



AEROPUERTO INTERNACIONAL DE CABO
ROJO, PEDERNALES
MEMORIA HIDROLOGICA E HIDRAULICA



Contenido

1. INTRODUCCION.....	5
2. OBJETIVOS Y ALCANCES	6
3. DEFINICION DE TERMINOS	6
4. METODOLOGIA PARA EL DESARROLLO DE LOS ESTUDIOS	10
5. LOCALIZACION DEL PROYECTO.....	11
6. ANALISIS HIDROLOGICO.....	11
6.1. Antecedentes de sucesos hidrológicos e hidráulicos en el la pista proyectada.....	13
6.2. Levantamiento topográfico.....	14
6.3. Información hidro-climática.....	15
6.4. Información cartográfica.....	16
6.5. Normas de diseño.....	16
6.6. Características y clasificación de los suelos.....	17
6.6.1. Zonas de vida.....	17
6.6.2. Uso y Cobertura de suelo.....	19
6.6.3. Rango de pendientes.....	21
6.6.4.Zonas de inundación.	24
7. ESTUDIOS HIDROLOGICOS.....	25
7.1. Análisis de precipitaciones.....	25
7.1.1. Precipitación media anual.	26
7.1.2. Precipitación máxima en 24 horas promedio.	26
7.2. Análisis climatológico.....	28
7.2.1. Temperatura media mensual.....	28
7.3. Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia.....	29
7.4. Definición de las áreas de drenaje por estructura.	32
7.4.1. Tiempo de concentración.	33
7.5. Caudales de diseño.....	34
7.5.1. Métodos hidrológicos utilizados.....	34
7.5.1.1. Método Racional.....	34
7.5.2. Cálculo de caudal de diseño (caudal pico).....	35
8. ESTUDIOS HIDRAULICOS	37
8.1. Alcantarillas	37



8.1.1. Consideraciones de diseño.	37
8.1.1.1. Localización.	37
8.1.1.2. Pendiente y velocidad.....	38
8.1.1.3. Periodo de retorno.....	39
8.1.1.4. Tamaño y forma de la alcantarilla.....	39
8.1.1.5. Control de flujo.	39
8.1.1.6. Nivel de carga.....	42
8.2. Cunetas y alcantarillas de drenaje longitudinal.	43
9. CONSLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	44
9.1. Conclusiones.....	44
9.2. Recomendaciones.	44

ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Carretera Los Cacaos - Santana. Fuente: Google Earth Pro.....	11
Ilustración 2. Tendencia de aumento de cantidad de ciclones por década, durante el periodo 1851-2020, en el atlántico.	14
Ilustración 3. Levantamiento LiDAR. Fuente: Propia.	15
Ilustración 4. Mapa zonas de vida. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.....	18
Ilustración 5. Mapa de uso y cobertura de suelo en la provincia de Pedernales. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.	20
Ilustración 6. Rango de pendiente provincia pedernales. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.....	23
Ilustración 7. Zonas de inundación. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.....	24
Ilustración 8. Precipitación media anual (mm) para la zona de Estudio. Fuente: INDHRI.....	26
Ilustración 9. Precipitación máxima 24 horas promedio. Fuente: INDHRI	28
Ilustración 10. Temperatura media. Fuente: Propia.....	29
Ilustración 11. Curvas de Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF) Estación San Juan.	31
Ilustración 12. Esquema de delimitación área de drenaje para las estructuras proyectadas	32
Ilustración 13. Ejemplo de ubicación de alcantarilla. Fuente FWHA, 2012	38
Ilustración 14. Escurrimiento libre - Control de Entrada.	40
Ilustración 15. Escurrimiento conducto lleno - Control de entrada.	41



TABLAS

Tabla 1. Distribución de los eventos meteorológicos por región.	13
Tabla 2. Coeficiente de escorrentía.	35
Tabla 3. Valores de periodo de retorno para diferentes obras.	36
Tabla 4. Velocidades mínimas para evitar sedimentación de materiales sólidos. Fuente: DGRS & MOPC, 2012	39
Tabla 5. Dimensiones y formas de alcantarillas a tomar en cuenta en esta memoria.	39
Tabla 6. Capacidad hidráulica de los dispositivos.	43
Tabla 7. Capacidad hidráulica dispositivos longitudinales.	43



1. INTRODUCCION.

El presente informe, correspondiente a los estudios y diseños a nivel de factibilidad hidráulica del proyecto Aeropuerto Internacional Cabo Rojo, cuyo objetivo es el diseño, construcción, operación y mantenimiento de un aeropuerto internacional en el municipio de Oviedo. Este proyecto forma parte del ambicioso proyecto turístico promovido por el gobierno que envuelve la construcción de una serie de obras de infraestructura, dentro de la estrategia de alianza público-privada para desarrollar la industria turística en el sur.

Para la realización de este informe se realizaron distintas visitas de campo en las cuales se ubicaron los diferentes cauces con aportaciones de mayor relevancia, se hizo un reconocimiento del tamaño de las obras hidráulicas de obras aledañas al proyecto y se realizó un levantamiento topográfico utilizando fotogrametría e información levantada mediante el sistema LIDAR en el tramo previamente destacado para el trazado de la Autopista.

En este orden de ideas, el desarrollo de los estudios a nivel de factibilidad se efectúa a partir de la información cartográfica del Instituto Cartográfico Militar (ICM) y la información hidro climática de la red de estaciones de la Oficina Nacional de Meteorología (ONAMET). Igualmente, se incluye la base topográfica realizada en campo.

El alcance de los estudios hidrológicos comprende el análisis de las lluvias y climatología del tramo en estudios y obtención de caudales a diferentes periodos de retorno para el diseño de las estructuras de drenaje a nivel de factibilidad.



2. OBJETIVOS Y ALCANCES

Dentro de los estudios hidrológicos e hidráulicos para el drenaje vial de los tramos del proyecto, se pretende alcanzar, entre otros, los siguientes objetivos:

- Realizar un estudio hidrológico de la zona, utilizando las estaciones pluviométricas disponibles en la zona, para determinar el régimen de lluvias, condición climatológica y la definición de los caudales de las áreas (cuencas) de aporte a los tramos del proyecto.
- Desarrollar un estudio hidráulico para todas las estructuras de drenaje requeridas para el manejo y control de las aguas superficiales y subsuperficiales que se encuentran en el área de influencia de los tramos del proyecto.
 - Se deberá cumplir con la normativa actual R-019, Recomendaciones Provisionales para el Diseño de Sistemas de Drenaje en Carreteras del Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC)
 - Los parámetros hidráulicos establecidos deberán cumplir con normativas internacionales como la HDS-5 y la HDS-7, Diseño Hidráulico de Alcantarillas en Carreteras y Diseño Hidráulico de Puentes Seguros, respectivamente, desarrollado por la Administración Federal de Carretera de los Estados Unidos (FHWA, por sus siglas en inglés).

3. DEFINICION DE TERMINOS

Dado que el presente informe relaciona un abundante lenguaje técnico, se ha considerado incluir una breve explicación, a manera de definición, de algunos conceptos y términos técnicos para mayor comprensión del lector.

Área tributaria: Superficie que drena hacia un tramo o un punto determinado.

Arcilla: Partículas cuyo diámetro es del orden de 0.00024 a 0.004 mm.

Arena: Fragmento de roca, cuyo diámetro es del orden de 0.062 a 2.0 mm.

Berma: Franja longitudinal contigua a la calzada que no está destinada al uso de vehículos más que en circunstancias excepcionales.

Bombeo: Pendiente transversal en los tramos rectos de la carretera, que tiene por objeto facilitar el escurrimiento superficial del agua.

Calzada: Zona de la carretera destinada a la circulación de vehículos.



Caudal: Relación entre el volumen de agua contra el tiempo producido por una corriente de agua.

Coefficiente de escorrentía: Relación que existe entre la escorrentía y la cantidad de agua lluvia que cae en una determinada área.

Coefficiente de rugosidad: Parámetro que representa el efecto friccional del contorno del lecho en un río o de un conducto sobre el flujo.

Contracción: Efecto natural de reducción en un cauce o la constricción que ejerce un puente sobre las líneas del flujo de la corriente.

Corona: Es la superficie visible de una carretera, formada por su(s) calzada(s), bermas y sobre anchos, así como el separador central o mediana, en caso de que este último forme parte de la sección transversal típica. También se conoce como plataforma.

Cuenca: Una cuenca hidrográfica es un área definida topográficamente, drenada por un curso de agua o un sistema conectado de cursos de agua, tal que todo el caudal efluente es descargado a través de una salida simple.

Cunetas: Zanjas longitudinales ubicadas a ambos lados de la carretera o, en su defecto, a un solo lado, revestidas o no revestidas, con el objeto de captar, conducir, y evacuar en forma adecuada los flujos de agua superficial.

Curvas intensidad – duración – frecuencia (IDF): Curvas que relacionan la intensidad de precipitación contra la frecuencia (periodo de retorno) y el tiempo de duración de la lluvia.

Diámetro medio aritmético, D50: Corresponde al diámetro del material promedio en peso; es decir, el tamaño del material en las abscisas de la curva granulométrica que corresponde al 50 por ciento en las ordenadas.

Drenaje: Remoción natural o artificial del agua superficial y subsuperficial de un área determinada.

Escorrentía: Agua que escurre por los terrenos de la hoya hidrográfica superficialmente (escorrentía superficial) o subterráneamente (escorrentía subterránea).

FHWA: Federal Highway Administration, Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos.



Granulometría: Distribución dimensional de las partículas de un suelo o agregado, la cual se expresa por la proporción en peso de material existente de cada tamaño.

Grava: Fragmento de roca, cuyo diámetro oscila entre 2 a 64 mm.

Headwater: Es la profundidad del agua a la entrada de las alcantarillas. Parámetro regulado por la mayoría de los reglamentos de diseño.

Hidrograma de creciente: Es la relación entre el caudal y el tiempo para un evento de creciente en una hoya hidrográfica.

Hidroplaneo: Pérdida de contacto con el pavimento de uno o más neumáticos de un vehículo en movimiento, por la presencia de una lámina de agua sobre la superficie.

Hietograma de precipitación: Es la relación entre la lluvia y el tiempo en un diagrama de barras.

ICM: Instituto Cartográfico Militar de la República Dominicana.

Imbornales: Abertura practicada en la calzada, generalmente debajo del bordillo de la acera, para evacuar el agua de lluvia o de riego producida por la lluvia sobre la calzada. En este caso se utilizará en los muros de separación para recoger la escorrentía en las curvas.

Infiltración: Formación de un paso de agua en forma de conducto a través de materiales naturales o artificiales, cuando las resultantes de todas las fuerzas que actúan sobre las partículas del suelo tienen una componente vertical en el sentido de la gravedad.

Limo: Partículas cuyo diámetro es del orden de 0.004 a 0.062 mm.

Lluvia neta o efectiva: Es la lluvia que causa escorrentía superficial. Es igual a la lluvia total menos la interceptación menos la detención superficial y menos la infiltración.

Longitud resultante: Longitud de la trayectoria de flujo que sigue la línea de la pendiente resultante, medida desde el punto más alto de la pendiente hasta que el punto en que el agua abandona la corona.

Márgenes, a la izquierda (o la derecha): Lados de un cauce como se ve en la dirección hacia aguas abajo. Lados de un cauce entre los que el flujo es normalmente confinado.

Material del lecho: Material encontrado en y sobre el lecho de una corriente (puede ser transportado como carga de fondo o en suspensión).



MOPC: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones de la República Dominicana.

Muro New Jersey: Es una barrera de seguridad, generalmente de hormigón, utilizada como separador de flujos de tráfico.

ONAMET: Oficina Nacional de Meteorología de la República Dominicana.

Orientación de la trayectoria de flujo: Ángulo entre la pendiente transversal de la carretera y la pendiente resultante.

Pendiente resultante: Pendiente a través de la cual fluye el agua superficial, que se obtiene como resultado de la combinación de las pendientes transversal y longitudinal de la corona.

Periodo de retorno: Número de años que en promedio la magnitud de un evento extremo es igualada o excedida.

Precipitación: Caída del agua desde la atmósfera al suelo en forma líquida y sólida.

Registro pluviográfico: Registro de precipitación obtenido por medio de un pluviógrafo (aparato que registra medidas continuas en el tiempo de precipitación).

Registro pluviométrico: Registro de precipitación obtenido por medio de un pluviómetro (aparato que registra medidas discontinuas en el tiempo de precipitación).

Thalweg: Línea a lo largo de una corriente que sigue la mayor profundidad del lecho en el cauce.

Tiempo al pico: Tiempo entre el inicio de la lluvia efectiva y el caudal pico del hidrograma unitario de escorrentía superficial.

Tiempo de concentración: Tiempo de recorrido de la escorrentía superficial desde el punto más alejado de la cuenca de drenaje hasta el punto de salida considerado. En alcantarillados es la suma del tiempo de entrada y de recorrido.



4. METODOLOGIA PARA EL DESARROLLO DE LOS ESTUDIOS

El procedimiento para la realización de los estudios de hidrología e hidráulico contempla los siguientes parámetros a nivel de factibilidad:

- Realizar una visita técnica a las áreas a intervenir, con el fin de delimitar la zona de interés y definir criterios para el desarrollo de los estudios.
- Ejecutar un análisis de la información hidrometeorológica y cartográfica recopilada de la zona de estudio para determinar las variables involucradas dentro del estudio hidrológico.
- Analizar la precipitación media y climatología, se realiza un análisis de la distribución temporal y espacial de la lluvia y otros factores climáticos que pueden influir durante la construcción.
- Determinar las cuencas de cada cauce que requieren de la aplicación de un modelo lluvia caudal con sus respectivas características como área, pendiente y cobertura vegetal entre otras.
 - Según la normativa del MOPC R-019, para una cuenca de área menor a 4 km² se recomienda utilizar el método racional, pero para cuencas de mayor área se recomienda utilizar modelos más precisos como el método de hidrogramas unitarios del SCS.
- Determinar caudales máximos para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años a través de la construcción de un modelo lluvia caudal o proyección de caudales según fuese la información hidrométrica disponible.
- A partir de los levantamientos topográficos realizados y diseño geométrico realizar el diseño del drenaje vial.
- Determinar los parámetros hidráulicos de las obras diseñadas con base en la geometría obtenida de la topografía, trabajo de oficina, registros y observaciones de campo.
- Plantear las conclusiones y recomendaciones a considerar para los diseños de las demás disciplinas y actividades durante la etapa de la construcción.



5. LOCALIZACION DEL PROYECTO.

El Proyecto del Aeropuerto Internacional de Cabo Rojo plantea la construcción de un aeropuerto de comunicación internacional de mejores condiciones para los turistas y para los ciudadanos dominicanos. Está ubicado en el municipio de Oviedo, Pedernales



Ilustración 1. Carretera Los Cacaos - Santana. Fuente: Google Earth Pro.

6. ANALISIS HIDROLOGICO.

En este capítulo, se llevará a cabo un análisis hidrológico exhaustivo con el objetivo de comprender y cuantificar el comportamiento del flujo de agua en la zona de influencia de la carretera en estudio. El análisis hidrológico es una etapa fundamental en el proceso de diseño, gestión y planificación de proyectos, como infraestructuras de drenaje, abastecimiento de agua, control de inundaciones y preservación del medio ambiente.

El análisis hidrológico se basa en el estudio y evaluación de diferentes aspectos relacionados con el ciclo hidrológico, tales como la precipitación, la escorrentía, la infiltración, la evaporación y la transpiración. A continuación, se describirán los principales temas que serán abordados en este capítulo:

Análisis de datos hidrometeorológicos: Se procederá a la recopilación y análisis de los datos climáticos y pluviométricos disponibles para la cuenca. Estos datos permitirán determinar los patrones de precipitación, las tendencias climáticas, así como calcular los caudales de diseño y las curvas de duración e intensidad de las precipitaciones extremas.

Hidrología superficial: Aquí se estudiará la escorrentía superficial generada por las precipitaciones y su comportamiento en la cuenca. Se utilizarán métodos hidrológicos para determinar los caudales medios y máximos esperados en diferentes periodos de retorno, lo que resultará en información clave para el diseño de estructuras hidráulicas y sistemas de drenaje.

Modelación hidrológica: En este apartado, se emplearán herramientas y software de modelación hidrológica para simular el comportamiento del sistema hidrológico bajo diferentes condiciones. Estos modelos permitirán realizar proyecciones futuras y evaluar el impacto de escenarios específicos, como cambios en el uso del suelo o variaciones climáticas.

Características y clasificación de los suelos: Se presentará una descripción detallada de las características físicas y químicas de los suelos presentes en el área de estudio. Se procederá a su clasificación, utilizando sistemas de clasificación de suelos reconocidos internacionalmente.

Influencia de la cobertura vegetal: Se evaluará la influencia de la cobertura vegetal presente en la cuenca sobre la infiltración y la escorrentía. La vegetación afecta la capacidad de retención de agua en el suelo, la evaporación y la transpiración, y su análisis es esencial para comprender la dinámica hidrológica completa.

Erosión y sedimentación: Se estudiarán los efectos de la erosión del suelo y la sedimentación en los cursos de agua de la cuenca. La erosión del suelo puede tener un impacto significativo en la calidad del agua y en la modificación del régimen de caudales, afectando la infraestructura hidráulica y el ecosistema acuático.

Consideraciones para proyectos hidráulicos: El estudio de los suelos permitirá proporcionar recomendaciones y consideraciones importantes para el diseño y la construcción de proyectos hidráulicos, como la selección de materiales de construcción, la estabilidad de estructuras y la planificación adecuada de medidas de mitigación de impactos ambientales.



6.1. Antecedentes de sucesos hidrológicos e hidráulicos en el la pista proyectada.

El aeropuerto está ubicado en una llanura costera, llevando a alcanzar cotas máximas de hasta 530 msnm en la Loma de Guacabrite y teniendo cotas tan bajas como 50 msnm mas cercano a la costa. Debido a la ubicación de este hay una red fluvial de cañadas hacia la Laguna Oviedo y posteriormente al mar.

Se podría decir que las condiciones climáticas son estables destacando las precipitaciones medias anuales desde 400 mm/año a 900mm/año.

Al analizar los datos se puede notar un aumento en la frecuencia de eventos extremos, es decir, una tendencia de aumento de ciclones en cada temporada, los cuales, en su mayoría cruzan por el Caribe y por la Isla La Española.

A partir de una data de huracanes y tormentas ocurridas entre los años 1851 y 2019, puede constatarse que la mayor posibilidad de que un ciclón tropical afecte al territorio es en el mes de septiembre, siguiéndole los meses de agosto y octubre. Según los datos de archivo que ofrece el National Hurricane Center de la NOAA, la región ha sido azotada por más de 40 eventos meteorológicos extremos entre los últimos 168 años (1851-2019), considerando los que han afectado directamente al territorio:

De acuerdo con la estadística, la temporada ciclónica del año 2005 se destacó por la formación de 30 eventos meteorológicos que azotaron al Caribe, aunque solo la tormenta Alpha afectó a territorio dominicano. Esta temporada fue la más activa desde el año 1931, lo que mostró un período de retorno del orden de los 80 años.

Tabla 1. Distribución de los eventos meteorológicos por región.

Categoría de los eventos	Por el Sur del país, registrados en la estación Santo Domingo
Todos los eventos	40
Tormentas tropicales	24
Huracanes Cat. 1	6
Huracanes Cat. 2	5
Huracanes Cat. 3	2
Huracanes Cat. 4	2
Huracanes Cat. 5	1



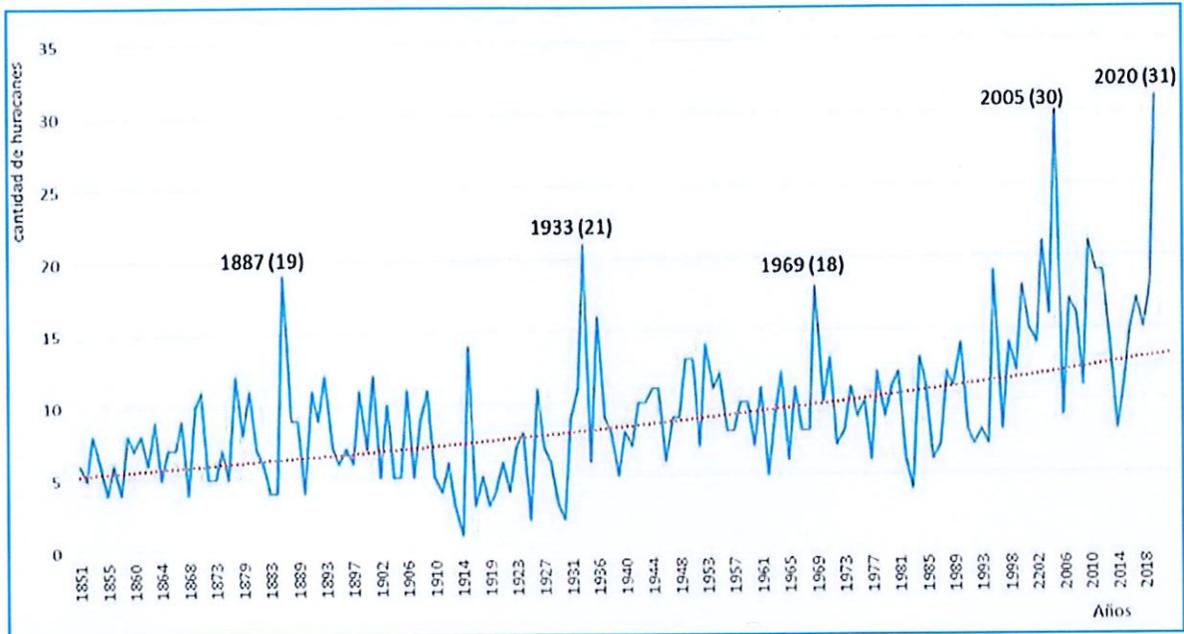


Ilustración 2. Tendencia de aumento de cantidad de ciclones por década, durante el periodo 1851-2020, en el atlántico.

6.2. Levantamiento topográfico.

Se realizó un levantamiento topográfico de la zona a intervenir de manera general utilizando fotogrametría para hacer diseños preliminares. Luego, teniendo una ruta predefinida, se decidió hacer un levantamiento de mayor detalle para poder hacer diseños con mayor precisión. Se utilizó un sistema LIDAR para levantar una franja del terreno determinada y a partir de este hacer los cálculos y diseños pertinentes.



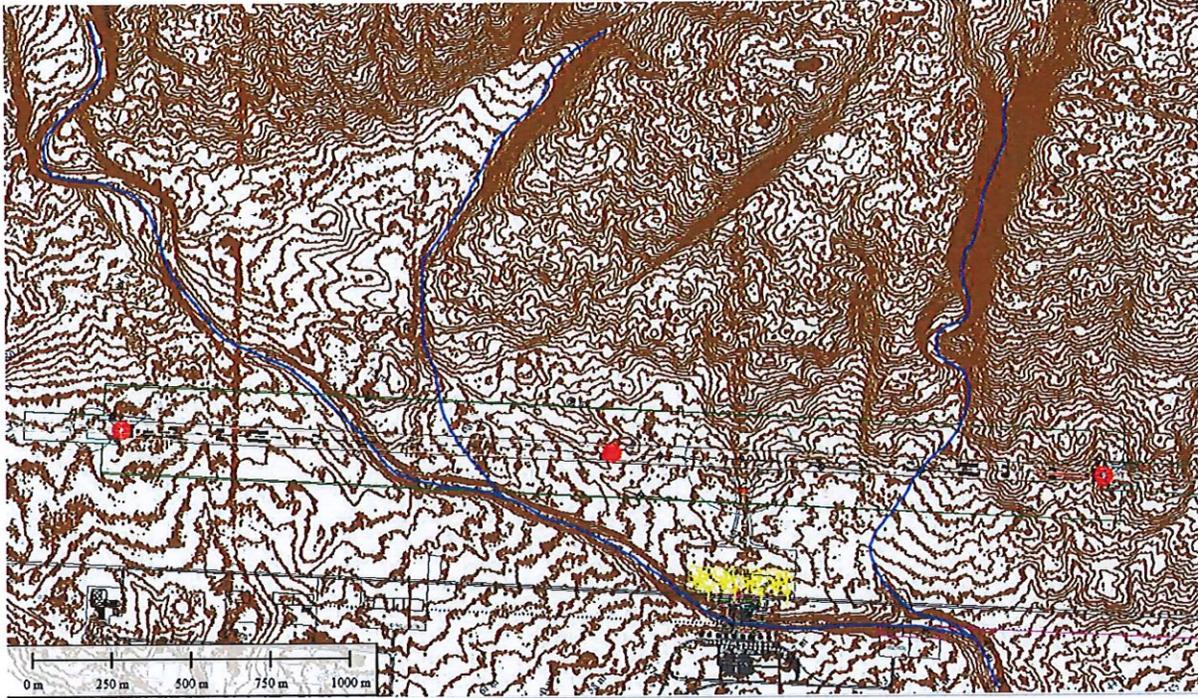


Ilustración 3. Levantamiento LiDAR. Fuente: Propia.

Se puede notar que el levantamiento lidar coincide con la cartografía nacional 1:50,000 que será presentada más adelante. Podemos identificar un cauce de mayor escala identificado como “cañada Las Colmenas” y dos cauces menores que interceden la vía.

6.3. Información hidro-climática.

Se recopiló información de las estaciones climatológicas localizadas en la zona de estudio con el objeto de lograr una descripción adecuada de las características hidro climatológicas de las zonas aferentes al proyecto.

El desarrollo del estudio se efectúa a partir de la información de la red de estaciones del Instituto Nacional de Recursos Hídricos (INDHRI). Mediante estos se realiza el análisis de las características hidro climáticas incluyendo el análisis de las lluvias.



6.4. Información cartográfica.

Para este proyecto se utilizó la cartografía oficial disponible en el país, suministrada por el Instituto Cartográfico Militar (ICM) con una escala 1:50,000.

Para la determinación de los datos de cobertura de usos de suelo, se realizaron diversas visitas de campo y se complementó con la información suministrada por el Mapa de Usos y Cobertura del Suelo realizado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Adicionalmente, con el fin de complementar la información cartográfica detallada de la zona, se han empleado las imágenes satelitales y modelo 3D provisto por la herramienta de Google Earth PRO y Global Mapper, con estas herramientas se permite identificar con mejor aproximación las áreas aferentes para las obras de drenaje en la vía en estudio.

6.5. Normas de diseño.

A continuación, se enlistan las normas y estándares de diseño utilizados para la elaboración de esta memoria:

- R-019 Recomendaciones Provisionales para el Diseño de Sistemas de Drenaje en Carreteras, Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC).
- HDS-4 Introduction to Highway Hydraulics, Federal Highway Administration (FHWA).
- HDS-2 Highway Hydrology, Federal Highway Administration (FHWA).
- HDS-5 Hydraulic Design of Highway Culverts, Federal Highway Administration (FHWA).
- HEC-14 Hydraulic Design of Energy Dissipators for Culverts and Channels, Federal Highway Administration (FHWA).
- HDS-7 Hydraulic Design of Safe Bridges, Federal Highway Administration (FHWA).
- Design of Small Canals Structures, United States Department of the Interior Bureau of Reclamation.
- Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators, United States Department of the Interior Bureau of Reclamation.
- Norma 5.2 – IC – Drenaje Superficial de la Instrucción de Carreteras, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo del Gobierno de España.

En adición al uso de estas normas, se utilizaron para el diseño hidráulico y el dimensionamiento de las estructuras los siguientes softwares:



- Autodesk Civil 3D.
- Hydraflow Express Extension for Autodesk Civil 3D.
- HEC-HMS 4.11.
- HEC-RAS 6.3.1.
- HY-8 7.50.
- Global Mapper
- Google Earth Pro.

6.6. Características y clasificación de los suelos.

La zona que estamos analizando se encuentra ubicada en el municipio Oviedo, en cercanía del municipio de Los Tres Charcos, en la provincia de Pedernales. Esta área está influenciada por la cuenca hidrográfica Península Sur de Barahona, lo que indica una estrecha relación con el almacenamiento de agua en la región.

Los suelos presentes en esta zona son una parte fundamental del ecosistema, desempeñando un papel crucial en la regulación del ciclo hidrológico y el soporte para la vegetación y fauna. El estudio de los suelos incluye aspectos como la textura, estructura, permeabilidad, retención de agua y composición química.

6.6.1. Zonas de vida.

Según el mapa de Zonas de Vida del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, la mayor parte del área que comprende la zona donde estará instalado el aeropuerto está clasificada como "bosque seco subtropical." Esta clasificación sugiere que se encuentra en regiones subtropicales con estaciones secas pronunciadas y temperaturas relativamente cálidas durante todo el año. Se caracteriza por tener una estación seca prolongada en la que la disponibilidad de agua es limitada, lo que resulta en la caída de las hojas de los árboles y la reducción de la actividad vegetativa durante este período. Son ecosistemas valiosos por su biodiversidad y por el papel que desempeñan en la conservación del suelo y la regulación del ciclo del agua en las regiones donde se encuentran. Experimentan una estación seca prolongada en la que las precipitaciones son escasas o nulas durante varios meses.



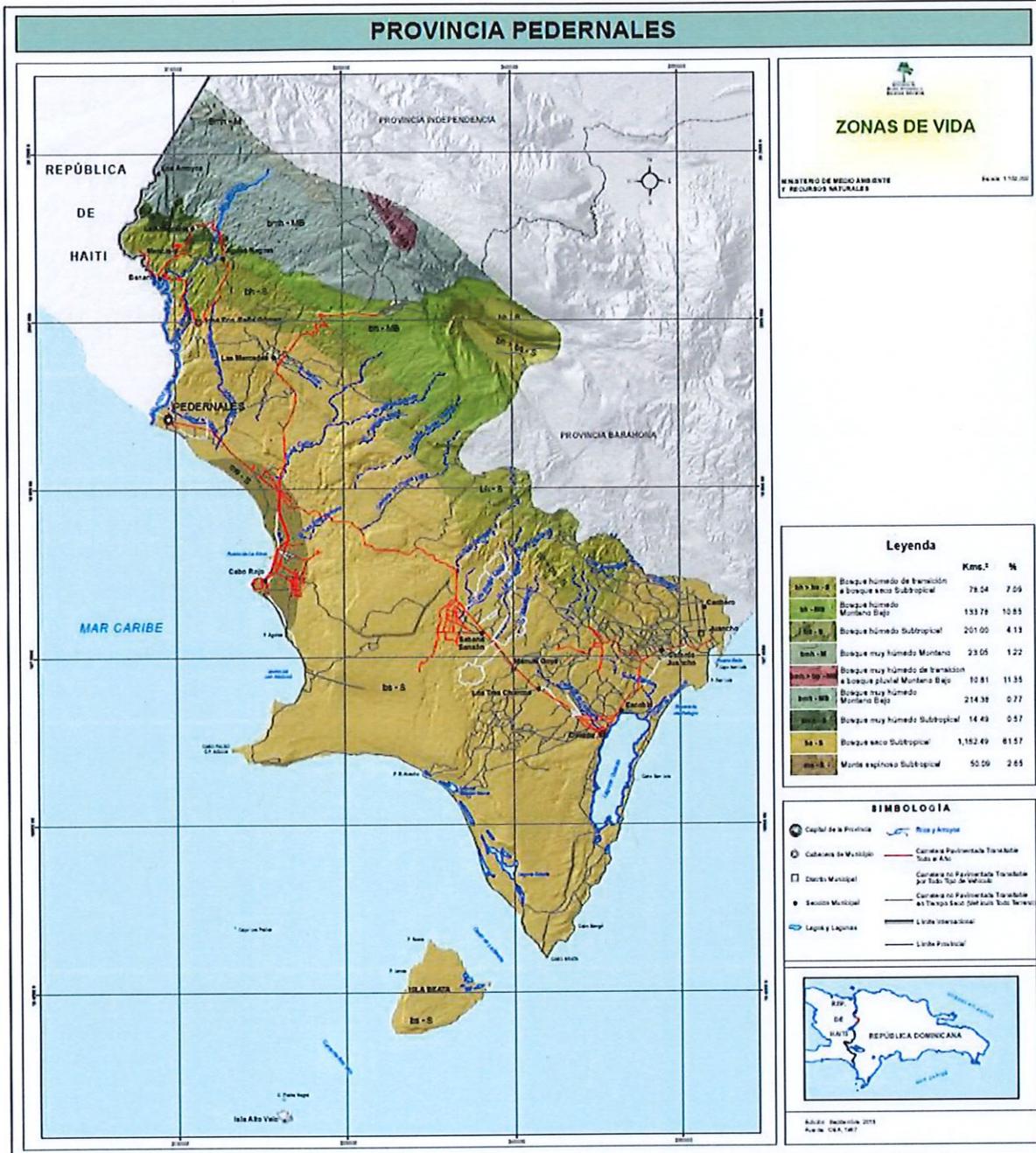


Ilustración 4. Mapa zonas de vida. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales



6.6.2. Uso y Cobertura de suelo.

La zona de estudio ubicada entre Oviedo y Los Tres Charcos, perteneciente a la cuenca de la península sur de Barahona, es un área de gran importancia tanto desde el punto de vista ecológico como económico en la República Dominicana. El conocimiento y la comprensión de su uso y cobertura del suelo son fundamentales para la toma de decisiones relacionadas con la conservación ambiental y el desarrollo sostenible de la región.

Para obtener información sobre el uso y cobertura del suelo en esta zona, se ha utilizado el mapa proporcionado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Este mapa ha sido una valiosa herramienta para la identificación y clasificación de las áreas dentro de la cuenca. Dos categorías principales han sido identificadas en este estudio:

Bosque Seco: Una de las principales categorías de uso y cobertura del suelo en esta zona es el bosque seco. Estos bosques, caracterizados por su adaptación a estaciones secas prolongadas y temperaturas subtropicales, son valiosos desde el punto de vista ecológico y juegan un papel esencial en la conservación de la biodiversidad local. Su preservación es de gran importancia para la sostenibilidad ambiental de la región.

Cultivos Intesivos: a segunda categoría identificada es la de cultivos intensivos. Esta categoría incluye áreas dedicadas a la agricultura de alto rendimiento y la producción de cultivos comerciales. Los cultivos intensivos pueden ser una fuente significativa de ingresos para la región y contribuyen a la seguridad alimentaria local y nacional.

El uso y cobertura del suelo en la zona de estudio entre Oviedo y Los Tres Charcos en la cuenca de la península sur de Barahona presenta una combinación de bosques secos y áreas dedicadas a cultivos intensivos. La preservación de los bosques secos es esencial para la conservación de la biodiversidad y la estabilidad ambiental de la región. Al mismo tiempo, el desarrollo sostenible de la agricultura intensiva puede contribuir significativamente a la economía local.



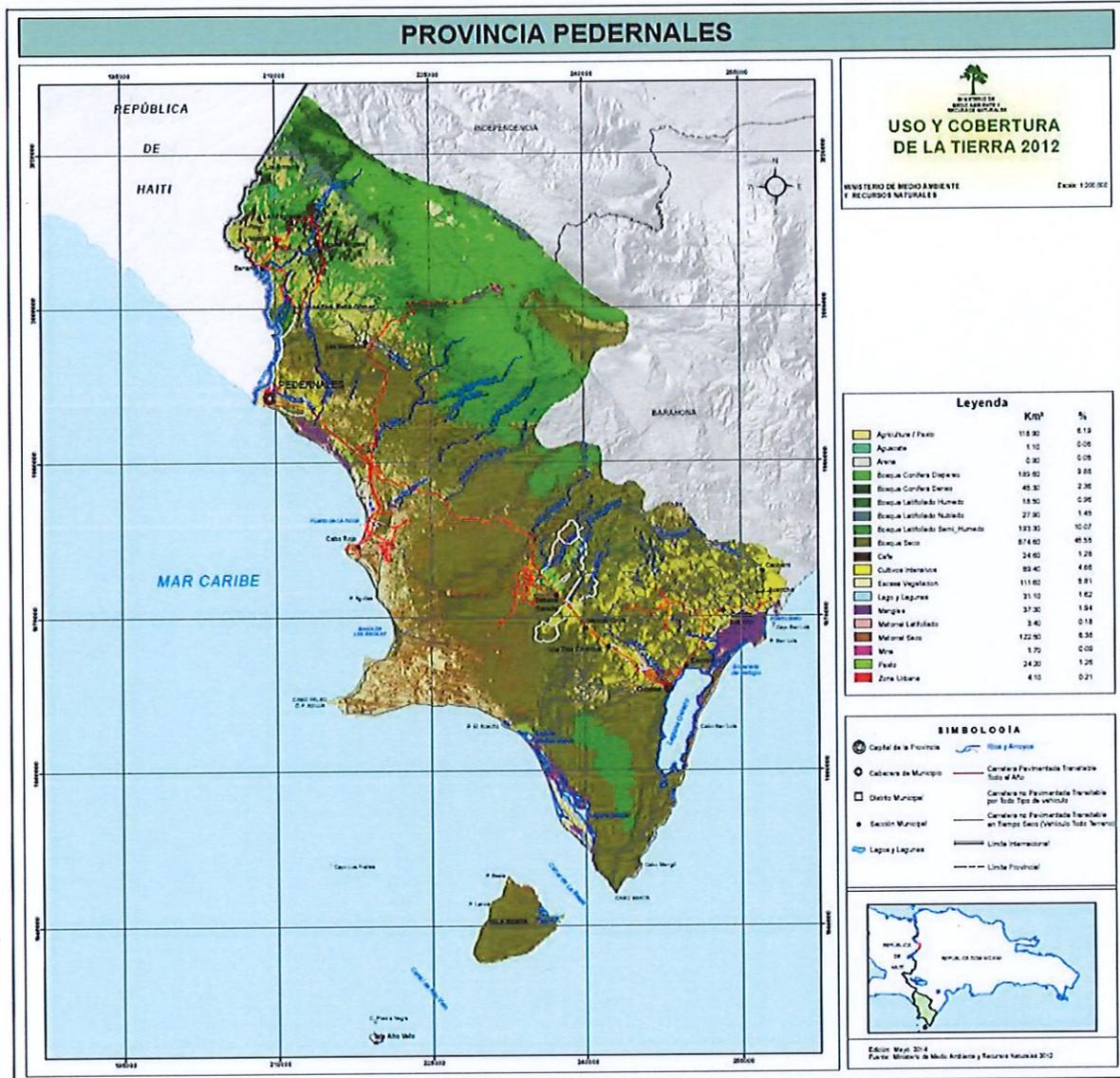


Ilustración 5. Mapa de uso y cobertura de suelo en la provincia de Pedernales. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.



6.6.3. Rango de pendientes.

La pendiente del terreno es un factor importante para considerar en el análisis hidrológico y tiene un impacto significativo en el flujo de agua, la erosión del suelo y la distribución de la vegetación. A continuación, se detallará cómo los distintos rangos de pendiente pueden influir en el comportamiento hidrológico y ambiental de la zona:

Rangos de Pendiente en la Zona de Estudio:

0-4% de Pendiente: Sugiere que la topografía de la región es relativamente plana o con pendientes muy suaves. Esta característica topográfica puede tener varias implicaciones para el uso y cobertura del suelo en la zona.

Influencia hidrológica: En áreas con pendientes suaves, es importante considerar sistemas de drenaje adecuados para evitar problemas de inundaciones durante eventos climáticos extremos.

Influencia ambiental: La facilidad de agricultura en estas áreas puede llevar a la expansión de cultivos intensivos, lo que puede requerir el uso de pesticidas y fertilizantes. Esto plantea desafíos en términos de manejo sostenible y conservación del suelo y del.

4-8% de Pendiente: Esta gama de pendientes representa áreas con una topografía relativamente suave a moderada. En comparación con las pendientes más pronunciadas, estas áreas tienen una inclinación más gradual, lo que afecta la velocidad de flujo del agua y la retención del suelo.

Influencia hidrológica: Las áreas con pendientes en este rango son propicias para la infiltración del agua en el suelo, lo que puede contribuir a la recarga de los acuíferos subterráneos. Además, la escorrentía superficial será menos intensa en comparación con las pendientes más empinadas, lo que reduce el riesgo de erosión hídrica.

Influencia ambiental: La pendiente suave a moderada en estas áreas puede favorecer el desarrollo de una vegetación más diversa y extensa. La presencia de una cubierta vegetal bien establecido ayuda a proteger el suelo de la erosión y contribuye a la conservación de la biodiversidad.

8-16% de Pendiente: Esta gama de pendientes representa áreas con una topografía más moderada. Terrenos con pendientes en este rango aún pueden considerarse relativamente inclinados, pero menos pronunciados que los de la primera categoría. Estas áreas pueden presentar una dinámica hidrológica diferente en comparación con las zonas más empinadas.



Influencia hidrológica: La escorrentía superficial será menos intensa en comparación con las áreas con mayor pendiente, lo que permite una mayor infiltración del agua en el suelo y la recarga de acuíferos subterráneos.

Influencia ambiental: La vegetación en estas áreas puede ser más diversa y sostenible en comparación con las áreas más empinadas. Las pendientes moderadas ofrecen condiciones más favorables para el establecimiento y crecimiento de diferentes especies vegetales.

El análisis hidrológico en la zona de estudio debe tener en cuenta estos distintos rangos de pendiente, ya que afectarán la distribución y el flujo del agua en la cuenca de investigación. Algunas consideraciones importantes incluyen:

Identificar áreas propensas a la erosión y la escorrentía superficial debido a pendientes empinadas, lo que puede requerir medidas de conservación y control de la erosión.

Evaluar el potencial de infiltración de agua en las áreas con pendientes moderadas, lo que puede tener un impacto en la disponibilidad de agua subterránea.

Estudiar cómo la pendiente del terreno puede influir en la distribución de la vegetación y la biodiversidad, lo que contribuirá a la planificación de la conservación de áreas naturales.



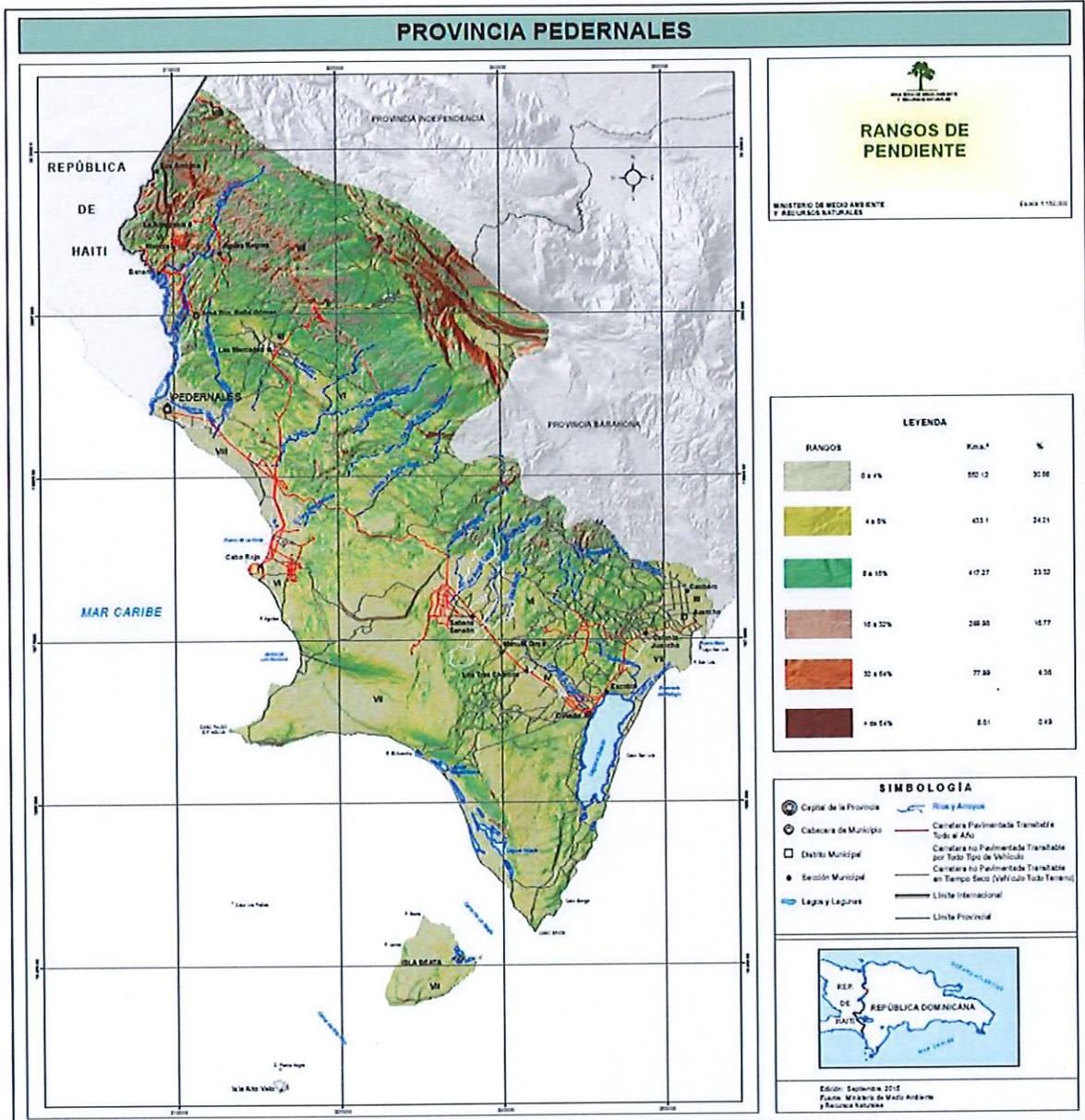


Ilustración 6. Rango de pendiente provincia pedernales. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.



6.6.4. Zonas de inundación.

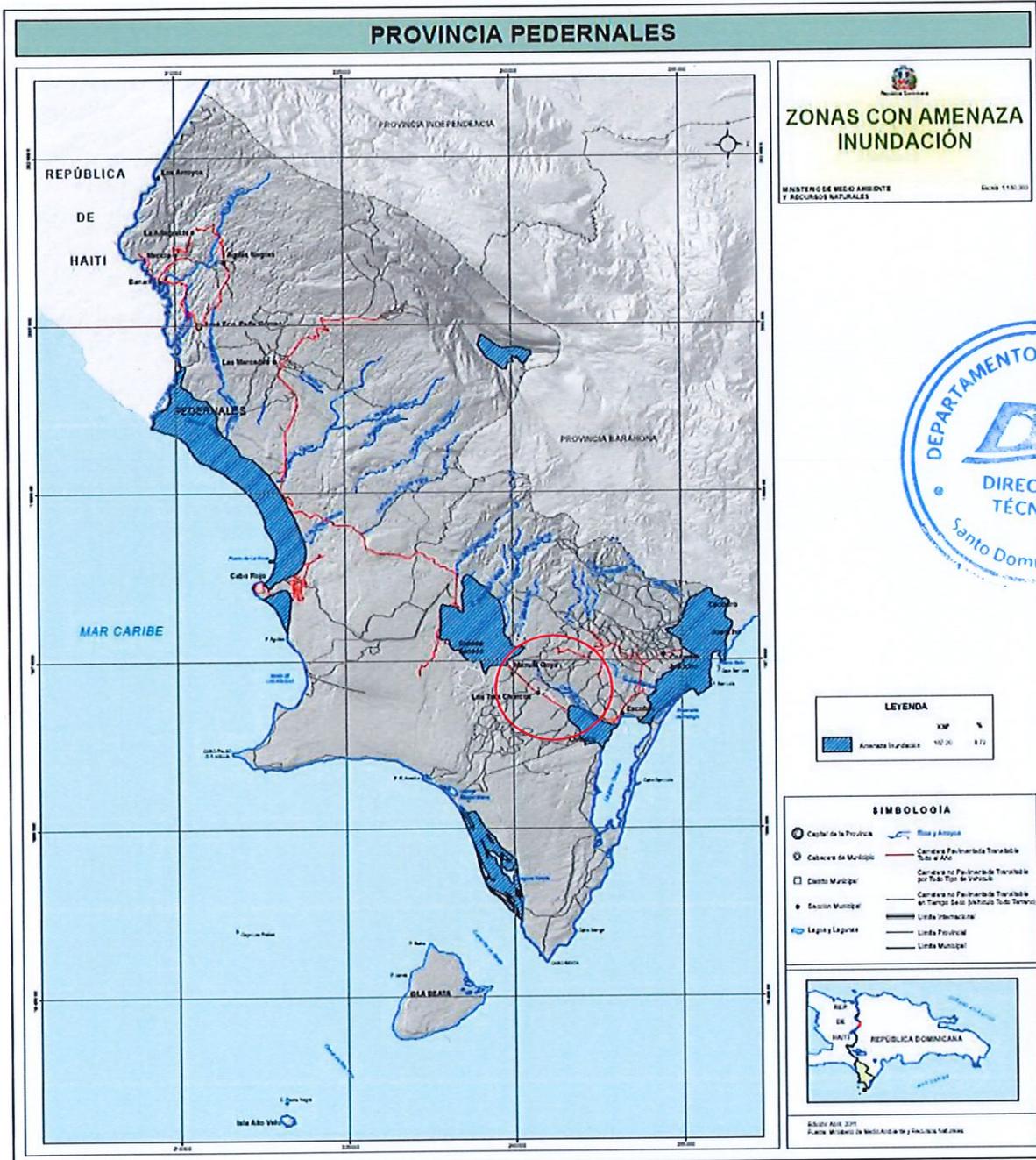


Ilustración 7. Zonas de inundación. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Podemos notar como la zona de interés esta entre dos zonas con amenaza de inundación. Lo que indica que se debe tener en cuenta estos para el análisis de drenaje de las pistas.

7. ESTUDIOS HIDROLOGICOS.

7.1. Análisis de precipitaciones.

Uno de los factores más importantes para determinar la escorrentía superficial que se produce en cierta área, es el régimen de precipitaciones, principalmente el componente de lluvias máximas, que para distintos tipos de obra de ingeniería de una autovía se establece una tormenta de diseño asumida como el evento de ocurrencia con periodos de retorno de 10, 25, 50 y hasta 100.

Para alcantarillas

- El periodo de retorno debería ser de $T = 25$ años, para las vías primarias y secundarias. Y un periodo $T = 10$ para las vías terciarias ((DGRS) & (MOPC), 2012).
- El periodo de retorno debería ser de $T = 50$ años para cualquier tipo de vía ((FHWA) & BRUSCHIN, 2012).

Para cunetas y zanjas

- El periodo de retorno deberá ser de $T = 10$ años para las vías primarias, $T = 2$ años para las vías secundarias y $T = 2$ años para las vías terciarias ((DGRS) & (MOPC), 2012).

Para puentes

- Dependiendo de la luz del punto, se recomienda un periodo de retorno. Para las vías principales en mayor periodo de retorno es de $T = 100$ años mientras que para las vías secundarias y terciarias el periodo es de 50 años. Dejando una altura libre en la crecida de diseño para un valor mínimo de $H = 1.50$ m ((DGRS) & (MOPC), 2012).
- Se recomienda la utilización de un periodo de retorno de 100 años para cualquier estructura de puentes ((FHWA) et al., 2012).



7.1.1. Precipitación media anual.

Como habíamos mencionado anteriormente, para este proyecto nos hemos guiado de los datos recogidos por le INDHRI en el Atlas de Lluvias Máximas de la República Dominicana.

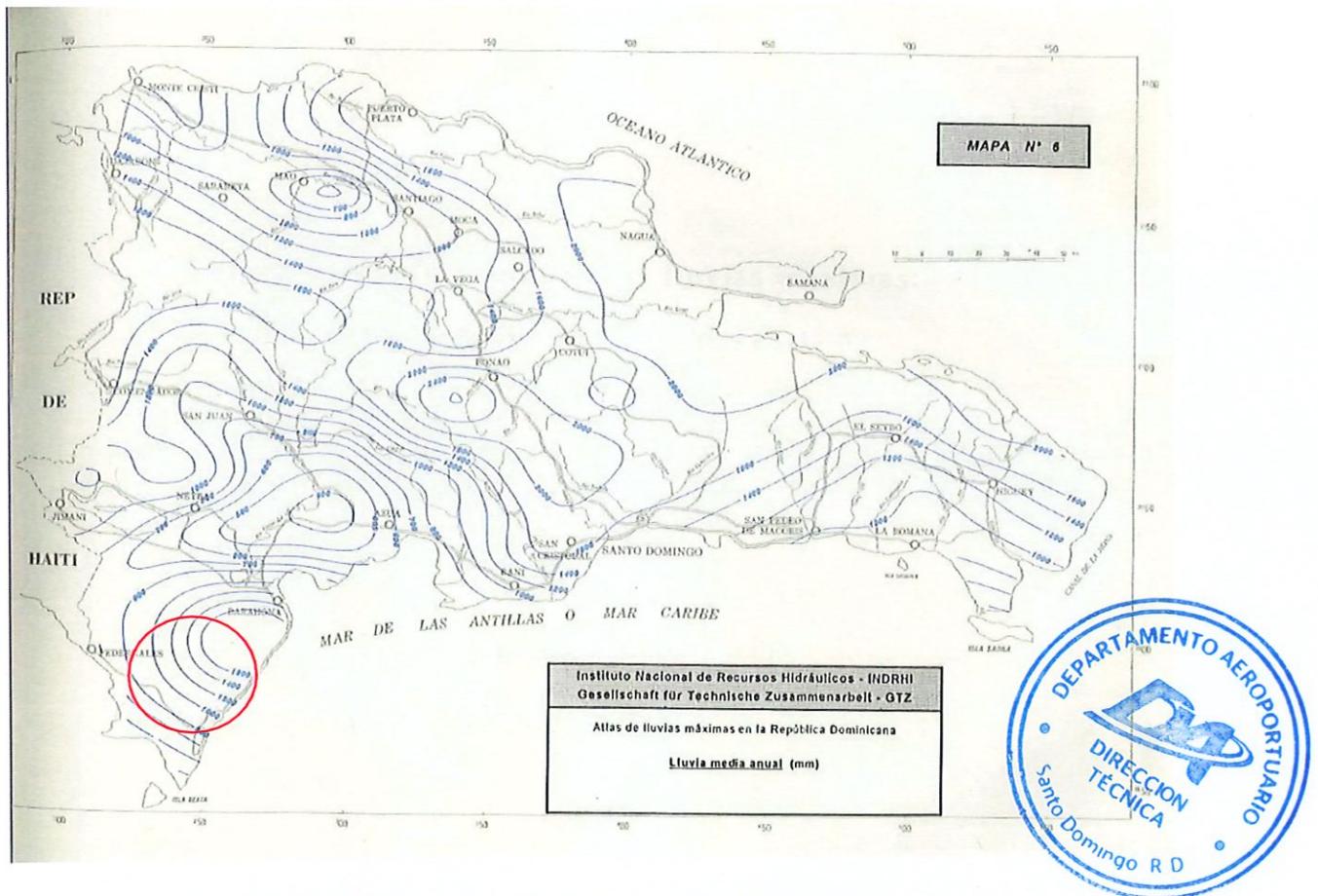


Ilustración 8. Precipitación media anual (mm) para la zona de Estudio. Fuente: INDHRI.

Podemos notar que en la zona de estudio el INDHRI indica una precipitación media anual de entre 700 mm a 1200mm. Un poco variable a las indicaciones de MIMARENA.

7.1.2. Precipitación máxima en 24 horas promedio.

La lluvia máxima en 24 horas, también conocida como "precipitación máxima diaria" o "intensidad de lluvia máxima", es una medida climática que indica la mayor cantidad de precipitación registrada en un período de 24 horas en una ubicación específica. Esta es una información crucial para la planificación de infraestructuras hidráulicas, control de inundaciones, diseño de sistemas de drenaje y otras actividades relacionadas con el manejo del agua.

Para determinar la lluvia máxima en 24 horas, los meteorólogos y los servicios hidrometeorológicos utilizan datos recopilados por estaciones meteorológicas, radares de lluvia y sistemas de observación satelital. La información se registra en milímetros (mm) o pulgadas (in) y representa el total de precipitación caída durante un período de 24 horas consecutivas, generalmente desde la medianoche hasta la medianoche siguiente

La lluvia máxima en 24 horas puede variar significativamente según la ubicación geográfica y las condiciones climáticas específicas de la región. Las áreas tropicales y montañosas tienden a tener una mayor probabilidad de experimentar eventos de lluvia intensa, mientras que las regiones desérticas o semiáridas generalmente tienen precipitaciones más escasas.

Es importante destacar que la lluvia máxima en 24 horas puede variar año tras año debido a las condiciones climáticas cambiantes, y es esencial mantener una vigilancia constante de los datos meteorológicos para actualizar los parámetros de diseño y asegurar la adecuada protección contra eventos extremos de precipitación.



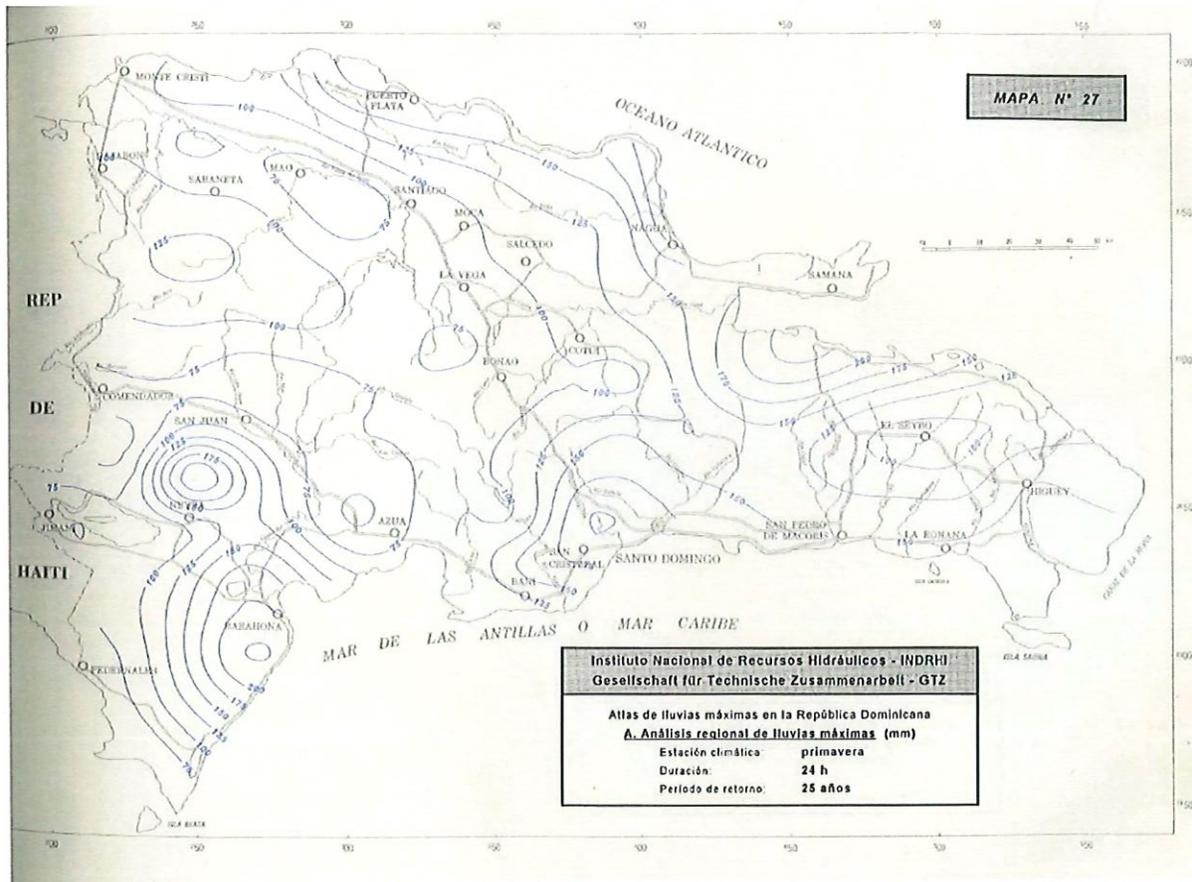


Ilustración 9. Precipitación máxima 24 horas promedio. Fuente: INDRHI

Se observa que el promedio de las precipitaciones máximas es de 75 mm a 125 mm.

7.2. Análisis climatológico.

La estación climatológica de la ONAMET solo cuenta con los datos de temperatura para la estación mencionada. A continuación, veremos y analizaremos estos datos.

7.2.1. Temperatura media mensual.

Es importante destacar que los meses donde hay más precipitación coinciden con los meses de mayor temperatura, un fenómeno poco usual, sin embargo, se asume que estos datos indican que existe una alta humedad relativa durante esas fechas o posiblemente durante todo el año:



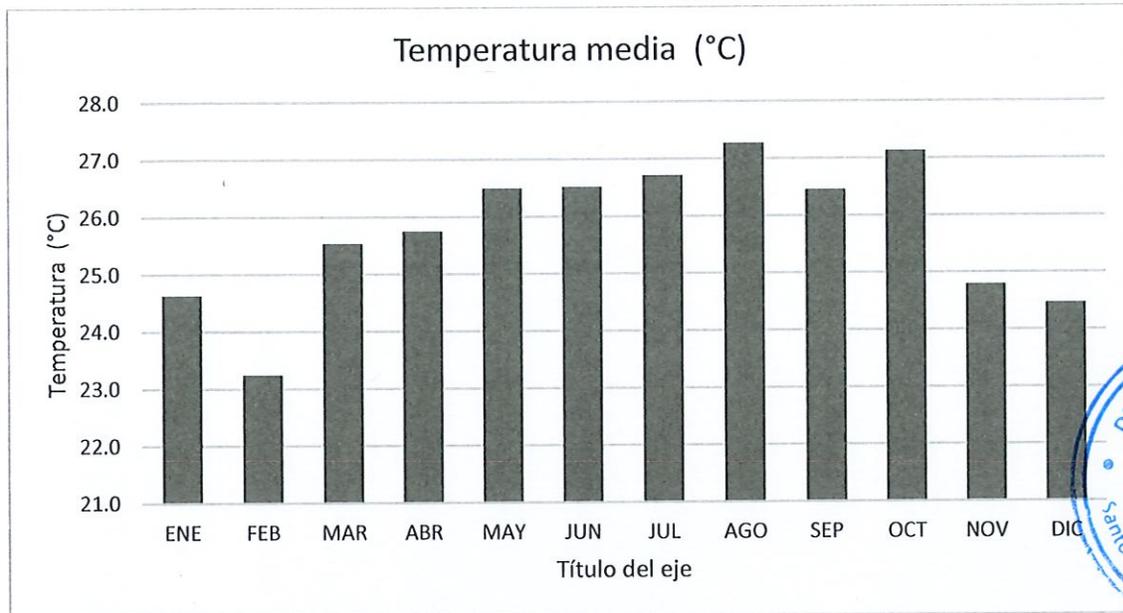


Ilustración 10. Temperatura media. Fuente: Propia.

La ilustración 10 nos muestra que el valor de temperatura es relativamente estable entre los meses de marzo y octubre mientras que en la temporada de noviembre y febrero bajan considerablemente las temperaturas.

Es importante destacar que los meses donde hay más precipitación coinciden con los meses de mayor temperatura, un fenómeno poco usual, pero asumimos que estos datos indican que existe una alta humedad relativa durante esas fechas o posiblemente durante todo el año

7.3. Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia.

Para el análisis de hidráulico de las estructuras de drenaje de las carreteras se necesita un caudal pico para el cual se dimensiona el elemento de drenaje. Este caudal pico se obtiene mediante un análisis estadístico realizado a los valores de precipitación máxima diaria a lo largo de toda la serie de datos disponibles para cada estación.

Para la selección de la estación meteorológica, se han considerado los siguientes criterios:

Ubicación Geográfica: La estación debe estar ubicada en una región geográfica que sea relevante para el estudio sobre las intensidades y erosividad de las lluvias en la República Dominicana. San Juan cumple con este criterio al estar ubicada en una zona que es de interés para la investigación.

Período de Registro: La estación seleccionada debe contar con un historial de datos meteorológicos que abarque un período significativo y representativo. La Estación Meteorológica de San Juan cumple con esta condición al tener un registro de datos a lo largo de varios años.

Variables Climáticas: La estación debe medir y registrar las variables climáticas relevantes para el estudio, incluyendo la precipitación y otros parámetros que puedan influir en la erosión causada por las lluvias. La Estación Meteorológica de San Juan cumple con la captura de estas variables.

Disponibilidad de Datos: Los datos históricos de la estación deben estar disponibles y accesibles para su análisis. La Estación Meteorológica de San Juan ha proporcionado datos históricos para su inclusión en el estudio.

Selección de la Estación de San Juan

Tras una revisión exhaustiva de las estaciones meteorológicas disponibles en la República Dominicana y la evaluación de los criterios mencionados, se ha seleccionado la Estación Meteorológica de San Juan como la estación de referencia para el estudio. Esta estación cumple con todos los criterios establecidos y ha demostrado ser una fuente confiable de datos climáticos en la región.

Condiciones Climatológicas Correspondientes

La Estación Meteorológica de San Juan ha sido seleccionada debido a su ubicación en una región con condiciones climatológicas que se asemejan a las especificadas en el documento de referencia sobre intensidades y erosividad de las lluvias en la República Dominicana. Esto incluye patrones de precipitación, temperaturas, y otros factores climáticos relevantes.



Relación Intensidad Máxima Vs. Duración para diferentes períodos de retorno.

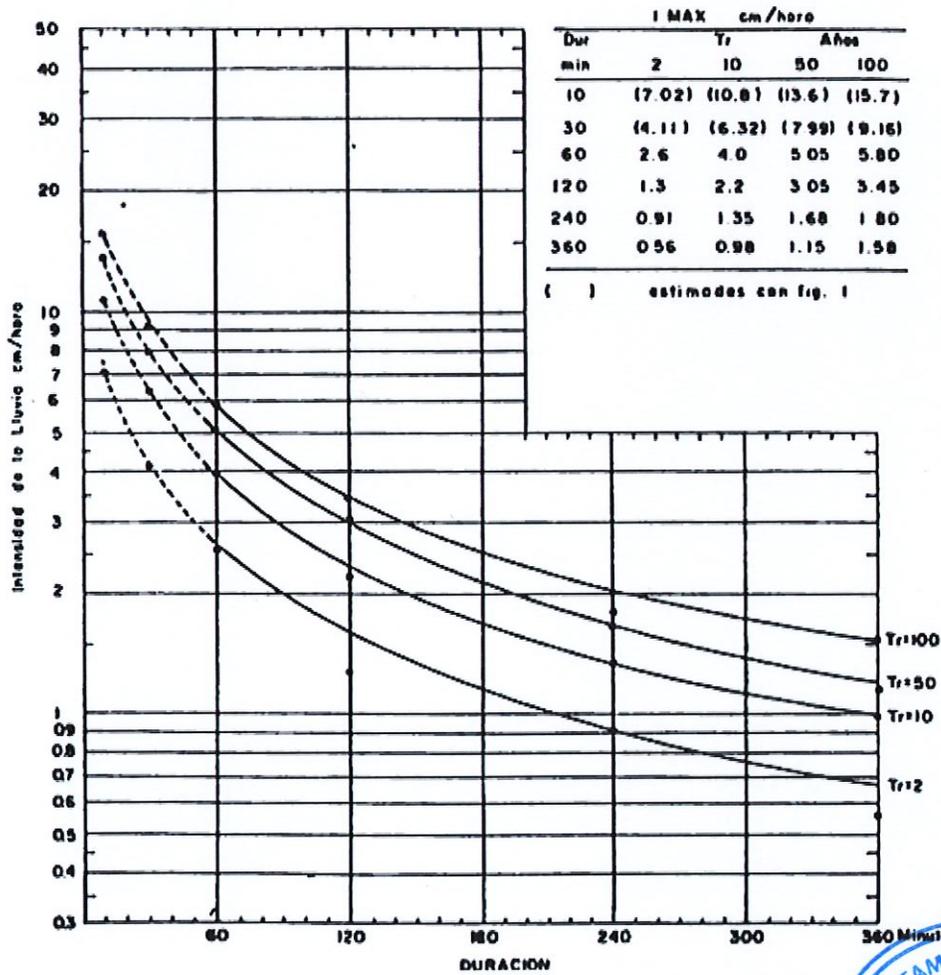


Ilustración 11. Curvas de Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF) Estación San Juan.



7.4. Definición de las áreas de drenaje por estructura.

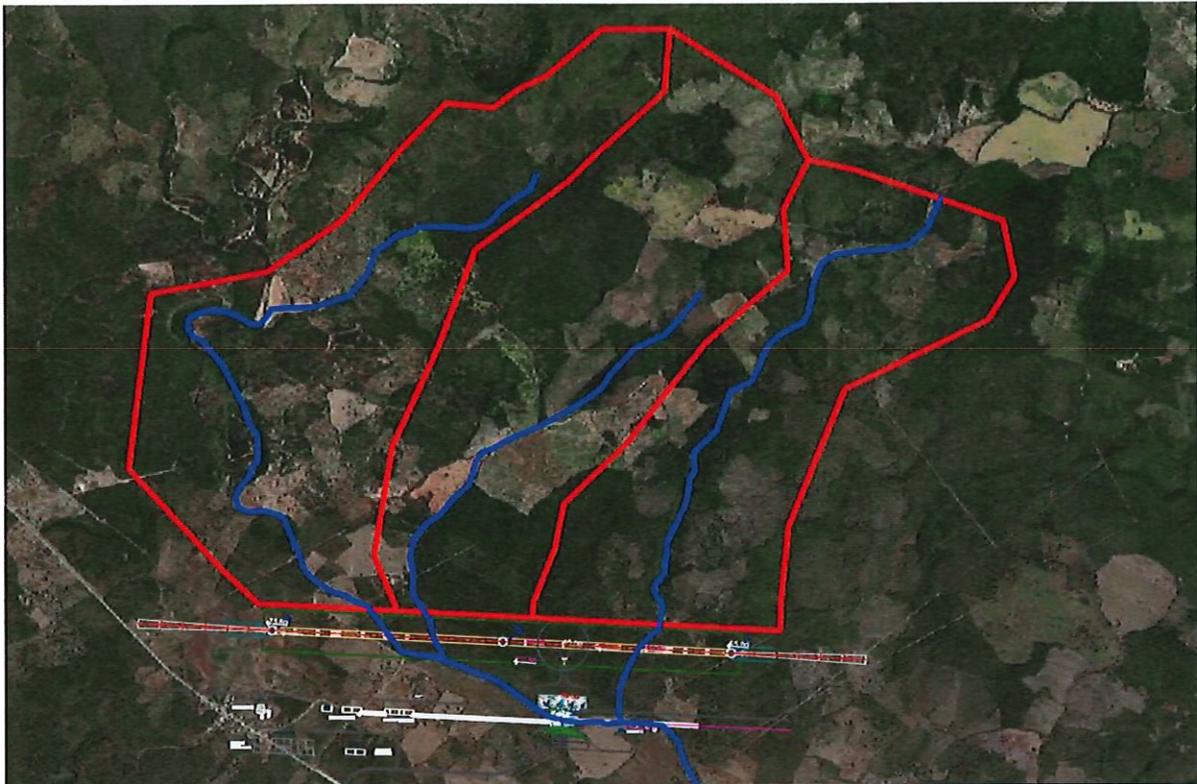


Ilustración 12. Esquema de delimitación área de drenaje para las estructuras proyectadas

Para la obtención de las áreas de las cuencas de aporte de los cauces anteriormente mencionados, se utilizó un levantamiento LiDAR, junto con información de elevación satelital y las cartas topográficas del Instituto Cartográfico Militar (ICM). En base a estos datos, se delimitaron las cuencas determinando los parteaguas de cada una, así como las longitudes del recorrido en cada caso. A partir, de esta información se procede al cálculo de la pendiente y del tiempo de concentración para cada cuenca.

De igual forma, determinada las áreas de las cuencas, procedemos a analizar la cobertura del suelo. La información se obtiene mediante el uso de Google Earth, varias visitas de campo para confirmar el tipo de vegetación que se observa en las imágenes satelitales y con los datos del Mapa de Distribución de Usos y Cobertura de Suelos elaborados por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Humanos.



El área total de drenaje para cada una de las estructuras hidráulicas ya sea del margen derecho o izquierdo, se obtuvo sumando el área aferente de la ladera y/o el talud de la vía y el área de drenaje de la vía según el bombeo entre las abscisas correspondientes. Se presentan los valores de las áreas determinadas, así como algunos parámetros morfométricos de cada una de las cuencas para cada tramo.

7.4.1. Tiempo de concentración.

El tiempo de concentración de la cuenca se puede calcular de distintas formas dependiendo del manual en el cual nos queramos referir. El manual del Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones ((DGRS) & (MOPC), 2012) recomendando el uso de la fórmula de Kirpich, la cual se describe de la siguiente manera:

$$T_c = 0.0192 \cdot \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Donde:

T_c = Tiempo de concentración (min)

L = Longitud del cauce (m)

S = Pendiente del cauce (m/m)

Por otro lado, el método de SCS tiene otra forma de determinar el tiempo de concentración. Ellos calculan la variable Lag Time, este valor representa el 60% del valor del tiempo de concentración y se puede calcular con las siguientes formulas:

$$T_c = \frac{L}{0.6} \quad L = \frac{l^{0.8} \cdot (S + 1)^{0.7}}{1900 \cdot P^{0.5}} \quad S = \frac{1000}{CN} - 10$$

Donde:

T_c = Tiempo de concentración (hr)

L = Lag time (hr)

l = Longitud del flujo más alejado del punto de desagüe (ft)



P = Pendiente promedio del flujo (%)

S = Retención máxima potencial (in)

CN = Numero de curvas (dependiente del tipo y el uso de suelo), debe ser mayor a 50 y menor a 95.

7.5. Caudales de diseño

Según la norma R-019 ((DGRS) & (MOPC), 2012), las curvas IDF pueden ser utilizadas para determinar el caudal pico de una cuenca de aporte, mediante el método Racional, siempre que el área de esta no sobrepase los 4 km². Para las cuencas de mayor tamaño, se ha decidido utilizar el método hidrograma unitario SCS.

En los siguientes acápite se hace una explicación breve de los métodos utilizados.

7.5.1. Métodos hidrológicos utilizados

7.5.1.1. Método Racional.

Es uno de los métodos de estimación más utilizados para el cálculo de caudales pico de cuencas con área de aporte pequeño para proyectos de obras líneas y para diseños en zonas urbanas. Teóricamente, este método puede ser utilizado para estimar la escorrentía de diseño en cuencas con área hasta de 13 km², pero se considera más preciso para áreas menores a 4 km². Se basa principalmente en los siguientes criterios:

- La intensidad y la distribución de la lluvia en la cuenca vertiente son uniformes en toda su área y ocurre durante un periodo de tiempo igual al tiempo de concentración
- El máximo caudal se produce cuando la superficie total de la cuenca contribuye al escurrimiento en la salida de esta.
- El coeficiente de escorrentía es igual a un porcentaje de la intensidad de precipitación.

El método racional se define por la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{C \cdot i \cdot A}{3.6}$$

Donde:

Q = Caudal máximo o pico de la cuenca (m³/s)



i = Intensidad de lluvia máxima para cierto periodo de retorno (mm/h)

A = Área de la cuenca de aporte (km²)

C = Coeficiente de escorrentía

Coeficiente de escorrentía

Parecido al valor de los números de curva, el coeficiente de escorrentía depende de varios factores. Dentro de los que se puede destacar:

- El tamaño y la forma de la cuenca.
- La pendiente de la cuenca.
- El tipo de suelo.
- La vegetación.
- La humedad antecedente.



Tabla 2. Coeficiente de escorrentía.

Cobertura vegetal	Tipo de suelo	Pendiente del terreno				
		<i>Pronunciada</i>	<i>Alta</i>	<i>Media</i>	<i>Suave</i>	<i>Despreciable</i>
		>50	20-50	5-20	1-5	0-1
Sin vegetación	Impermeable	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60
	Semipermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Permeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
Cultivos	Impermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Semipermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Permeable	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20

Para un análisis más uniforme se escogió un coeficiente de escorrentía de 0.45 para todas las cuencas.

7.5.2. Cálculo de caudal de diseño (caudal pico)

En función de la importancia de la vía y de acuerdo con lo indicado en el R-019, se adoptaron los siguientes periodos de retorno para el diseño de las obras de drenaje:

Tabla 3. Valores de periodo de retorno para diferentes obras.

Tipo de obra	Periodo de retorno
Cunetas a pie de talud	5 años
Cunetas de coronación y de banquetas	10 años
Estructuras de caída (bajantes)	10 años
Alcantarillas	25 – 50 años
Puentes	50 – 100 años
Drenaje subsuperficial	2 años



8. ESTUDIOS HIDRAULICOS

El estudio hidráulico para el drenaje del proyecto se fundamentó en la caracterización hidráulica orientada al diseño de las estructuras requeridas para el manejo y control de la escorrentía superficial, con base en los caudales máximos obtenidos en el estudio hidrológico, la topografía y el diseño geométrico del proyecto y la definición de cada uno de los tramos del proyecto.

8.1. Alcantarillas

Esta sección de la memoria tiene a fin el desarrollo del dimensionamiento de las alcantarillas utilizadas para realizar el drenaje transversal del proyecto. Estas alcantarillas tienen como finalidad permitir el flujo de los cauces y las corrientes de agua acumulada para prevenir inundación en la carretera, evitar desestabilización de taludes, prevenir deterioro de la vía, entre otras cosas.

Existen diversos manuales en los cuales se explica la metodología del diseño de alcantarillas, pero nos centraremos en el uso del manual R-019 ((DGRS) & (MOPC), 2012) y el HDS-5 ((FHWA) & BRUSCHIN, 2012).

8.1.1. Consideraciones de diseño.

8.1.1.1. Localización.

Idealmente, las alcantarillas deberían de colocarse en el lecho del canal (cauce) para minimizar los costos asociados a la excavación y la construcción de canales de entrada a la alcantarilla. Sin embargo, esto no siempre es posible, en caso de que sea necesario varias la dirección de la alcantarilla se debe construir con los cambios necesarios en el cabezal aguas arriba y la debida protección contra la erosión aguas abajo, entre la nueva salida y el lecho original.



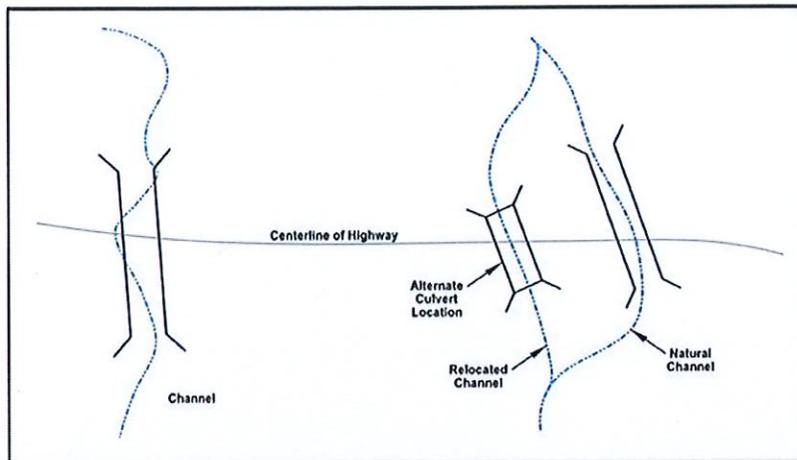


Ilustración 13. Ejemplo de ubicación de alcantarilla. Fuente FWHA, 2012

8.1.1.2. Pendiente y velocidad.

Uno de los parámetros más importante del diseño de la alcantarilla es la pendiente de esta, ya que de ella depende la velocidad del flujo en este elemento. Bajas velocidades acarrear problemas de sedimentación, pero altas velocidades tienes como consecuencia problemas de erosión.

El manual R-019, recomienda no utilizar pendientes menores a 0.5% para evitar los problemas anteriormente descritos.

Por otro lado, la velocidad máxima permitida para alcantarillas de hormigón no debe superar un valor entre 4 - 4.5 m/s, para limitar el proceso erosivo y abrasivo. Se restringe la pendiente máxima a un 4% y, en estos casos, se debe proteger tanto la entrada como la salida en la línea interior para evitar el corrimiento de la estructura y la erosión.

Es importante destacar, que en este proyecto se pretende utilizar como pendiente estándar de un 2% para evitar la sedimentación de la mayoría de los materiales sólidos. La siguiente es la tabla con las velocidades mínimas para evitar el asentamiento de los sólidos:



Tabla 4. Velocidades mínimas para evitar sedimentación de materiales sólidos. Fuente: DGRS & MOPC, 2012

<i>Material solido</i>	Diámetro	Velocidades mínimas (m/s)
<i>Arena fina</i>	< 0.05 mm	0.40 – 0.50
<i>Grava fina</i>	< 5 mm	0.50 – 0.70
<i>Grava gruesa</i>	5 – 15 mm	0.70 – 0.90
<i>Piedras</i>	15 – 30 mm	1.00 – 1.20
<i>Piedras Gruesas</i>	30 – 100 mm	1.50 – 1.80

8.1.1.3. Periodo de retorno.

El periodo de retorno, T, recomendado para las alcantarillas es de 25 años para vías primarias y secundarias según el R-019 pero en el HDS-5 se recomienda utilizar hasta 50 años como periodo de retorno. En este caso por el nivel de carretera se utilizará 25 años.

8.1.1.4. Tamaño y forma de la alcantarilla.

Dentro de las alcantarillas más comunes en la República Dominicana, se encuentran las circulares y las de cajón. Para esta etapa del diseño, decidimos parametrizar y limitar los tamaños a las siguientes opciones:

Tabla 5. Dimensiones y formas de alcantarillas a tomar en cuenta en esta memoria.

FORMA	DIMENSION (MM)
CIRCULAR	900 – 36"
CIRCULAR	1,050 – 42"
CIRCULAR	1220 – 48"
CIRCULAR	1,525 – 60"
CAJÓN	2,400
CAJÓN	3,600



8.1.1.5. Control de flujo.

Hay dos tipos de control de flujo en la alcantarilla definidos como control de entrada y control de salida, definidos por la FHWA y la NBS. Las características de la presión, los regímenes de flujo subcrítica y supercrítica juegan un papel muy importante a la hora de determinar el tipo de control. El tipo de control tiene un gran efecto en la capacidad hidráulica de una alcantarilla.

- **Control de entrada:** Para esta condición, la capacidad de descarga del conducto está controlada en su entrada por la carga del agua (H_w), el tipo y dimensiones de la sección transversal y la geometría de la embocadura o tipo de borde.

Igualando energías en un punto inmediatamente aguas arriba del conducto y la entrada, la carga del agua a la entrada H_w se define como:

$$H_E = (1 + K_e) \frac{V_c^2}{2g} + Y_c$$

Donde:

H_E = Energía del agua a la entrada de la obra (m)

V_c = Velocidad crítica (m/s)

Y_c = Altura crítica aguas inmediatamente debajo de la entrada del conducto (m)

g = Aceleración de la gravedad (m/s²)

K_e = Coeficiente de pérdidas por entrada

Las características hidráulicas aguas debajo de la alcantarilla no afectan la capacidad de esta. Sin embargo, la superficie del agua aguas arriba de la entrada y la geometría de la entrada representan los controles más importantes. La geometría de la entrada incluye: la forma de la entrada (circular, cajón, etc.), el área transversal de la entrada y la configuración de la entrada.

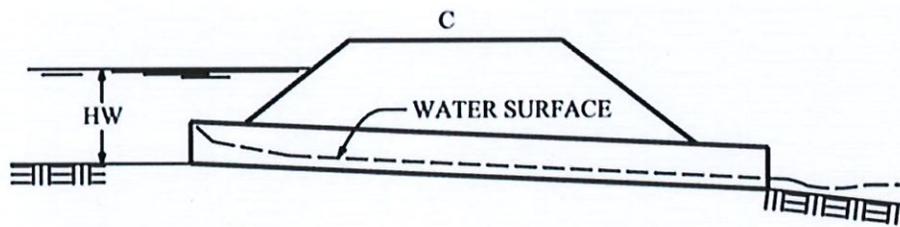


Ilustración 14. Esguerrimiento libre - Control de Entrada.



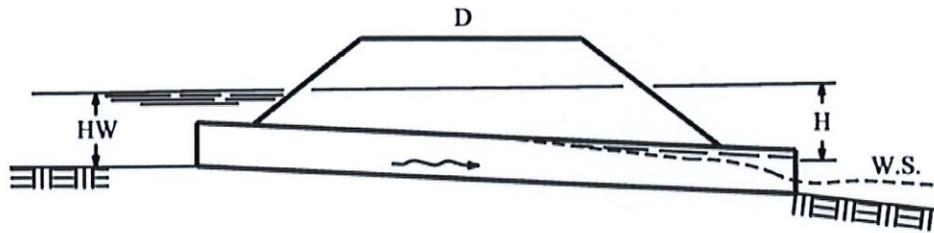


Ilustración 15. Esguimiento conducto lleno - Control de entrada.

- **Control de salida:** Se presenta esta condición si el tirante crítico se forma en las proximidades de la sección de salida de la alcantarilla creándose un remanso hacia aguas arriba de modo que se tiene influencia en los niveles a la entrada de la obra.

Las variables que intervienen en este tipo de flujo son las mismas que las intervienen en el control de entrada más las que corresponden al tramo entre esta sección y la de salida como son la longitud, pendiente, rugosidad y nivel del agua a la salida de la alcantarilla.

Esta altura puede estimarse a partir de la siguiente expresión:

$$H_s = \left(1 + K_e + \frac{2gLn^2}{R_h^{4/3}} \right) \cdot \frac{V^2}{2g} - L \cdot S + h_0$$

Donde:

V = Velocidad media del conducto (m/s)

R_h = Radio hidráulico (m)

L = Longitud del conducto (m)

S = Pendiente del conducto (m/m)

n = Coeficiente de rugosidad de Manning del conducto

K_e = Coeficiente de pérdidas de entrada

h₀ = Altura de lámina a la salida del conducto correspondiente al mayor valor entre:

- La diferencia entre el nivel de agua en el cauce a la salida del conducto con la cota batea o solera en el mismo.



- El promedio entre la profundidad crítica del conducto y su la altura o diámetro.

En este proyecto buscamos que nuestras alcantarillas resulten en un diseño que tenga un funcionamiento en control de entrada, ya sea sumergida o no. Esto se debe a que las alcantarillas con control de salida tienen un comportamiento que puede ser influenciado por muchos factores. Sin embargo, el control de entrada es más manejable. Debido al tipo de carretera y proyecto se chequearán algunas alcantarillas en cada tramo que consideremos más críticas.

8.1.1.6. Nivel de carga.

Para el control de entrada, si el nivel en la entrada es tal que $HW \leq 1.25D$, el escurrimiento en la obra será siempre libre, si su pendiente es suficiente. Por lo contrario, si $HW > 1.25D$, las aguas se escurrirán libremente o a un conducto lleno según su pendiente es suficiente.

El coeficiente de carga, aguas arriba de la obra, cuya expresión es $m = HW/D$, siendo HW la altura del agua aguas arribas y D la altura de la alcantarilla. Es necesario limitar la carga correspondiente al caudal de diseño, como factor de seguridad frente al riesgo ocasionado por la disminución, siempre posible, de la sección útil de la alcantarilla, y también evitar que la carretera funcione como presa.

El manual HDS-5 establece que los valores límites de coeficiente de carga están dentro de 1.0 – 1.5, en el R-019, se recomienda un valor máximo de un 1.20 para una alcantarilla con funcionamiento con control de entrada.

Con base en el dimensionamiento anterior, se realizó un chequeo hidráulico de comprobación de capacidad hidráulica para algunas alcantarillas utilizando los softwares HY8, el cual es un modelo computacional de última generación desarrollado por la Federal Highway Administration del U.S Department of Transportation, y el software Hydraflow desarrollado por Autodesk, ambos basados en fórmulas teóricas y nomogramas empíricos para el diseño de alcantarillas, producto de varios años de investigación del comportamiento hidráulico de las alcantarillas en vías.



Tabla 6. Capacidad hidráulica de los dispositivos.

#	Canal	Tipo de Embocadura	Qdis (m ³ /s)	Cant. Alc.	Dimensiones - DxB (mm)	Qunitario (m ³ /s)	Parametros de control	
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	HW/D (7)	S (m/m) (8)
1	1	BOX	31.22	1.00	3,000.00	31.22	0.85	0.0050
2	2	BOX	30.60	1.00	3,000.00	30.60	0.97	0.0050
3	3	BOX	22.50	1.00	900.00	22.50	0.77	0.0050
4	1-2	BOX	61.82	1.00	7,200.00 x 3,600.00	61.82	0.83	0.0050
5	1-2-3	BOX	84.32	2.00	8,000.00 x 3,600.00	42.16	0.78	0.0050

8.2. Cunetas y alcantarillas de drenaje longitudinal.

En virtud de la topografía elevada que caracteriza la región norte de la pista, marcada por una altitud significativamente mayor y la presencia de tres cañadas destacadas, se torna esencial implementar un sistema de cunetas a lo largo de la extensión predominante de la vía. Este diseño permitirá la captación controlada de aguas pluviales y escorrentías, evitando así acumulaciones indeseadas y posibles problemas de erosión.

La disposición estratégica de estas cunetas se orienta hacia la conducción eficaz del flujo de agua recogido hacia una alcantarilla de mayor capacidad. Esta alcantarilla, al contar con una capacidad ampliada, garantiza la gestión eficiente de grandes volúmenes de agua, reduciendo el riesgo de inundaciones y contribuyendo a la preservación de la estabilidad del terreno circundante como así también evitar socavaciones en la infraestructura.

La finalidad última de este sistema integral es dirigir las aguas recogidas hacia los canales principales preexistentes. Este enfoque busca optimizar la canalización y el desplazamiento de las aguas de manera coordinada y controlada, minimizando así el impacto ambiental y preservando la integridad de la infraestructura vial.

Tabla 7. Capacidad hidráulica dispositivos longitudinales

#	Dispositivo	Tipo de Embocadura	Qdis (m ³ /s)	Qc (m ³ /s)	D/C
		(1)	(2)	(3)	(4)
1	Cuneta	TRAP	1.55	1.86	0.83
2	Alcantarilla 36"	CIRC	1.72	1.79	0.96
3	Alcantarilla 42"	CIRC	2.55	2.71	0.94



9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

9.1. Conclusiones.

- La pendiente de las alcantarillas será de 0.5% debajo de la pista de aterrizaje y tomaran la pendiente del cauce una vez fuera de la pista de aterrizaje.
- La descarga del canal final será libre según disponga la topografía del terreno.
- Se deberá hacer registros a no más de 140 metros de distancia y en cada quiebre.
- Esta solución debe ir de la mano de un sistema de drenaje pluvial integro en la terminal y la zona interior del aeropuerto. Esto para evitar inundaciones.

9.2. Recomendaciones.

- Se recomienda evaluar según la topografía la reubicación de la terminal.
- Se recomienda evaluar según la topografía la reubicación de los bomberos.
- Mantener un monitoreo y mantenimiento regular de las alcantarillas y cunetas para garantizar su correcto funcionamiento a lo largo del tiempo y prevenir problemas futuros en la pista y la terminal.
- Se recomienda proteger las áreas vulnerables a la erosión, como taludes y márgenes de canales, con técnicas de estabilización de suelos, revegetación y/o estructuras de control de erosión.
- Monitorear la zona del canal número 1, la zona de la terminal y bomberos que son las más cercanas a zonas de inundación.

