOPOGRÁFICA.....3055 III

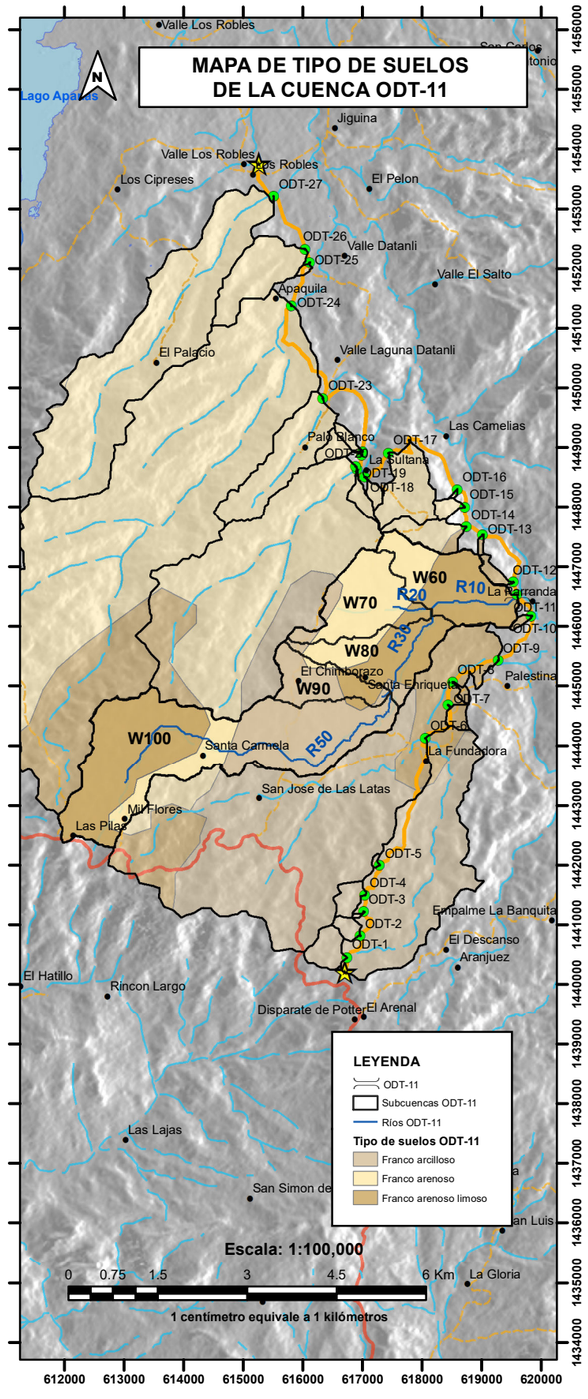
ELABORADO POR:
BR. ELIÁN JOSÉ ROJAS MURILLO
BR. ELÍAS ALBERTO CASTILLO LARGAESPADA

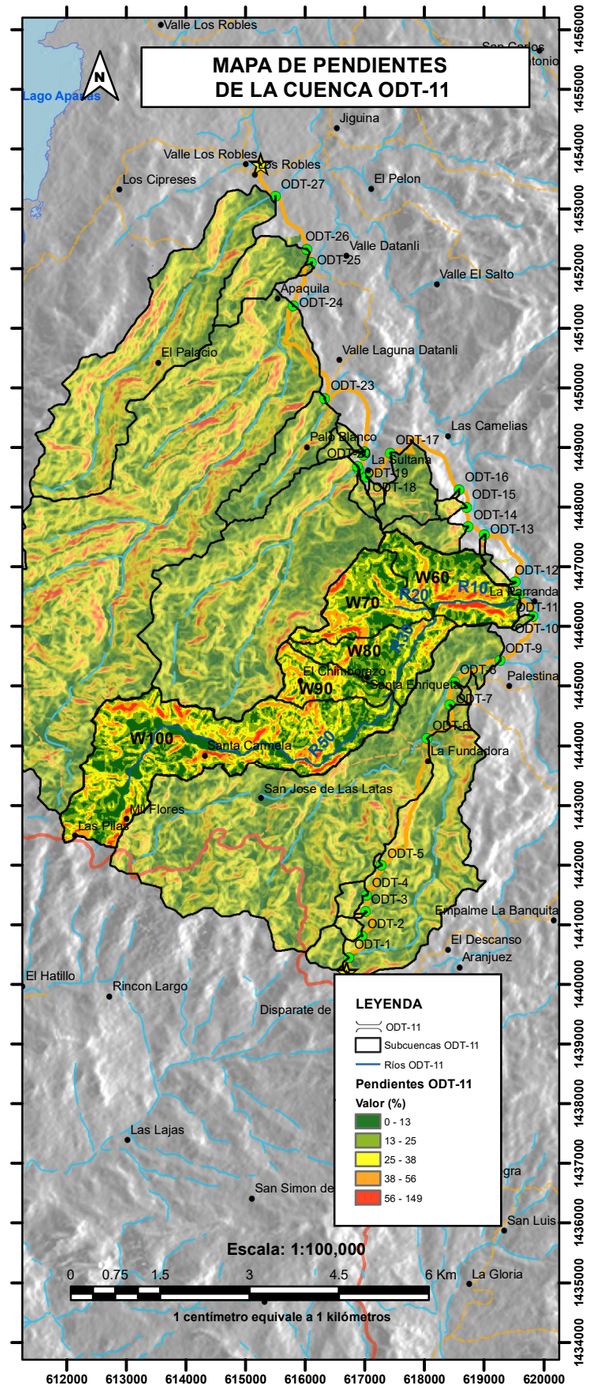
TUTOR:
DR. ING. NÉSTOR JAVIER LANZA MEJÍA

ASESOR:
M.SC. ING. JOSÉ ÁNGEL BALTODANO

FECHA:	CONSECUTIVA:
MAYO 2024	MAPA 06
ESCALA:	**TOTAL:**
INDICADA	14 MAPAS







UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

TESIS:

DISEÑO HIDROTÉCNICO DE LAS OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL Y SU IMPACTO AMBIENTAL, DEL TRAMO DE CARRETERA: "EL ARENAL - LOS ROBLES", MUNICIPIO DE JINOTEGA

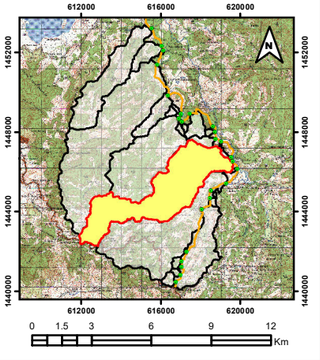
TÍTULO DEL MAPA:

MAPAS DE CUENCA ODT-11: USO DE SUELOS, TIPO DE SUELOS Y PENDIENTE

SIMBOLOGÍA

- Límite Municipal
- Límite Departamental
- Inicio y Fin de Tramo
- Tramo de Estudio
- Ríos Permanentes
- Ríos Intermitentes
- Poblados
- Drenaje Cuencas
- Puntos de Cierre
- Cuencas Delimitadas
- Camino de Tiempo Seco
- Camino de Todo Tiempo
- Carretera Pavimentada

MICROLOCALIZACIÓN



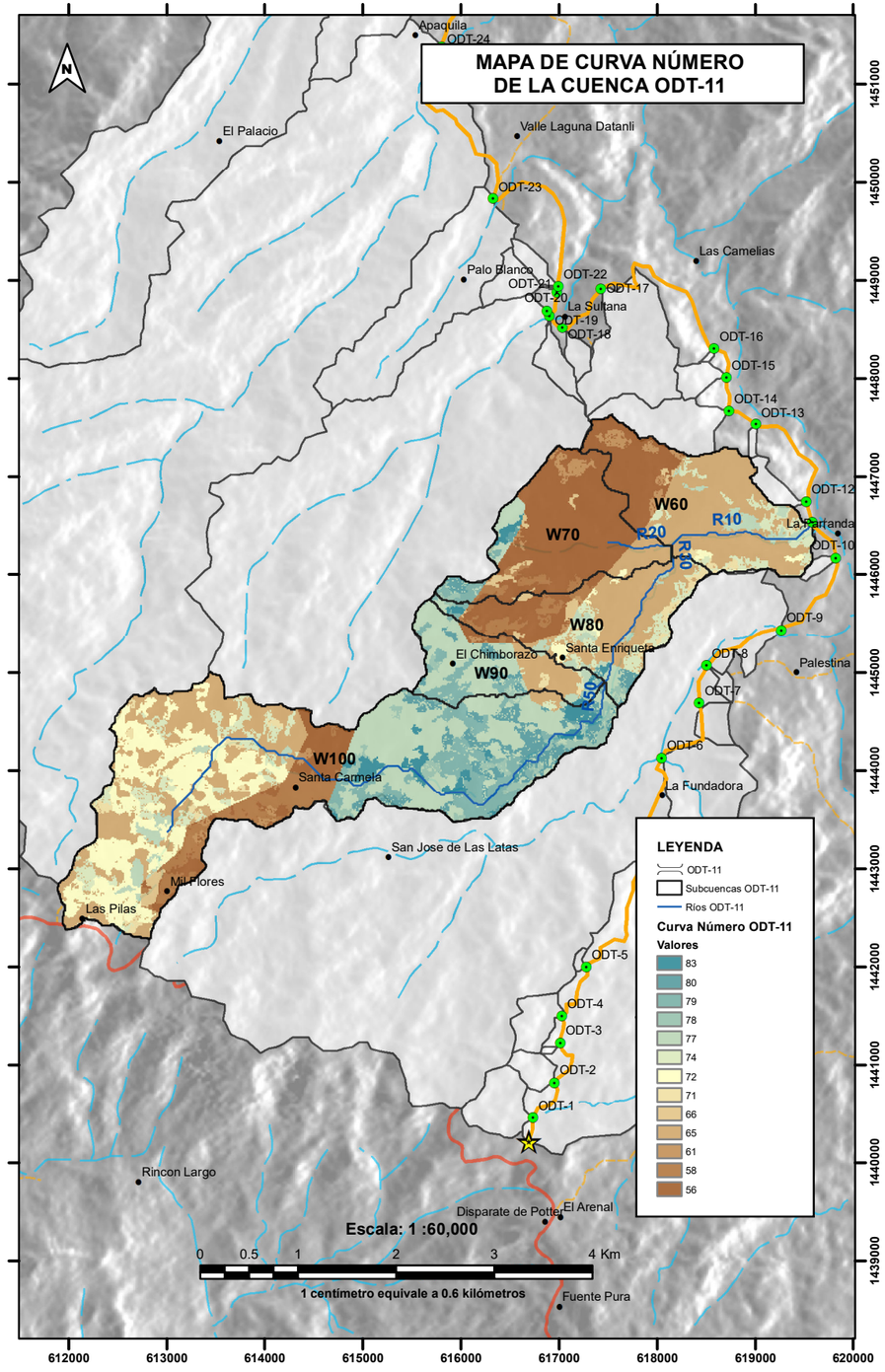
PROYECCIÓN.....UTM, ZONA 16N
DATUM.....WGS 1984
CARTA TOPOGRÁFICA.....3055 III

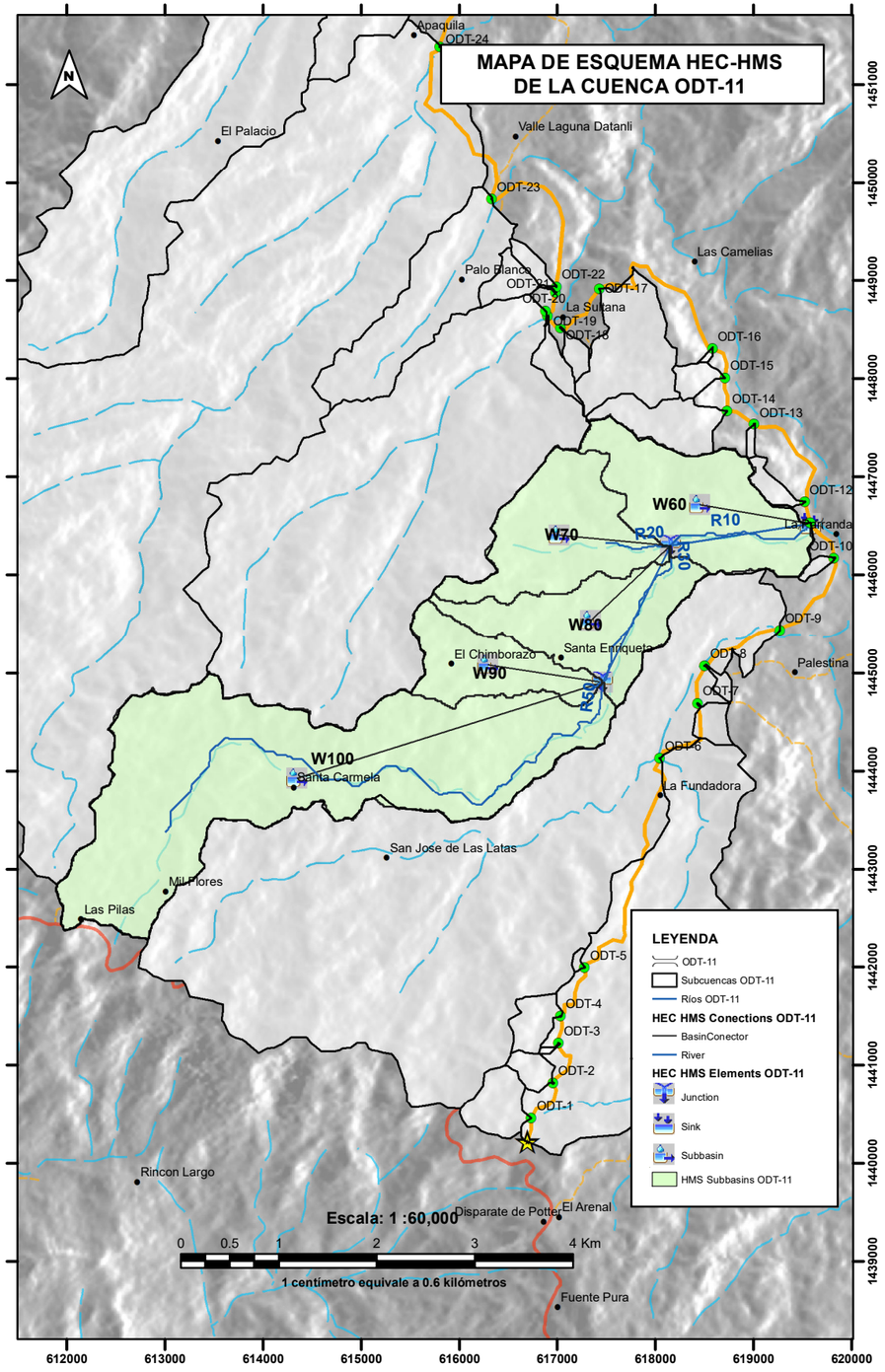
ELABORADO POR:
BR. ELIÁN JOSÉ ROJAS MURILLO
BR. ELÍAS ALBERTO CASTILLO LARGAESPADA

TUTOR:
DR. ING. NÉSTOR JAVIER LANZA MEJÍA

ASESOR:
M.SC. ING. JOSÉ ÁNGEL BALTODANO

FECHA:	CONSECUTIVA:
MAYO 2024	MAPA 07
ESCALA:	**TOTAL:**
INDICADA	14 MAPAS





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

TESIS:

DISEÑO HIDROTÉCNICO DE LAS OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL Y SU IMPACTO AMBIENTAL, DEL TRAMO DE CARRETERA: "EL ARENAL - LOS ROBLES", MUNICIPIO DE JINOTEGA

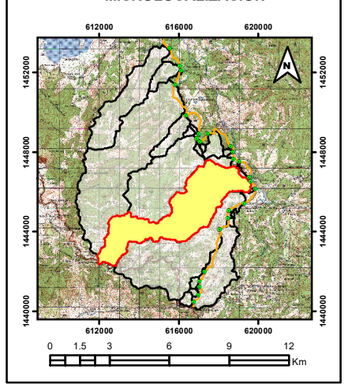
TÍTULO DEL MAPA:

MAPAS DE CUENCA ODT-11: CURVA NÚMERO Y ESQUEMA HIDROLÓGICO HEC-HMS

SIMBOLOGÍA

- Límite Municipal
- Límite Departamental
- Inicio y Fin de Tramo
- Tramo de Estudio
- Ríos Permanentes
- Ríos Intermitentes
- Poblados
- Drenaje Cuencas
- Puntos de Cierre
- Cuencas Delimitadas
- Camino de Tiempo Seco
- Camino de Todo Tiempo
- Carretera Pavimentada

MICROLOCALIZACIÓN



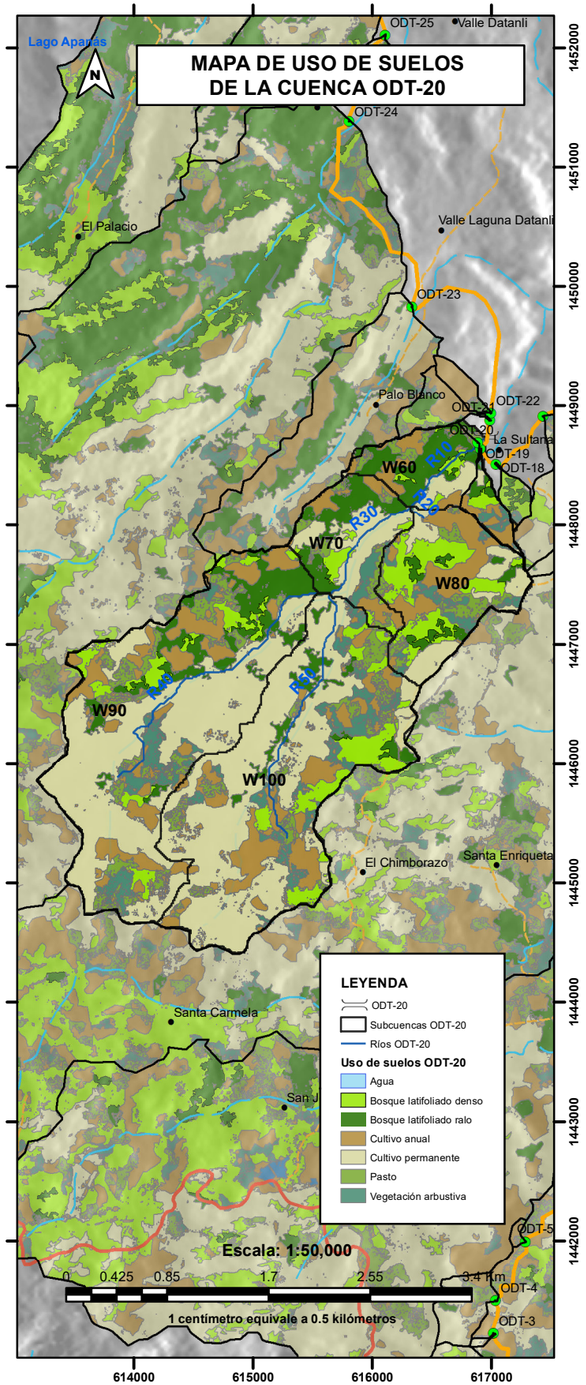
PROYECCIÓN.....UTM, ZONA 16N
DATUM.....WGS 1984
CARTA TOPOGRÁFICA.....3055 III

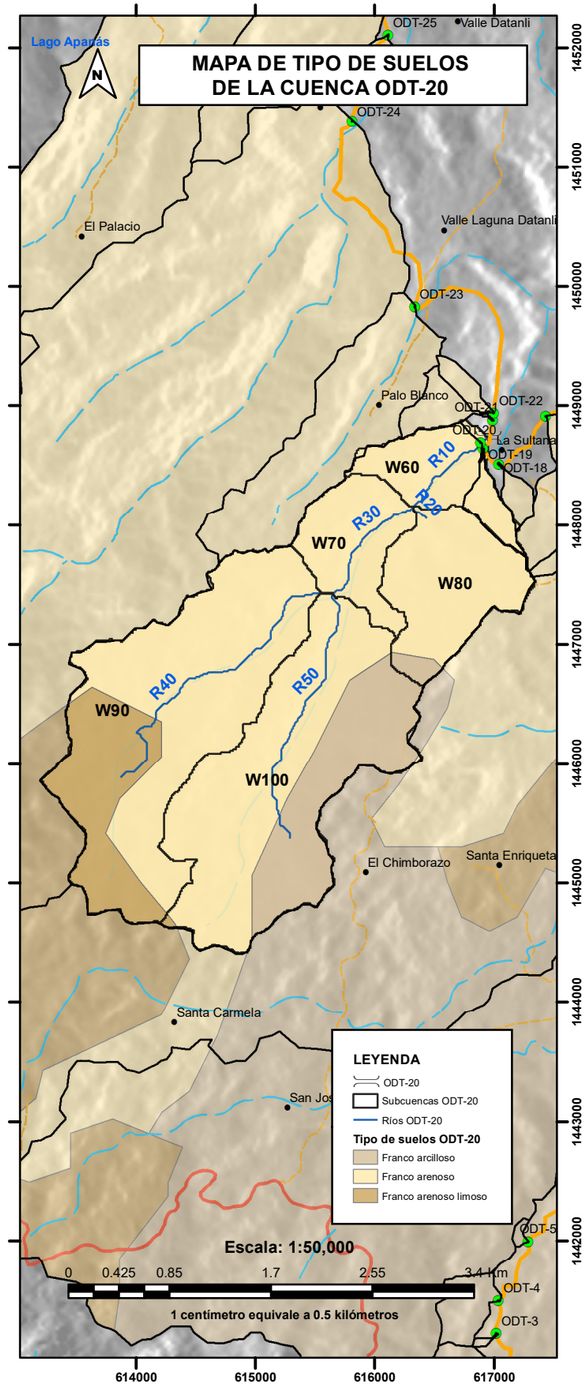
ELABORADO POR:
BR. ELIÁN JOSÉ ROJAS MURILLO
BR. ELÍAS ALBERTO CASTILLO LARGAESPADA

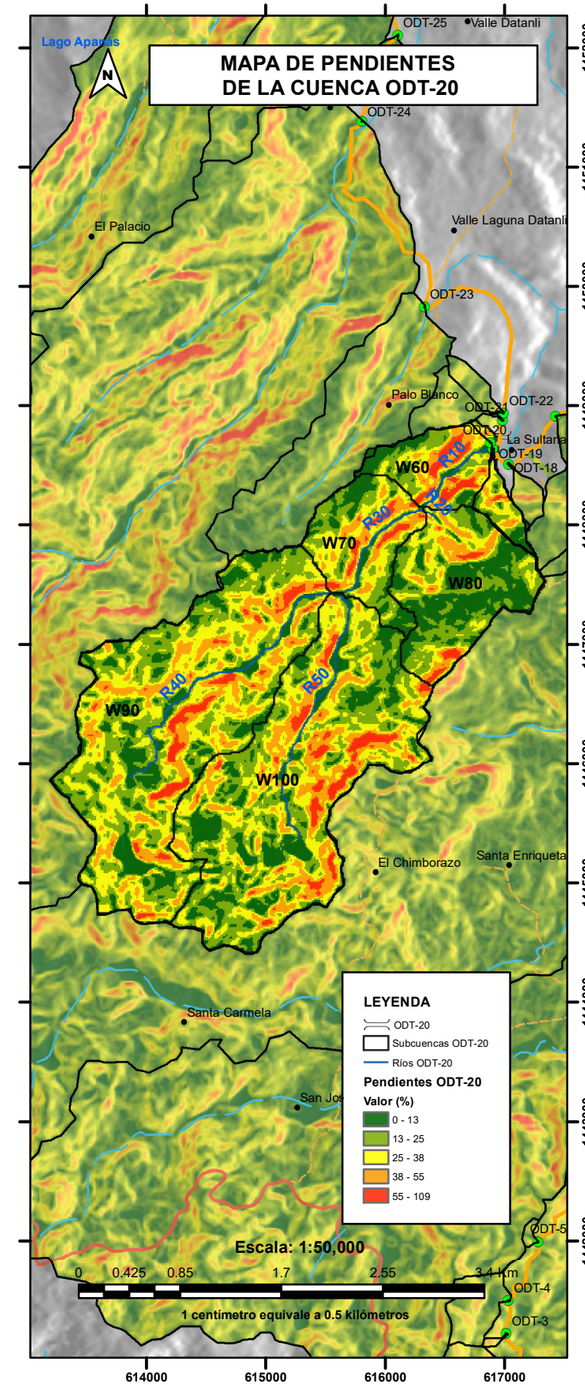
TUTOR:
DR. ING. NÉSTOR JAVIER LANZA MEJÍA

ASESOR:
M.SC. ING. JOSÉ ÁNGEL BALTODANO

FECHA:	CONSECUTIVA:
MAYO 2024	MAPA 08
ESCALA:	**TOTAL:**
INDICADA	14 MAPAS







UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

TESIS:

DISEÑO HIDROTÉCNICO DE LAS OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL Y SU IMPACTO AMBIENTAL, DEL TRAMO DE CARRETERA: "EL ARENAL - LOS ROBLES", MUNICIPIO DE JINOTEGA

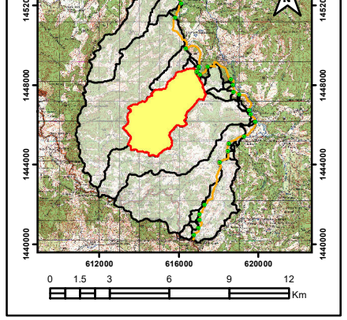
TÍTULO DEL MAPA:

MAPAS DE CUENCA ODT-20: USO DE SUELOS, TIPO DE SUELOS Y PENDIENTE

SIMBOLOGÍA

- Límite Municipal
- Límite Departamental
- Inicio y Fin de Tramo
- Tramo de Estudio
- Ríos Permanentes
- Ríos Intermitentes
- Poblados
- Drenaje Cuencas
- Puntos de Cierre
- Cuencas Delimitadas
- Camino de Tiempo Seco
- Camino de Todo Tiempo
- Carretera Pavimentada

MICROLOCALIZACIÓN



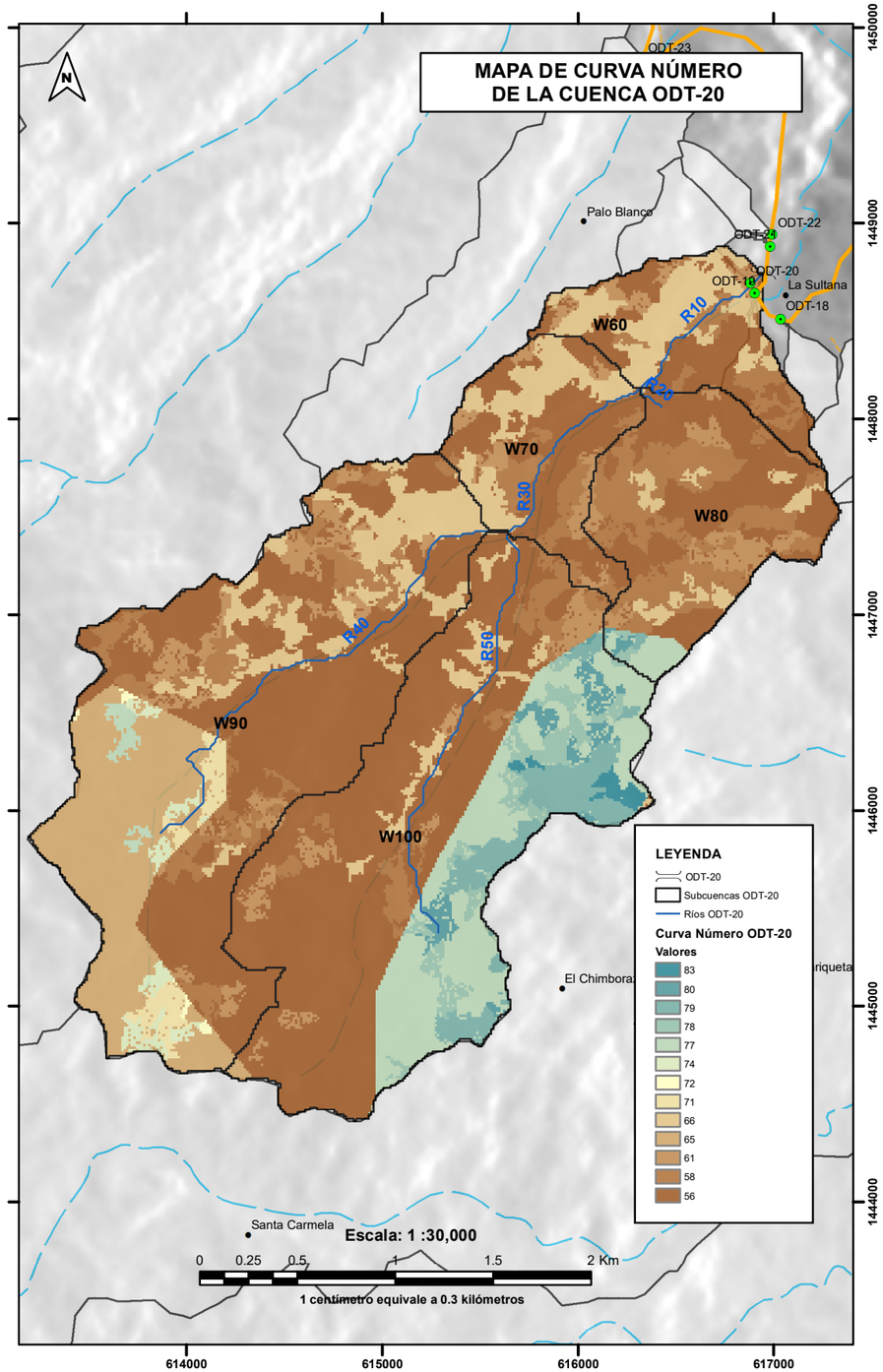
PROYECCIÓN.....UTM, ZONA 16N
DATUM.....WGS 1984
CARTA TOPOGRÁFICA.....3055 III

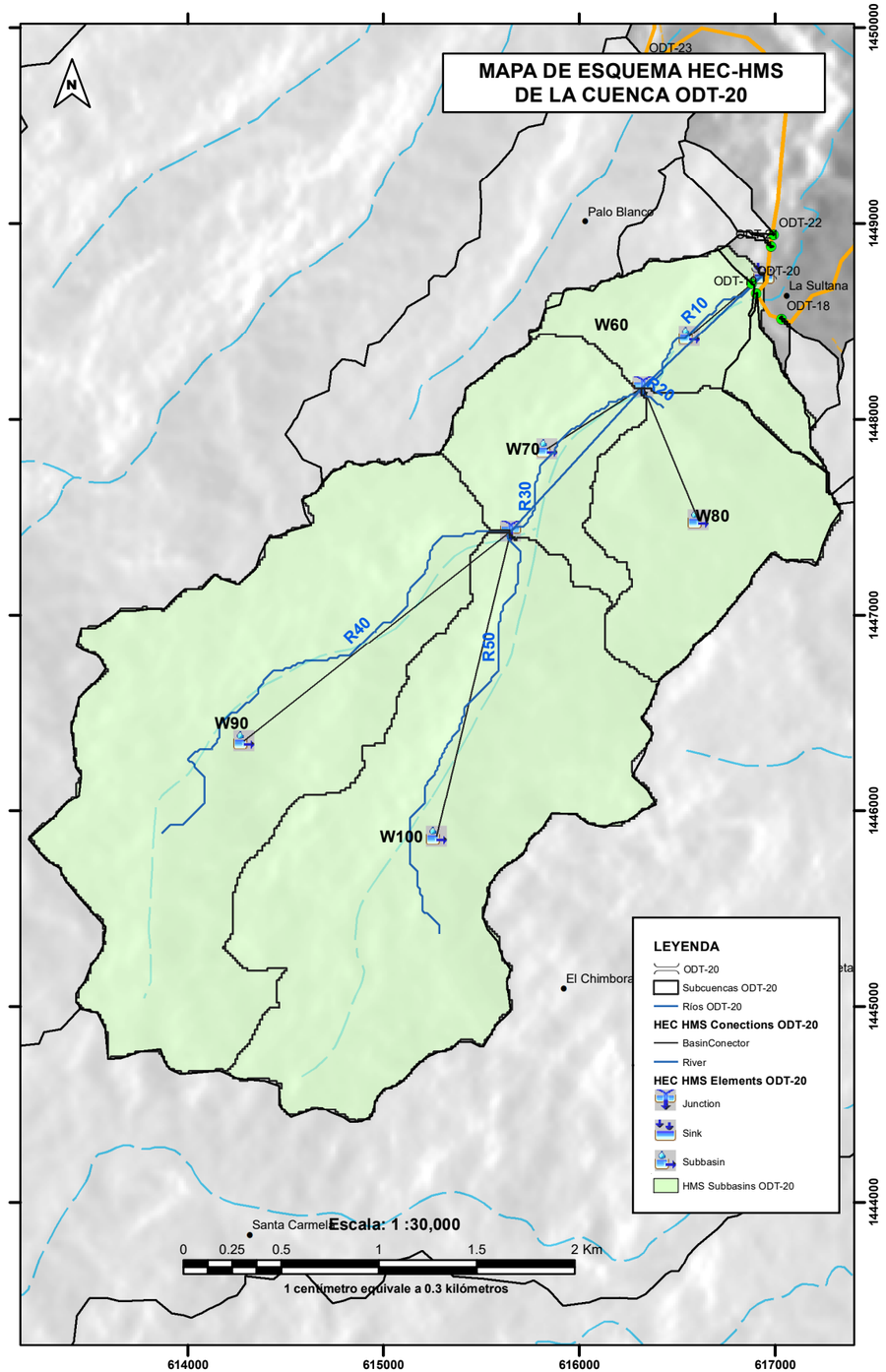
ELABORADO POR:
BR. ELIÁN JOSÉ ROJAS MURILLO
BR. ELÍAS ALBERTO CASTILLO LARGAESPADA

TUTOR:
DR. ING. NÉSTOR JAVIER LANZA MEJÍA

ASESOR:
M.SC. ING. JOSÉ ÁNGEL BALTODANO

FECHA:	CONSECUTIVA:
MAYO 2024	MAPA 09
ESCALA:	**TOTAL:**
INDICADA	14 MAPAS





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

TESIS:

DISEÑO HIDROTÉCNICO DE LAS OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL Y SU IMPACTO AMBIENTAL, DEL TRAMO DE CARRETERA: "EL ARENAL - LOS ROBLES", MUNICIPIO DE JINOTEGA

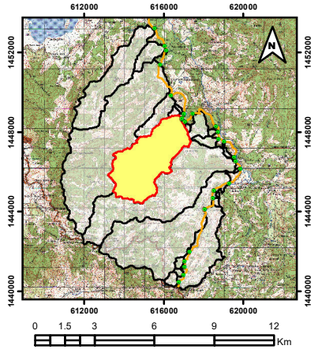
TÍTULO DEL MAPA:

MAPAS DE CUENCA ODT-20: CURVA NÚMERO Y ESQUEMA HIDROLÓGICO HEC-HMS

SIMBOLOGÍA

- Límite Municipal
- Límite Departamental
- Inicio y Fin de Tramo
- Tramo de Estudio
- Ríos Permanentes
- Ríos Intermitentes
- Poblados
- Drenaje Cuencas
- Puntos de Cierre
- Cuencas Delimitadas
- Camino de Tiempo Seco
- Camino de Todo Tiempo
- Carretera Pavimentada

MICROLOCALIZACIÓN



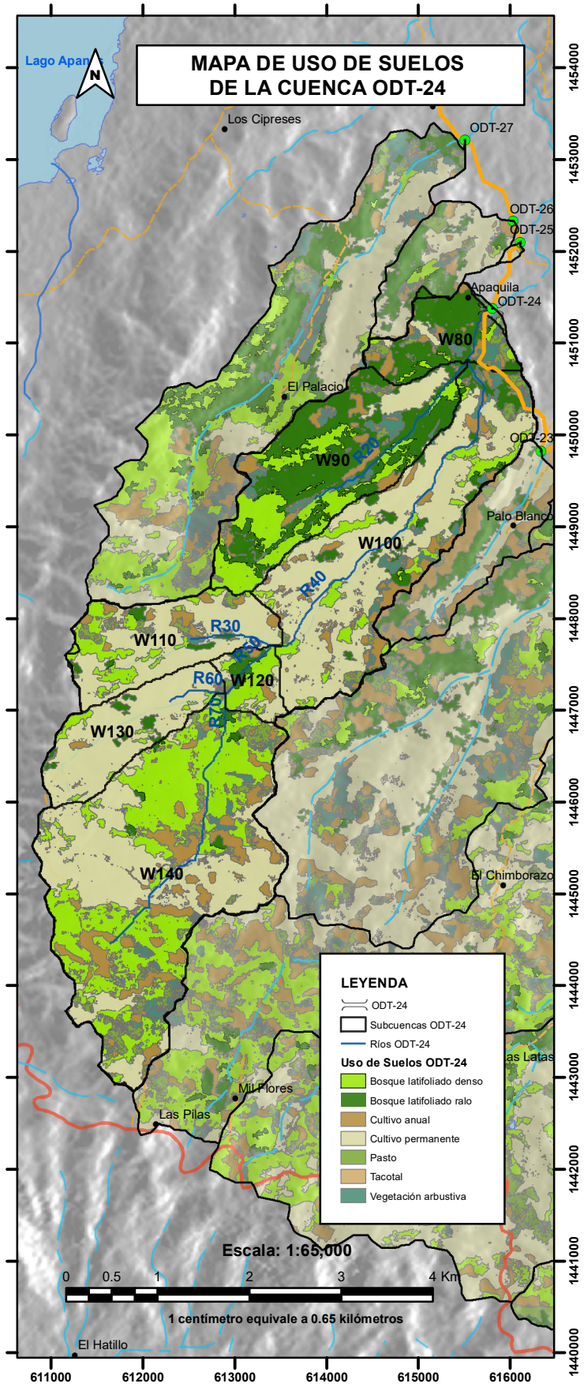
PROYECCIÓN.....UTM, ZONA 16N
DATUM.....WGS 1984
CARTA TOPOGRÁFICA.....3055 III

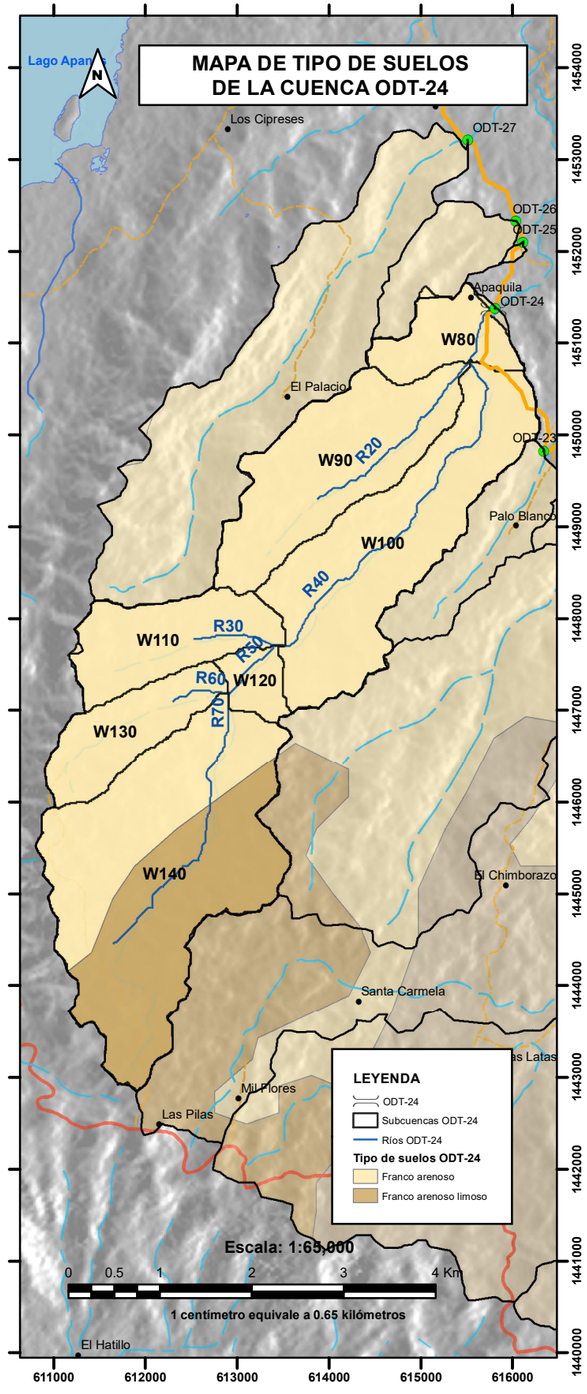
ELABORADO POR:
BR. ELIÁN JOSÉ ROJAS MURILLO
BR. ELÍAS ALBERTO CASTILLO LARGAESPADA

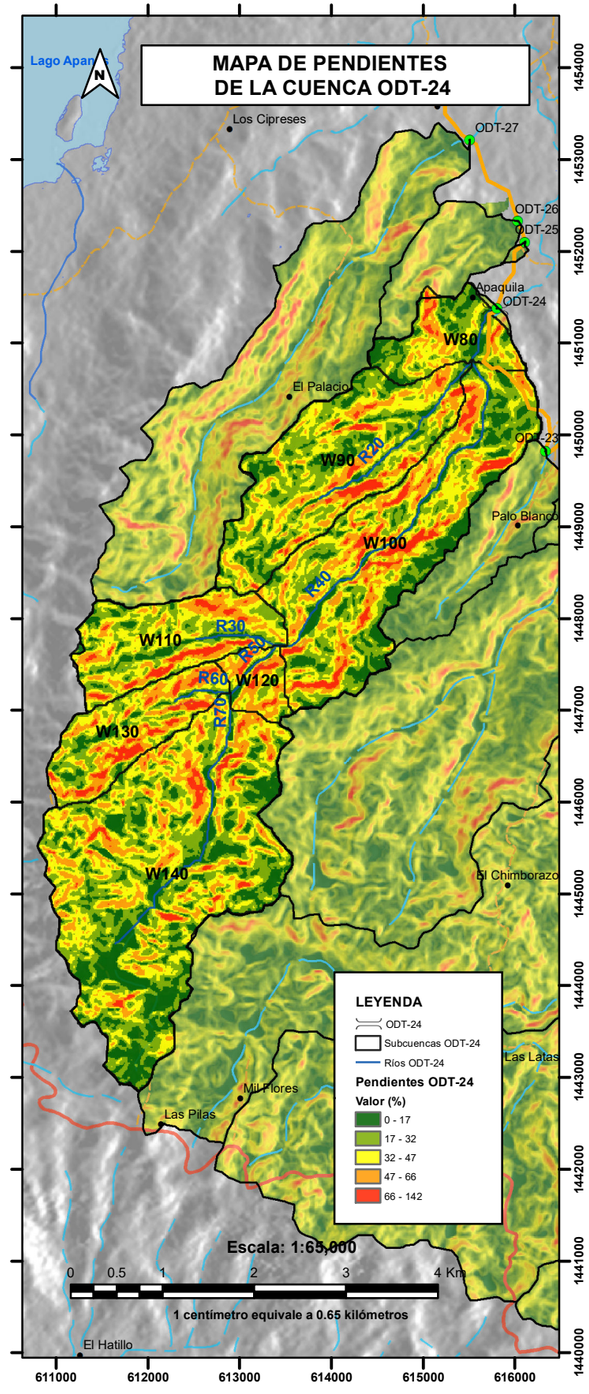
TUTOR:
DR. ING. NÉSTOR JAVIER LANZA MEJÍA

ASESOR:
M.SC. ING. JOSÉ ÁNGEL BALTODANO

FECHA:	CONSECUTIVA:
MAYO 2024	MAPA 10
ESCALA:	**TOTAL:**
INDICADA	14 MAPAS







UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

TESIS:

DISEÑO HIDROTÉCNICO DE LAS OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL Y SU IMPACTO AMBIENTAL, DEL TRAMO DE CARRETERA: "EL ARENAL - LOS ROBLES", MUNICIPIO DE JINOTEGA

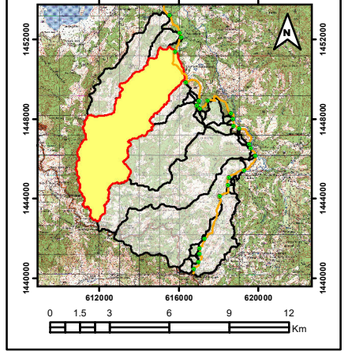
TÍTULO DEL MAPA:

MAPAS DE CUENCA ODT-24: USO DE SUELOS, TIPO DE SUELOS Y PENDIENTE

SIMBOLOGÍA

- Límite Municipal
- Límite Departamental
- Inicio y Fin de Tramo
- Tramo de Estudio
- Ríos Permanentes
- Ríos Intermitentes
- Poblados
- Drenaje Cuencas
- Puntos de Cierre
- Cuencas Delimitadas
- Camino de Tiempo Seco
- Camino de Todo Tiempo
- Carretera Pavimentada

MICROLOCALIZACIÓN



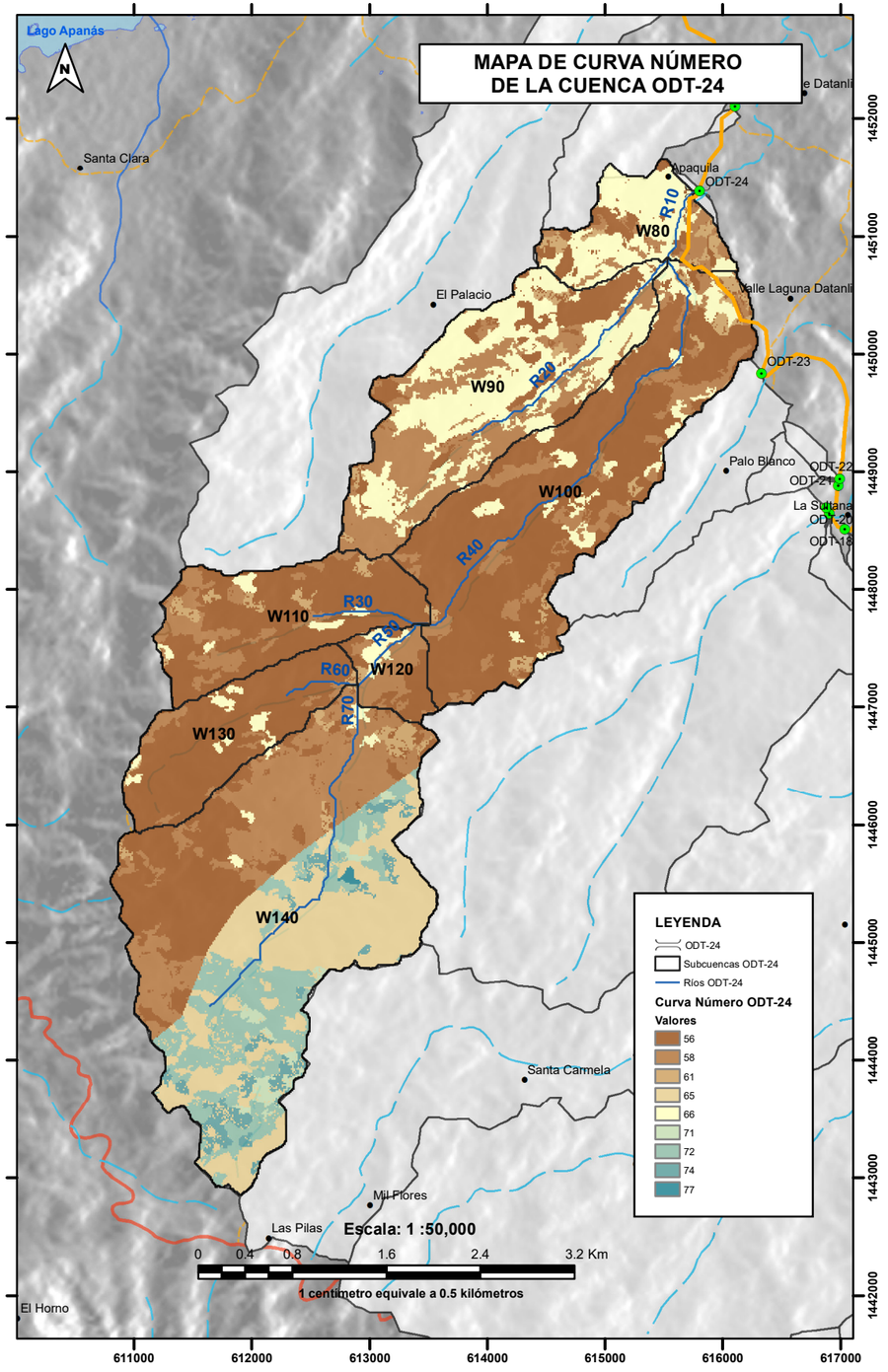
PROYECCIÓN.....UTM, ZONA 16N
DATUM.....WGS 1984
CARTA TOPOGRÁFICA.....3055 III

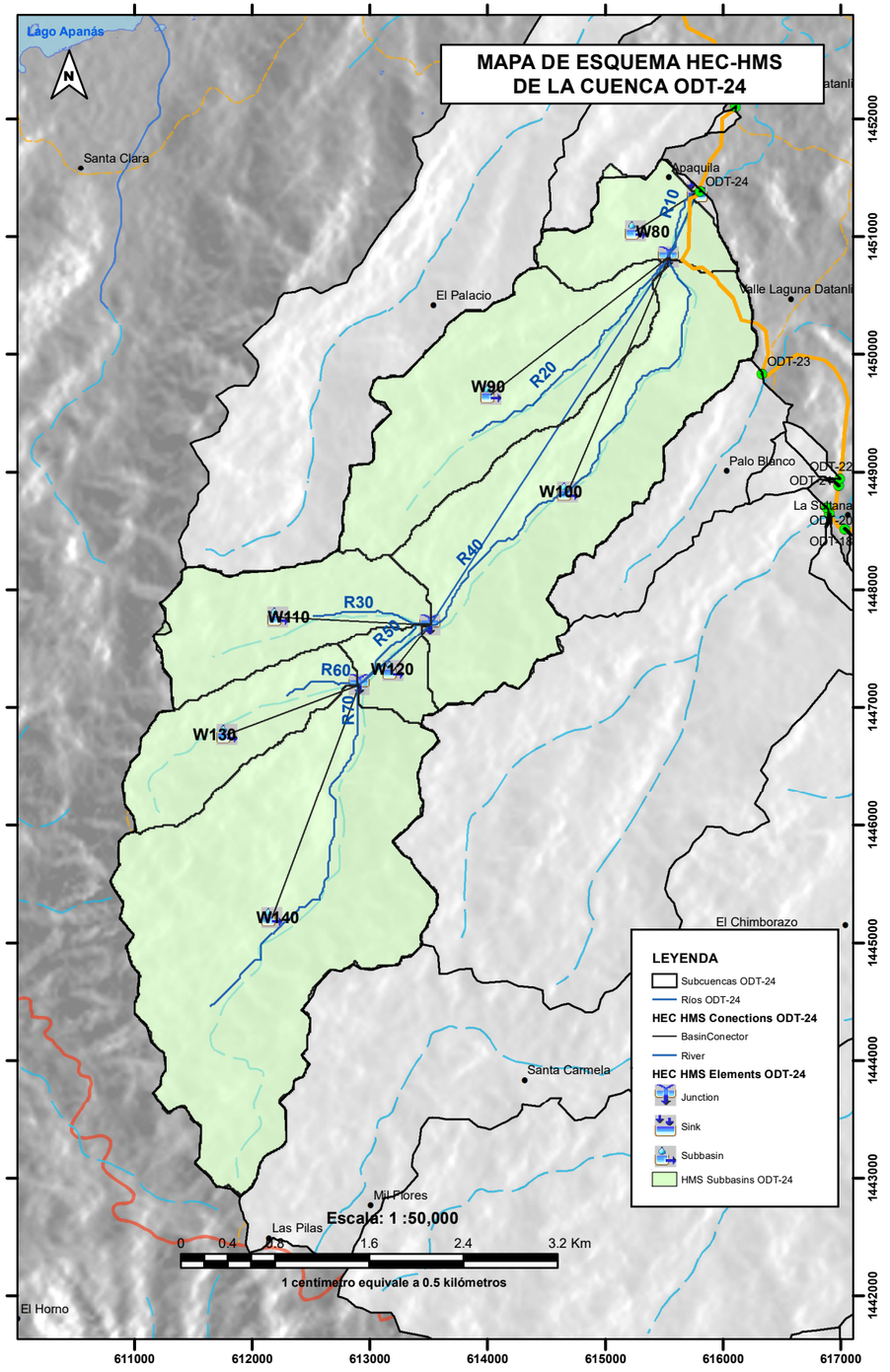
ELABORADO POR:
BR. ELIÁN JOSÉ ROJAS MURILLO
BR. ELÍAS ALBERTO CASTILLO LARGAESPADA

TUTOR:
DR. ING. NÉSTOR JAVIER LANZA MEJÍA

ASESOR:
M.SC. ING. JOSÉ ÁNGEL BALTODANO

FECHA:	CONSECUTIVA:
MAYO 2024	MAPA 11
ESCALA:	**TOTAL:**
INDICADA	14 MAPAS





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

TESIS:

DISEÑO HIDROTÉCNICO DE LAS OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL Y SU IMPACTO AMBIENTAL, DEL TRAMO DE CARRETERA: "EL ARENAL - LOS ROBLES", MUNICIPIO DE JINOTEGA

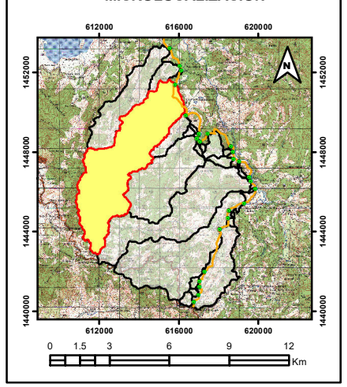
TÍTULO DEL MAPA:

MAPAS DE CUENCA ODT-24: CURVA NÚMERO Y ESQUEMA HIDROLÓGICO HEC-HMS

SIMBOLOGÍA

- Límite Municipal
- Límite Departamental
- Inicio y Fin de Tramo
- Tramo de Estudio
- Ríos Permanentes
- Ríos Intermitentes
- Poblados
- Drenaje Cuencas
- Puntos de Cierre
- Cuencas Delimitadas
- Camino de Tiempo Seco
- Camino de Todo Tiempo
- Carretera Pavimentada

MICROLOCALIZACIÓN



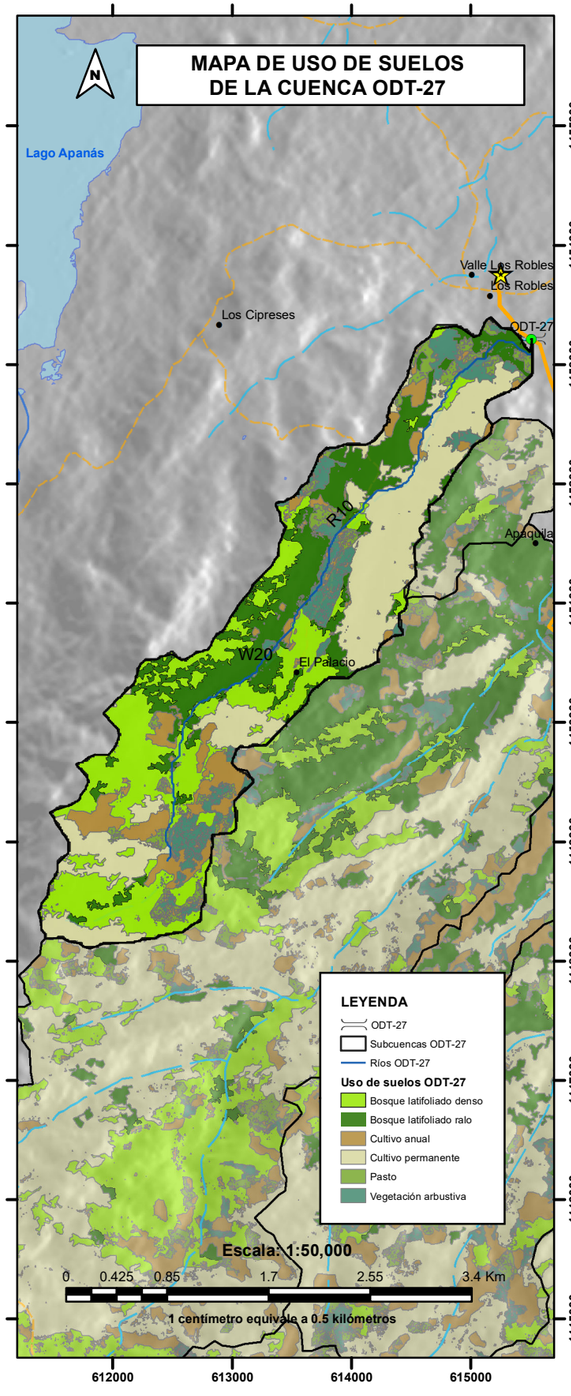
PROYECCIÓN.....UTM, ZONA 16N
DATUM.....WGS 1984
CARTA TOPOGRÁFICA.....3055 III

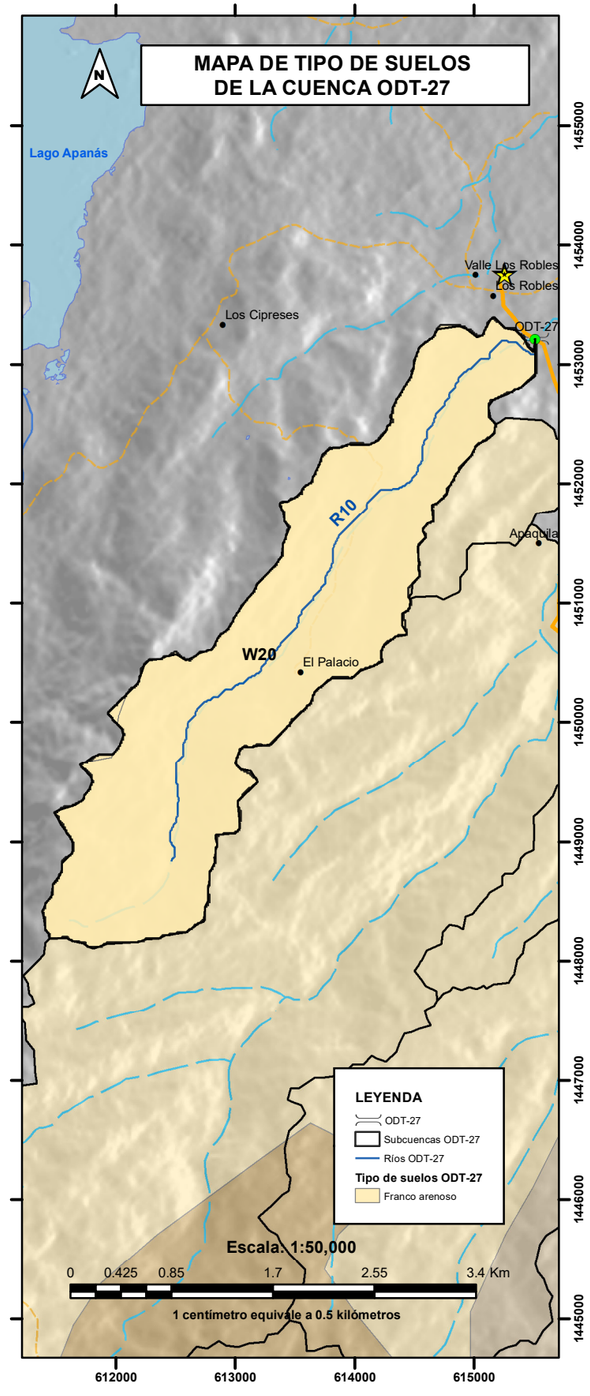
ELABORADO POR:
BR. ELIÁN JOSÉ ROJAS MURILLO
BR. ELÍAS ALBERTO CASTILLO LARGAESPADA

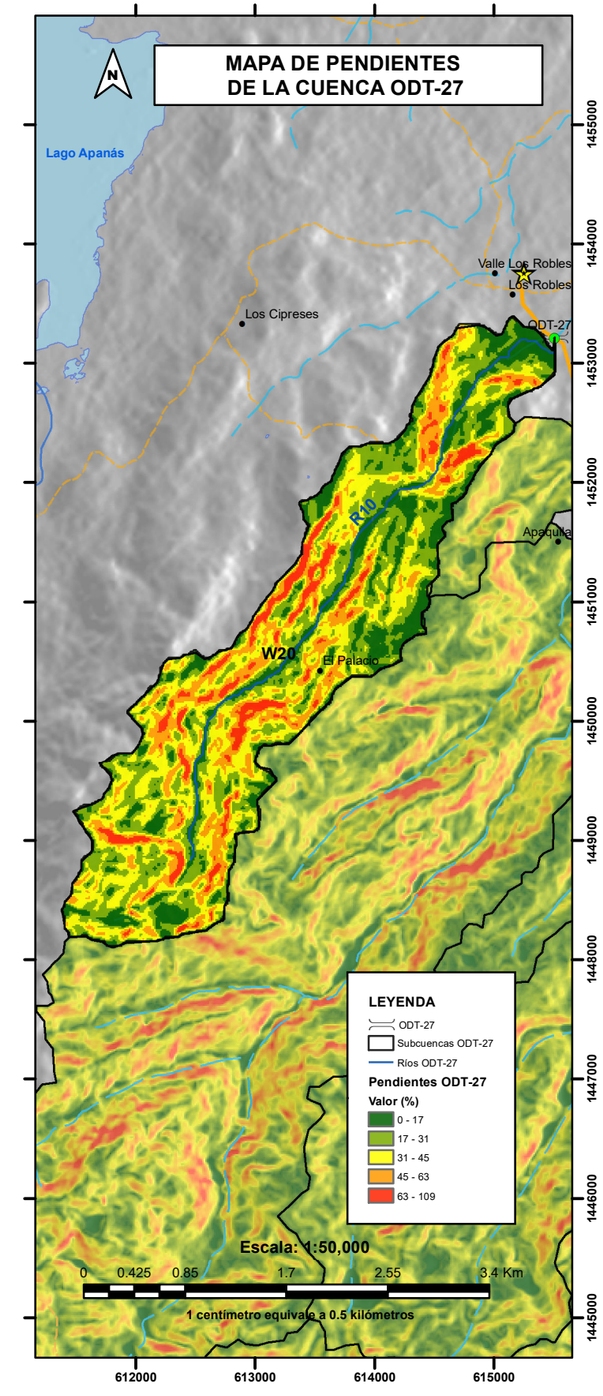
TUTOR:
DR. ING. NÉSTOR JAVIER LANZA MEJÍA

ASESOR:
M.SC. ING. JOSÉ ÁNGEL BALTODANO

FECHA:	CONSECUTIVA:
MAYO 2024	MAPA 12
ESCALA:	**TOTAL:**
INDICADA	14 MAPAS







UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

TESIS:

DISEÑO HIDROTÉCNICO DE LAS OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL Y SU IMPACTO AMBIENTAL, DEL TRAMO DE CARRETERA: "EL ARENAL - LOS ROBLES", MUNICIPIO DE JINOTEGA

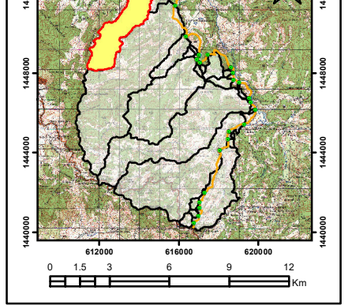
TÍTULO DEL MAPA:

MAPAS DE CUENCA ODT-27: USO DE SUELOS, TIPO DE SUELOS Y PENDIENTE

SIMBOLOGÍA

- Límite Municipal
- Límite Departamental
- Inicio y Fin de Tramo
- Tramo de Estudio
- Ríos Permanentes
- Ríos Intermitentes
- Poblados
- Drenaje Cuencas
- Puntos de Cierre
- Cuencas Delimitadas
- Camino de Tiempo Seco
- Camino de Todo Tiempo
- Carretera Pavimentada

MICROLOCALIZACIÓN



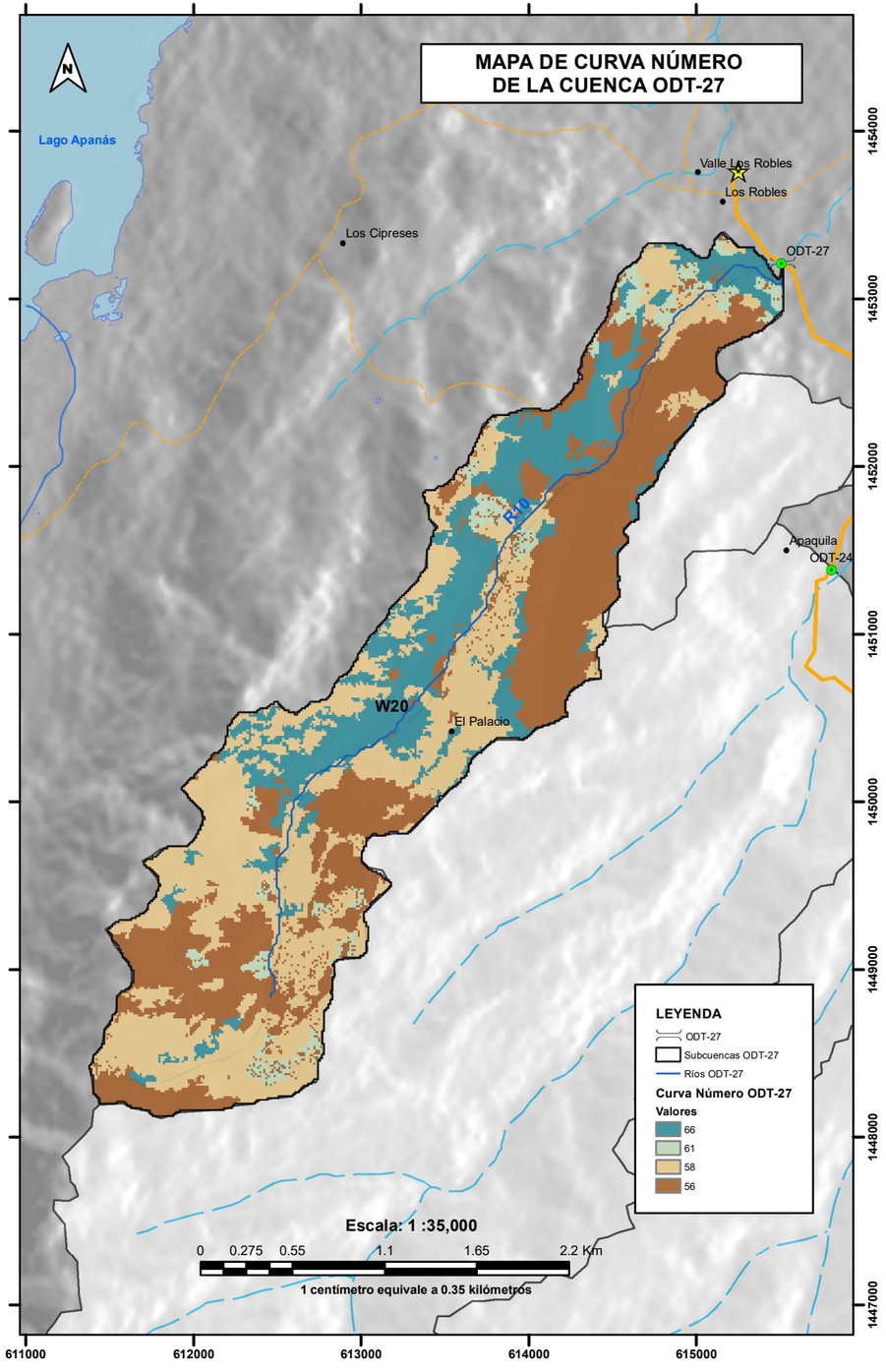
PROYECCIÓN.....UTM, ZONA 16N
DATUM.....WGS 1984
CARTA TOPOGRÁFICA.....3055 III

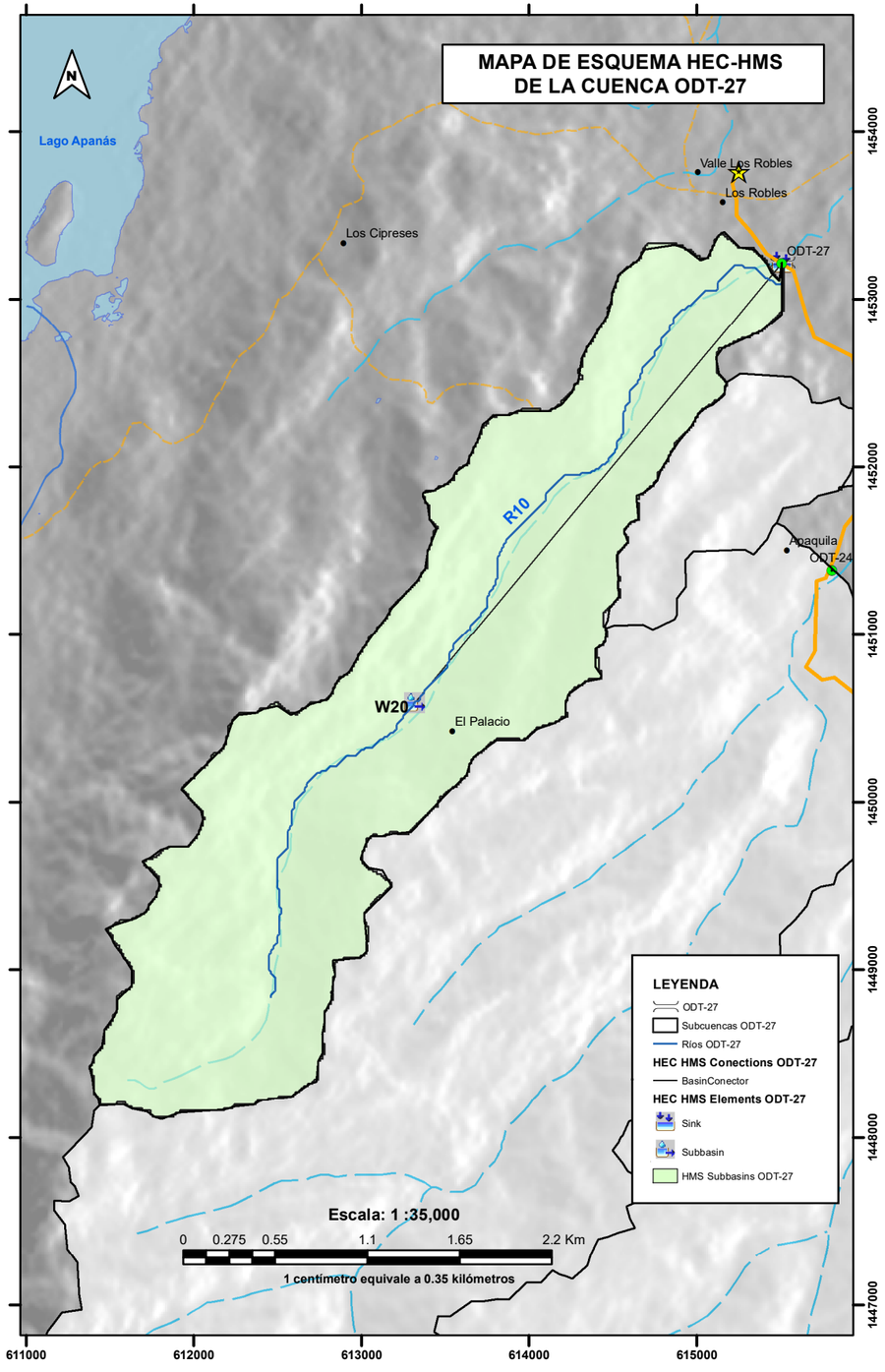
ELABORADO POR:
BR. ELIÁN JOSÉ ROJAS MURILLO
BR. ELÍAS ALBERTO CASTILLO LARGAESPADA

TUTOR:
DR. ING. NÉSTOR JAVIER LANZA MEJÍA

ASESOR:
M.SC. ING. JOSÉ ÁNGEL BALTODANO

FECHA:	CONSECUTIVA:
MAYO 2024	MAPA 13
ESCALA:	**TOTAL:**
INDICADA	14 MAPAS





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

TESIS:

DISEÑO HIDROTÉCNICO DE LAS OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL Y SU IMPACTO AMBIENTAL, DEL TRAMO DE CARRETERA: "EL ARENAL - LOS ROBLES", MUNICIPIO DE JINOTEGA

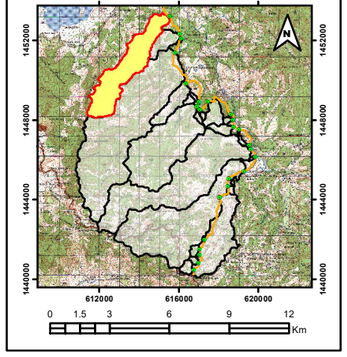
TÍTULO DEL MAPA:

MAPAS DE CUENCA ODT-27: CURVA NÚMERO Y ESQUEMA HIDROLÓGICO HEC-HMS

SIMBOLOGÍA

- Límite Municipal
- Límite Departamental
- Inicio y Fin de Tramo
- Tramo de Estudio
- Ríos Permanentes
- Ríos Intermitentes
- Poblados
- Drenaje Cuencas
- Puntos de Cierre
- Cuencas Delimitadas
- Camino de Tiempo Seco
- Camino de Todo Tiempo
- Carretera Pavimentada

MICROLOCALIZACIÓN



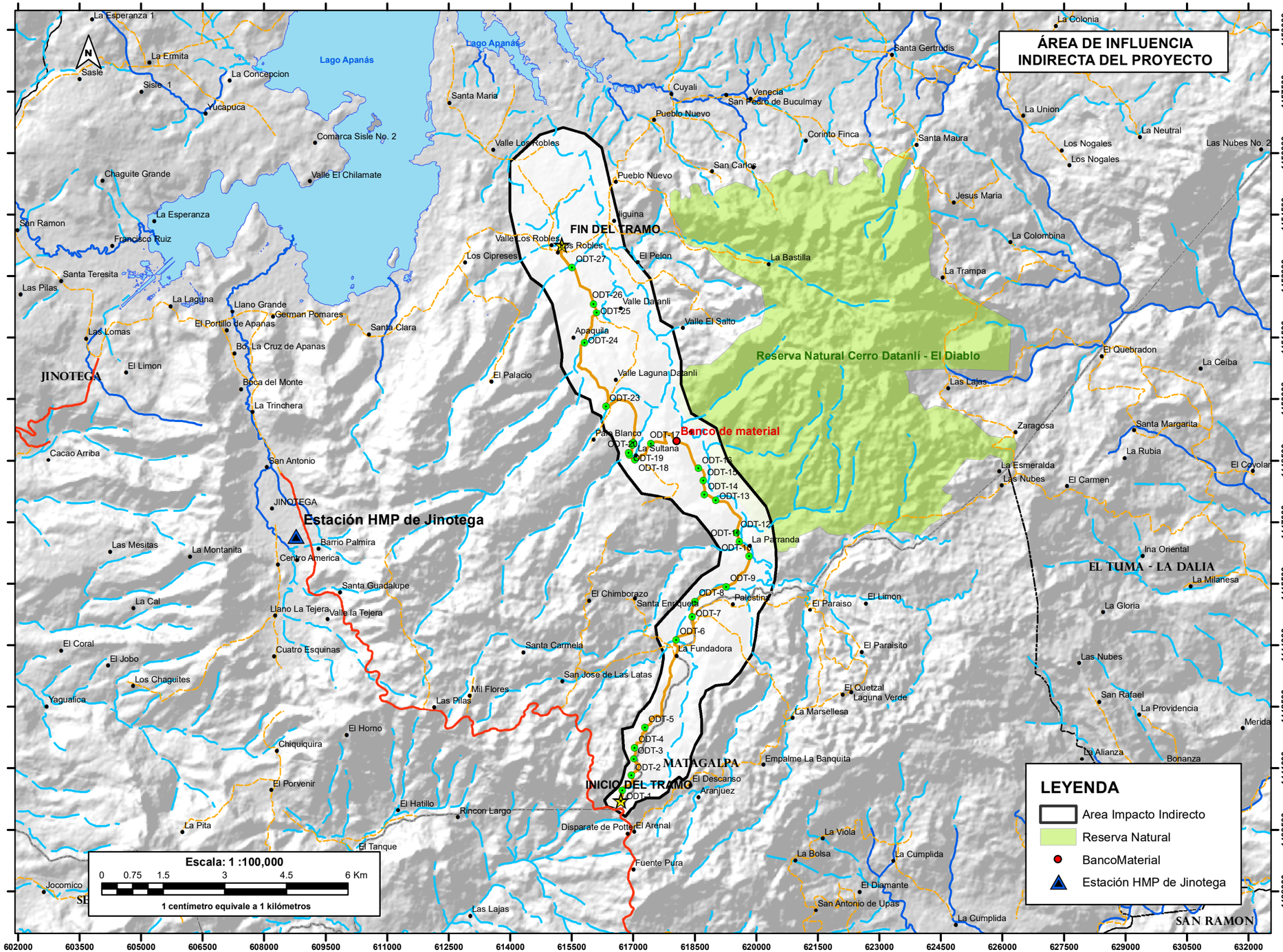
PROYECCIÓN.....UTM, ZONA 16N
DATUM.....WGS 1984
CARTA TOPOGRÁFICA.....3055 III

ELABORADO POR:
BR. ELIÁN JOSÉ ROJAS MURILLO
BR. ELÍAS ALBERTO CASTILLO LARGAESPADA

TUTOR:
DR. ING. NÉSTOR JAVIER LANZA MEJÍA

ASESOR:
M.SC. ING. JOSÉ ÁNGEL BALTODANO

FECHA:	CONSECUTIVA:
MAYO 2024	MAPA 14
ESCALA:	TOTAL:
INDICADA	14 MAPAS



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

TESIS:

DISEÑO HIDROTÉCNICO DE LAS OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL Y SU IMPACTO AMBIENTAL, DEL TRAMO DE CARRETERA: "EL ARENAL - LOS ROBLES", MUNICIPIO DE JINOTEGA

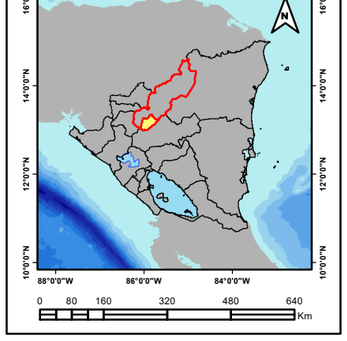
TÍTULO DEL MAPA:

MAPA DE INFLUENCIA INDIRECTA DEL PROYECTO: TRAMO ARENAL-LOS ROBLES

SIMBOLOGÍA

- Límite Municipal
- Límite Departamental
- Inicio y Fin de Tramo
- Tramo de Estudio
- Ríos Permanentes
- Ríos Intermitentes
- Poblados
- Drenaje Cuencas
- Puntos de Cierre
- Área de Infl. Indirecta
- Camino de Tiempo Seco
- Camino de Todo Tiempo
- Carretera Pavimentada

MACROLOCALIZACIÓN



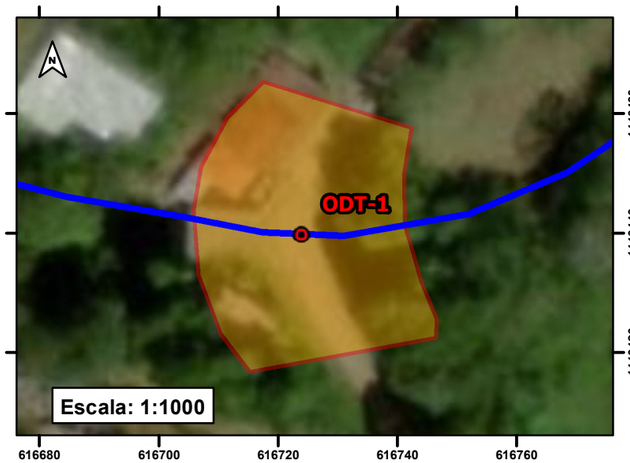
PROYECCIÓN.....UTM, ZONA 16N
DATUM.....WGS 1984
CARTA TOPOGRÁFICA.....3055 III

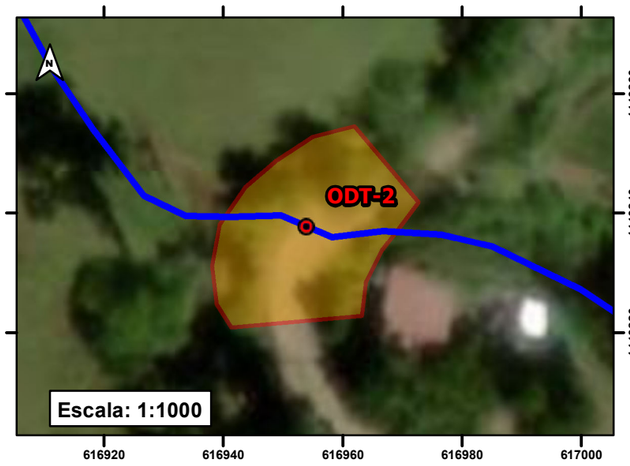
ELABORADO POR:
BR. ELIÁN JOSÉ ROJAS MURILLO
BR. ELÍAS ALBERTO CASTILLO LARGAESPADA

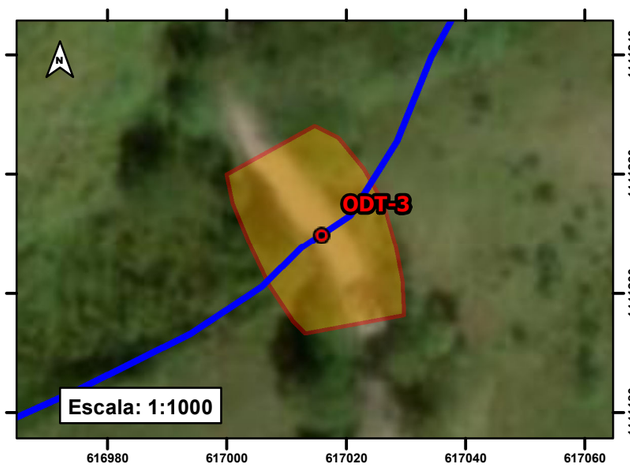
TUTOR:
DR. ING. NÉSTOR JAVIER LANZA MEJÍA

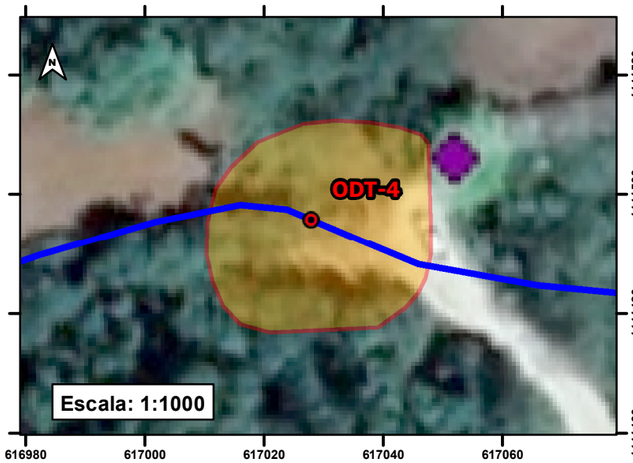
ASESOR:
M.SC. ING. JOSÉ ÁNGEL BALTODANO

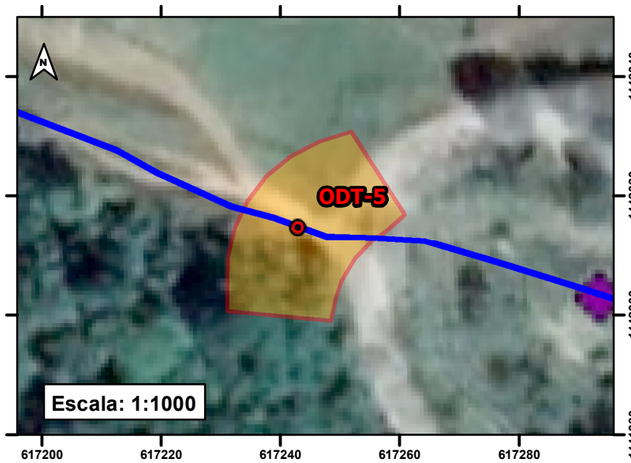
FECHA:	CONSECUTIVA:
MAYO 2024	MAPA 01
ESCALA:	**TOTAL:**
INDICADA	07 MAPAS

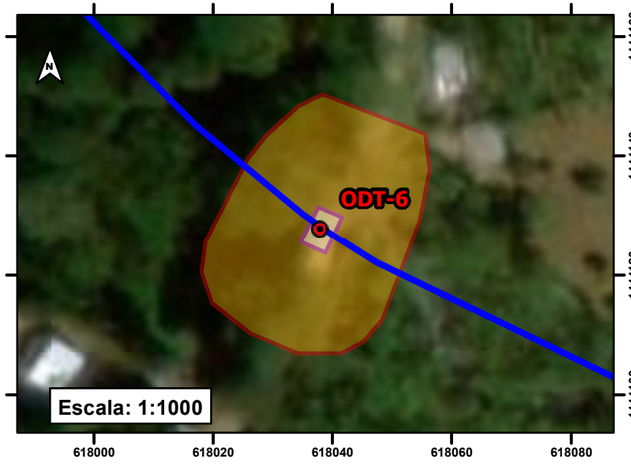


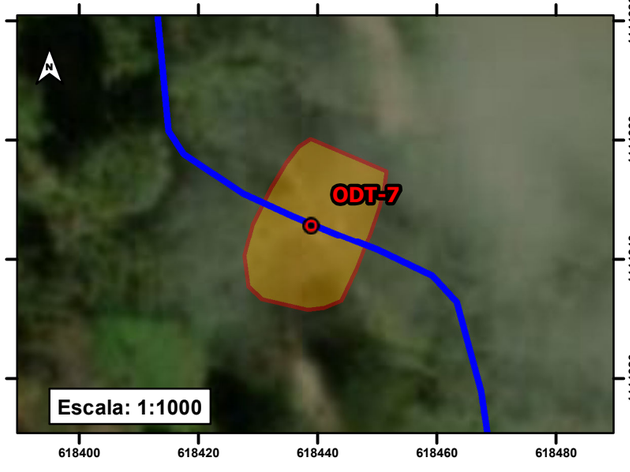


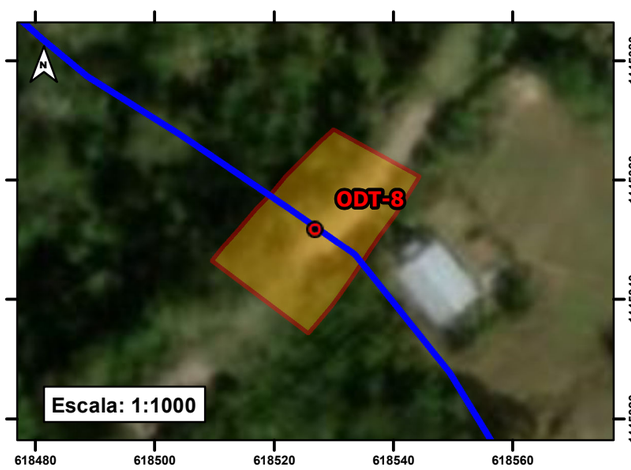


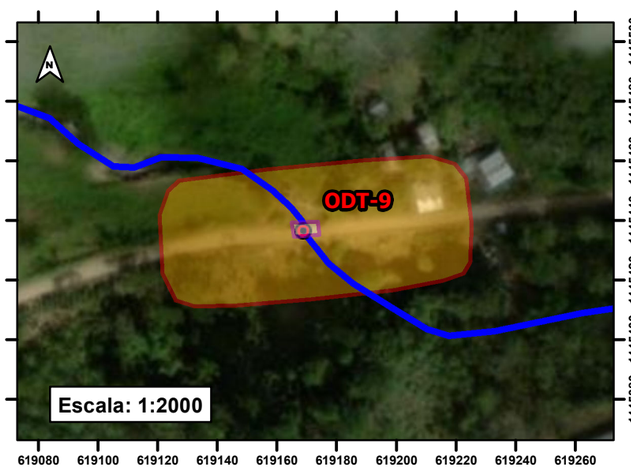












UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

TESIS:

DISEÑO HIDROTÉCNICO DE LAS OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL Y SU IMPACTO AMBIENTAL, DEL TRAMO DE CARRETERA: "EL ARENAL - LOS ROBLES", MUNICIPIO DE JINOTEGA

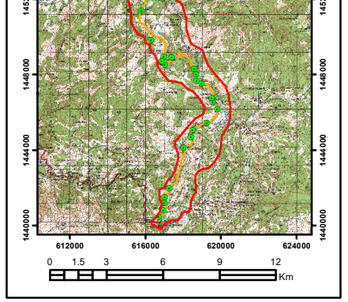
TÍTULO DEL MAPA:

MAPAS DE ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA DE ODT-1 A ODT-9

SIMBOLOGÍA

- Límite Municipal
- Límite Departamental
- Alcantarilla Tipo Caja
- Área Influencia Directa
- ODT
- Inicio y Fin de Tramo
- Tramo de Estudio
- Cauce
- Puntos de Cierre
- Área de Infl. Indirecta

MICROLOCALIZACIÓN



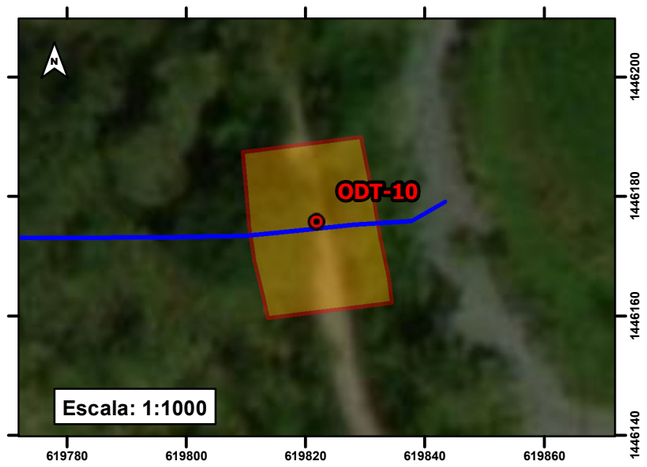
PROYECCIÓN.....UTM, ZONA 16N
DATUM.....WGS 1984
CARTA TOPOGRÁFICA.....3055 III

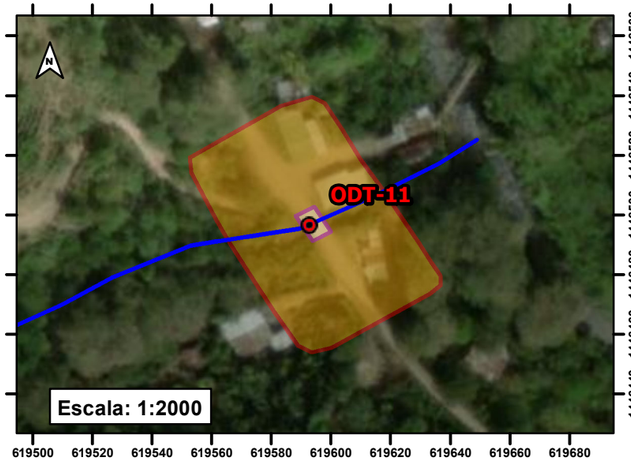
ELABORADO POR:
BR. ELIÁN JOSÉ ROJAS MURILLO
BR. ELÍAS ALBERTO CASTILLO LARGAESPADA

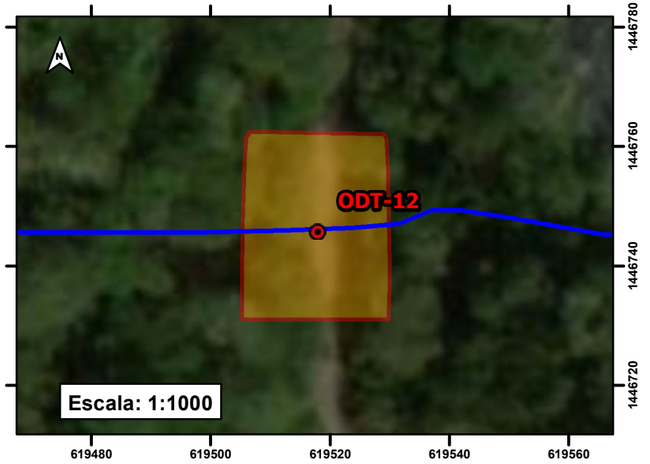
TUTOR:
DR. ING. NÉSTOR JAVIER LANZA MEJÍA

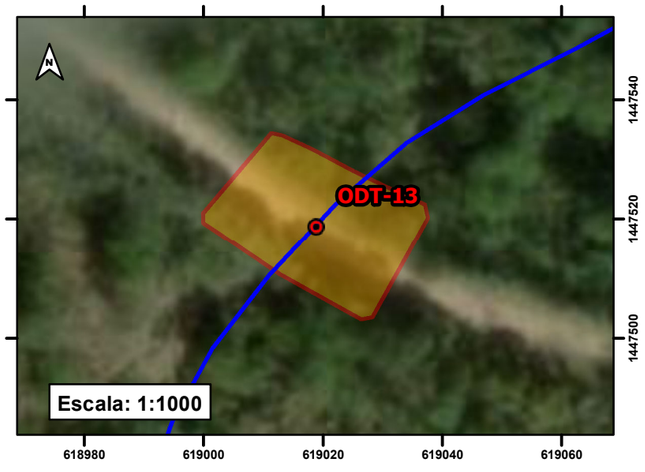
ASESOR:
M.SC. ING. JOSÉ ÁNGEL BALTODANO

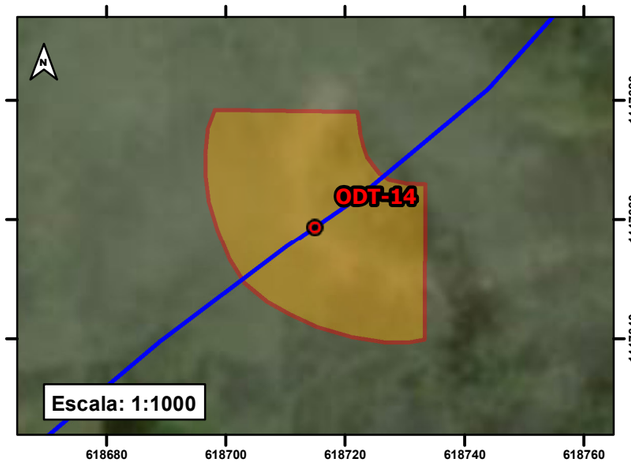
FECHA:	CONSECUTIVA:
MAYO 2024	MAPA 02
ESCALA:	**TOTAL:**
INDICADA	07 MAPAS

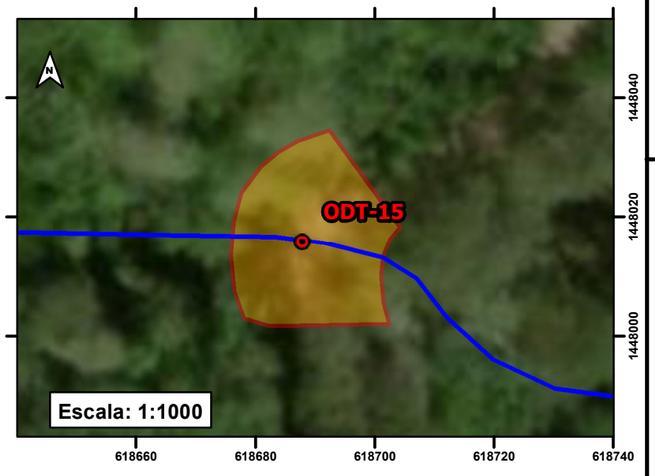


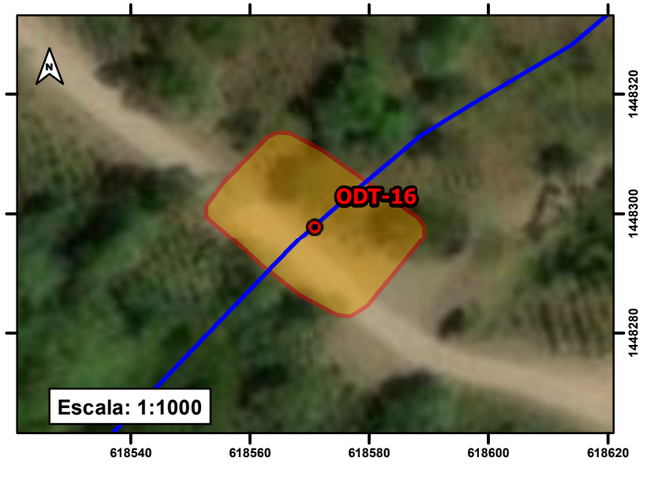


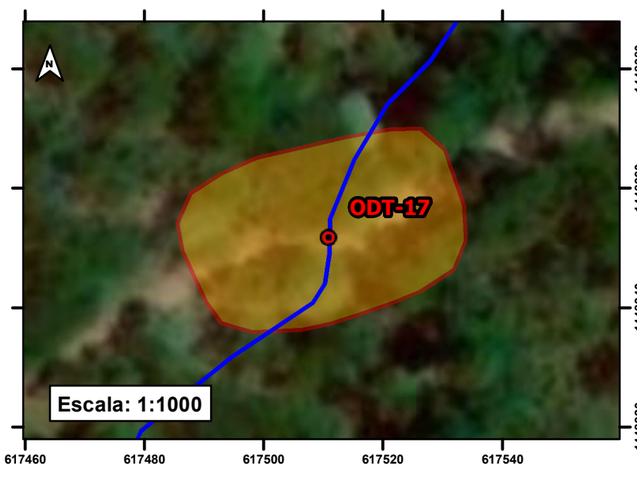


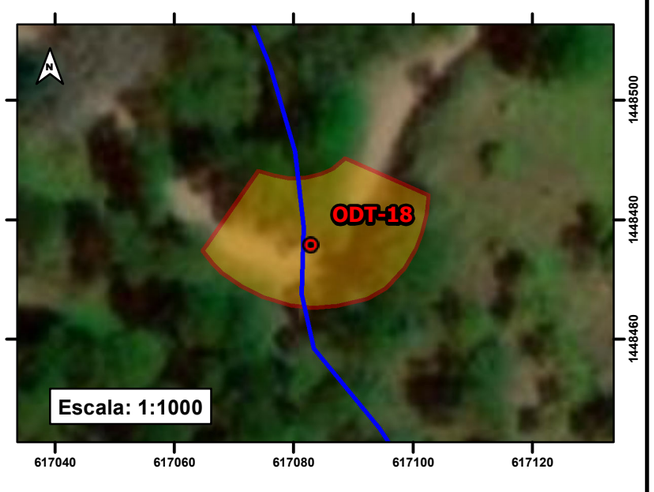












UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

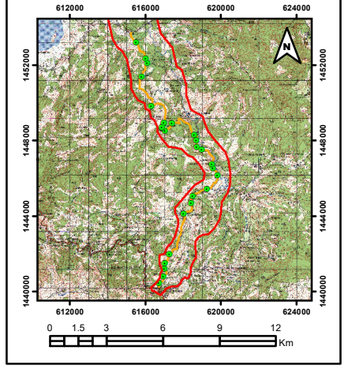
TESIS:
DISEÑO HIDROTÉCNICO DE LAS OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL Y SU IMPACTO AMBIENTAL, DEL TRAMO DE CARRETERA: "EL ARENAL - LOS ROBLES", MUNICIPIO DE JINOTEGA

TÍTULO DEL MAPA:
MAPAS DE ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA DE ODT-10 A ODT-18

SIMBOLOGÍA

- Límite Municipal
- Límite Departamental
- Alcantarilla Tipo Caja
- Área Influencia Directa ODT
- Inicio y Fin de Tramo
- Tramo de Estudio
- Cauce
- Puntos de Cierre
- Área de Infl. Indirecta

MICROLOCALIZACIÓN



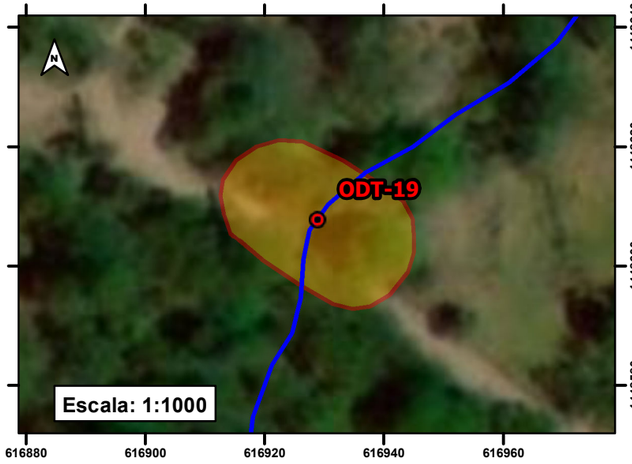
PROYECCIÓN.....UTM, ZONA 16N
DATUM.....WGS 1984
CARTA TOPOGRÁFICA.....3055 III

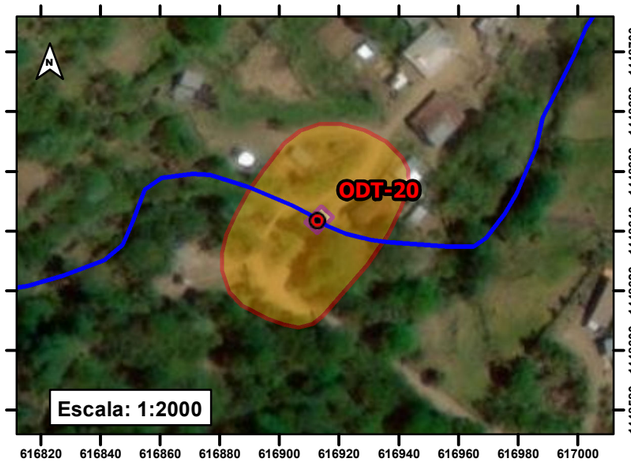
ELABORADO POR:
BR. ELIÁN JOSÉ ROJAS MURILLO
BR. ELÍAS ALBERTO CASTILLO LARGAESPADA

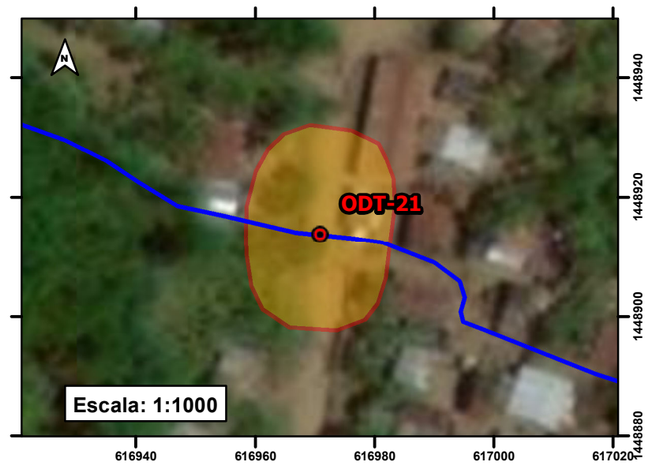
TUTOR:
DR. ING. NÉSTOR JAVIER LANZA MEJÍA

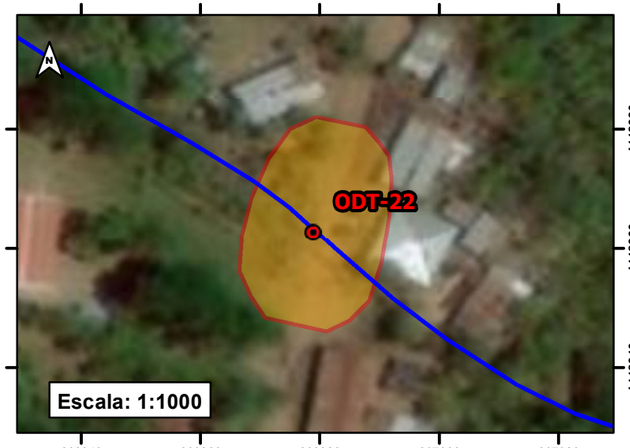
ASESOR:
M.SC. ING. JOSÉ ÁNGEL BALTODANO

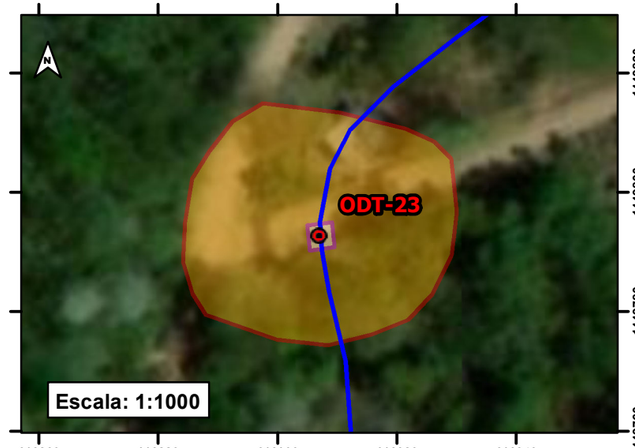
FECHA:	CONSECUTIVA:
MAYO 2024	MAPA 03
ESCALA:	**TOTAL:**
INDICADA	07 MAPAS

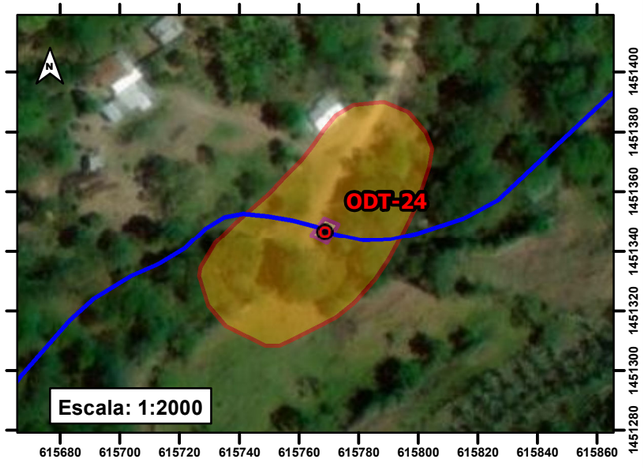


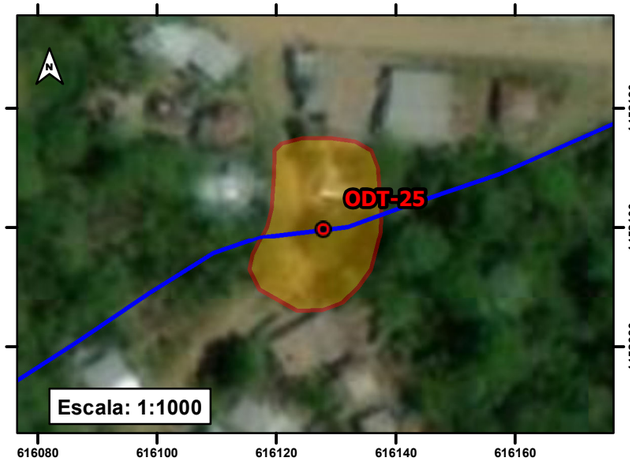


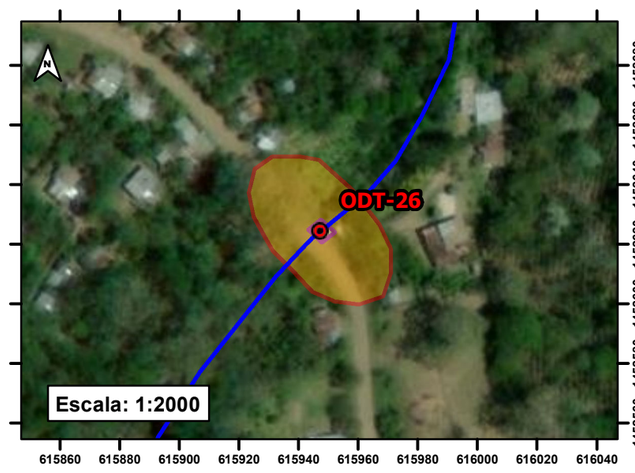


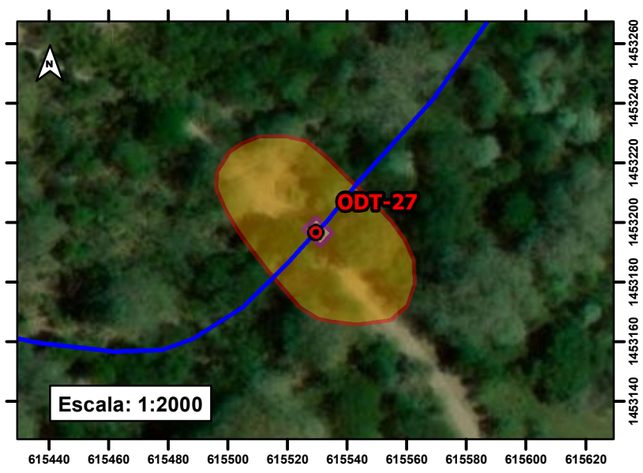












UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

TESIS:

DISEÑO HIDROTÉCNICO DE LAS OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL Y SU IMPACTO AMBIENTAL, DEL TRAMO DE CARRETERA: "EL ARENAL - LOS ROBLES", MUNICIPIO DE JINOTEGA

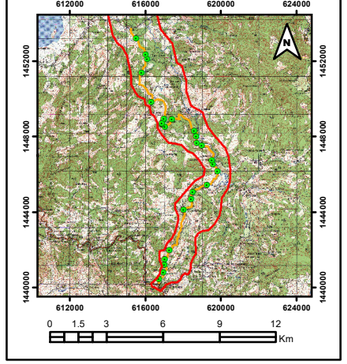
TÍTULO DEL MAPA:

MAPAS DE ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA DE ODT-19 A ODT-27

SIMBOLOGÍA

- Límite Municipal
- Límite Departamental
- Alcantarilla Tipo Caja
- Área Influencia Directa ODT
- Inicio y Fin de Tramo
- Tramo de Estudio
- Cauce
- Puntos de Cierre
- Área de Infl. Indirecta

MICROLOCALIZACIÓN



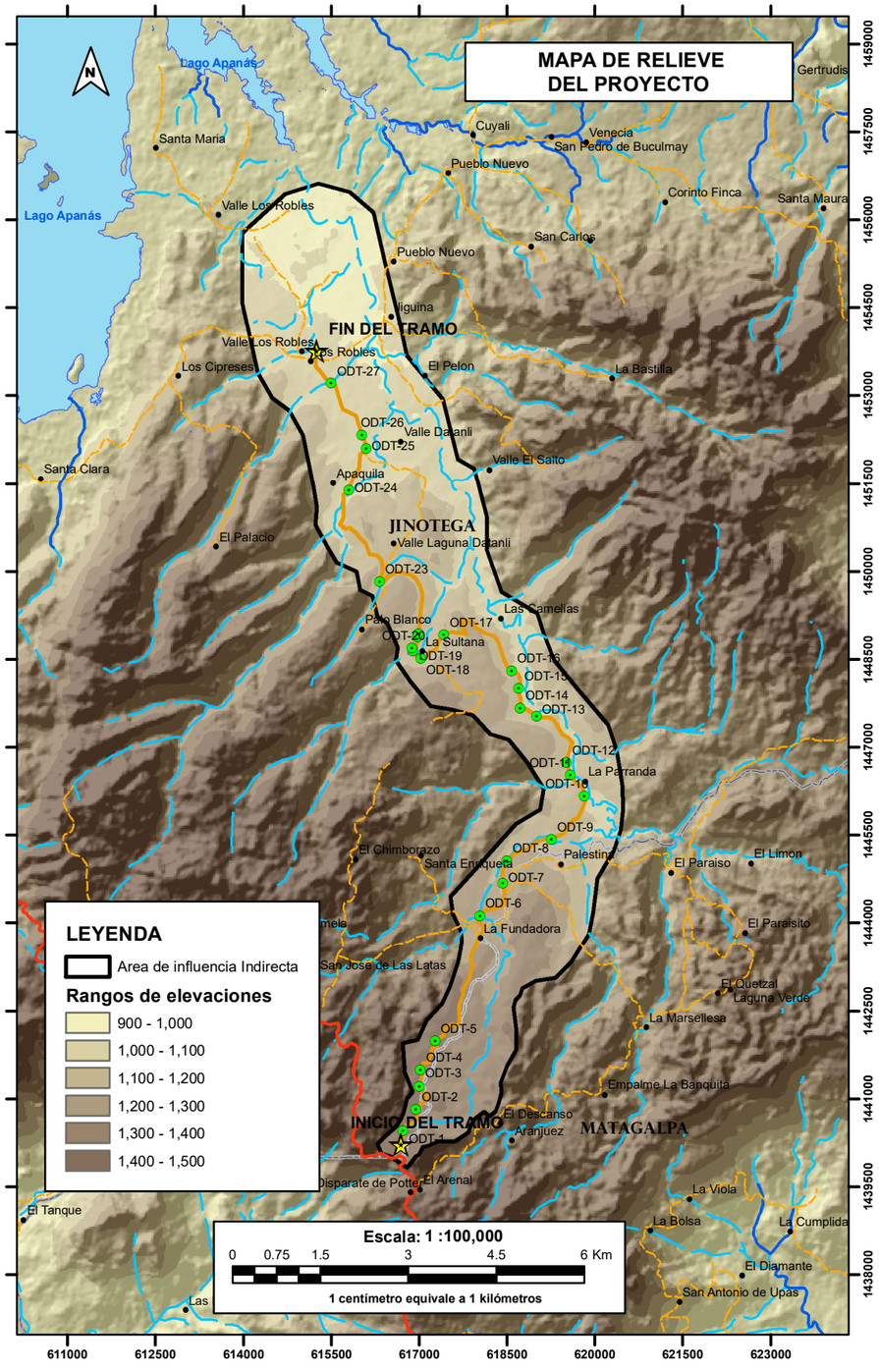
PROYECCIÓN.....UTM, ZONA 16N
DATUM.....WGS 1984
CARTA TOPOGRÁFICA.....3055 III

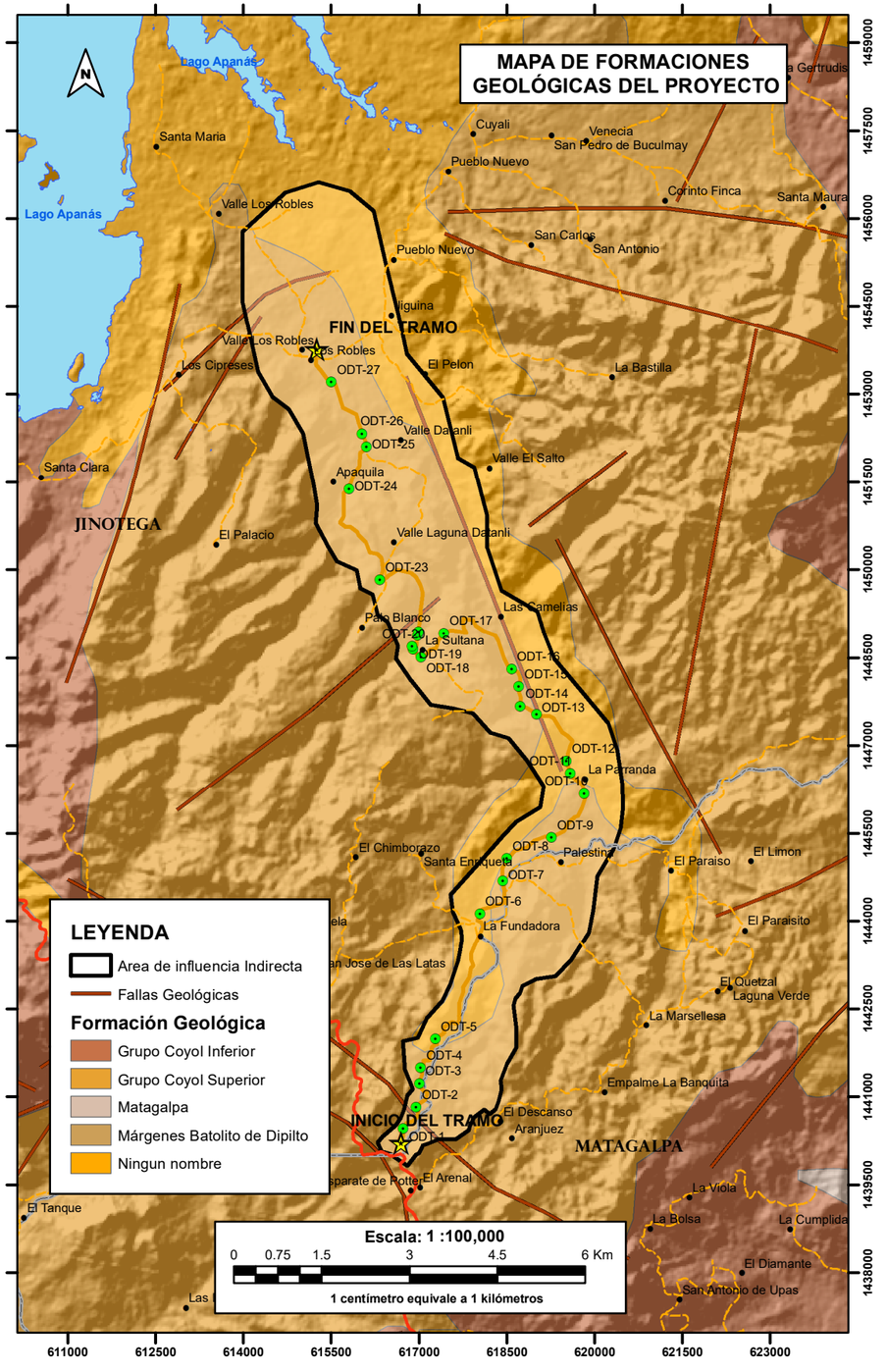
ELABORADO POR:
BR. ELIÁN JOSÉ ROJAS MURILLO
BR. ELÍAS ALBERTO CASTILLO LARGAESPADA

TUTOR:
DR. ING. NÉSTOR JAVIER LANZA MEJÍA

ASESOR:
M.SC. ING. JOSÉ ÁNGEL BALTODANO

FECHA:	CONSECUTIVA:
MAYO 2024	MAPA 04
ESCALA:	**TOTAL:**
INDICADA	07 MAPAS





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

TESIS:

DISEÑO HIDROTÉCNICO DE LAS OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL Y SU IMPACTO AMBIENTAL, DEL TRAMO DE CARRETERA: "EL ARENAL - LOS ROBLES", MUNICIPIO DE JINOTEGA

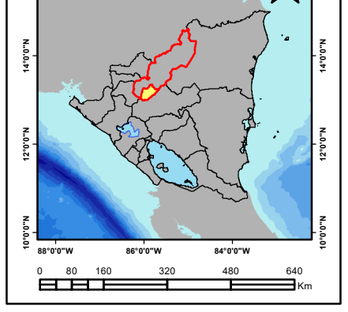
TÍTULO DEL MAPA:

MAPA DE RELIEVE Y MAPA DE FORMACIONES GEOLÓGICAS DEL PROYECTO

SIMBOLOGÍA

- Límite Municipal
- Límite Departamental
- Inicio y Fin de Tramo
- Tramo de Estudio
- Ríos Permanentes
- Ríos Intermitentes
- Poblados
- Drenaje Cuencas
- Puntos de Cierre
- Área de Infl. Indirecta
- Camino de Tiempo Seco
- Camino de Todo Tiempo
- Carretera Pavimentada

MACROLOCALIZACIÓN



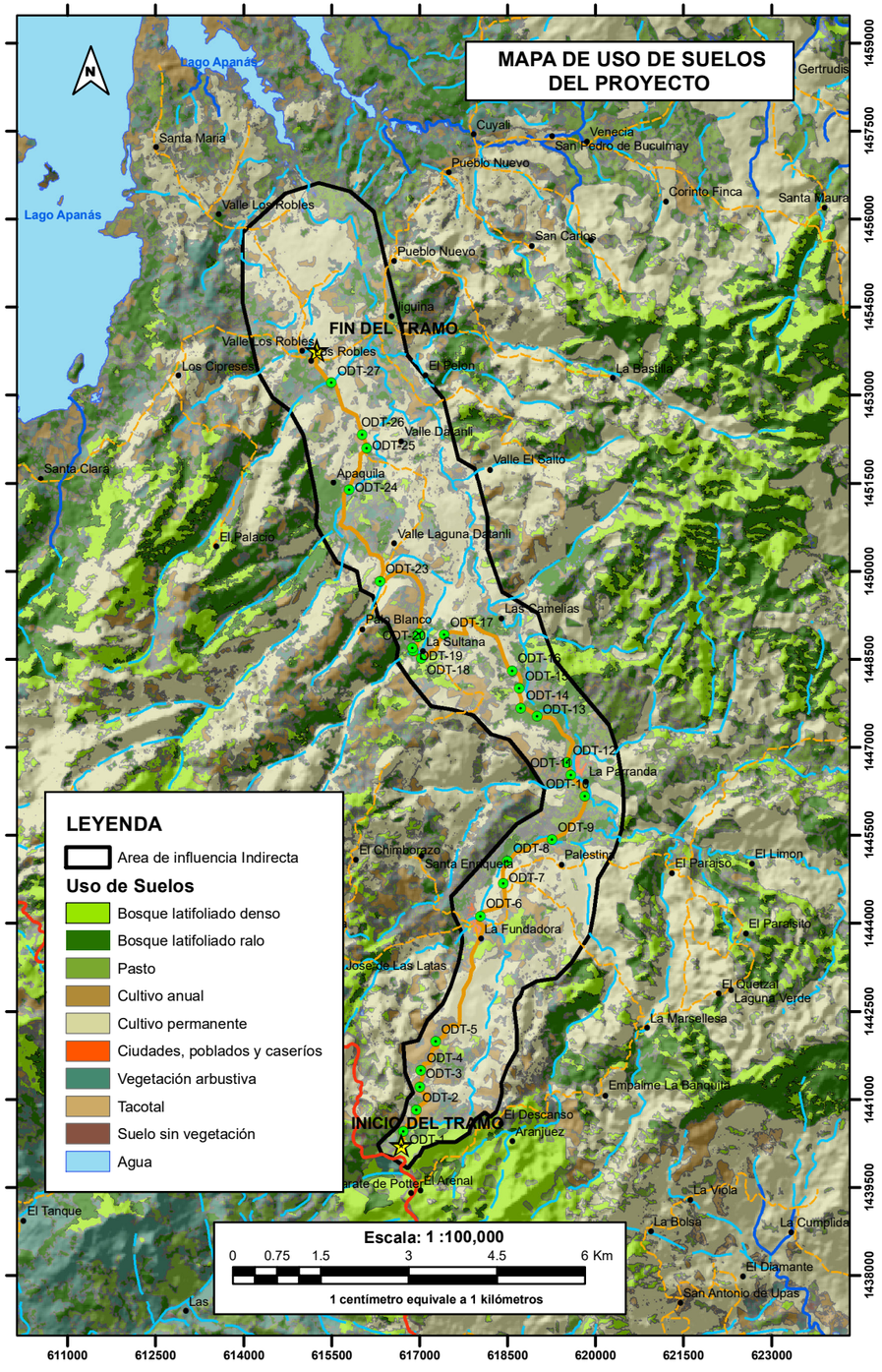
PROYECCIÓN.....UTM, ZONA 16N
DATUM.....WGS 1984
CARTA TOPOGRÁFICA.....3055 III

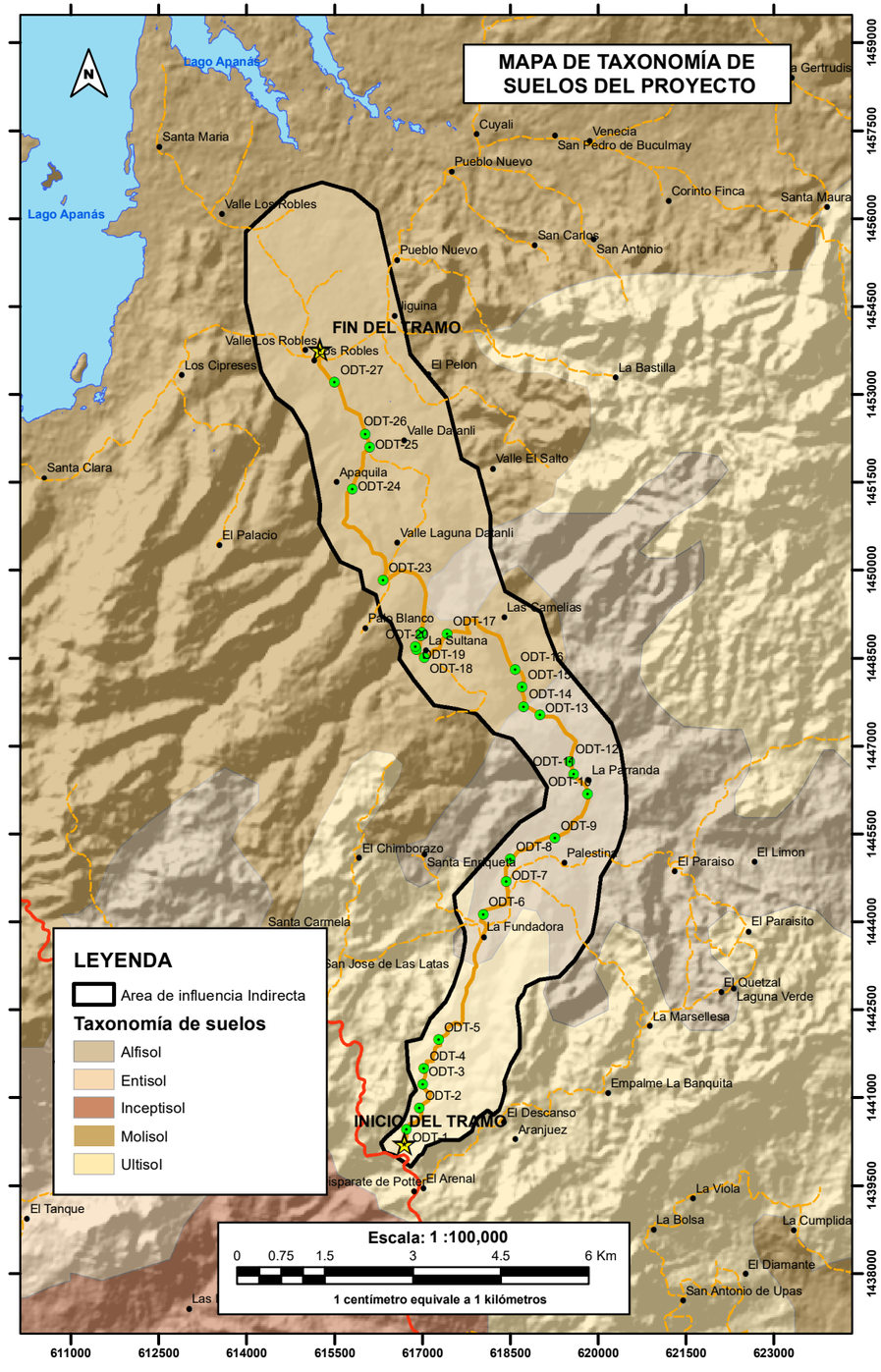
ELABORADO POR:
BR. ELIÁN JOSÉ ROJAS MURILLO
BR. ELÍAS ALBERTO CASTILLO LARGAESPADA

TUTOR:
DR. ING. NÉSTOR JAVIER LANZA MEJÍA

ASESOR:
M.SC. ING. JOSÉ ÁNGEL BALTODANO

FECHA:	CONSECUTIVA:
MAYO 2024	MAPA 05
ESCALA:	**TOTAL:**
INDICADA	07 MAPAS





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

TESIS:

DISEÑO HIDROTÉCNICO DE LAS OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL Y SU IMPACTO AMBIENTAL, DEL TRAMO DE CARRETERA: "EL ARENAL - LOS ROBLES", MUNICIPIO DE JINOTEGA

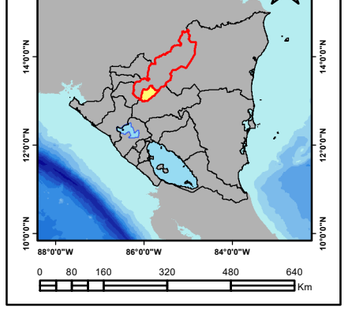
TÍTULO DEL MAPA:

MAPA DE USO DE SUELOS Y MAPA DE TAXONOMÍA DE SUELOS DEL PROYECTO

SIMBOLOGÍA

- Límite Municipal
- Límite Departamental
- Inicio y Fin de Tramo
- Tramo de Estudio
- Ríos Permanentes
- Ríos Intermitentes
- Poblados
- Drenaje Cuencas
- Puntos de Cierre
- Área de Infl. Indirecta
- Camino de Tiempo Seco
- Camino de Todo Tiempo
- Carretera Pavimentada

MACROLOCALIZACIÓN



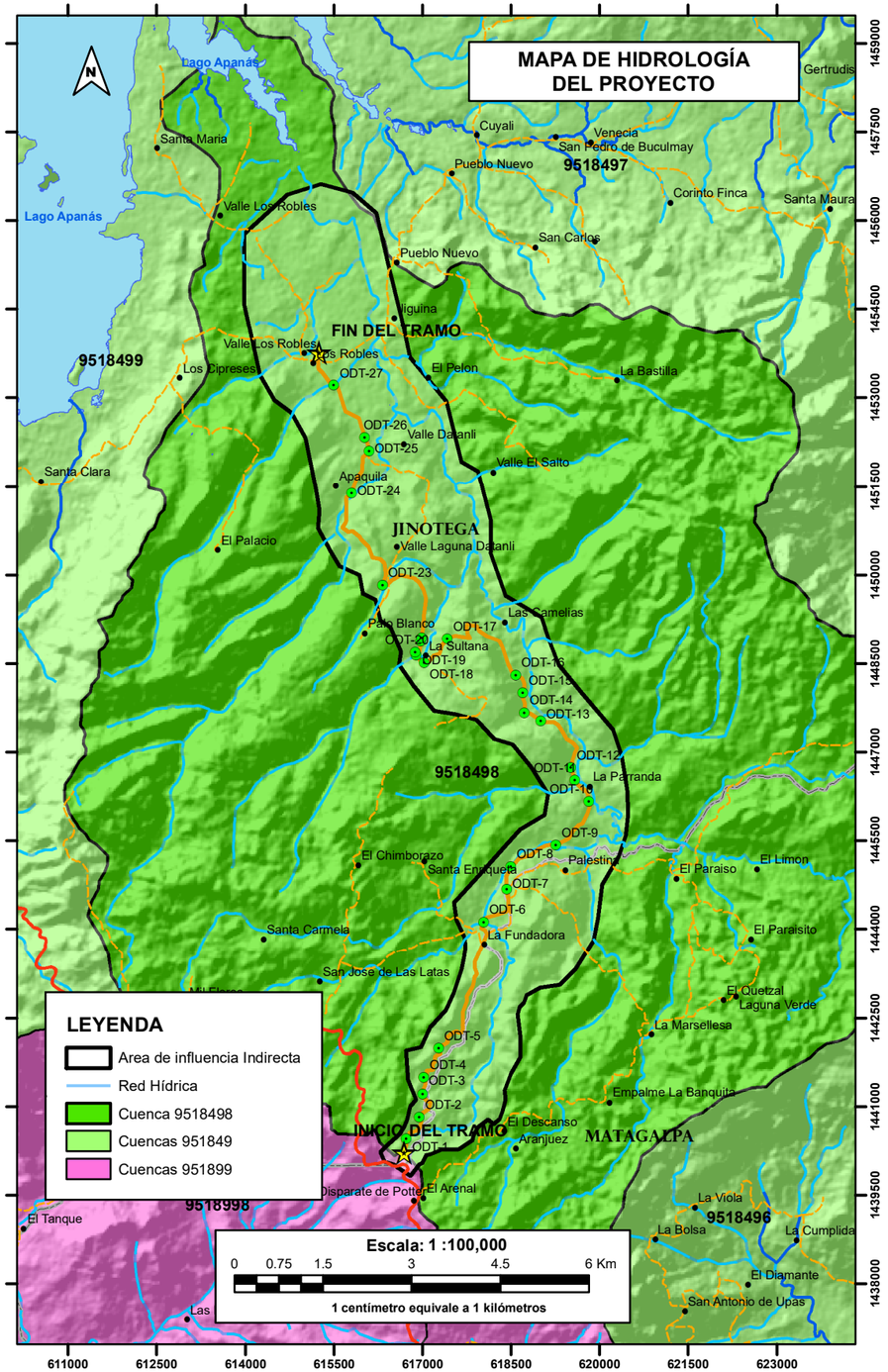
PROYECCIÓN.....UTM, ZONA 16N
DATUM.....WGS 1984
CARTA TOPOGRÁFICA.....3055 III

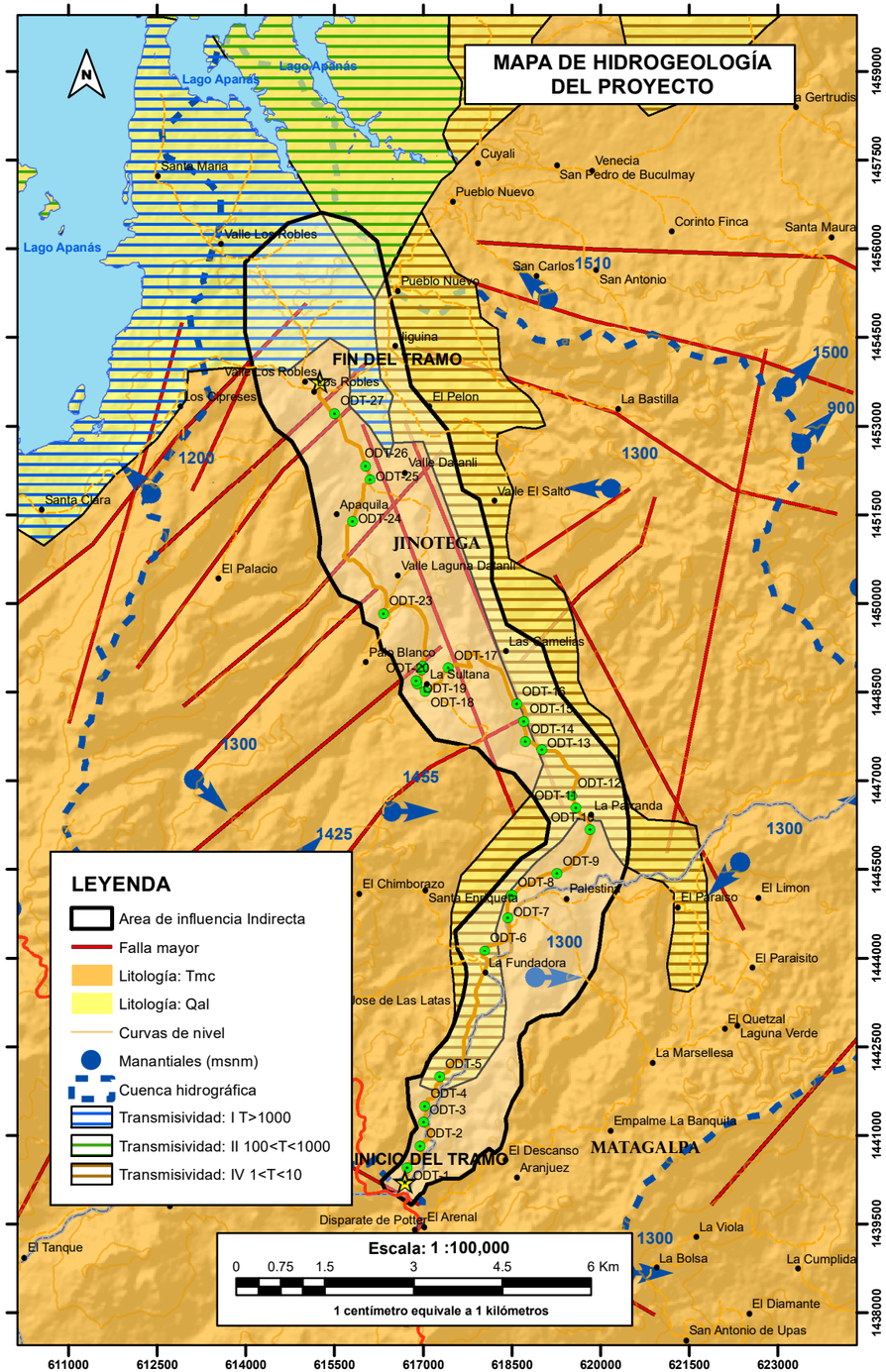
ELABORADO POR:
BR. ELIÁN JOSÉ ROJAS MURILLO
BR. ELÍAS ALBERTO CASTILLO LARGAESPADA

TUTOR:
DR. ING. NÉSTOR JAVIER LANZA MEJÍA

ASESOR:
M.SC. ING. JOSÉ ÁNGEL BALTODANO

FECHA:	CONSECUTIVA:
MAYO 2024	MAPA 06
ESCALA:	**TOTAL:**
INDICADA	07 MAPAS





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

TESIS:

DISEÑO HIDROTÉCNICO DE LAS OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL Y SU IMPACTO AMBIENTAL, DEL TRAMO DE CARRETERA: "EL ARENAL - LOS ROBLES", MUNICIPIO DE JINOTEGA

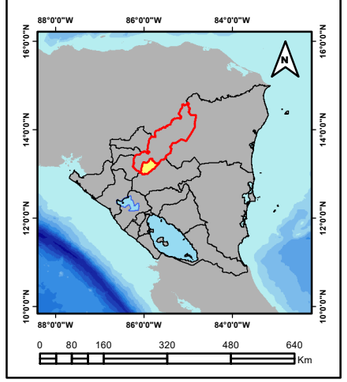
TÍTULO DEL MAPA:

MAPA DE HIDROLOGÍA Y MAPA DE HIDROGEOLOGÍA DEL PROYECTO

SIMBOLOGÍA

- Límite Municipal
- Límite Departamental
- Inicio y Fin de Tramo
- Tramo de Estudio
- Ríos Permanentes
- Ríos Intermitentes
- Poblados
- Drenaje Cuencas
- Puntos de Cierre
- Área de Infl. Indirecta
- Camino de Tiempo Seco
- Camino de Todo Tiempo
- Carretera Pavimentada

MACROLOCALIZACIÓN



PROYECCIÓN.....UTM, ZONA 16N
DATUM.....WGS 1984
CARTA TOPOGRÁFICA.....3055 III

ELABORADO POR:
BR. ELIÁN JOSÉ ROJAS MURILLO
BR. ELÍAS ALBERTO CASTILLO LARGAESPADA

TUTOR:
DR. ING. NÉSTOR JAVIER LANZA MEJÍA

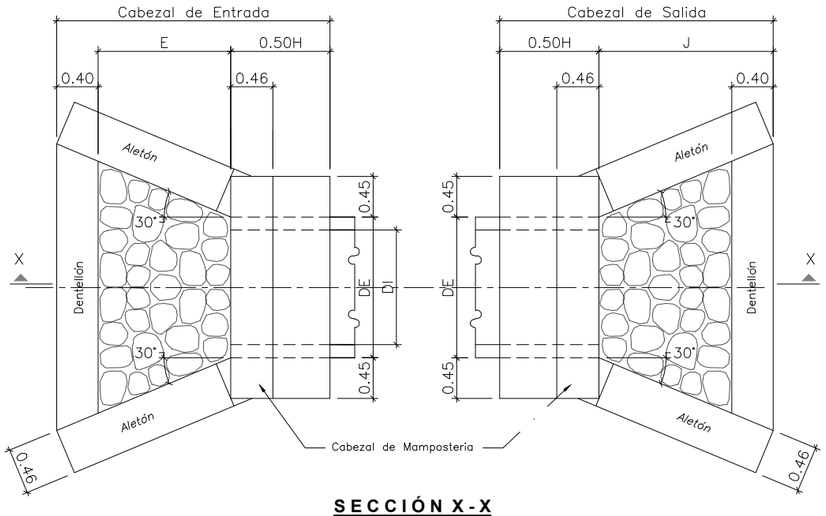
ASESOR:
M.SC. ING. JOSÉ ÁNGEL BALTODANO

FECHA:	CONSECUTIVA:
MAYO 2024	MAPA 07
ESCALA:	**TOTAL:**
INDICADA	07 MAPAS

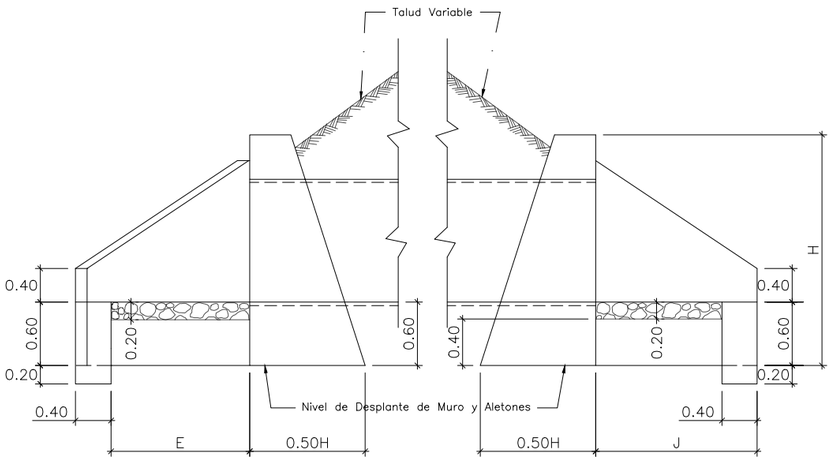
8.4 PLANOS ELABORADOS

NÚMERO DE PLANO	TÍTULO DEL PLANO
PLANO 1	PLANO DE SECCIÓN TÍPICA DE ALCANTARILLA DE CONCRETO REFORZADO
PLANO 2	PLANO DE PROTECCIÓN PARA ALCANTARILLAS DE CONCRETO REFORZADO
PLANO 3	PLANO DE SECCIÓN TÍPICA DE ALCANTARILLA TIPO CAJA DOBLE DE CONCRETO REFORZADO
PLANO 4	PLANO DE SECCIÓN TÍPICA DE ALCANTARILLA TIPO CAJA TRIPLE DE CONCRETO REFORZADO

PLANTA



SECCIÓN X-X



DETALLES DE CABEZALES DE ALCANTARILLAS

ESC:_____ Sin Escala

RECOMENDACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CABEZALES:

El ángulo y la longitud de los aletones de los cabezales serán fijados de acuerdo al detalle "Esquema para replanteo de Alcantarillas" mostrado en este plano, y/o conforme lo indique el Ingeniero, de acuerdo a las condiciones del sitio.

RECOMENDACIONES PARA LA INSTALACIÓN DE ALCANTARILLAS:

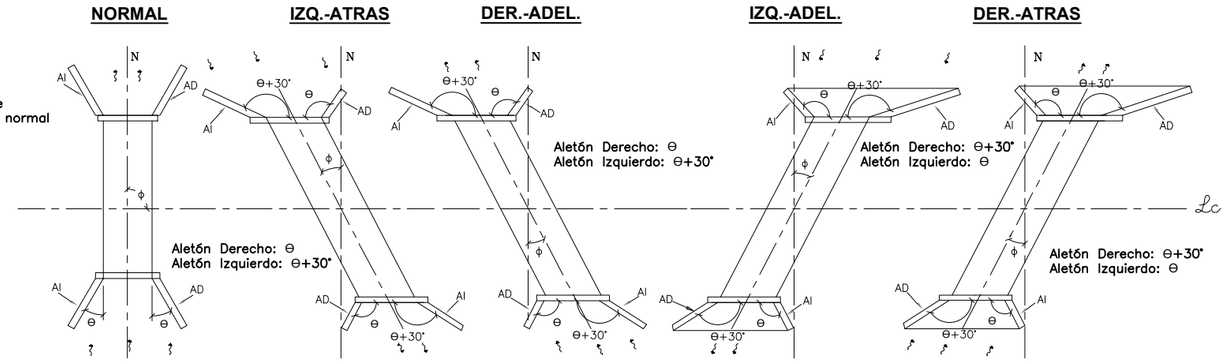
Los materiales para relleno en cada lado de la tubería, en todo el ancho de la zanja (AE) y hasta una altura de 30 cm, sobre la parte superior de la tubería (HR), estarán formados de material aprobado por el Ingeniero y no debe contener sobretamaño mayores de 2" ø.

Todas las alcantarillas serán instaladas sobre un lecho clase "B", con un espesor (EL), igual a 10 cm del diámetro externo (DE) del tubo ó 10 cm mínimo excepto donde se indique lo contrario. El ancho de excavación (AE) a ser medidos con fines de pago será el diámetro externo del tubo más 45 cm a c/lado.

En el caso de que en dicho sitio se ejecute el concepto de remoción de alcanatarillas, al volumen de excavación a pagar les será deducido el volumen equivalente de la tubería removida.

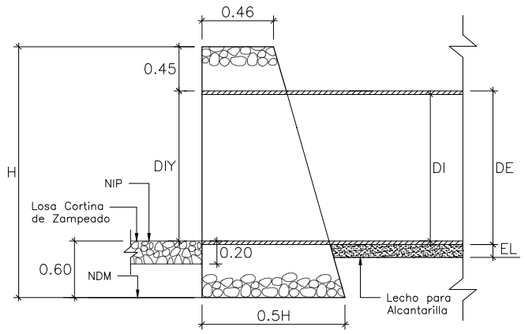
EN GENERAL

ϕ = Ángulo de Esviaje
Θ = Ángulo de giro de Aletones respecto a la normal
Θmax = 70°
AI = Aletón Izquierdo
AD = Aletón Derecho



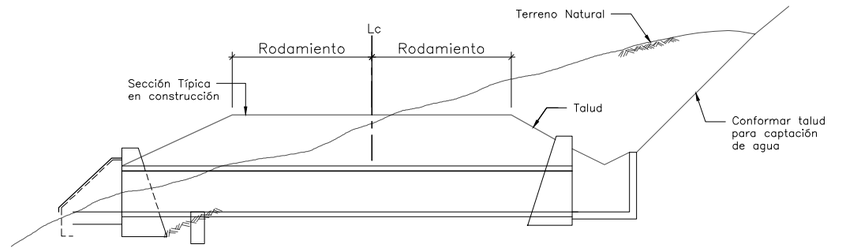
ESQUEMA PARA EL REPLANTEO DE ALCANTARILLAS

ESC:_____ Sin Escala



DETALLE GENERAL DE SECCIÓN TRANSVERSAL DE MURO-CABEZAL TÍPICO DE ALCANTARILLA

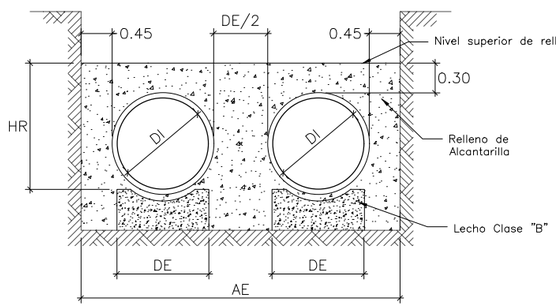
ESC:_____ Sin Escala



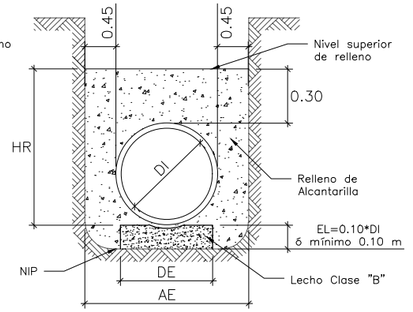
SECCIÓN TRANSVERSAL MOSTRANDO LA POSICIÓN DEL TRAGANTE

ESC:_____ Sin Escala

ALCANTARILLAS MÚLTIPLES



ALCANTARILLAS SENCILLAS



DETALLES TÍPICOS PARA LA COLOCACIÓN DE ALCANTARILLAS

ESC:_____ Sin Escala

UNI - RUPAP

TESIS:
DISEÑO HIDROTÉCNICO DE LAS OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL Y SU IMPACTO AMBIENTAL, DEL TRAMO DE CARRETERA: " EL ARENAL - LOS ROBLES", MUNICIPIO DE JINOTEGA.

CONTENIDO:
DETALLES TÍPICOS DE ALCANTARILLAS DE CONCRETO REFORZADO

ELABORADO POR:
BR. ELIÁN JOSÉ ROJAS MURILLO
BR. ELÍAS ALBERTO CASTILLO LARGAESPADA

TUTOR: DR. ING. NÉSTOR JAVIER LANZA MEJÍA

ASESOR: M. SC. ING. JOSÉ ÁNGEL BALTODANO

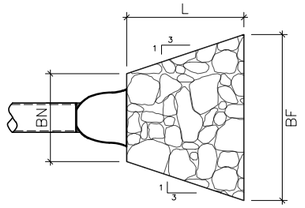
FECHA: MAYO 2024

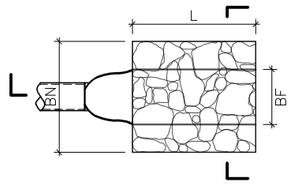
ESCALA: INDICADA

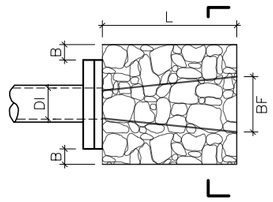
CONSECUTIVA: PLANO 01

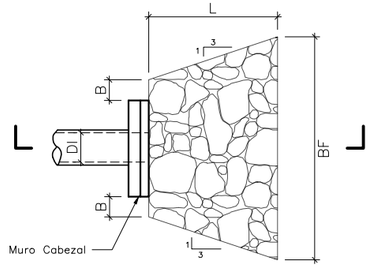
TOTAL: 04 PLANOS

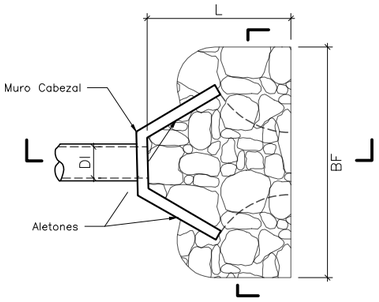
REPÚBLICA DE NICARAGUA - AMÉRICA CENTRAL





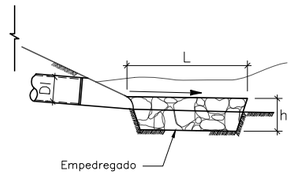


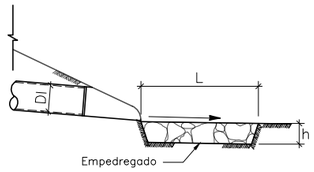




DETALLES EN PLANTA DE LOS TIPOS DE PROTECCIÓN PARA ALCANTARILLAS

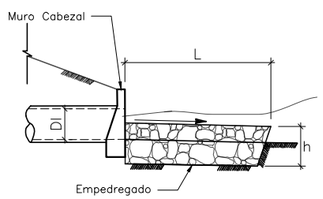
ESC:_____Sin Escala

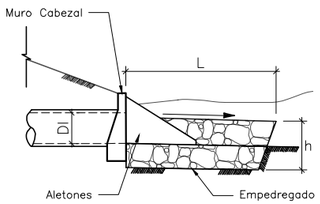




DETALLES EN PERFIL DE PROTECCIÓN PARA ALCANTARILLAS

ESC:_____Sin Escala





DETALLES EN PERFIL DE PROTECCIÓN PARA ALCANTARILLAS CON CABEZAL Y ALETONES

ESC:_____Sin Escala

ESTRUCTURA	DIMENSIÓN	ESTACIONAMIENTO	COORDENADAS		PENDIENTE	LONGITUD	INVERT SALIDA	PROTECCIÓN EMPEDREGADO			
								Diámetro	Ancho	Profundidad	Largo
			X	Y				D50 (m)	W (m)	h (m)	L (m)
ODT-1	2-TCR-72	0+248.72	616735.520	1440457.502	1.0%	15.5 m	1395.78 m	0.16	9.14	0.38	7.32
ODT-2	1-TCR-60	0+764.34	616955.6385	1440820.289	1.0%	13.4 m	1392.92 m	0.16	7.62	0.39	4.57
ODT-3	1-TCR-36	1+303.23	617014.2216	1441226.775	1.0%	8.6 m	1399.79 m	0.02	3.66	0.08	2.74
ODT-4	2-TCR-60	1+605.66	617031.403	1441500.875	1.0%	14.3 m	1396.06 m	0.16	7.62	0.39	6.1
ODT-5	1-TCR-36	2+255.98	617279.528	1441995.652	1.0%	8.0 m	1418.72 m	0.08	3.66	0.27	2.74
ODT-7	1-TCR-60	5+705.53	618430.570	1444689.276	1.0%	5.5 m	1224.70 m	0.11	6.1	0.4	4.57
ODT-8	1-TCR-36	6+121.65	618504.364	1445071.385	1.0%	6.9 m	1184.99 m	0.08	3.66	0.27	2.74
ODT-10	1-TCR-36	7+991.81	619818.903	1446170.705	1.0%	6.7 m	1095.85 m	0.05	3.66	0.19	2.74
ODT-12	1-TCR-60	8+669.87	619520.814	1446745.705	1.0%	6.1 m	1091.60 m	0.1	6.1	0.35	4.57
ODT-13	1-TCR-36	9+849.61	619006.979	1447537.013	1.0%	6.7 m	1108.22 m	0.03	3.66	0.11	2.74
ODT-14	2-TCR-72	10+160.51	618731.4028	1447670.705	1.0%	5.5 m	1107.29 m	0.14	7.32	0.46	7.32
ODT-15	1-TCR-48	10+501.77	618708.778	1448008.112	1.0%	8.6 m	1088.07 m	0.12	4.88	0.42	3.66
ODT-16	1-TCR-36	10+879.91	618582.4388	1448305.255	1.0%	7.9 m	1098.95 m	0.01	3.66	0.03	2.74
ODT-17	2-TCR-72	12+835.92	617428.5678	1448918.429	1.0%	5.0 m	1184.55 m	0.19	9.14	0.46	7.32
ODT-18	1-TCR-48	13+454.57	617034.3756	1448514.76	1.0%	5.5 m	1142.46 m	0.07	4.88	0.24	3.66
ODT-19	1-TCR-60	13+655.74	616904.1502	1448644.586	1.0%	5.8 m	1125.14 m	0.16	7.62	0.39	4.57
ODT-21	2-TCR-48	13+916.13	616981.4028	1448883.205	1.0%	6.6 m	1129.83 m	0.14	4.88	0.45	3.66
ODT-22	1-TCR-60	13+984.31	616993.312	1448941.933	1.0%	6.4 m	1131.98 m	0.11	6.1	0.39	3.05
ODT-25	1-TCR-36	18+528.33	616104.9688	1452106.771	1.0%	5.1 m	1027.47 m	0.05	3.66	0.17	1.83

UNI - RUPAP

TESIS:
DISEÑO HIDROTÉCNICO DE LAS OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL Y SU IMPACTO AMBIENTAL, DEL TRAMO DE CARRETERA: " EL ARENAL - LOS ROBLES", MUNICIPIO DE JINOTEGA.

CONTENIDO:
PROTECCIÓN PARA ALCANTARILLAS, NOTAS GENERALES Y ESPECIFICACIONES

ELABORADO POR:
BR. ELIÁN JOSÉ ROJAS MURILLO
BR. ELÍAS ALBERTO CASTILLO LARGAESPADA

TUTOR:
DR. ING. NÉSTOR JAVIER LANZA MEJÍA

ASESOR:
M. SC. ING. JOSÉ ÁNGEL BALTODANO

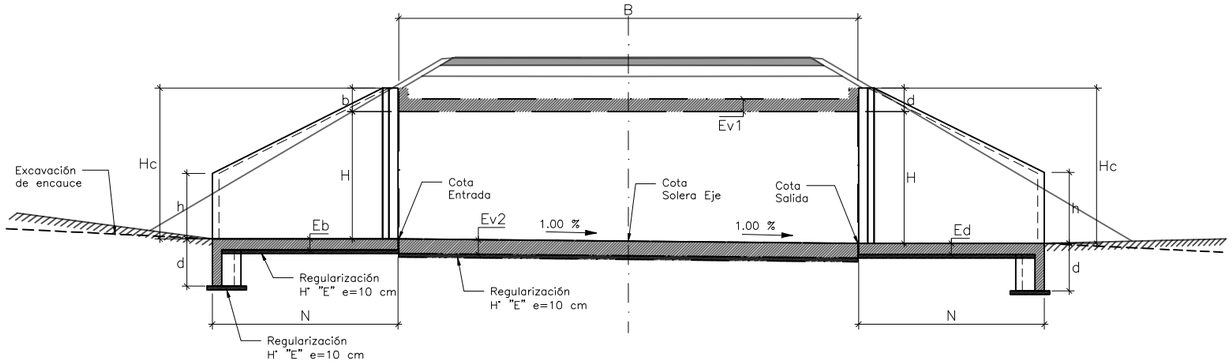
FECHA: MAYO 2024

ESCALA: INDICADA

CONSECUTIVA: PLANO 02

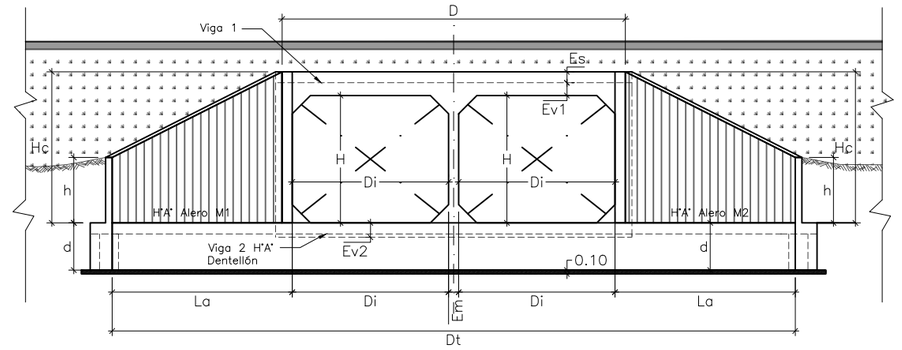
TOTAL: 04 PLANOS

REPÚBLICA DE NICARAGUA - AMÉRICA CENTRAL



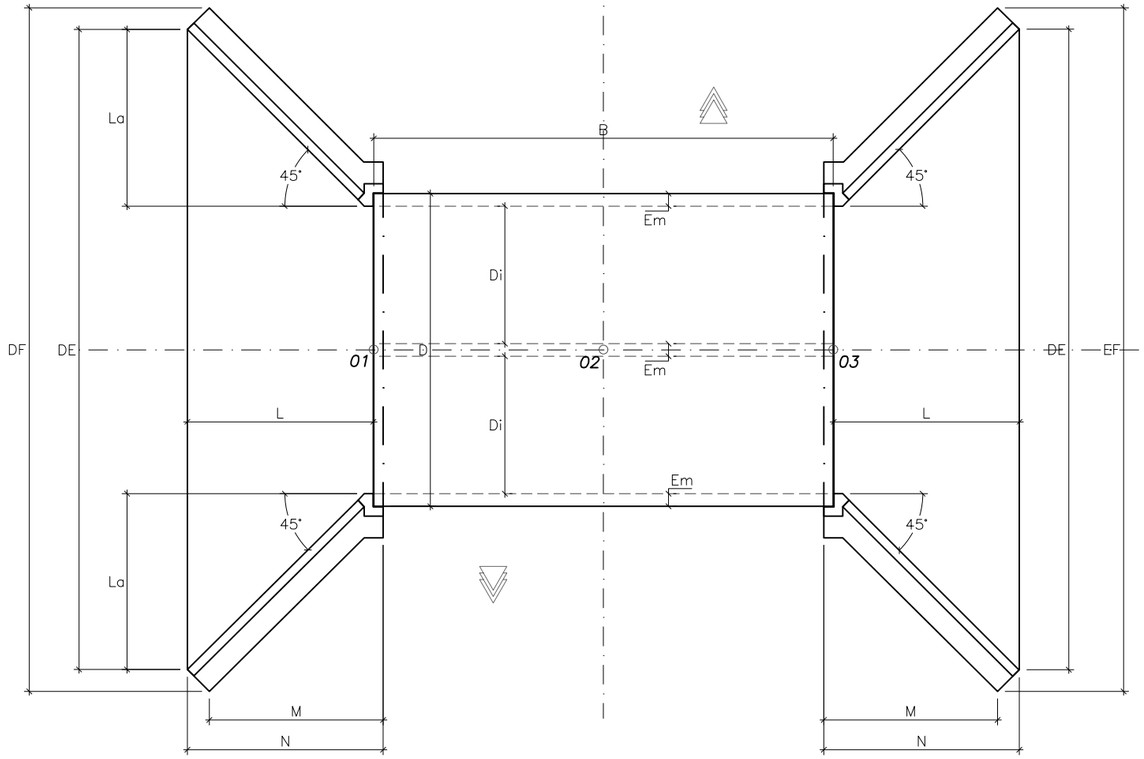
DETALLE DE SECCIÓN TRANSVERSAL DE ALCANTARILLA TIPO CAJA PUENTE

ESC: Sin Escala



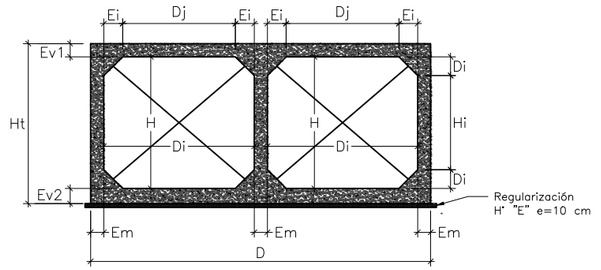
DETALLE FRONTAL DE ALCANTARILLA TIPO CAJA PUENTE DOBLE

ESC: Sin Escala



DETALLE DE PLANTA DE ALCANTARILLA TIPO CAJA PUENTE DOBLE

ESC: Sin Escala



DETALLE DE SECCIÓN FRONTAL DE ALCANTARILLA TIPO CAJA PUENTE DOBLE

ESC: Sin Escala

ESTRUCTURA	DIMENSIÓN	ESTACIONAMIENTO	COORDENADAS		PENDIENTE	LONGITUD	INVERT SALIDA	PROTECCIÓN EMPEDREGADO			
								Diámetro	Ancho	Profundidad	Largo
			X	Y				D50 (m)	W (m)	h (m)	L (m)
ODT-6	2-CCR-3X3.5	4+861.21	618045.145	1444132.723	1.0%	6.5 m	1207.18 m	0.51	24	1.02	12
ODT-9	3-CCR-5X4	6+964.08	619267.290	1445433.205	1.1%	4.4 m	1134.75 m	0.34	30	0.75	25
ODT-11	2-CCR-3.5X3.5	8+447.19	619581.403	1446533.205	1.0%	5.7 m	1088.74 m	0.43	24.5	0.87	14
ODT-20	2-CCR-3X3	13+760.00	616881.2198	1448695.614	1.0%	6.1 m	1124.94 m	0.33	18	0.72	12
ODT-23	2-CCR-2X2	15+653.30	616330.4533	1449832.349	1.0%	5.8 m	1168.14 m	0.26	12	0.57	8
ODT-24	2-CCR-3.5X3.5	17+685.44	615806.4028	1451383.205	1.0%	6.4 m	1052.14 m	0.42	24.5	0.83	14
ODT-26	2-CCR-2X2	18+768.84	616031.4028	1452333.205	1.0%	5.5 m	1027.14 m	0.27	12	0.59	8
ODT-27	2-CCR-3X2	19+860.88	615507.1297	1453214.266	1.0%	6.8 m	1024.13 m	0.13	12	0.44	12

UNI - RUPAP

TESIS:
DISEÑO HIDROTÉCNICO DE LAS OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL Y SU IMPACTO AMBIENTAL, DEL TRAMO DE CARRETERA: " EL ARENAL - LOS ROBLES", MUNICIPIO DE JINOTEGA.

CONTENIDO:
DETALLES TÍPICOS DE ALCANTARILLAS TIPO CAJA PUENTE DOBLE

ELABORADO POR:
BR. ELIÁN JOSÉ ROJAS MURILLO
BR. ELÍAS ALBERTO CASTILLO LARGAESPADA

TUTOR:
DR. ING. NÉSTOR JAVIER LANZA MEJÍA

ASESOR:
M. SC. ING. JOSÉ ÁNGEL BALTODANO

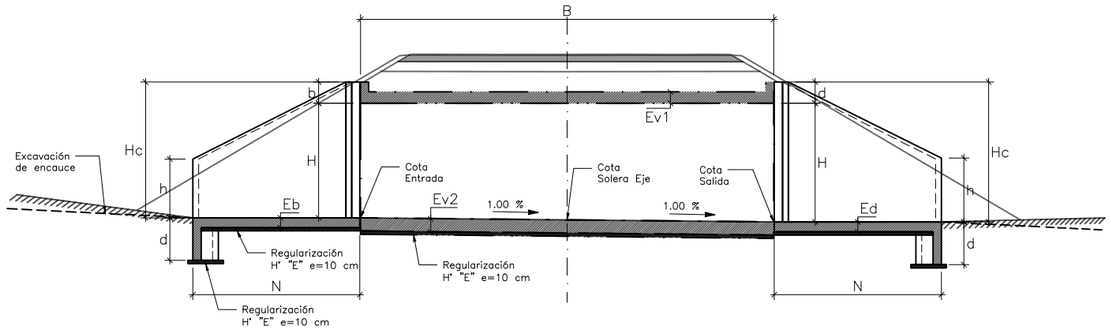
FECHA:
MAYO 2024

ESCALA:
INDICADA

CONSECUTIVA:
PLANO 03

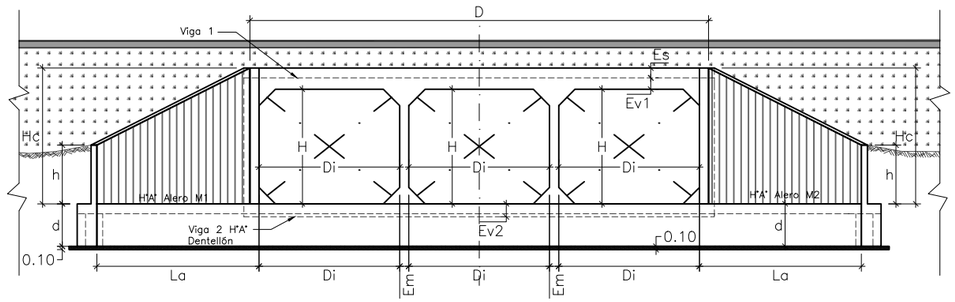
TOTAL:
04 PLANOS

REPÚBLICA DE NICARAGUA - AMÉRICA CENTRAL



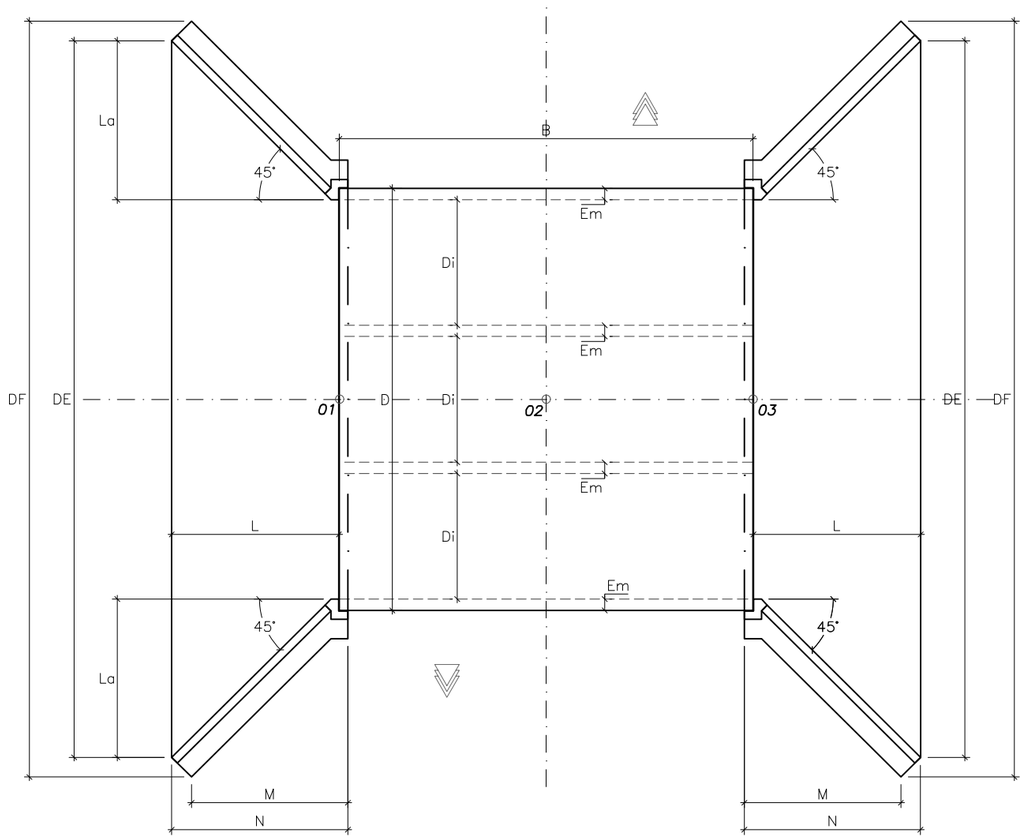
DETALLE DE SECCIÓN TRANSVERSAL DE ALCANTARILLA TIPO CAJA PUENTE

ESC: Sin Escala



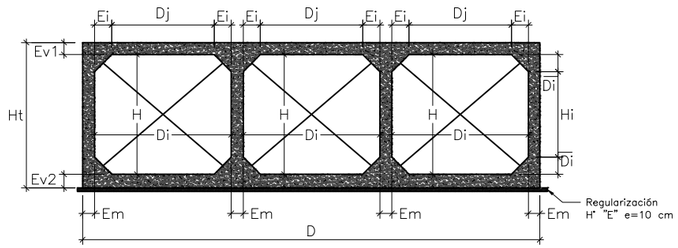
DETALLE FRONTAL DE ALCANTARILLA TIPO CAJA PUENTE TRIPLE

ESC: Sin Escala



DETALLE DE PLANTA DE ALCANTARILLA TIPO CAJA PUENTE TRIPLE

ESC: Sin Escala



DETALLE DE SECCIÓN FRONTAL DE ALCANTARILLA TIPO CAJA PUENTE TRIPLE

ESC: Sin Escala

ESTRUCTURA	DIMENSIÓN	ESTACIONAMIENTO	COORDENADAS		PENDIENTE	LONGITUD	INVERT SALIDA	PROTECCIÓN EMPEDREGADO			
								Diámetro	Ancho	Profundidad	Largo
			X	Y				D50 (m)	W (m)	h (m)	L (m)
ODT-6	2-CCR-3X3.5	4+861.21	618045.145	1444132.723	1.0%	6.5 m	1207.18 m	0.51	24	1.02	12
ODT-9	3-CCR-5X4	6+964.08	619267.290	1445433.205	1.1%	4.4 m	1134.75 m	0.34	30	0.75	25
ODT-11	2-CCR-3.5X3.5	8+447.19	619581.403	1446533.205	1.0%	5.7 m	1088.74 m	0.43	24.5	0.87	14
ODT-20	2-CCR-3X3	13+760.00	616881.2198	1448695.614	1.0%	6.1 m	1124.94 m	0.33	18	0.72	12
ODT-23	2-CCR-2X2	15+653.30	616330.4533	1449832.349	1.0%	5.8 m	1168.14 m	0.26	12	0.57	8
ODT-24	2-CCR-3.5X3.5	17+685.44	615806.4028	1451383.205	1.0%	6.4 m	1052.14 m	0.42	24.5	0.83	14
ODT-26	2-CCR-2X2	18+768.84	616031.4028	1452333.205	1.0%	5.5 m	1027.14 m	0.27	12	0.59	8
ODT-27	2-CCR-3X2	19+860.88	615507.1297	1453214.266	1.0%	6.8 m	1024.13 m	0.13	12	0.44	12

UNI - RUPAP

TESIS:
DISEÑO HIDROTÉCNICO DE LAS OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL Y SU IMPACTO AMBIENTAL, DEL TRAMO DE CARRETERA: " EL ARENAL - LOS ROBLES", MUNICIPIO DE JINOTEGA.

CONTENIDO:
DETALLES TÍPICOS DE ALCANTARILLAS TIPO CAJA PUENTE TRIPLE

ELABORADO POR:
BR. ELIÁN JOSÉ ROJAS MURILLO
BR. ELÍAS ALBERTO CASTILLO LARGAESPADA

TUTOR:
DR. ING. NÉSTOR JAVIER LANZA MEJÍA

ASESOR:
M. SC. ING. JOSÉ ÁNGEL BALTODANO

FECHA: MAYO 2024

ESCALA: INDICADA

CONSECUTIVA: PLANO 04

TOTAL: 04 PLANOS

REPÚBLICA DE NICARAGUA - AMÉRICA CENTRAL

8.5 ANEXOS VIRTUALES

Para quienes deseen explorar más a fondo este trabajo, hemos incluido un código QR que da acceso a una versión extendida del documento, mapas digitales, memorias de cálculo y otros materiales relevantes. Este recurso ofrece una visión más completa de la investigación y permite el contacto directo con los autores para consultas o aclaraciones adicionales sobre el contenido.

CÓDIGO QR DE ARCHIVOS: “DISEÑO HIDROTÉCNICO DE LAS OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL Y SU IMPACTO AMBIENTAL, DEL TRAMO DE CARRETERA: “EL ARENAL – LOS ROBLES”, MUNICIPIO DE JINOTEGA**”**

Agradecemos a todos quienes han hecho posible este trabajo.