



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

POSGRADO

Tema: Diseño y análisis de estrategias de drenaje sostenible integrando SUDS y alcantarillado tradicional en el cerro Casigana para minimizar inundaciones en la Av. Manuela Sáenz.

Trabajo de Titulación, previo a la obtención del Título de Cuarto Nivel de Magister en Hidráulica con mención en Obras Hidráulicas

Modalidad del Trabajo de Titulación: Proyecto de titulación con componentes de investigación aplicada y/o desarrollo.

Autora: Ing. Ana María Amaya Díaz

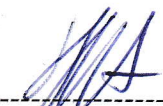
Director: Ing. Fidel Alberto Castro Solórzano Mtr.

Ambato – Ecuador

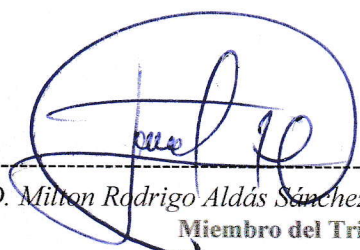
2025

**A LA UNIDAD ACADÉMICA DE TITULACIÓN DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

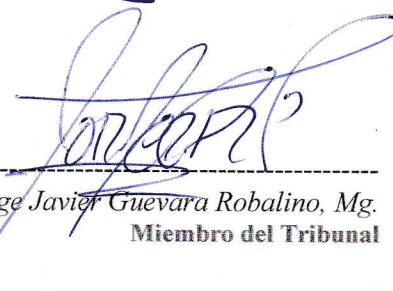
El Tribunal receptor del Trabajo de Titulación, presidido por: *Ing. Santiago Paúl Cabrera Anda, Mg.*, e integrado por los señores: *PhD. Milton Rodrigo Aldás Sánchez, Mg.*, *PhD. Jorge Javier Guevara Robalino, Mg.*, designados por la Unidad Académica de Titulación del Centro de Posgrados de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: “*Diseño y análisis de estrategias de drenaje sostenible integrando SUDS y alcantarillado tradicional en el cerro Casigana para minimizar inundaciones en la Av. Manuela Sáenz*”; elaborado y presentado por la *Ing. Ana María Amaya Díaz*, para optar por el Título de cuarto nivel de *Magíster en Hidráulica con mención en Obras Hidráulicas*; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Titulación, el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.



Ing. Santiago Paúl Cabrera Anda, Mg.
Presidente y Miembro del Tribunal



PhD. Milton Rodrigo Aldás Sánchez, Mg.
Miembro del Tribunal



PhD. Jorge Javier Guevara Robalino, Mg.
Miembro del Tribunal

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentado con el tema: *Diseño y análisis de estrategias de drenaje sostenible integrando SUDS y alcantarillado tradicional en el cerro Casigana para minimizar inundaciones en la Av. Manuela Sáenz.*, le corresponde exclusivamente a: *Ing. Ana María Amaya Díaz*, Autora bajo la Dirección de Ing. Fidel Castro, Director del Trabajo de Titulación, y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.

A. Amaya

Ing. Ana María Amaya Díaz

C.C.: 180320541-6

AUTORA

Fidel Castro

Ing. Fidel Alberto Castro Solórzano Mtr.

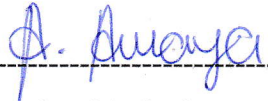
C.C.: 180260468-4

DIRECTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Titulación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad.



Ing. Ana María Amaya Díaz

C.C.: 180320541-6

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO	i
A LA UNIDAD ACADÉMICA DE TITULACIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
AGRADECIMIENTO	x
DEDICATORIA.....	xi
RESUMEN EJECUTIVO	xii
ABSTRACT.....	xiii
CAPÍTULO I.....	1
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.3. Objetivos	3
1.3.1. General	3
1.3.2. Específicos.....	3
CAPITULO II	4
MARCO TEÓRICO	4
a) ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	4
b) FUNDAMENTACIÓN CIENTIFICA	6
CAPITULO III.....	11
MARCO METODOLÓGICO	11
3.1. Tipo de investigación	11
3.2. Población o muestra:	11
3.3. Prueba de Hipótesis - pregunta científica – idea a defender.....	11
3.3.1. Hipótesis.....	12
3.3.2. Pregunta Científica:	12
3.3.3. Idea a defender:.....	12
3.4. Recolección de información:	12

3.4.1.	Análisis de vegetación y cobertura verde.....	12
3.4.2.	Revisión pluviométrica y climática.....	13
3.4.3.	Levantamiento topográfico y georreferenciación	13
3.4.4.	Evaluación indirecta de la infiltración mediante Análisis de Vegetación (NDVI).....	13
3.4.5.	Software Complementarios	13
3.5.	Procesamiento de la información y análisis estadístico:	13
3.5.1.	Cálculo del caudal de escorrentía	14
3.5.2.	Análisis NDVI.....	14
3.5.3.	Modelado Comparativo	14
3.5.4.	Análisis estadístico de resultados	14
3.5.5.	Validación de resultados.....	14
CAPITULO IV		15
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		15
4.	Introducción	15
4.1.	Polígono de Estudio.....	15
4.2.	Evaluación del Índice NDVI en el área de estudio	16
4.3.	Caracterización del entorno natural: vegetación como indicador hidrológico	17
4.3.1.	Vegetación Cerro Casigana.....	17
4.3.2.	Vegetación del parque La Cantera y Parterre Av. Manuela Sáenz 18	
4.4.	Velocidad de Infiltración (MAG).....	19
4.5.	Análisis Topográfico	21
	Cerro Casigana.....	22
	Parque La Cantera y Parterre Av. Manuela Sáenz	22
4.6.	Modelado Comparativo	23
	(Escenario I).....	23
	Cálculo del Coeficiente de Escorrentía (C)	23
	Cálculo de Tiempo de Concentración (t_c)	24
	Cálculo de Intensidad de Lluvia (I)	25
4.7.	Análisis estadístico de resultados.....	26
	T Student (Escenario I vs Escenario II)	26
	$H1: \mu d > 0$	29

Tamaño de Efecto.....	29
ANOVA (Cobertura Vegetal vs Escorrentía)	30
Tamaño de efecto.....	34
4.8. Diseño Dren Francés	35
4.8.1. Simulación del Escenario con Dren Francés + Vegetación	35
4.8.2. Capacidad estimada de infiltración del Dren Francés	35
4.9. Discusión de Resultados.....	36
4.9.1. Comparación de Escenarios	36
4.9.2. Validación con comportamiento vegetal	36
4.9.3. Evidencia Fotográfica	37
Cerro Casigana (Zona emisora de escorrentía):	37
Av. Manuela Sáenz (Zona de acumulación):	37
Parque La Cantera (zona de intervención propuesta):	37
CAPÍTULO V	39
CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA, ANEXOS ..	39
5.1. Conclusiones	39
5.2. Recomendaciones	40
5.3. Bibliografía	41
5.4. Anexos	43
CAPÍTULO VI	58
PROPUESTA	58
6.1 Título	58
6.2 Descripción	58
6.3 Desarrollo de la propuesta.....	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis de vegetación y Cobertura verde (Cerro Casigana)	17
Tabla 2. Análisis de vegetación y Cobertura verde (Parque La Cantera y Parterre Av. Manuela Sáenz).....	18
Tabla 3. Especies para revegetación zona de estudio.....	21
Tabla 4. Riesgo Hidrológico	22
Tabla 5. Cálculo Coeficiente de Escorrentía.....	23
Tabla 6. T Student (Escenario I vs Escenario II)	28
Tabla 7. ANOVA (Cobertura Vegetal vs Escorrentía)	30
Tabla 8. Diseño Dren Francés.....	35
Tabla 9. Capacidad estimada de infiltración del Dren Francés.....	35
Tabla 10. Alcantarillado vs SUDS+Alcantarillado	36
Tabla 11. Coeficiente de Escorrentía (Método Racional).....	43
Tabla 12. Fotografías zona de estudio.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1. Zona de Estudio.....	15
Ilustración 2. Evaluación Índice NDVI.....	16
Ilustración 3. Análisis NDVI Zona de Estudio.....	16
Ilustración 4. NDVI Cerro Casigana	18
Ilustración 5. NDVI Parque La Cantera y Parterre Av. Manuela Sáenz	18
Ilustración 6. Velocidad de Infiltración Cerro Casigana vs Parque La Cantera y Parterre Av. Manuela Sáenz	19
Ilustración 7. Topografía zona de estudio	21
Ilustración 8. P Máximo Diario	24
Ilustración 9. Desarenador.....	44
Ilustración 10. Detalles Constructivos.....	45
Ilustración 11. Escenario Parque La Cantera	46
Ilustración 12. Escenario Parterre Av. Manuela Sáenz	47
Ilustración 13. Perfil Alcantarillado Pluvial (Inicio).....	48
Ilustración 14. Perfil Alcantarillado Pluvial.....	49
Ilustración 15. Perfil Alcantarillado Pluvial (Fin).....	50
Ilustración 16. Estación Aeropuerto (MT-0007).....	51
Ilustración 17. Estación Aeropuerto (MT-0007).....	52
Ilustración 18. Estación Aeropuerto (MT-0007).....	53

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que han hecho posible la realización de esta tesis. A mis profesores y tutores, en especial al Ing. Fidel Castro, por su invaluable orientación, paciencia y conocimiento compartido, que me guiaron a lo largo de este proyecto y me ayudaron a consolidar mis ideas con claridad y precisión.

A la Universidad Técnica de Ambato y a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica por brindarme los recursos y el apoyo necesarios para el desarrollo de esta investigación.

Quiero dedicar un especial agradecimiento a mi familia, quienes me brindaron su apoyo incondicional, su paciencia y palabras de aliento en cada etapa del proceso. A mis amigos y colegas, quienes me acompañaron en este camino y me animaron a seguir adelante en momentos de dificultad.

DEDICATORIA

A Dios, que me ha permitido ser una mujer esforzada y valiente, brindándome la dicha de rodearme de personas que han sido de bendición.

A mi esposo, quién es una de las personas más importante de mi vida, gracias a su apoyo incondicional he alcanzado las metas que me he propuesto.

A mi hija, quién se convirtió en mi motor, mi felicidad y la persona más importante en mi vida que Dios me pudo regalar.

A mis padres, que siempre estuvieron presentes apoyándome en todo momento para cumplir con cada una de mis metas, por sus sacrificios para brindarme una excelente educación.

A mi hermana, por ser parte ese pilar fundamental e importante en vida, que siempre estuvo brindándome ánimo y apoyo cada día y hacer realidad todos mis sueños.

RESUMEN EJECUTIVO

Este estudio desarrolla el diseño y análisis de estrategias de drenaje sostenible que integran SUDS (con énfasis en dren francés y pretratamiento hidrociclónico) con el alcantarillado tradicional en el cerro Casigana–Av. Manuela Sáenz (Ambato, Ecuador), con el fin de reducir inundaciones urbanas y mejorar la resiliencia frente a lluvias intensas. La metodología combina análisis hidrológico (método racional), cartografía temática y diagnóstico indirecto de infiltración por cobertura vegetal (NDVI); se constata predominio de suelo abierto (55,82%) y vegetación escasa (28,07%), con escasa retención superficial y mayor generación de escorrentía hacia zonas bajas (Av. Manuela Sáenz). Estos hallazgos sustentan la viabilidad de SUDS como infraestructura verde complementaria.

El modelo comparativo entre: escenario actual (solo alcantarillado) y escenario integrado (dren francés + alcantarillado + revegetación funcional + separador hidrociclónico) muestra que el caudal hacia el sistema convencional disminuye ~30% (de 1.56 a 1.09 m³/s para I=60.50 mm/h), disminuyendo el riesgo de desbordes y la carga de operación.

La investigación concluye que la integración SUDS+alcantarillado es técnica y ambientalmente viable en el área de estudio y replicable en otras zonas de Ambato, recomendándose su implementación por fases (pretratamiento, captación, infiltración y revegetación) con mantenimiento preventivo y monitoreo de desempeño.

DESCRIPTORES: AGUAS PLUVIALES; CAUDAL PICO; NDVI; SUDS; DREN FRANCÉS; SEPARADOR HIDROCICLÓNICO; ALCANTARILLADO TRADICIONAL; CONTROL DE INUNDACIONES.

ABSTRACT

This thesis designs and assesses Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) integrated with the conventional sewer along Cerro Casigana–Av. Manuela Sáenz (Ambato, Ecuador) to reduce urban flooding. Using hydrologic analysis (Rational Method), thematic mapping, and NDVI-based indirect infiltration diagnostics, the study finds prevailing bare soil (55.82%) and sparse vegetation (28.07%), which increase runoff towards lower areas. A scenario comparison shows that SUDS + sewer (French drain, hydrodynamic separator, functional revegetation) reduces sewer inflow by ~30% (from 1.56 to 1.09 m³/s at I=60.50 mm/h), thus mitigating overflow risks and O&M loads. The integrated approach proves feasible and scalable for similar urban settings in Ambato; a phased implementation and performance monitoring are recommended.

KEYWORDS: *PEAK FLOW; NDVI; SUDS; FRENCH DRAIN; HYDRODYNAMIC SEPARATOR; URBAN FLOOD MITIGATION.*

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Introducción

El manejo eficiente de las aguas pluviales representa uno de los desafíos urbanos más relevantes en el contexto del cambio climático y la creciente urbanización. En ciudades intermedias como Ambato, Ecuador, la rápida expansión urbana ha incrementado las superficies impermeables, lo cual disminuye la capacidad de infiltración del suelo y aumenta la escorrentía superficial, generando eventos de inundación más frecuentes e intensos. Este fenómeno afecta particularmente a zonas con topografía accidentada, como el cerro Casigana, y áreas viales clave como la Avenida Manuela Sáenz, donde la infraestructura de drenaje actual resulta insuficiente para mitigar los efectos hidrológicos de las lluvias torrenciales.

Ante este escenario, se plantea la necesidad de integrar Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) con los sistemas tradicionales de alcantarillado, con el fin de mejorar la captación, transporte, almacenamiento y filtración del agua lluvia. Entre los SUDS a implementar se considera el uso del *dren francés*; una solución basada en principios de drenaje subterráneo que permite conducir las aguas infiltradas a través de medios granulares y tuberías perforadas, facilitando la evacuación y depuración natural del agua.(Fletcher et al., 2015)

El drenaje sostenible permite no solo la mitigación del caudal pico y la reducción de inundaciones, sino también la mejora de la calidad del agua, la integración paisajística, y la sostenibilidad ecológica y social del entorno urbano. Por tanto, resulta imprescindible analizar de forma integral la viabilidad y los beneficios de su implementación en el área de estudio.(Wong, 2006a)

A pesar de la ausencia de una regulación oficial unificada a nivel internacional, el desarrollo y la implementación de normativas y técnicas específicas para SUDS han avanzado significativamente. Este progreso se ha traducido en la ejecución de proyectos innovadores y estudios relevantes que validan la efectividad de los SUDS en la reducción del impacto de las aguas pluviales y en la prevención de la sobrecarga de los sistemas de alcantarillado convencionales, especialmente durante eventos de lluvia intensa.

(Página 1 de 98, 2020) En Ambato, el Ilustre Consejo Cantonal de Ambato clasifica el suelo urbano generando plataformas urbanas, siendo así que; geográficamente va desde las laderas del río Ambato hasta las planicies del sureste y los declives occidentales de la cordillera. La ciudad cuenta con cinco plataformas diferenciadas por sus particulares características y localizaciones. Dentro de estas plataformas (piezas urbanas), áreas definidas por desempeñar funciones específicas y poseer una morfología urbana, marcada por tipologías arquitectónicas distintivas. (Página 1 de 98, 2020)

Durante décadas, la gestión de las aguas pluviales se centró en su rápida evacuación para prevenir inundaciones, esta perspectiva condujo a la expansión de los sistemas de alcantarillado convencionales mediante la instalación de tuberías de mayor diámetro. Sin embargo, esta solución no resultó ser la más adecuada, debido al elevado costos y eficacia limitada frente a las intensas precipitaciones actuales. (Medina Piza et al., 2018a)

Saltos Diego, destaca un problema clave relacionado con la toma de decisiones poco acertadas en el desarrollo de infraestructura urbana en Quito, Ecuador; y es que en la ciudad no se ha caracterizado precisamente por su topografía, geografía, entre otras; evidenciado en que aproximadamente el 80% de sus quebradas han sido rellenadas, lo que ha dado lugar a significativas problemáticas ambientales. Recientemente, se ha explorado la viabilidad de implementar Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) en el Parque Bicentenario. Entre las soluciones propuestas se incluyen filtros verdes para la escorrentía superficial, drenes filtrantes y la creación de humedales. Estas tecnologías no solo son destacables por su construcción sencilla y por mejorar estéticamente el paisaje, sino también por su capacidad para simular el ciclo natural del agua. La relevancia de estos estudios es considerable, ya que ofrecen modelos que podrían adaptarse y replicarse, tomando en cuenta necesidades, especificidades y desafíos ambientales. (Saltos Diego, 2020a)

Este enfoque integrador y sostenible hacia la gestión de aguas pluviales destaca por su potencial para adaptarse a los desafíos del crecimiento territorial y el cambio climático. La adopción de SUDS representa una evolución significativa en las prácticas de planificación urbana, enfocándose no solo en la funcionalidad hidrológica sino también en el valor estético y ecológico, fomentando así un desarrollo sostenible frente a los desafíos ambientales contemporáneos.

1.2. Justificación

En la actualidad, la Avenida Manuela Sáenz presenta recurrentes eventos de inundación producto de una deficiente infraestructura de drenaje pluvial. La incapacidad de los sistemas tradicionales para manejar eficientemente la escorrentía generada por lluvias intensas ha resultado en daños materiales, interrupciones viales y afectaciones a la salud pública y al medio ambiente.

La implementación de SUDS, y en particular del *dren francés* en parterres y parques cercanos como el de La Cantera, constituye una alternativa técnica sustentable que busca aprovechar la capacidad de infiltración del suelo y reducir los volúmenes de agua superficial. Esta estrategia no solo complementa al sistema de alcantarillado existente, sino que promueve una planificación urbana resiliente.

Sin embargo, los SUDS aportan beneficios como la reducción de la escorrentía, creación de espacios verdes urbanos y la mejora de la calidad del agua; además, su integración con sistemas de alcantarillado tradicionales podría optimizar aún más la gestión del agua de lluvia (Wong, 2006b). En la Av. Manuela Sáenz al obtener una pendiente pronunciada, esta integración puede ser vital para abordar tanto los desafíos hídricos actuales como los futuros.

La investigación permitirá generar evidencia técnica y científica para sustentar futuras decisiones del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Ambato y otros actores involucrados en el ordenamiento territorial y gestión del agua.

1.3. Objetivos

1.3.1. General

Diseñar y analizar estrategias de Drenaje Sostenible Integrando SUDS y Alcantarillado Tradicional en el cerro Casigana para minimizar inundaciones en la Av. Manuela Sáenz.

1.3.2. Específicos

- Evaluar la viabilidad, eficacia y capacidad de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) integrados con sistemas de alcantarillado tradicionales para el manejo eficiente de aguas pluviales y mitigación de inundaciones en la Av. Manuela Sáenz del cantón Ambato, Ecuador.
- Comparar los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) y Sistemas de Alcantarillado convencionales en un contexto urbano específico, identificando la mejor manera de integrar estos sistemas para mejorar la gestión de aguas pluviales, contribuyendo así a la resiliencia y sostenibilidad urbana de Ambato.
- Analizar el impacto de la integración de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) en la calidad del agua y el medio ambiente urbano en Ambato, y desarrollar recomendaciones para su óptima integración con el sistema de alcantarillado tradicional.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

a) ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

En las últimas décadas, el enfoque de gestión de aguas pluviales ha migrado desde la evacuación rápida hacia una visión sostenible, donde se prioriza la retención, infiltración y calidad del agua. Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) se presentan como una solución integral, permitiendo que el agua se gestione de manera descentralizada e integrada al paisaje urbano.

Este cambio se debe en gran parte, al reconocimiento de los beneficios de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), los cuales permiten imitar los procesos naturales de infiltración y filtración del agua (Fletcher et al., 2015). Los SUDS no solo reducen el riesgo de inundaciones en áreas urbanas, sino que también contribuyen a la mejora de la calidad del agua y al enriquecimiento del entorno paisajístico.

El dren francés, como técnica pasiva y de bajo costo, ha sido considerado una alternativa viable en espacios como parterres viales, senderos y parques urbanos, donde se busca infiltrar agua en su origen sin afectar la movilidad o el uso del espacio. Ballard et al. (2020) demostraron que esta solución funciona incluso en suelos arcillosos compactados cuando se diseña adecuadamente el volumen de grava y la pendiente de drenaje.

Wong resalta, cómo los SUDS han sido ampliamente implementados en ciudades con alta densidad poblacional, donde el crecimiento urbano ha generado un incremento en las superficies impermeables, lo que exacerba el problema de la escorrentía. (Wong, 2006) Es decir, los SUDS han demostrado ser una solución eficaz para mitigar estos impactos, utilizando tecnologías como pavimentos permeables, jardines de lluvia, zanjas de infiltración y humedales artificiales. Estas técnicas no solo ayudan a controlar el volumen de agua pluvial, sino que también contribuyen a mejorar su calidad, eliminando contaminantes antes de que el agua llegue a los cuerpos receptores.

En países en desarrollo, donde la infraestructura tradicional es limitada, la implementación de SUDS ha cobrado mayor relevancia. Zhang & Jia (2018) analizaron la viabilidad de estos sistemas en ciudades medianas, encontrando que, a pesar de los desafíos iniciales de inversión y planificación, los beneficios a largo plazo en términos de reducción de inundaciones y sostenibilidad ambiental son significativos. Estos estudios sugieren que la integración de SUDS en sistemas de alcantarillado tradicionales puede ser una solución clave para las ciudades con recursos limitados, como Ambato.

No obstante, las limitaciones de los sistemas de alcantarillado tradicionales siguen siendo un reto importante. (Medina Piza et al., 2018) identifican que la infraestructura de drenaje

en muchas ciudades latinoamericanas es insuficiente para manejar los volúmenes de agua pluvial que se generan durante eventos de lluvia intensa, lo que resulta en inundaciones recurrentes y daños a la infraestructura urbana. La falta de capacidad de los sistemas tradicionales se ha exacerbado con el cambio climático, que ha aumentado la frecuencia y la severidad de las precipitaciones extremas. Es en este contexto que la integración de SUDS aparece como una alternativa viable y sostenible.

La experiencia europea ha sido clave en el desarrollo de estrategias de drenaje sostenible. Gimenez-Maranges, Breuste, & Hof (2020) destacan cómo países como Reino Unido, Suecia y Dinamarca han liderado la investigación y la implementación de SUDS. Estos países han demostrado que los SUDS no solo son efectivos para la gestión del agua pluvial, sino que también mejoran la calidad de vida urbana al crear espacios verdes multifuncionales que benefician tanto a las personas como a la biodiversidad.

Un ejemplo destacado en América Latina es el estudio de (Saltos Diego, 2020), que resalta cómo la falta de planificación urbana sostenible en ciudades como Quito ha llevado a la destrucción de recursos naturales, como el relleno de quebradas, agravando los problemas de inundación. En respuesta a esta situación, se ha planteado la implementación de SUDS en áreas críticas como el Parque Bicentenario, utilizando drenes filtrantes, humedales y filtros verdes para mitigar la escorrentía. Estos estudios sugieren que las soluciones sostenibles no solo son técnicamente viables, sino también necesarias para abordar los desafíos actuales y futuros en la gestión de aguas pluviales.

Asimismo, Cheng et al. (2019) refuerzan la necesidad de adoptar enfoques sostenibles en la gestión de aguas pluviales, señalando que los SUDS mejoran la resiliencia de las ciudades ante eventos climáticos extremos. Este estudio demostró que, al combinar tecnologías como zanjas de infiltración y pavimentos permeables con sistemas de alcantarillado tradicionales, es posible reducir significativamente el caudal pico de las lluvias y, por tanto, el riesgo de inundación.

La revisión de estos antecedentes investigativos evidencia un consenso consolidado sobre la necesidad de integrar los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) con las redes de alcantarillado tradicionales para afrontar los desafíos del manejo de aguas pluviales en entornos urbanos.

La presente investigación propone intervenir zonas clave como el parterre central de la Av. Manuela Sáenz y el Parque La Cantera, los cuales reciben flujos pluviales no controlados provenientes del cerro Casigana. Esta cuenca, con alta pendiente y cobertura vegetal variable, representa una fuente significativa de escorrentía. Comprender la relación entre el tipo de vegetación existente y su capacidad de absorción es clave para el diseño de sistemas SUDS que aprovechen al máximo el potencial de infiltración del terreno.

Es por ello por lo que; la cobertura vegetal influye directamente en el comportamiento hidrológico de un sitio. Ecosistemas con vegetación herbácea densa o suelos con alta cobertura orgánica presentan menor escorrentía y mayor infiltración en comparación con suelos desnudos o compactados. (Braud et al., 2005; Gao et al., 2019) Esto refuerza la necesidad de evaluar la vegetación del cerro Casigana como herramienta de diagnóstico y diseño.

b) FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA

La fundamentación científica de este estudio se basa en el análisis de dos principales variables: la integración de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) y los sistemas de alcantarillado tradicionales.

Ambas soluciones están enfocadas en mejorar la gestión de aguas pluviales en entornos urbanos, particularmente en áreas que enfrentan problemas de inundación y sobrecarga del sistema de drenaje, como es el caso de la Avenida Manuela Sáenz en Ambato, Ecuador.

Es indispensable analizar conceptos hidrológicos clave como la escorrentía superficial, el coeficiente de escorrentía, el tiempo de concentración, el caudal pico, entre otros. Estos elementos constituyen la base para el diseño de soluciones técnicas como los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), que buscan mitigar los impactos negativos de la urbanización sobre el ciclo hidrológico. A continuación, se desarrollan los principales conceptos necesarios para la comprensión integral de los procesos físicos involucrados en el presente estudio.

Hidrología Urbana y Escorrentía: La escorrentía superficial se produce cuando la lluvia excede la capacidad de infiltración del suelo y fluye sobre superficies impermeables, conduciendo el agua hacia alcantarillas, quebradas o canales. En áreas urbanas densas, este fenómeno se incrementa debido al asfaltado y sellado del suelo. (Fletcher et al., 2015)

Coeficiente de escorrentía (C): Este coeficiente representa la fracción de precipitación que no se infiltra, varía entre 0.05 en suelos vegetados y hasta 0.80 en superficies como el hormigón. Por tanto, áreas con buena cobertura vegetal tienden a generar menor escorrentía. (Chow, et al., 1988).

Tiempo de concentración (Tc): El tiempo de concentración es el periodo que tarda una gota de agua en recorrer la distancia más larga desde el punto más alejado de una cuenca hasta el punto de salida. Es un parámetro esencial para calcular el caudal pico y diseñar los elementos del sistema de drenaje. (McCuen, R.H. 2005)

Caudal pico de escorrentía: El caudal pico es el valor máximo de caudal que se presenta durante un evento de lluvia. Este depende del coeficiente de escorrentía, la intensidad de la lluvia y el área de la cuenca. Su determinación es vital para el diseño hidráulico de drenajes, cunetas, colectores y estructuras de control. (Rodríguez & Pérez 2018)

Escorrentía superficial: La escorrentía superficial es el flujo de agua que ocurre cuando la precipitación excede la capacidad de infiltración del suelo y fluye sobre la superficie terrestre hacia cursos de agua, sistemas de drenaje o cuerpos receptores. En áreas urbanas, debido a la alta impermeabilización, esta escorrentía aumenta significativamente, generando riesgos de inundación y transporte de contaminantes. (Fletcher et al., 2015)

Vegetación como Indicador Hidrológico: La cobertura vegetal tiene un rol clave en la regulación del ciclo hídrico superficial. Diversas especies herbáceas y arbustivas actúan como esponjas naturales, incrementando la porosidad del suelo, mejorando la infiltración y reduciendo la velocidad del escurrimiento superficial (Braud et al., 2005; Gao et al., 2019).

En zonas como el cerro Casigana, la vegetación nativa representa un bioindicador del tipo de suelo subyacente y su capacidad de absorción. Es decir; la caracterización ecológica de la flora existente permite estimar indirectamente el comportamiento de infiltración, su resistencia al escurrimiento y su vulnerabilidad ante lluvias intensas.

1. Vegetación urbana y capacidad de infiltración:

El análisis de vegetación urbana se constituye como un criterio indirecto pero fundamental para estimar la capacidad de infiltración del suelo. En este estudio se utilizó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) generado con imágenes satelitales recientes (*fecha: 08 de agosto de 2025*), lo cual permitió determinar la cobertura vegetal en el polígono de estudio comprendido entre el cerro Casigana y el Parque La Cantera.

2. Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) - Dren Francés:

Los SUDS representan un cambio significativo en la forma en que se gestiona el agua pluvial en las ciudades; es decir, buscan imitar los procesos naturales de infiltración y filtración del agua en suelos no intervenidos (Fletcher et al., 2015).

Los SUDS engloban técnicas como zanjas de infiltración, jardines de lluvia, pavimentos permeables y el dren francés. Este último, en particular, se considera altamente eficaz en entornos urbanos con espacio limitado. Su diseño incluye una zanja lineal con grava y una tubería perforada envuelta en geotextil, permitiendo captar, filtrar e infiltrar el agua subsuperficial. (Ballard et al., 2020)

Esta técnica, al ser instalada en puntos clave de acumulación de escorrentía, permite reducir el caudal que ingresa al sistema de alcantarillado, prolongando su vida útil y reduciendo el riesgo de desbordes.

3. Sistemas de Alcantarillado Tradicional:

Los sistemas de alcantarillado tradicionales se diseñaron principalmente para evacuar rápidamente las aguas pluviales y residuales de las áreas urbanas. Estos sistemas, aunque efectivos en condiciones normales, presentan limitaciones significativas cuando se enfrentan a eventos de precipitación extrema, cada vez más frecuentes debido al cambio climático (Medina Piza et al., 2018). En muchas ciudades, incluida Ambato, los sistemas de alcantarillado tradicionales se encuentran sobrecargados, lo que resulta en frecuentes inundaciones y daños a la infraestructura urbana.

A medida que las ciudades se expanden y el suelo urbano se impermeabiliza, los sistemas de alcantarillado enfrentan dificultades para manejar los volúmenes crecientes de escorrentía. Esto no solo afecta la capacidad de drenaje de las áreas urbanas, sino que también contribuye a la degradación de la calidad del agua (Rodríguez & Pérez, 2018). Por lo tanto, la necesidad de soluciones alternativas que puedan complementar los sistemas tradicionales se ha vuelto crítica, especialmente en áreas propensas a eventos climáticos extremos.

4. Separador Hidrociclónico como Pretratamiento en Sistemas de Drenaje Sostenible

La implementación de tecnologías de pretratamiento en el manejo de aguas pluviales urbanas es esencial para mejorar la eficiencia del sistema de drenaje, proteger la infraestructura y evitar la colmatación de los sistemas sostenibles como el dren francés. En este contexto, el separador hidrociclónico emerge como una tecnología clave para eliminar partículas sólidas y sedimentos finos en el flujo de escorrentía antes de su infiltración o conducción.

Un separador hidrociclónico opera mediante la fuerza centrífuga inducida por el flujo tangencial del agua dentro de una cámara cilíndrica. Esta fuerza separa los sólidos más pesados del agua, dirigiéndolos hacia la base del dispositivo, mientras que el agua limpia asciende para continuar su trayecto hacia los elementos de infiltración o almacenamiento (Persson et al., 2006).

Estos dispositivos son particularmente útiles en contextos urbanos donde la escorrentía arrastra grandes cantidades de contaminantes como residuos del pavimento, aceites y arenas. Su instalación antes de zanjas drenantes mejora el desempeño de sistemas tipo SUDS al reducir la obstrucción y prolongar su vida útil (Ellis et al., 2003).

En el presente proyecto, se propone instalar un separador hidrociclónico después del desarenador y antes del dren francés, como un punto de control estratégico de sólidos finos y aceites urbanos.

Ventajas:

- ✓ Baja necesidad de mantenimiento mecánico.
- ✓ Alta eficiencia en remoción de arenas y partículas finas (>90% para partículas >75 μm).
- ✓ Compacto y adaptable a espacios urbanos reducidos.

5. Integración de SUDS con Sistemas de Alcantarillado Tradicional:

La integración de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) con los sistemas de alcantarillado tradicionales ha sido reconocida como una solución efectiva para enfrentar los retos de gestión pluvial en entornos urbanos. Esta estrategia combina los beneficios de la infraestructura verde, como la infiltración descentralizada y la reducción del caudal pico, con la eficiencia del sistema convencional para evacuar excedentes pluviales en eventos extremos (Gimenez-Maranges et al., 2020).

En el contexto del presente estudio, el diseño propuesto contempla la instalación de drenajes franceses en puntos estratégicos, como el parterre de la Av. Manuela Sáenz y el parque La Cantera, conectados al sistema tradicional de alcantarillado. Esta intervención estará sustentada en la caracterización ecológica de la vegetación del cerro Casigana y del sector del Parque de la Cantera, la cual permitirán estimar indirectamente la capacidad de infiltración natural del suelo. Zonas con vegetación densa, cobertura herbácea o arbustiva, indican mayor retención superficial y subterránea, mientras que zonas desprovistas o con vegetación degradada tienden a incrementar la escorrentía superficial.

La caracterización vegetal cumple una función clave: identificar sectores de alta o baja infiltración según la cobertura presente, lo que orientará el diseño y la ubicación precisa de las soluciones sostenibles.

6. Impacto Socioambiental:

La adopción de soluciones basadas en la naturaleza, como los SUDS, tiene implicaciones positivas no solo desde la ingeniería hidráulica, sino también desde la planificación urbana sostenible y la resiliencia ambiental. La implementación de drenes franceses en zonas verdes urbanas, en combinación con vegetación funcional, permite restaurar parcialmente el ciclo hidrológico local, facilitar la recarga de acuíferos y crear microclimas urbanos saludables. (Fletcher et al., 2015)

Siendo así que, esta estrategia promueve la valorización ecológica del espacio urbano. El análisis de la vegetación del cerro Casigana y el parque La Cantera no solo servirá como parámetro técnico para el diseño de drenaje, sino también como herramienta para fomentar la restauración ecológica de sectores deforestados o erosionados.

Las áreas con buena cobertura vegetal son capaces de retener hasta un 60% de las lluvias moderadas antes de que se genere escorrentía, como lo demuestran estudios de hidrología urbana aplicados en laderas con vegetación nativa. (Bruijnzeel, 2004)

Desde una perspectiva ambiental, el uso de vegetación como indicador de infiltración representa una metodología no invasiva, económica y replicable en otros contextos urbanos andinos. En conjunto, estas acciones posicionan la gestión del agua pluvial no solo como un desafío técnico, sino también como una oportunidad para restaurar relaciones ecológicas, mejorar la calidad de vida urbana y mitigar el impacto de eventos climáticos extremos.

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de investigación

El presente estudio se enmarca en una investigación no experimental, con enfoque correlacional y analítico, dado que no se manipulan variables, sino que se observan y relacionan fenómenos existentes como la escorrentía superficial y la cobertura vegetal en zonas urbanas. Se plantea un diseño de investigación de campo con recolección de datos primarios y secundarios.

La metodología aplicada será de carácter mixto, combinando herramientas cuantitativas (cálculo de caudales de escorrentía, coeficientes de escorrentía, análisis pluviométrico) y cualitativas (caracterización de la cobertura vegetal mediante observación directa). Esta combinación permitirá obtener un diagnóstico integral sobre el comportamiento hídrico del área de estudio.

Es correlacional porque busca establecer la relación entre la integración de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) y los sistemas de alcantarillado tradicionales, específicamente en la mitigación de inundaciones en la Av. Manuela Sáenz en Ambato. Asimismo, el análisis se basa en evaluar la efectividad de estas soluciones en la mejora de la gestión de aguas pluviales.

Se realizará una caracterización de la vegetación presente en los sectores clave: cerro Casigana (*zona alta emisora de escorrentía*) y parque La Cantera (*zona receptora e intervenida*). Esta caracterización permitirá determinar la capacidad de retención hídrica del suelo en función de la densidad, tipo, cobertura y estructura vegetal.

3.2. Población o muestra:

La población objeto de estudio comprende la microcuenca urbana del cerro Casigana y la zona de influencia directa de escorrentía hacia la Avenida Manuela Sáenz y el Parque La Cantera, ubicadas en el cantón Ambato.

La muestra corresponde a una superficie aproximada de 15 hectáreas, delimitada mediante sistemas de información geográfica (ArcGIS) y validación en campo. La selección de esta unidad muestral responde a criterios topográficos, hidrológicos y urbanos, enfocándose en las zonas críticas de acumulación pluvial e intervención técnica.

3.3. Prueba de Hipótesis - pregunta científica – idea a defender

3.3.1. Hipótesis

La escorrentía generada desde el cerro Casigana es intensificada por la cobertura vegetal degradada o poco densa, provocando una mayor escorrentía superficial hacia la Av. Manuela Sáenz. La implementación de dren francés en el parque La Cantera y el parterre central de la avenida, conectados al sistema de alcantarillado tradicional, permitirá regular el flujo y disminuir significativamente el riesgo de inundación.

3.3.2. Pregunta Científica:

¿Puede el análisis de la vegetación existente en el cerro Casigana y el parque La Cantera servir como base técnica para diseñar soluciones sostenibles de infiltración, como el dren francés, que se integren al sistema de alcantarillado tradicional y reduzcan la escorrentía urbana en la Av. Manuela Sáenz?

3.3.3. Idea a defender:

La cobertura vegetal actúa como un indicador indirecto de la capacidad de infiltración del suelo. Mediante la identificación y caracterización de la vegetación en zonas clave, es posible diseñar e implementar infraestructuras sostenibles de drenaje como el dren francés, conectadas al alcantarillado tradicional. Esta solución mixta permite mejorar la eficiencia hidráulica del sistema urbano y reducir significativamente el riesgo de inundación en Ambato.

3.4. Recolección de información:

La información se recolectará a través de métodos mixtos:

3.4.1. Análisis de vegetación y cobertura verde

Se utilizará imágenes satelitales (Sentinel-2, Google Earth Pro) y trabajo de campo y se evaluará:

- ✓ Tipo de vegetación predominante
- ✓ Densidad de cobertura
- ✓ Presencia de especies indicadoras
- ✓ Estructura del dosel

Se calculará el índice **NDVI** (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) para estimar la capacidad de retención hídrica del área vegetal.

3.4.2. Revisión pluviométrica y climática

Se utilizará datos de precipitación de la estación meteorológica del Aeropuerto de Ambato, proporcionados por el INAMHI, para identificar intensidades máximas y calcular caudales de diseño por eventos de lluvia críticos.

3.4.3. Levantamiento topográfico y georreferenciación

A través de planos base y modelos digitales, se recopilará pendientes y curvas de nivel para determinar la dirección de escorrentía desde el cerro Casigana hasta las zonas de intervención.

3.4.4. Evaluación indirecta de la infiltración mediante Análisis de Vegetación (NDVI)

Se optó por realizar una evaluación indirecta de la capacidad de infiltración del suelo mediante el análisis de cobertura vegetal. Para ello, se procesaron imágenes satelitales recientes utilizando herramientas SIG y cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).

La interpretación de los datos NDVI indicó que el área presenta predominantemente suelo abierto (55.82%) y vegetación escasa (28.07%), condiciones que reflejan una reducida cobertura vegetal con escasa protección frente a la escorrentía superficial. Solo el 2.25% del área posee vegetación densa, mientras que un 13.87% se encuentra con vegetación moderada.

Estos resultados refuerzan la necesidad de implementar infraestructura verde tipo SUDS, como el dren francés, que contribuya a mitigar el aumento de escorrentía en áreas con cobertura vegetal deficiente.

3.4.5. Software Complementarios

- ✓ AutoCAD Civil 3D
- ✓ EOSDA Crop Monitoring
- ✓ Microsoft Excel

3.5. Procesamiento de la información y análisis estadístico:

La metodología contempla un análisis comparativo entre el comportamiento hidráulico actual (*solo alcantarillado*) y un modelo mejorado con dren francés conectado al sistema tradicional.

3.5.1. Cálculo del caudal de escorrentía

$$Q = C * I * A$$

Dónde:

Q = Caudal de Escorrentía

C = Coeficiente de Escorrentía

I = Intensidad de Lluvia de eventos críticos ($\frac{mm}{h}$)

A = Área de aporte desde el cerro Casigana (ha)

Estos valores son orientativos y pueden ajustarse a través de ensayos o calibración local. En el caso del presente estudio, se han estimado valores C de 0.70 para suelo abierto, 0.55 para vegetación escasa, 0.50 para vegetación moderada y 0.35 para vegetación densa.

3.5.2. Análisis NDVI

Se analizará los valores de NDVI para validar la hipótesis de relación inversa entre cobertura vegetal y caudal generado.

3.5.3. Modelado Comparativo

Se realizará una comparación de dos escenarios:

- ✓ **Escenario 1:** Solo sistema de alcantarillado tradicional (condición actual).
- ✓ **Escenario 2:** Sistema integrado con dren francés + alcantarillado tradicional.

3.5.4. Análisis estadístico de resultados

- ✓ Se aplicará la prueba T de Suden para contrastar escorrentía entre escenarios
- ✓ También se utilizará ANOVA para evaluar diferencias entre subzonas según cobertura vegetal

3.5.5. Validación de resultados

- ✓ Los resultados se contrastarán con estudios científicos y normas técnicas para proponer recomendaciones viables.
- ✓ Los resultados serán representados en gráficas y tablas de caudales, mapas de NDVI y esquemas de drenaje sostenible.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. Introducción

En este capítulo presenta los principales hallazgos obtenidos a partir del análisis hidrológico, la caracterización de la vegetación, y la comparación de escenarios de drenaje urbano en la zona de estudio. Los resultados se interpretan desde una perspectiva técnica y socioambiental, a fin de evaluar la viabilidad y el impacto de la integración de un dren francés con el sistema de alcantarillado tradicional en la Av. Manuela Sáenz, ciudad de Ambato.

Se inicia desde una caracterización del sistema actual (solo alcantarillado), se analiza la capacidad de infiltración del suelo inferida a partir de la vegetación, y se plantea un escenario mejorado con SUDS (dren francés), evaluando su efectividad en términos de reducción del caudal de escorrentía.

4.1. Polígono de Estudio

Ilustración 1. Zona de Estudio



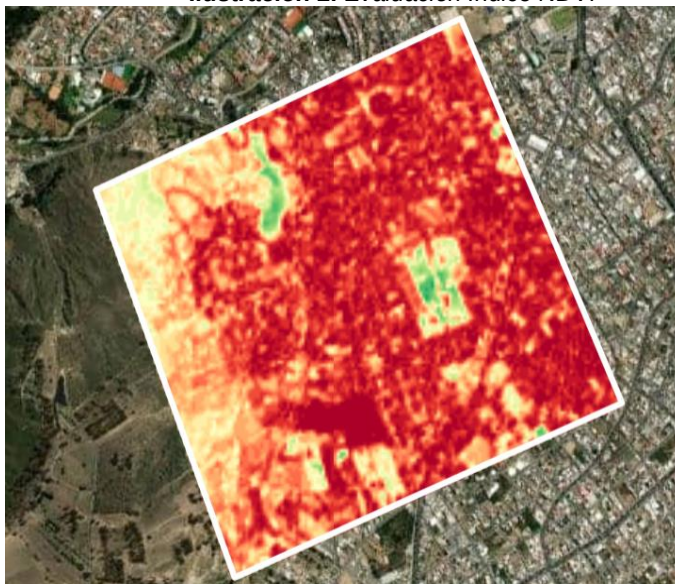
Elaborado por: Ing. Ana María Amaya Díaz

El polígono de estudio se ubica en la zona urbana sur del cantón Ambato, delimitado entre el cerro Casigana (zona emisora de escorrentía superficial) y el parque La Cantera (zona receptora de acumulación pluvial), atravesando la Av. Manuela Sáenz, eje vial estratégico. La ortofoto georreferenciada (*Ilustración 1.*) evidencia el uso predominante del suelo: en la zona alta (Casigana) existe vegetación fragmentada y zonas abiertas, mientras que en el

sector medio y bajo predominan superficies impermeables como calles, techos y pavimento urbano, lo que incrementa significativamente el volumen de escorrentía.

4.2. Evaluación del Índice NDVI en el área de estudio

Ilustración 2. Evaluación Índice NDVI



Elaborado por: Ing. Ana María Amaya Díaz

Con el objetivo de caracterizar el comportamiento hidrológico del área de estudio, se utilizó el software EOSDA Crop Monitoring con imágenes satelitales Sentinel-2, correspondientes al 08 de agosto de 2025, para calcular el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).

Este indicador permite estimar de forma indirecta la densidad de cobertura vegetal y, por ende, inferir la capacidad de infiltración y retención hídrica del suelo.

Ilustración 3. Análisis NDVI Zona de Estudio



Elaborado por: Ing. Ana María Amaya Díaz

Los resultados indican que el 55.82 % del área corresponde a suelo abierto, lo cual implica escasa cobertura vegetal y, por ende, baja capacidad de retención o interceptación de agua lluvia. Solo el 16.12 % del área posee vegetación moderada o densa, lo cual sugiere que la capacidad de infiltración natural es reducida, incrementando la escorrentía superficial hacia zonas bajas como la Av. Manuela Sáenz.

4.3. Caracterización del entorno natural: vegetación como indicador hidrológico

Se identificaron áreas con diferente capacidad de interceptación, retención y permeabilidad del agua, clasificadas en función de los siguientes criterios:

- ✓ **Vegetación predominante:** Se identificaron especies nativas, ornamentales o exóticas según el uso del suelo (parque, parterre o ladera).
- ✓ **Densidad de cobertura vegetal:** Se evaluó en campo y con NDVI, determinando si es densa, moderada o escasa.
- ✓ **Presencia de especies indicadoras:** Se identificaron especies como: gramíneas o herbáceas resistentes que reflejan alteraciones del suelo.
- ✓ **Estructura del dosel:** Analizada por observación directa, se identificó la presencia de arbustos, árboles y herbáceas.

4.3.1. Vegetación Cerro Casigana

El Cerro Casigana presenta una cobertura vegetal mixta, combinando sectores con vegetación arbustiva nativa, zonas con gramíneas ralas y áreas totalmente deforestadas o urbanizadas. Mediante imágenes satelitales (Sentinel 2, NDVI) y validación en campo, se clasificaron tres zonas:

- ✓ **Zona A (alta cobertura):** Presencia de gramíneas, árboles nativos, y arbustos. (NDVI > 0.5)
- ✓ **Zona B (cobertura intermedia):** Predominancia de vegetación secundaria, con presencia discontinua de arbustos. (NDVI $\approx$ 0.35 – 0.5.)
- ✓ **Zona C (baja cobertura):** sectores erosionados o urbanizados, con escasa o nula vegetación. (NDVI < 0.3)

Tabla 1. Análisis de vegetación y Cobertura verde (Cerro Casigana)

VEGETACIÓN PREDOMINANTE	ESPECIES INDICADORAS	DENSIDAD DE COBERTURA	ESTRUCTURA DEL DOSEL
Moderada Secundaria Arbustiva	Gramíneas, árboles nativos dispersos y arbustos	Heterogénea	Mixto (De arbustivo a ausente)

Elaborado por: Ing. Ana María Amaya Díaz

Ilustración 4. NDVI Cerro Casigana



Elaborado por: Ing. Ana María Amaya Díaz

4.3.2. Vegetación del parque La Cantera y Parterre Av. Manuela Sáenz

El Parque La Cantera, ubicado en una zona baja, presenta vegetación escasa y ornamental, con césped, flores de jardín y árboles de copa pequeña. El parterre de la Av. Manuela Sáenz cuenta con césped recortado, plantas ornamentales y árboles en hilera.

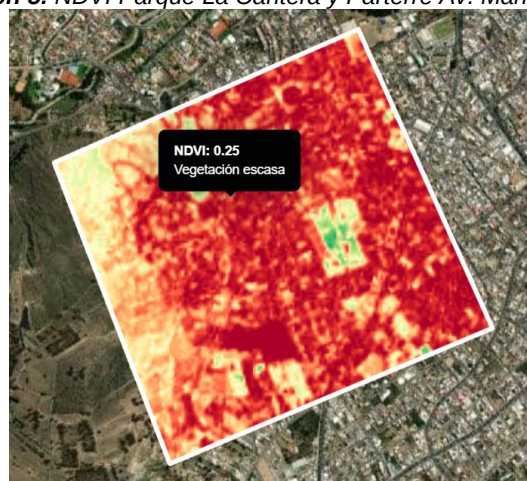
El índice NDVI obtenido en estas zonas varía entre 0.25 y 0.30, lo cual indica una capacidad de infiltración baja, susceptible de ser mejorada con la implementación de SUDS.

Tabla 2. Análisis de vegetación y Cobertura verde (Parque La Cantera y Parterre Av. Manuela Sáenz)

VEGETACIÓN PREDOMINANTE	ESPECIES INDICADORAS	DENSIDAD DE COBERTURA	ESTRUCTURA DEL DOSEL
Césped y especies ornamentales	Flores de temporada y arbustos decorativos (No adaptados a la infiltración)	Baja o discontinua, suelos parcialmente desnudos (Suelo abierto 55.82%)	Escasa cobertura arbórea o arbustiva (Reduce el efecto de sombra y evapotranspiración)

Elaborado por: Ing. Ana María Amaya Díaz

Ilustración 5. NDVI Parque La Cantera y Parterre Av. Manuela Sáenz



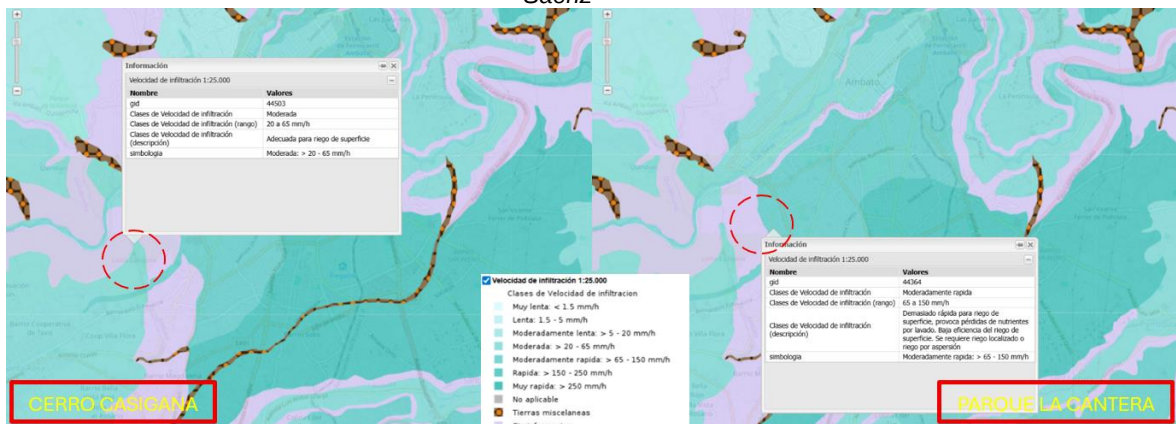
Elaborado por: Ing. Ana María Amaya Díaz

4.4. Velocidad de Infiltración (MAG)

La caracterización de la cobertura vegetal, obtenida mediante análisis NDVI del 8 de agosto de 2025, y la velocidad de infiltración del suelo, extraída de capas oficiales del geoportal de datos abiertos del MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador), permiten comprender con mayor precisión el comportamiento hidrológico de la microcuenca del cerro Casigana hacia la Av. Manuela Sáenz.

Este enfoque sustituye el tradicional estudio de suelos por una interpretación indirecta pero válida basada en la vegetación y la capacidad natural de infiltración del terreno.

Ilustración 6. Velocidad de Infiltración Cerro Casigana vs Parque La Canter a y Parterre Av. Manuela Sáenz



Elaborado por: Ing. Ana María Amaya Díaz

Cerro Casigana

- ✓ **Cobertura vegetal predominante:** vegetación escasa (28.07%) y vegetación moderada (13.87%).
- ✓ **Clasificación NDVI:** valores entre 0.5 y 0.3.
- ✓ **Clase de infiltración (MAG):** moderada, con un rango de 20 a 65 mm/h, adecuada para riego por superficie.

Estos datos sugieren que el cerro Casigana mantiene una cierta capacidad de absorción, aunque limitada, lo cual se correlaciona con la vegetación de tipo escasa y moderada. Esta condición hidrológica implica que, durante eventos de lluvia, el sector emisor genera escorrentía significativa, pero con cierto retardo en comparación con zonas totalmente impermeables. La pendiente del cerro potencia el transporte superficial del agua hacia la zona baja.

Parque La Canter a y Parterre Av. Manuela Sáenz

- ✓ **Cobertura vegetal predominante:** suelo abierto (55.82%) y vegetación escasa (28.07%).
- ✓ **Clasificación NDVI:** valores cercanos a 0 o negativos en gran parte del área.

- ✓ **Clase de infiltración (MAG):** moderadamente rápida, con valores entre 65 a 150 mm/h, lo que permite cierta infiltración directa siempre que se disponga de estructuras adecuadas.

A pesar de que el parque La Cantera y el Parterre de la Av. Manuela Sáenz presentan suelos con buena capacidad de infiltración según el mapa MAG; el NDVI y en campo se evidencia que la cobertura vegetal es prácticamente nula, lo cual reduce el efecto de retención superficial y evapotranspiración. Esto sugiere que el escurrimiento superficial puede producirse rápidamente, aunque con potencial para infiltrarse si se implementan soluciones tipo SUDS como el dren francés.

Es por ello por lo que, la cobertura vegetal influye directamente en la capacidad de infiltración efectiva del suelo. El cerro Casigana, con vegetación escasa y moderada, presenta una infiltración moderada, mientras que en el Parque La Cantera y en el Parterre de la Av. Manuela Sáenz, aunque tienen mejor clase de infiltración en el subsuelo, sufre de escasa cobertura vegetal, lo que limita la capacidad de control de escorrentía sin intervención técnica.

El análisis integrado sugiere que la vegetación actual en los sectores evaluados no cumple adecuadamente su función como elemento regulador del ciclo hidrológico urbano. Es decir; para mejorar la capacidad de infiltración del agua pluvial, reducir la escorrentía superficial y estabilizar suelos en los sectores intervenidos, se propone una estrategia de *revegetación* basada en especies funcionales con raíces profundas, resilientes ante condiciones de sequía, adaptadas al clima y suelo local.

- ✓ En el Cerro Casigana, la *revegetación* debe enfocarse en las zonas B y C mediante la introducción de especies nativas arbustivas y gramíneas de raíz profunda, que favorezcan la retención del agua y la recuperación del dosel. Se recomienda establecer zanjas de infiltración vegetadas, como transición hacia las zonas bajas.
- ✓ En el Parque La Cantera y parterre de la Av. Manuela Sáenz, se sugiere *reemplazar parcialmente* el césped y las especies ornamentales por vegetación con mayor cobertura radicular y mejor adaptabilidad al clima seco, como gramíneas nativas, plantas de hoja perenne, especies tapizantes y árboles de sombra de bajo porte, para mejorar la infiltración superficial.

A continuación, se describen las clases de especies recomendadas, con sus características hidrológicas y ecológicas:

Tabla 3. Especies para revegetación zona de estudio

TIPO DE VEGETACIÓN	ESPECIE	CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS	CARACTERÍSTICAS ECOLÓGICAS
GRAMÍNEAS DE BAJO MANTENIMIENTO	Pennisetum clandestinum, Cynodon dactylon	Alta retención superficial, reduce erosión, cobertura densa	Adaptación a suelos pobres, bajo mantenimiento
ARBUSTOS CON RAÍCES PROFUNDAS	Dodonaea viscosa, Baccharis salicifolia	Favorece infiltración, estabiliza taludes	Tolerancia a sequía, crecimiento en pendientes
ÁRBOLES MEDIANOS NATIVOS	Myrica pubescens, Inga feuillei	Intercepción de lluvia, aumenta infiltración, sombra y retención	Adaptación local, mejora microclima

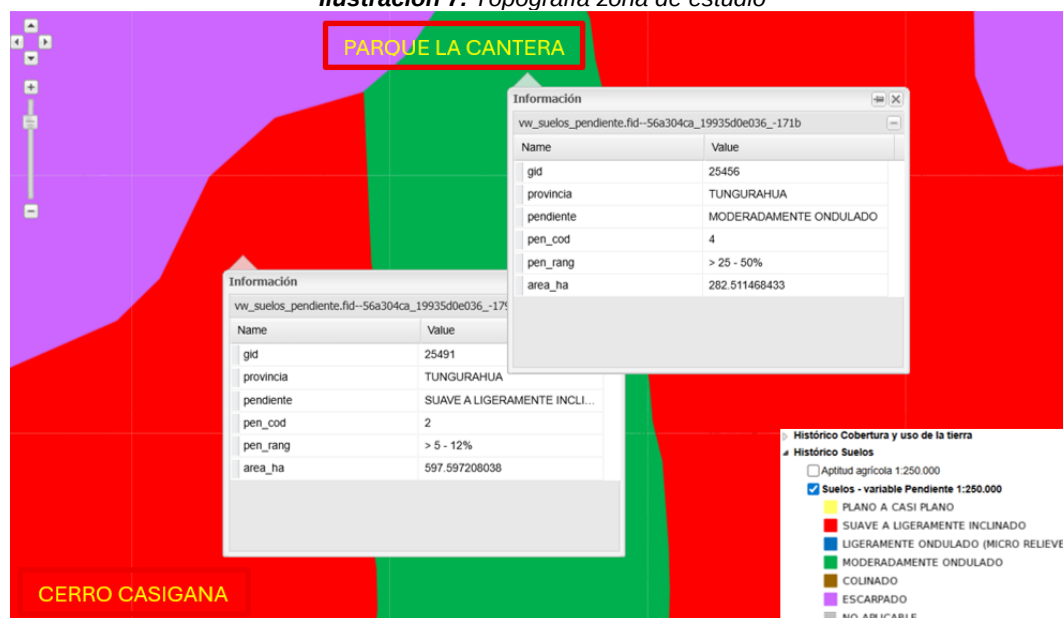
Elaborado por: Ing. Ana María Amaya Díaz

4.5. Análisis Topográfico

La pendiente del terreno influye directamente en el comportamiento de la escorrentía superficial, determinando tanto la velocidad como la dirección del flujo pluvial. Teniendo en cuenta la condición de cobertura vegetal y la permeabilidad del suelo, los cuales modulan la capacidad de infiltración y retención hídrica.

Con base en la cartografía oficial del geoportal del MAG, el NDVI (08 de agosto de 2025) y la capa de velocidades de infiltración, se presenta el siguiente análisis para los sectores clave del estudio:

Ilustración 7. Topografía zona de estudio



Elaborado por: Ing. Ana María Amaya Díaz

Cerro Casigana

Este sector presenta una morfología menos abrupta que permite una mayor retención temporal de escorrentía, especialmente en áreas donde persiste vegetación. Sin embargo, la cobertura vegetal no es homogénea: existen zonas intervenidas (senderos, lotes abiertos, zonas erosionadas) que presentan escasa o nula vegetación, disminuyendo así la infiltración local y favoreciendo el escurrimiento superficial. Estas condiciones convierten al cerro Casigana en una fuente principal de escorrentía dirigida hacia zonas urbanas bajas como la Av. Manuela Sáenz y este comportamiento hace del cerro Casigana un emisor activo de escorrentía hacia la zona baja, especialmente en eventos de lluvia media a intensa.

Parque La Cantera y Parterre Av. Manuela Sáenz

Pese a que el suelo presenta condiciones naturales favorables para la infiltración (clasificación de infiltración “moderadamente rápida” del MAG), el alto grado de impermeabilización como adoquines, canchas, áreas pavimentadas, entre otras; y la escasa vegetación reducen significativamente esa capacidad en la práctica. Además, la mayor pendiente acelera la velocidad de escurrimiento, facilitando la acumulación en los puntos bajos del parque, especialmente en eventos de lluvia intensa.

Al momento de realizar un análisis de la relación entre pendiente, infiltración y cobertura; la integración de estos tres factores permite concluir que el comportamiento hidrológico del área de estudio responde a una combinación de condiciones naturales moderadas con una fuerte intervención urbana. Mientras el cerro Casigana actúa como un colector y canal natural de escorrentía superficial hacia el eje vial de la Av. Manuela Sáenz, la zona del Parque La Cantera, con mayor pendiente y menor vegetación, facilita el escurrimiento rápido, convirtiéndose en un área crítica para la gestión pluvial.

Tabla 4. Riesgo Hidrológico

SECTOR	PENDIENTE (%)	INFILTRACIÓN	VEGETACIÓN (NDVI)	RIESGO HIDROLÓGICO
Cerro Casigana	5.00 – 12.00	Moderada	Escasa y moderada	Emisor de escorrentía a zonas bajas
Parque La Cantera	25.00 – 50.00	Moderadamente rápida	Suelo abierto y escasa	Acumulación rápida sin retención natural

Elaborado por: Ing. Ana María Amaya Díaz

Este análisis respalda la necesidad de implementar soluciones sostenibles como drenes franceses, especialmente en zonas de transición como el parterre central de la avenida y el

parque, donde se puede captar y derivar parte del caudal superficial hacia estructuras de infiltración subterránea, aliviando así el sistema de alcantarillado tradicional.

4.6. Modelado Comparativo

- ✓ **Escenario I:** Solo sistema de alcantarillado tradicional (Actualidad).
- ✓ **Escenario II:** Sistema integrado con dren francés + alcantarillado tradicional.

(Escenario I)

Método Racional

Cálculo del Coeficiente de Escorrentía (C)

Tabla 5. Cálculo Coeficiente de Escorrentía

CLASE (NDVI)	TIPO DE SUELO	PARTICIPACIÓN (%)	PESO (FRACCIÓN)	C ADOPTADO	C CALCULADO
SUELO ABIERTO	Impermeable (Pendiente Media)	55.82	0.56	0.70	0.39
VEGETACIÓN ESCASA	Impermeable (Pendiente Media)	28.07	0.28	0.55	0.15
VEGETACIÓN MODERADA	Impermeable (Pendiente Media)	13.87	0.14	0.50	0.07
VEGETACIÓN DENSA	Semipermeable (Pendiente Media)	2.25	0.02	0.35	0.01
					0.62

Elaborado por: Ing. Ana María Amaya Díaz

Se utilizó el Anuario Hidrometeorológico de la Estación Aeropuerto (MT-0007); es decir, se tomó la precipitación máxima diaria registrada, ver tabla completa en *Ilustración 16*.

Ilustración 8. P Máximo Diario

28	1,80	0,00	12,20	22,00	4,80	9,30	1,50	0,00	0,00	1,00	3,00	0,10
29	0,00		6,00	3,20	3,60	16,10	43,20	0,10	0,00	0,80	0,70	0,20
30	0,00		2,40	0,20	2,90	2,00	5,40	0,00	0,00	2,80	1,20	0,10
31	0,00		10,00		3,00		1,10	0,10		0,70		0,20
Acumulada	94,80	24,80	92,20	130,70	52,60	128,40	145,00	62,10	1,40	39,40	104,50	171,70
Máximo Diario	29,90	9,30	19,10	26,60	8,20	22,00	43,20	13,20	0,10	9,60	13,50	15,40
Días con Lluvia	14,00	5,00	15,00	21,00	11,00	24,00	22,00	7,00	0,00	9,00	19,00	9,00

AÑO COMPLETO: 365 días

ABREVIATURAS: Día seco

Maximo Diario: 43,20

TOTAL ANUAL: 1047,60 mm

(-) Sin dato

Total dias lluvia: 156

Elaborado por: Ing. Ana María Amaya Díaz

$$P_{24\text{máx}} = 43.20 \text{ mm}$$

El total anual y los días con lluvia se emplean solo como contexto; para el Método Racional se requiere una intensidad cuya duración sea igual al tiempo de concentración t_c del área de aporte.

Cálculo de Tiempo de Concentración (t_c)

Se adopta la fórmula de Kirpich para cuencas urbanas pequeñas:

$$t_{c(\text{min})} = 0.0195 * L^{0.77} * S^{-0.385}$$

Dónde:

L = Longitud Hidráulica (m)

S = Pendiente media ($\frac{m}{m}$)

Datos:

$L \approx 1100 \text{ m}$

$S \approx 0.09$

$$t_{c(\text{min})} = 0.0195 * (1100 \text{ m})^{0.77} * (0.09)^{-0.385}$$

$$t_{c(\text{min})} = 10.83 \text{ min}$$

$$t_{c(\text{min})} \approx 12.00 \text{ min}$$

Cálculo de Intensidad de Lluvia (I)

Cabe mencionar que el Anuario Hidrometeorológico de la Estación Aeropuerto (MT-0007) es diario; es decir, cuando solo se dispone de precipitación máxima diaria ($P_{24\max}$) y no existen curvas IDF locales, se deberá desagregar ($P_{24\max}$) a duraciones subdiarias mediante coeficientes temporales r_t (fracción del máximo diario que puede concentrarse en una duración t).

1. (Hodges et al., 1961) muestra que la razón entre la lluvia de 1 h y la de 24 h para la misma recurrencia varía típicamente del 10 % al >60% según el régimen climático, con promedio cercano al 40%.
Es decir, de manera general, entre 0,10 y 0,60 de la lluvia diaria puede concentrarse en 1 hora, siendo $\approx 0,40$ un valor medio representativo.
2. (Bonnin et al., n.d.) aporta ratios empíricos de n-minutos respecto de 60 min:
10 min/60 min = 0,484; 15 min/60 min = 0,600 (promedios regionales).
Por interpolación lineal, 12 min/60 min $\approx 0,55$. Estos cocientes son consistentes con estudios previos.

Siendo así que, la fracción **12 min/24 h** puede aproximarse como:

$$\underbrace{\frac{P_{12}}{P_{24}}} \approx \underbrace{\frac{P_{12}}{P_{60}}} * \underbrace{\frac{P_{60}}{P_{24}}}$$

0.22 y 0.33 0.55 0.40 y 0.60

$$r_{12} = 0.28$$

De esta manera, r_{12} queda típicamente en el rango 0.22–0.33; y seleccionar $r_{12} = 0,28$ se ubica en el centro-alto de ese intervalo, coherente con eventos convectivos de corta duración y con el criterio conservador adoptado para el área urbana de estudio.

$$h_{12 \min} = r_{12} * P_{24\max}$$

$$h_{12 \min} = 0.28 * 43.20 \text{ mm}$$

$$h_{12 \min} = 12.10 \text{ mm}$$

Intensidad de diseño para ($t_c=12$ min)

$$I_{12} = \frac{h_{12 \min}}{t_c}$$
$$I_{12} = \frac{12.10 \text{ mm}}{12.00 \text{ min}} * 60$$

$$I_{12} = 60.50 \text{ mm/h}$$

Cálculo de Caudal (Q)

$$Q = C * I * A$$

Dónde:

$$Q = \text{Caudal de Escorrentía } \left(\frac{m^3}{s}\right)$$

$C = \text{Coeficiente de Escorrentía}$

$$I = \text{Intensidad de Lluvia de eventos críticos } \left(\frac{mm}{h}\right)$$

$A = \text{Área de aporte desde el cerro Casigana (ha)}$

Datos:

Área de Aporte (A) = 15 Ha

Coeficiente de Escorrentía (C) = 0.62

Intensidad de Lluvia (I) = 60.50 mm/h

$$Q = 0.62 * 60.50 \frac{mm}{h} * \frac{150,000}{3600}$$

$$Q = 1562.92 \text{ l/s}$$

$$Q = 1.56 \text{ m}^3/\text{s}$$

El caudal estimado de escorrentía superficial que llega a la Av. Manuela Sáenz desde el cerro Casigana es de aproximadamente 1.56 m³/s, lo cual representa una carga significativa para el sistema de alcantarillado existente.

4.7. Análisis estadístico de resultados

T Student (Escenario I vs Escenario II)

Datos:

Área de Aporte (A) = 15 Ha

Coeficiente de Escorrentía (C) = 0.62

Para obtener un caso más exigente que la Intensidad de lluvia de 60,5 mm/h ($\approx t_c$), se tomará un coeficiente alto para 12 min:

- Coeficiente adoptado: $r_{12} = 0.35$

Cota superior del rango usado para tormentas convectivas cortas cuando no hay IDF locales; sirve como intermedio conservador entre el caso base y el severo).

$$h_{12 \min} = r_{12} * P_{24\text{m}\acute{a}x}$$

$$h_{12 \min} = 0.35 * 43.20 \text{ mm}$$

$$h_{12 \min} = 15.12 \text{ mm}$$

Intensidad de diseño para ($t_c=12 \text{ min}$)

$$I_{12} = \frac{h_{12 \min}}{t_c}$$

$$I_{12} = \frac{15.12 \text{ mm}}{12.00 \text{ min}} * 60$$

$$I_{12} = 75.60 \text{ mm/h}$$

Para un chequeo de pico más intenso y largo (15 min), usamos un coeficiente alto tpico para 15 min:

- Coeficiente adoptado: $r_{15} = 0.49$

$$h_{15 \min} = r_{15} * P_{24\text{m}\acute{a}x}$$

$$h_{15 \min} = 0.49 * 43.20 \text{ mm}$$

$$h_{15 \min} = 21.17 \text{ mm}$$

Intensidad de diseño para ($t_c=15 \text{ min}$)

$$I_{15} = \frac{h_{15 \min}}{t_c}$$

$$I_{15} = \frac{21.17 \text{ mm}}{15.00 \text{ min}} * 60$$

$$I_{15} = 84.70 \text{ mm/h}$$

Tabla 6. T Student (Escenario I vs Escenario II)

$I \left(\frac{mm}{h} \right)$	Q_1 (Solo Alc.) $\left(\frac{m^3}{s} \right)$	Q_2 (SUDS+ Alc.) $\left(\frac{m^3}{s} \right)$	$Q_1 - Q_2$ $\left(\frac{m^3}{s} \right)$
60.50	1.56	1.09	0.47
75.00	1.94	1.36	0.58
84.70	2.19	1.53	0.66

Elaborado por: Ing. Ana María Amaya Díaz

Se comprobará si la integración SUDS reduce **el caudal pico** que llega a la red respecto del escenario solo alcantarillado.

Escenario II < Escenario I

$$\bar{d} = \frac{(0.47 + 0.58 + 0.66) m^3/s}{3}$$

$$\bar{d} = 0.57 m^3/s$$

Desviación Estándar (Respecto a $\bar{d}$)

$$= (0.47 - 0.57) m^3/s$$

$$= -0.09 m^3/s$$

$$= (0.58 - 0.57) m^3/s$$

$$= 0.01 m^3/s$$

$$= (0.66 - 0.57) m^3/s$$

$$= 0.08 m^3/s$$

$$= (-0.09)^2 + (0.01)^2 + (0.08)^2 m^3/s$$

$$= 0.0178 m^3/s$$

Varianza Muestral

$$S^2_d = \frac{0.0178 m^3/s}{n - 1}$$

$$S^2_d = \frac{0.0178 \text{ m}^3/\text{s}}{3 - 1}$$

$$S^2_d = 0.0089 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$S_d = \sqrt{0.0089 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$S_d = 0.094 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$t = \frac{\bar{d}}{\frac{S_d}{\sqrt{n}}}$$

$$t = \frac{0.57 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{0.094 \text{ m}^3/\text{s}}{\sqrt{3}}}$$

$$t = 10.44$$

Grados de libertad: $gl = n - 1$

$$gl = 3 - 1 = 2$$

$$H_1: \mu_d > 0$$

Como la hipótesis es direccional; es decir, los SUDS reduce el pico, se usará el contraste unilateral. El valor de t es muy superior al crítico, por lo que se rechaza H_0 : la reducción de caudal con SUDS es estadísticamente significativa.

Tamaño de Efecto

$$d_{Cohen} = \frac{\bar{d}}{S_d}$$

$$d_{Cohen} = \frac{0.57 \text{ m}^3/\text{s}}{0.094 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$d_{Cohen} = 6.03$$

Un d de 6 indica un efecto extremadamente grande; es decir, la reducción no solo es significativa, sino también técnicamente muy alta.

Al realizar el análisis T Student pareada ($t = 10,44$, $gl=2$, $p < 0,01$, unilateral), la integración SUDS + alcantarillado reduce significativamente el caudal pico que ingresa a la red respecto del escenario actual. La diferencia media es de $\approx 57 \text{ m}^3/\text{s}$, con un tamaño de efecto muy grande ($d = 6,03$), lo que confirma el impacto operativo de la solución propuesta.

ANOVA (Cobertura Vegetal vs Escorrentía)

Se realizará la comprobación si la cobertura vegetal representada por su coeficiente C en la Tabla 5) explica diferencias significativas en la escorrentía específica:

$$q' = C * I * \frac{10000}{3600}$$

Dónde:

C = Coeficiente de Escorrentía

I = Intensidad de Lluvia de eventos críticos ($\frac{\text{mm}}{h}$)

Tabla 7. ANOVA (Cobertura Vegetal vs Escorrentía)

CLASE (NDVI)	C ADOPTADO	$q' \rightarrow 60.50 \text{ mm/h}$	$q' \rightarrow 75.00 \text{ mm/h}$	$q' \rightarrow 84.70 \text{ mm/h}$	Media de Grupo
SUELO ABIERTO	0.70	117.64	145.83	164.69	142.72
VEGETACIÓN ESCASA	0.55	92.43	114.58	129.40	112.14
VEGETACIÓN MODERADA	0.50	84.03	104.17	117.64	101.94
VEGETACIÓN DENSA	0.35	58.82	72.92	82.35	71.36

Elaborado por: Ing. Ana María Amaya Díaz

Datos:

Coeficiente de Escorrentía (C) = 0.62

$$I = 60.50 \left(\frac{mm}{h} \right)$$

$$q' = C * I * \frac{10000}{3600}$$

Suelo Abierto (Escorrentía (C) = 0.70)

$$q' = 0.70 * 60.50 * \frac{10000}{3600}$$

$$q' = 117.64 \text{ mm/h}$$

Media de Grupo

$$m = \frac{(117.64 + 145.83 + 164.69) \text{ mm/h}}{3}$$

$$m = 142.72 \text{ mm/h}$$

Media General

$$\bar{q}'_g = \frac{(142.72 + 112.14 + 101.94 + 71.36) \text{ mm/h}}{4}$$

$$\bar{q}'_g = 107.04 \text{ mm/h}$$

$$SS_B = \sum_{i=1}^k n_i \left(\bar{q}'_i - \bar{q}'_g \right)^2$$

Datos:

Número de Grupos (k = 4)

N = 12

n_i = 3

Suelo Abierto (C = 0.70)

$$= 3 * (142.72 - 107.04)^2 \text{ mm/h}$$

$$= 3819.31 \text{ mm/h}$$

$$\approx 3819.00 \text{ mm/h}$$

Vegetación Escasa ($C = 0.55$)

$$= 3 * (112.14 - 107.04)^2 \text{ mm/h}$$

$$= 77.95 \text{ mm/h}$$

$$\approx 78.00 \text{ mm/h}$$

Vegetación Moderada ($C = 0.50$)

$$= 3 * (101.94 - 107.04)^2 \text{ mm/h}$$

$$= 77.95 \text{ mm/h}$$

$$\approx 78.00 \text{ mm/h}$$

Vegetación Densa ($C = 0.35$)

$$= 3 * (71.36 - 107.04)^2 \text{ mm/h}$$

$$= 3819.31 \text{ mm/h}$$

$$\approx 3819.00 \text{ mm/h}$$

$$SS_B = (3819.00 + 78.00 + 78.00 + 3819.00) \text{ mm/h}$$

$$SS_B = 7794.50 \text{ mm/h}$$

$$SS_W = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (q'_{ij} - \bar{q}'_i)^2$$

Suelo Abierto ($C = 0.70$)

$$= [(117.64 - 142.72)^2 + (145.83 - 142.72)^2 + (164.69 - 142.72)^2] \text{ mm/h}$$

$$= 1121.63 \text{ mm/h}$$

Vegetación Escasa ($C = 0.55$)

$$= [(92.42 - 112.14)^2 + (114.58 - 112.14)^2 + (129.40 - 112.14)^2] \text{ mm/h}$$

$$= 692.44 \text{ mm/h}$$

Vegetación Moderada ($C = 0.50$)

$$= [(84.03 - 101.94)^2 + (104.17 - 101.94)^2 + (117.64 - 101.94)^2] \text{ mm/h}$$

$$= 572.26 \text{ mm/h}$$

Vegetación Densa ($C = 0.35$)

$$= [(58.82 - 71.36)^2 + (72.92 - 71.36)^2 + (82.35 - 71.36)^2] \text{ mm/h}$$

$$= 280.41 \text{ mm/h}$$

$$SS_W = (1121.63 + 692.44 + 572.26 + 280.41) \text{ mm/h}$$

$$SS_W = 2666.74 \text{ mm/h}$$

Grados de libertad, cuadrados medios y estadístico F

Datos:

Número de Grupos ($k = 4$)

$N = 12$

$n_i = 3$

$$df_B = k - 1$$

$$df_B = 4 - 1$$

$$df_B = 3$$

$$df_W = N - k$$

$$df_W = 12 - 4$$

$$df_W = 8$$

$$MS_B = \frac{SS_B}{df_B}$$

$$MS_B = \frac{7794.50 \text{ mm/h}}{3}$$

$$MS_B = 2598.17$$

$$MS_W = \frac{SS_W}{df_W}$$

$$MS_W = \frac{2666.74 \text{ mm/h}}{8}$$

$$MS_W = 333.34$$

$$F = \frac{MS_B}{MS_W}$$

$$F = \frac{2598.17}{333.34}$$

$$F = 7.79$$

Existen diferencias significativas de escorrenría específica entre coberturas.

Tamaño de efecto

$$\eta^2 = \frac{SS_B}{SS_B + SS_W}$$

$$\eta^2 = \frac{7794.50 \text{ mm/h}}{7794.50 \text{ mm/h} + 2666.74 \text{ mm/h}}$$

$$\eta^2 = 0.75$$

El análisis realizado en ANOVA, confirma que la cobertura vegetal influye de forma significativa en la escorrenría específica:

$$q' F(3,8) = 7.79$$

$$p \approx 0.009 < 0.05$$

El tamaño de efecto es alto $\eta^2 = 0.75$, lo que indica que la cobertura explica aproximadamente el 75.00 % de la variabilidad observada en q' . Con los datos se demuestra un patrón relacionado con la teoría hidrológica: sin vegetación se presentan valores más altos de escorrentía, seguido por vegetación escasa, moderada y densa.

Es decir, que a mayor cobertura menor C y menor q' ; este resultado respalda la estrategia de revegetación y el uso de SUDS para reducir el caudal pico que llega al alcantarillado.

4.8. Diseño Dren Francés

4.8.1. Simulación del Escenario con Dren Francés + Vegetación

Se propone la instalación de un dren francés con las siguientes características:

Tabla 8. Diseño Dren Francés

ZONA	PROFUNDIDAD	RELLENO	TUBERÍA	PENDIENTE
PARQUE LA CANTERA	0,70 cm	Grava + Geotextil	Perforada: 4"	2,00 %
PARTERRE AV. MANUELA SÁENZ	0,70 cm	Grava + Geotextil	Perforada: 4"	2,00 %

Elaborado por: Ing. Ana María Amaya Díaz

Según (Ballard et al., 2020; Gómez et al., 2021), se estima que este sistema puede infiltrar entre 30 y 60% del caudal recibido, dependiendo del tipo de suelo y vegetación.

4.8.2. Capacidad estimada de infiltración del Dren Francés

Tabla 9. Capacidad estimada de infiltración del Dren Francés

ZONA	VEGETACIÓN	INFILTRACIÓN
PARQUE LA CANTERA	Media	35,00 %
PARTERRE AV. MANUELA SÁENZ	Escasa	25,00 %

Elaborado por: Ing. Ana María Amaya Díaz

$$C_{Inf} = \frac{35.00\% + 25.00\%}{2}$$

$$C_{Inf} = 30.00\%$$

La implementación de (dren francés + pretratamiento + revegetación), cuyo efecto de aplanamiento del pico se traduce en una disminución de ~30 % del caudal que alcanza la red:

$$Q_{SUDS} \approx 0.70 * Q$$

$$Q_{SUDS} \approx 0.70 * (1.56 \text{ m}^3/\text{s})$$

$$Q_{SUDS} \approx 1.09 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.9. Discusión de Resultados

4.9.1. Comparación de Escenarios

Tabla 10. Alcantarillado vs SUDS+Alcantarillado

ESCENARIO	CAUDAL HACIA ALCANTARILLADO	REDUCCIÓN ESTIMADA	RIESGO DE INUNDACIÓN
ALCANTARILLADO	1.56 m ³ /s	0.00 %	Alto
SUDS + ALCANTARILLADO	1.09 m ³ /s	30.00 %	Medio - Bajo

Elaborado por: Ing. Ana María Amaya Díaz

La implementación de SUDS reduce el pico a ≈1,09 m³/s, incrementando el margen de seguridad hidráulica y disminuyendo la probabilidad de inundaciones en la Av. Manuela Sáenz.

Es decir, el dren francés infiltra aproximadamente 0,47 m³/s en el pico del evento, disminuyendo la demanda hidráulica sobre los tramos troncales y reduciendo el riesgo de inundaciones y reboses desde Alto a Medio-Bajo en la Av. Manuela Sáenz.

4.9.2. Validación con comportamiento vegetal

El análisis de vegetación mostró que las zonas con mayor cobertura tienen mejor capacidad de infiltración natural, lo cual valida la hipótesis de que la vegetación es un indicador confiable de la capacidad del suelo para infiltrar agua.

4.9.3. Evidencia Fotográfica

Como complemento al análisis hidrológico y de cobertura vegetal, se llevó a cabo un reconocimiento fotográfico de campo en los principales sectores que componen la zona de intervención del presente estudio: cerro Casigana, parterre central de la Av. Manuela Sáenz y Parque La Cantera, ubicados en la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua.

El objetivo de este levantamiento visual fue documentar el estado actual del entorno físico, la cobertura vegetal real observada, el tipo de suelo expuesto y las condiciones estructurales y ambientales, con el fin de validar el diagnóstico obtenido mediante imágenes satelitales (EOSDA Crop Monitoring), datos del Geoportal del MAG y análisis NDVI.

Cerro Casigana (Zona emisora de escorrentía):

- ✓ **Cobertura vegetal:** Se evidencia vegetación escasa a moderada, consistente principalmente en gramíneas dispersas y matorrales bajos.
- ✓ **Condiciones del suelo:** El análisis del MAG muestra que predomina un suelo con pendientes entre 5% y 12% y una capacidad de infiltración moderada (20–65 mm/h), correspondiente con su clasificación NDVI (valores entre 0.2 y 0.4).

El sector tiene sectores erosionados y tramos sin cobertura vegetal, lo que favorece la generación de escorrentía superficial no controlada en dirección a la zona baja de la ciudad.

Av. Manuela Sáenz (Zona de acumulación):

- ✓ **Estado actual del parterre central:** Césped poco desarrollado, suelo compacto y sin vegetación estructural que aporte capacidad de infiltración o retención superficial.
- ✓ **Infraestructura:** No existen obras de captación primaria, y la superficie se encuentra totalmente impermeabilizada, lo que acentúa el escurrimiento superficial directo hacia la calzada y colectores existentes, actualmente sobrecargados.

Este punto representa la zona crítica de acumulación. La escorrentía generada en el cerro converge aquí, lo que valida la necesidad de instalar rejillas pluviales y un sistema de drenaje sostenible tipo dren francés conectado a un separador hidrociclónico.

Parque La Cantera (zona de intervención propuesta):

- ✓ **Cobertura vegetal:** El parque presenta suelo abierto con vegetación escasa, lo que coincide con un índice NDVI < 0.2 y una infiltración clasificada como rápida (> 65 mm/h), según el mapa oficial de velocidad de infiltración del MAG.

- ✓ **Pendiente:** El relieve es más ondulado que en Casigana, con pendientes que oscilan entre 25% y 50%, lo que exige un diseño cuidadoso para evitar erosión por exceso de velocidad de flujo superficial.

Su capacidad de infiltración lo convierte en un espacio óptimo para recolección, filtración y tratamiento de aguas pluviales mediante SUDS. En esta zona se propone implementar un sistema de revegetación funcional con especies nativas, una zanja de infiltración tipo dren francés, y un conjunto de obras de pretratamiento (desarenador + separador hidrociclónico).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA, ANEXOS

5.1. Conclusiones

- La estrategia integrada SUDS + alcantarillado tradicional diseñada en este estudio demuestra ser técnica, operativa e hidrológicamente viable para mitigar inundaciones en la Av. Manuela Sáenz. El sistema propuesto: pretratamiento con desarenador + separador hidro ciclónico + dren francés + revegetación funcional; reduce el caudal pico en un 30.00% de 1.56 m³/s a 1.09 m³/s, aliviando la demanda hidráulica de la red, mejorando la resiliencia ante tormentas convectivas de corta duración. Esto evidencia que la solución diseñada cumple el objetivo general de reducir las inundaciones en la zona de estudio.
- El análisis NDVI confirmó un predominio de suelo abierto del 55.82% y vegetación escasa de 28.07%, condiciones que incrementaron el coeficiente compuesto de escorrentía a $C = 0.62$, sustentado mediante cálculo en la *Tabla 5*. Los SUDS instalados en zonas con estas características mostraron capacidad efectiva de infiltración: 35.00% en Parque La Cantera y 25.00% en parterre Av. Manuela Sáenz. Obteniendo una infiltración promedio de 30.00 %, lo cual valida la eficacia y funcionalidad de los SUDS en el contexto urbano de Ambato. Por tanto, se demuestra que los SUDS integrados al alcantarillado sí son viables, funcionales y eficientes para mejorar la gestión pluvial.
- A partir del Anuario Hidrometeorológico MT-0007, con $P_{24\text{máx}} = 43.20 \frac{\text{mm}}{\text{h}}$ y un tiempo de concentración calculado de $t_c \approx 12 \text{ min}$, se obtuvieron intensidades representativas de $I = 60.50 \text{ mm/h}$ (evento base), de $I = 75.00 \text{ mm/h}$ (evento intermedio) y de $I = 84.70 \text{ mm/h}$ (evento severo). Aplicando el método racional para 15 ha: Escenario I (solo alcantarillado): $Q = 1.56 \text{ m}^3/\text{s}$ y para el Escenario II (SUDS + alcantarillado): $Q = 1.09 \text{ m}^3/\text{s}$. Estos resultados confirman que la integración SUDS + alcantarillado supera ampliamente al sistema convencional, ofreciendo menor caudal pico, mayor seguridad hidráulica y mejor desempeño sostenible.
- La integración del pretratamiento (desarenador e hidrociclón) con el dren francés reduce el arrastre de sedimentos y contaminantes, mejorando la calidad del agua infiltrada y disminuyendo la colmatación del sistema. El levantamiento fotográfico evidenció rejillas y sumideros con residuos, sedimentos y taponamientos que reducen su área útil, lo que explica los problemas actuales de encharcamiento incluso en lluvias moderadas. Asimismo, el análisis NDVI permitió identificar la degradación de la cobertura vegetal, reforzando la necesidad de revegetación funcional para disminuir C y mejorar la infiltración. Es decir, la solución SUDS

propuesta mejora la calidad del agua, capacidad de infiltración y la sostenibilidad ambiental urbana.

- Con $A = 15$ ha , $C = 0.62$, $I = 60.50$ mm/h, se obtuvo con el método racional un $Q_{alcant.} = 1.56$ m³/s . Este valor caracteriza la exigencia hidráulica mínima que debe conducir el sistema convencional sin sobrecarga.
- La t pareada confirma una reducción significativa del caudal a red $t = 10.44$, $gl = 2$ y $p < 0.01$ con diferencia media $\approx 0,57$ m³/s y tamaño de efecto muy grande ($d = 6.03$). Y al mencionar el análisis de ANOVA muestra que la cobertura vegetal es un determinante de la escorrentía específica q' $F(3,8) = 7.79$, $p \approx 0.009 < 0.05$, $\eta^2 \approx 0,75$ en el cual si existe mayor cobertura se obtiene menor C y menor q' .
- Todos los parámetros utilizados fueron verificables, el NDVI y la *Tabla 5* sustentan C ; el Anuario MT-0007 y la desagregación temporal definen I ; la topografía, t_c con la fórmula de Kirpich; y finalmente el diseño del dren francés con el pretratamiento revela la reducción del 30.00%. Es decir que, con el mismo análisis y procedimiento, se puede reproducir el cálculo y aplicarlo en otras subcuencas de Ambato, ajustando únicamente C , t_c I a las condiciones locales y manteniendo la misma lógica de comparación entre Escenario I y Escenario II.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda una limpieza profunda y descolmatación del 100.00% de rejillas, sumideros y pozos del sector de la Av. Manuela Sáenz, Parque La Cantera y su verificación post-evento en <24 h.
- Inventario y georreferenciación de drenaje pluvial. Levantar ficha por estructura (estado, capacidad, accesos, fotos) para priorizar mantenimiento y reposición.
- Se recomienda construir pretratamiento + dren francés en el Parque La Cantera y parterre de la Av. Manuela Sáenz, con conexión de alivio a colector.
- Sustituir especies ornamentales de alta demanda hídrica por gramíneas nativas, arbustos de raíz profunda y árboles de porte medio (*ver Tabla 3*) priorizando cobertura radicular y baja mantención.
- Replicar el esquema en subcuencas adyacentes del Casigana; creando una cartera de proyectos SUDS con priorización por riesgo y costo-beneficio.

- Se recomienda crear protocolos de cierre de vías, rutas de evacuación, y programa de cultura del agua para minimizar basura en rejillas o sumideros.

5.3. Bibliografía

Bonnin, G. M., Martin, D., Lin, B., Parzybok, T., Yekta, M., & Riley, D. (n.d.). *Precipitation-Frequency Atlas of the United States Volume 1 Version 5.0: Semiarid Southwest (Arizona, Southeast California, Nevada, New Mexico, Utah)*.

Chow, V.T., Maidment, D.R., & Mays, L.W. (1988). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill.

Ellis, J. B., & Revitt, D. M. (2003). Best Management Practices for Urban Runoff Pollution Control. *Water and Environment Journal*, 17(1), 50–56. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2003.tb00431.x>

Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., Trowsdale, S., Barraud, S., Semadeni-Davies, A., Bertrand-Krajewski, J. L., Mikkelsen, P. S., Rivard, G., Uhl, M., Dagenais, D., & Viklander, M. (2015). SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, 12(7), 525–542. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.916314>

Hodges, L. H., Hershfield, D. M., Washington, D. C., & Reichelderfer, F. W. (1961). *RAINFALL FREQUENCY ATLAS OF THE UNITED STATES for Durations from 30 Minutes to 24 Hours and Return Periods from 1 to 100 Years* WEATHER BUREAU.

MAG (2022). Geoportal de Datos Abiertos. Capas: Velocidad de Infiltración, Erosión Hídrica, Pendiente y Unidad Geopedológica. <https://datosabiertos.mag.gob.ec>

FAO (2021). Land cover classification and monitoring techniques. <https://www.fao.org/land-water>

Medina Piza, D. L., Aguilar Rojas, L. Y., & Calderón Gómez, A. (2018a). *Análisis Comparativo De Los Sistemas Urbanos De Drenaje Sostenible (Suds) Caso De Estudio Carrera 4 Y Carrera 5 Entre Calles 68 Y 71, Sector Chapinero Alto, Bogotá, Colombia*. 101.

Medina Piza, D. L., Aguilar Rojas, L. Y., & Calderón Gómez, A. (2018b). *Análisis Comparativo De Los Sistemas Urbanos De Drenaje Sostenible (Suds) Caso De Estudio Carrera 4 Y Carrera 5 Entre Calles 68 Y 71, Sector Chapinero Alto, Bogotá, Colombia*. 101.

Página 1 de 98. (2020). 108, 1–98.

Persson, J., Somes, N. L. G., & Wong, T. H. F. (2006). Hydrodynamic Separators for Stormwater Treatment. *Urban Water Journal*, 3(3), 137–150. <https://doi.org/10.1080/15730620600961235>

Saltos Diego. (2020a). *Evaluación Del Potencial De Retención De Agua Lluvia De Sistemas Urbanos De Drenaje Sostenible (Suds) Sobre Áreas Aledañas a La Vía a La Parroquia Santa Rosa, Vía Ecológica Y Av. Mauelita Sáenz – Ambato Y Su Aporte a La Mitigación De Inundaciones Inundaci.*

Saltos Diego. (2020b). *Evaluación Del Potencial De Retención De Agua Lluvia De Sistemas Urbanos De Drenaje Sostenible (Suds) Sobre Áreas Aledañas a La Vía a La Parroquia Santa Rosa, Vía Ecológica Y Av. Mauelita Sáenz – Ambato Y Su Aporte a La Mitigación De Inundaciones Inundaci.*
[https://repositorio.uti.edu.ec/bitstream/123456789/1893/1/SALTOS SALAZAR DIEGO.pdf](https://repositorio.uti.edu.ec/bitstream/123456789/1893/1/SALTOS%20SALAZAR%20DIEGO.pdf)

Wong, T. H. F. (2006a). Water sensitive urban design - the journey thus far. *Australasian Journal of Water Resources*, 10(3), 213–222.
<https://doi.org/10.1080/13241583.2006.11465296>

Wong, T. H. F. (2006b). Water sensitive urban design - the journey thus far. *Australasian Journal of Water Resources*, 10(3), 213–222.
<https://doi.org/10.1080/13241583.2006.11465296>

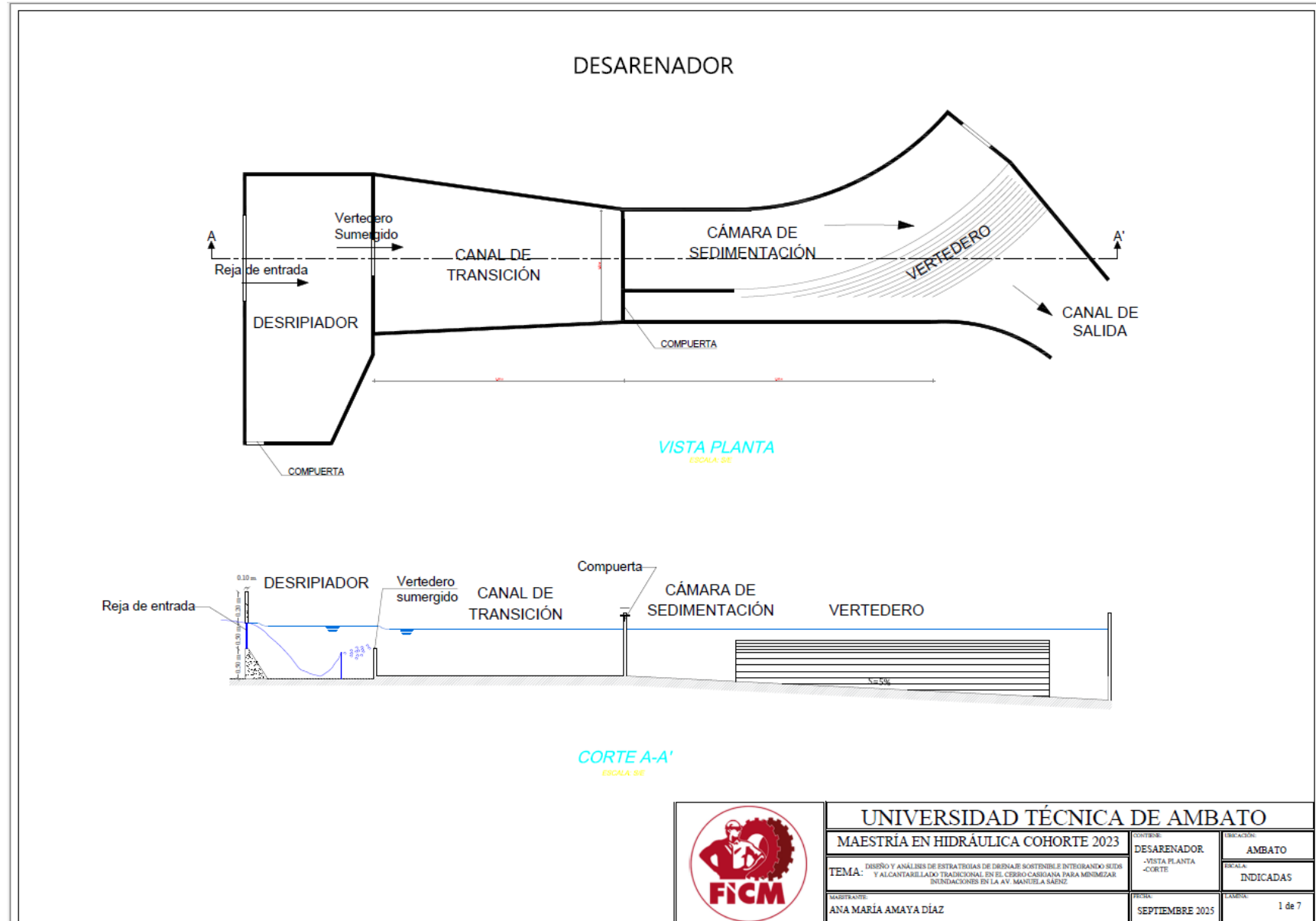
5.4. Anexos

Tabla 11. Coeficiente de Escorrentía (Método Racional)

COBERTURA VEGETAL	TIPO DE SUELO	PENDIENTE DEL TERRENO				
		PRONUNCIADA (>50%)	ALTA (50%-20%)	MEDIA (20%-8%)	SUAVE (8%-1%)	DESPRECIABLE (<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
PASTOS Y VEGETACIÓN LIGERA	Impermeable	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
	Semipermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Permeable	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
HIERBA Y GRAMA	Impermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Semipermeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
	Permeable	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10
BOSQUES Y VEGETACIÓN DENSA	Impermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Semipermeable	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25
	Permeable	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05

Fuente: Ramírez, Maritza. 2003. Hidrología Aplicada. Universidad de los Andes

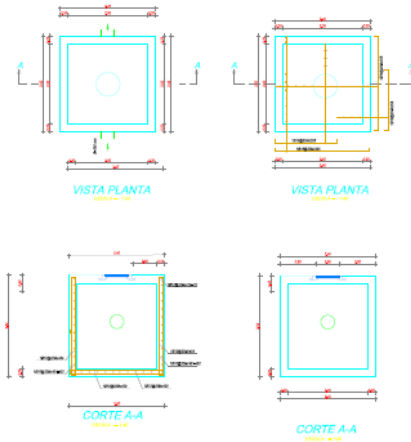
Ilustración 9. Desarenador



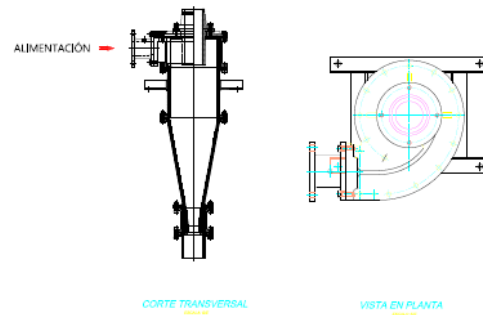
Elaborado por: Ing. Ana María Amaya Díaz

Ilustración 10. Detalles Constructivos

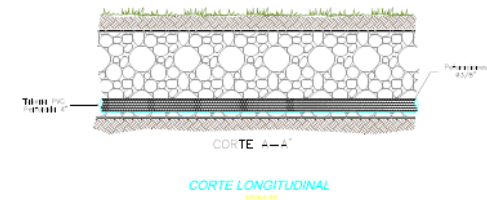
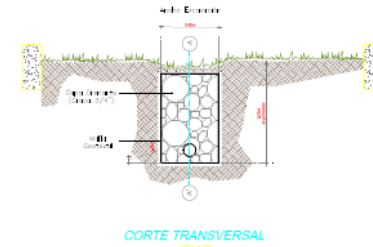
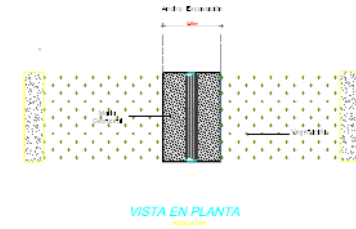
CAJAS DE REVISIÓN



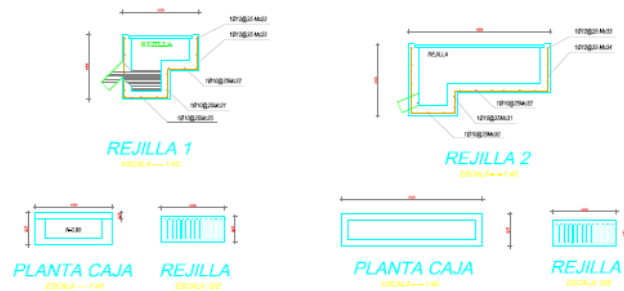
SEPARADOR HIDROCICLÓNICO



DRENAJE FRANCÉS



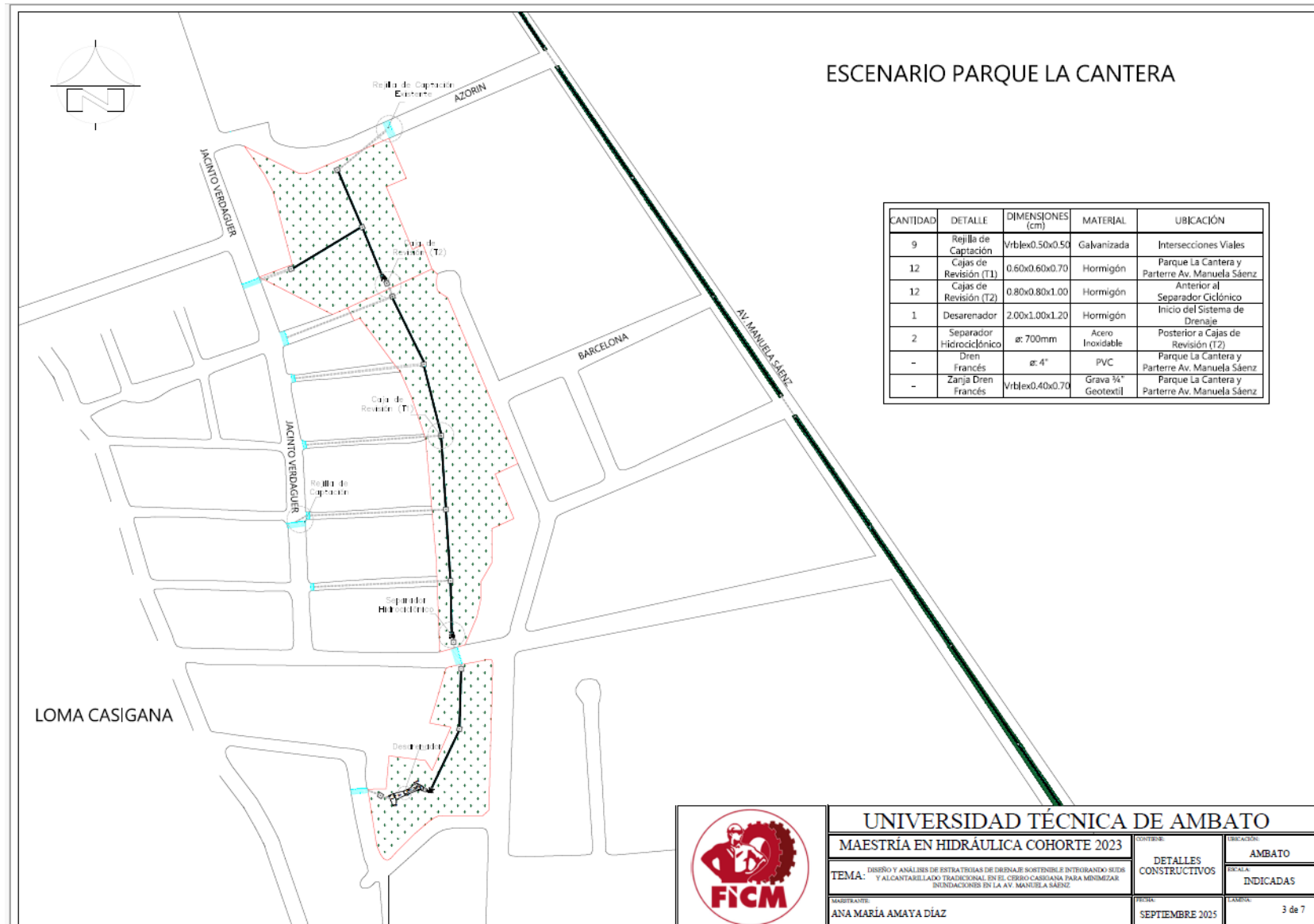
REJILLA DE CAPTACIÓN



	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
	MAESTRÍA EN HIDRÁULICA COHORTE 2023	CONTENIDO	UBICACIÓN
	TEMA: DISEÑO Y ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS DE DRENAJE SOSTENIBLE INTEGRANDO REDES Y ALCANTARILLADO TRADICIONAL EN EL CERRO CARBONERA PARA MINIMIZAR INUNDACIONES EN LA AV. MANUELA RAÍNZ.	DETALLES CONSTRUCTIVOS	AMBATO
	MAESTRANTE: ANA MARÍA AMAYA DÍAZ	FECHA: SEPTIEMBRE 2025	INDICADAS

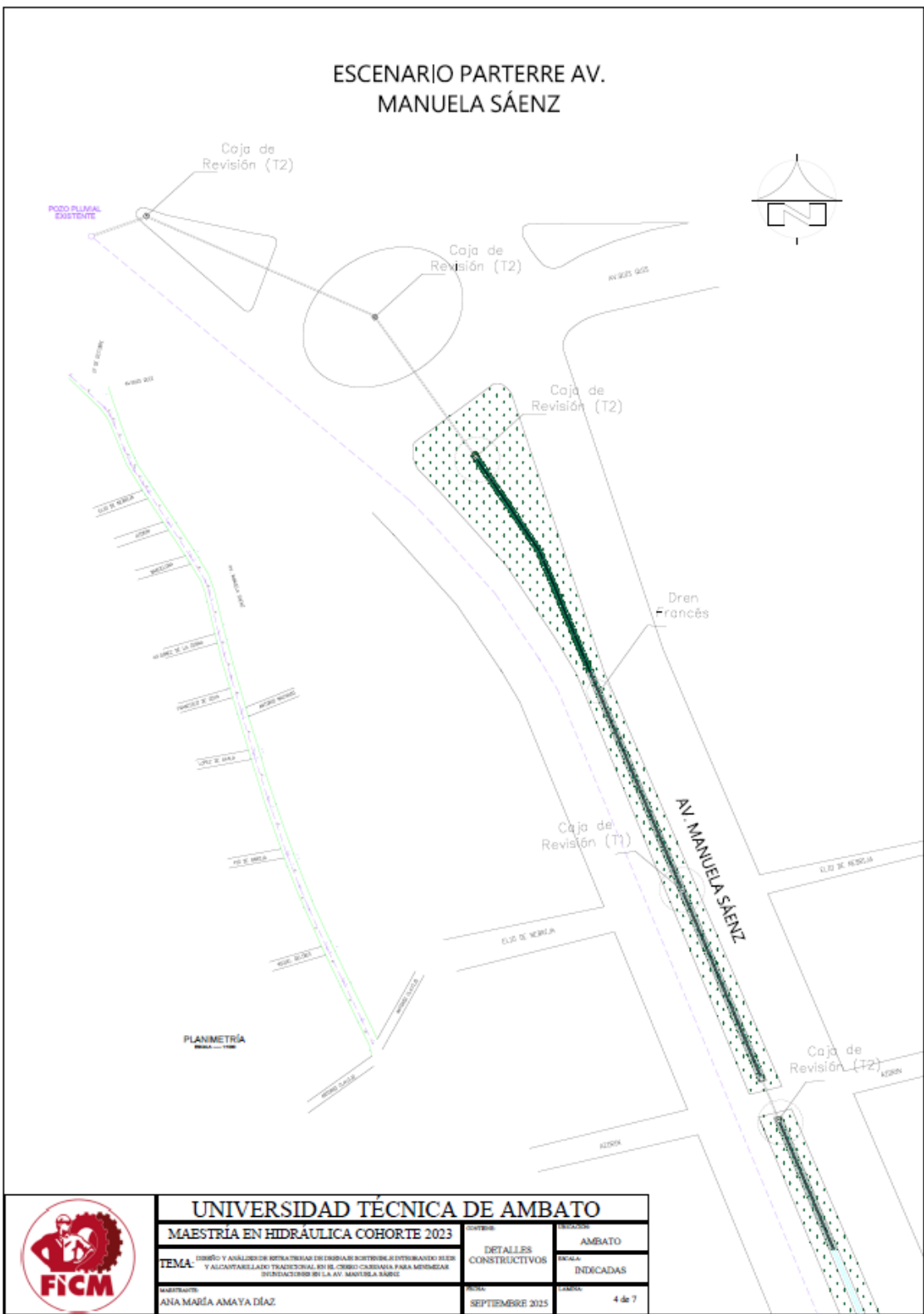
Elaborado por: Ing. Ana María Amaya Díaz

Ilustración 11. Escenario Parque La Cantera



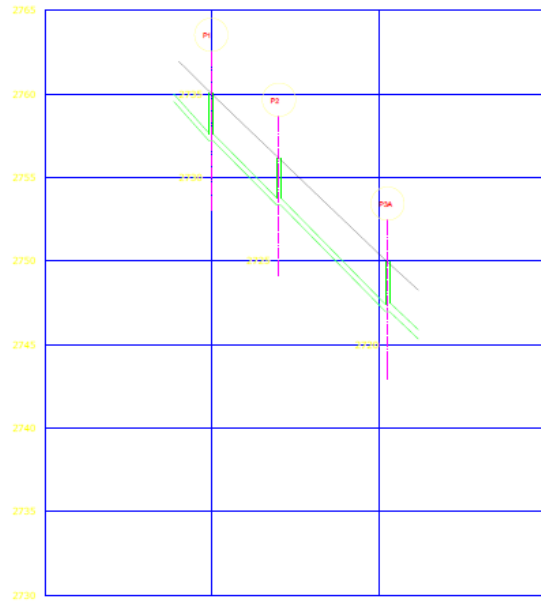
Elaborado por: Ing. Ana María Amaya Díaz

Ilustración 12. Escenario Parterre Av. Manuela Sáenz

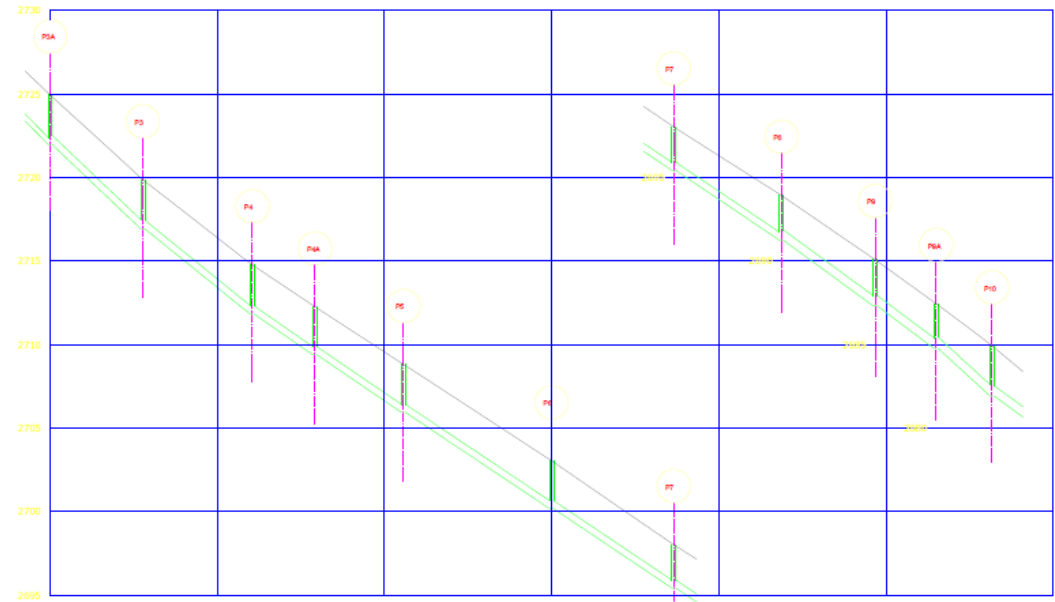


Elaborado por: Ing. Ana María Amaya Díaz

ALCANTARILLADO PLUVIAL
AV . MANUELA SÁENZ



DATOS HIDRAULICOS		Gr 10-15m	Gr 15-20m	Gr 20-25m	Gr 25-30m	Gr 30-35m	Gr 35-40m
		Gr 10-15m Gr 15-20m Gr 20-25m Gr 25-30m Gr 30-35m Gr 35-40m	Gr 10-15m Gr 15-20m Gr 20-25m Gr 25-30m Gr 30-35m Gr 35-40m	Gr 10-15m Gr 15-20m Gr 20-25m Gr 25-30m Gr 30-35m Gr 35-40m	Gr 10-15m Gr 15-20m Gr 20-25m Gr 25-30m Gr 30-35m Gr 35-40m	Gr 10-15m Gr 15-20m Gr 20-25m Gr 25-30m Gr 30-35m Gr 35-40m	Gr 10-15m Gr 15-20m Gr 20-25m Gr 25-30m Gr 30-35m Gr 35-40m
COTAS	TERRENO	274.00	273.00	272.00	271.00	270.00	269.00
	PROYECTO	274.00	273.00	272.00	271.00	270.00	269.00
CORTE		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ABSCISAS		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

[illegible]

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

MAESTRÍA EN HIDRÁULICA COHORTE 2023

TEMA: DISEÑO Y ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS DE DRENAJE SOSTENIBLE INTEGRANDO SUDS Y ALCANTARILLADO TRADICIONAL EN EL CERRIO CASIOIANA PARA MINIMIZAR INUNDACIONES EN LA AV. MANUELA SÁENZ.

MAESTRANTE:
ANA MARÍA AMAYA DÍAZ

CONTENTS:

PERFIL
ALCANTARILLA
PLUVIAL

FECHA:	SEPTIEMBRE 2025
--------	-----------------

UBRICACIÓN:

AMBATO

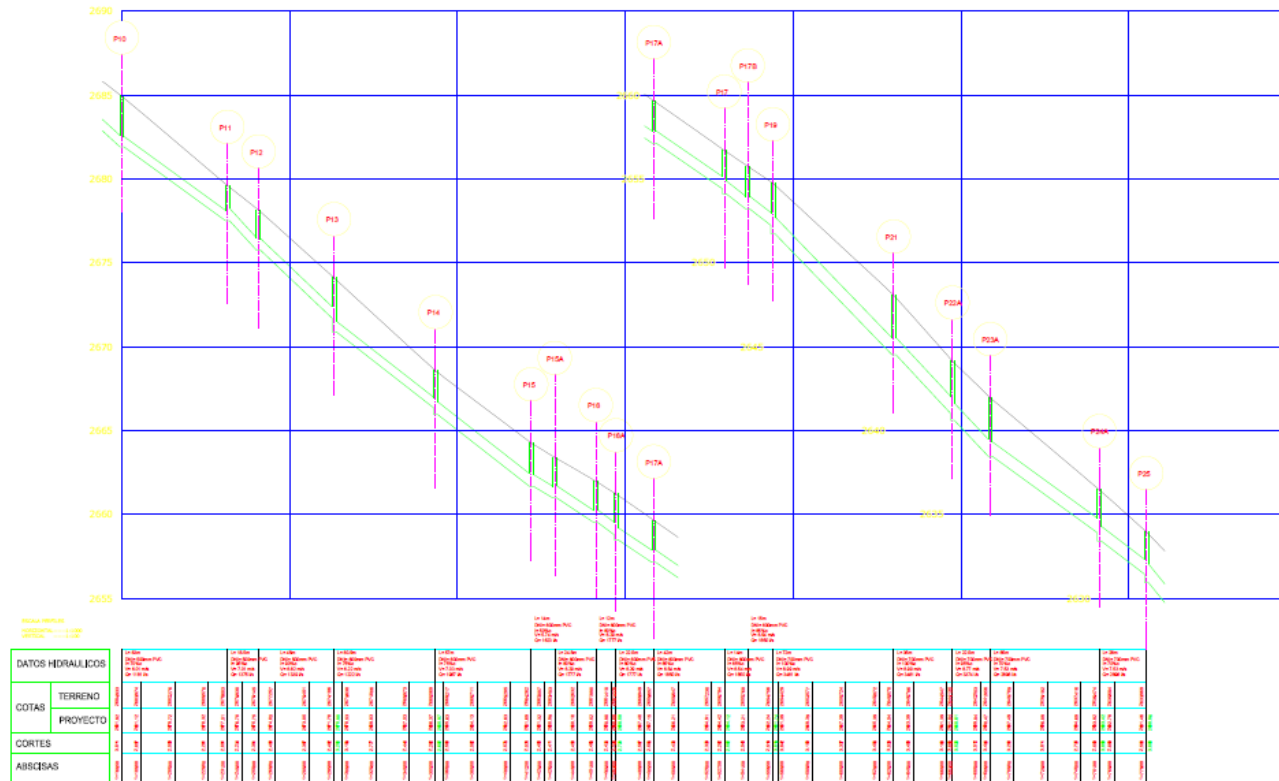
ESCALA:

INDICADAS

5 de 7

Elaborado por: Ing. Ana María Amaya Díaz

ALCANTARILLADO PLUVIAL AV . MANUELA SÁENZ





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

MAESTRÍA EN HIDRÁULICA COHORTE 2023

TEMA: DISEÑO Y ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS DE DISEÑO SOSTENIBLE INTRODUCIENDO SUDS Y ALCANTARILLADO TRADICIONAL EN EL CERRO CARRERA PARA MINIMIZAR INUNDACIONES EN LA AV. MANUELA SÁENZ.

MAESTRANTE: ANA MARÍA AMAYA DÍAZ

CONTROL: PERIL ALCANTARILLADO PLUVIAL

UBICACIÓN: AMBATO

ESCALA: INDICADAS

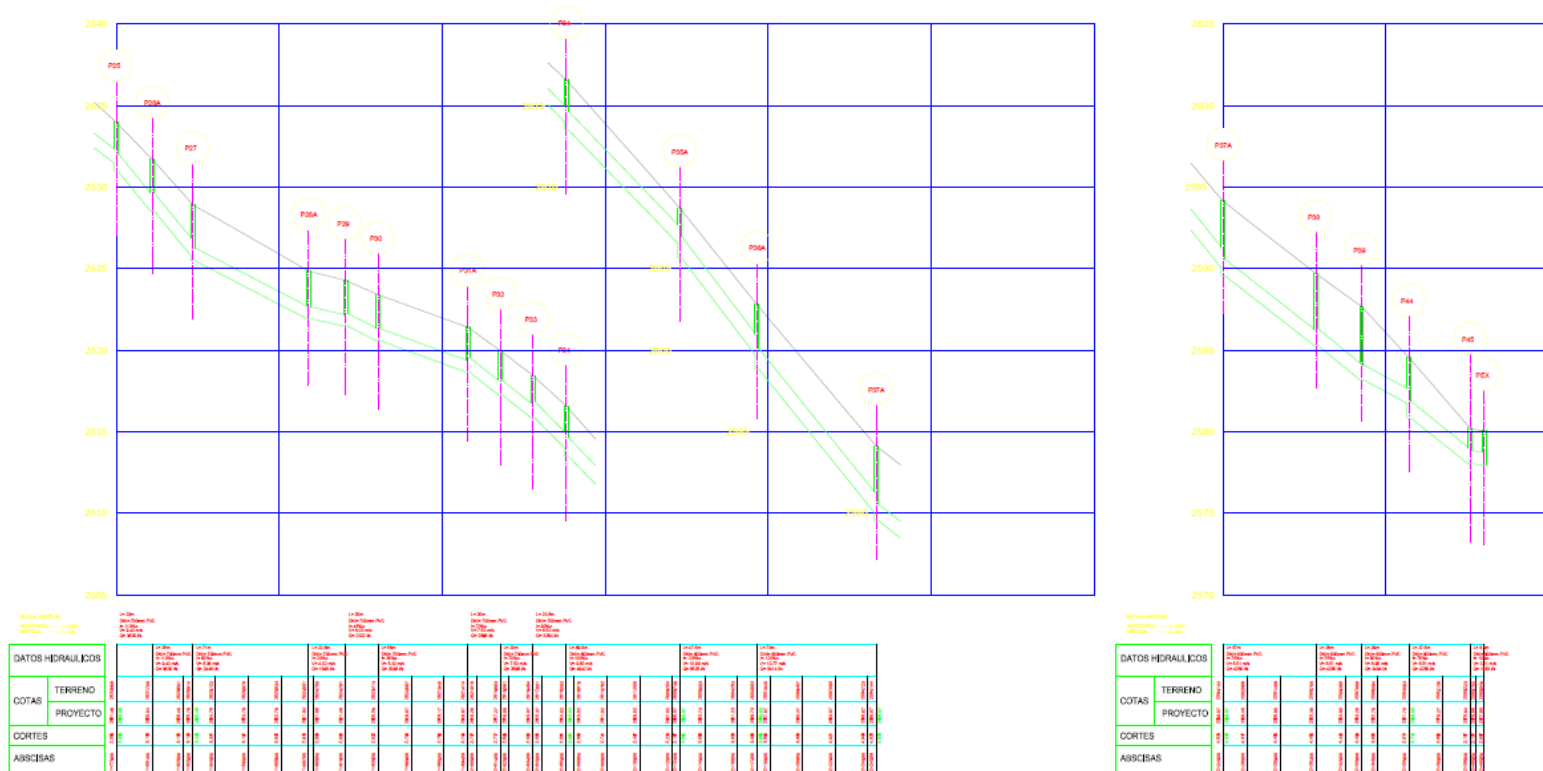
FECHA: SEPTIEMBRE 2025

PÁGINA: 6 de 7

Elaborado por: Ing. Ana María Amaya Díaz

Ilustración 15. Perfil Alcantarillado Pluvial (Fin)

ALCANTARILLADO PLUVIAL AV . MANUELA SÁENZ



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

MAESTRÍA EN HIDRÁULICA COHORTE 2023

TEMA: DISEÑO Y ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS DE DRENAJE SOSTENTIBLE INTEGRANDO RED Y ALCANTARILLADO TRADICIONAL EN EL CIERRO-CARRIANA PARA MINIMIZAR INUNDACIONES EN LA AV. MANUELA SÁENZ

MAESTRA ANTE: ANA MARÍA AMAYA DÍAZ

PERFIL ALCANTARILLADO PLUVIAL

FECHA: SEPTIEMBRE 2025

EMBAZADA: AMBATO

FECHA: INDICADAS

LÁMINA: 7 de 7

Elaborado por: Ing. Ana María Amaya Díaz

Ilustración 16. Estación Aeropuerto (MT-0007)

Estación Aeropuerto (MT-0007)

FICHA TÉCNICA DE ESTACIÓN

ESTACIÓN: AEROPUERTO	CÓDIGO: MT 0007	TIPO: AUTOMÁTICA - METEOROLÓGICA
PROVINCIA: TUNGURAHUA	CANTÓN: AMBATO	PARROQUIA: IZAMBA
FECHA: 08 de Febrero 2013		

UBICACIÓN:

La estación se encuentra ubicada al Norte de la ciudad de Ambato, se toma la vía de primer orden hacia Pillaro, hasta el sector de Chachoan..

VÍA DE ACCESO:

Partiendo de la Ciudad de Ambato hacia el Norte, se toma la vía de primer orden hacia Pillaro, hasta llegar al sector de Chachoan, se gira hacia la derecha hasta llegar al Aeropuerto de la ciudad de Ambato, la estación se encuentra en el interior de las instalaciones del Aeropuerto, para llegar a este se camina alrededor de unos 200 metros.



PARÁMETROS DE MEDICIÓN:

Temperatura Ambiental
Humedad Relativa del Aire
Precipitación
Velocidad de Viento
Dirección del Viento

COMPONENTES DE LA ESTACIÓN:

La estación está formada por un cerramiento metálico de 4 x 6 metros, de alambre que se encuentran fundido al suelo, en el cual consta una torre de aluminio de 10 metros, en su parte alta se encuentra ubicado el sensor de dirección y velocidad de viento, así mismo un sistema paramayos, a los 6 metros se encuentra instalado el panel solar, a los 2 metros el sensor de Temperatura y Humedad del aire, y de la misma manera a 1,70 metros el datalogger su tron.

A una distancia de 2 metros se encuentra instalado el pluviómetro a una altura de 1,20 metros.

OBSERVACIÓN:

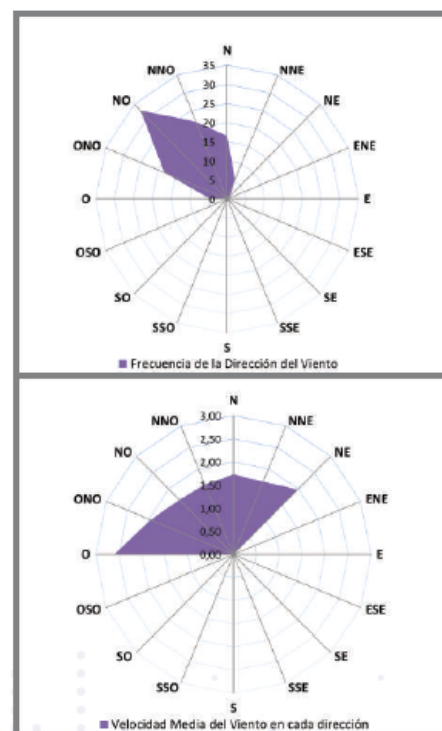
La estación empieza a funcionar el 08 de Febrero de 2013, registrando las diferentes variables meteorológicas, se realiza un mantenimiento en el mes de abril del datalogger de la estación ya que presentaba fallas, su primer mantenimiento se lo realizó en Septiembre del mismo año, no presenta ningún tipo de fallas ni faltantes de datos.

49

Red Meteorológica Interinstitucional de Tungurahua

(MT-0007)

Estación Aeropuerto



T° Media	13,82 °C
T° Máxima	15,30 °C
T° Mínima	12,50 °C

Precipitación Anual	80,37 %
Precipitación Máxima Diaria	1047,60mm
Días de Lluvia	43,20 mm

Días de Lluvia	156,00
Velocidad Media del Viento	3,69 m/s
Dirección Media del Viento	0

50

Red Meteorológica Interinstitucional de Tungurahua

Elaborado por: Ing. Ana María Amaya Díaz

Estación Aeropuerto (MT-0007)

Tabla de Precipitación Diaria en mm MT-0006
Estación Parque de la Familia Baños

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	1,80	0,00	19,10	6,70	0,10	3,10	1,00	3,00	0,00	0,00	0,40	7,90
2	0,00	0,00	11,40	1,50	0,10	2,20	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	12,50
3	0,00	0,00	4,60	2,90	0,10	1,30	1,00	13,20	0,10	0,10	4,30	5,60
4	0,00	0,00	0,10	3,50	0,30	1,10	5,80	0,40	0,00	0,00	0,50	0,00
5	0,00	0,00	1,30	0,00	0,20	1,10	0,20	0,70	0,10	3,50	0,00	0,00
6	0,00	0,20	8,40	0,00	0,20	1,40	9,30	2,70	0,00	0,00	2,00	3,50
7	0,00	0,00	2,10	1,10	0,10	1,40	0,70	13,00	0,00	0,00	3,40	5,30
8	0,20	0,00	1,50	0,80	0,10	1,90	0,10	12,20	0,00	9,60	11,40	0,80
9	0,00	0,10	0,10	1,40	0,10	1,30	1,40	11,30	0,10	0,00	1,40	1,70
10	5,90	0,00	2,70	0,00	0,10	1,20	7,00	3,40	0,10	7,90	3,10	8,70
11	0,00	0,00	0,30	0,00	0,10	1,10	3,80	0,60	0,00	0,00	0,90	15,40
12	0,30	0,00	0,60	0,10	0,10	0,90	1,20	0,20	0,10	0,00	8,70	1,30
13	0,00	6,20	0,00	0,00	0,00	0,60	0,40	0,20	0,00	0,00	8,20	0,70
14	5,50	0,10	0,00	0,70	0,10	0,50	7,70	0,00	0,10	2,30	2,60	0,30
15	7,00	3,30	0,00	15,20	0,10	22,00	0,00	0,10	0,10	0,40	12,80	0,40
16	6,90	2,20	0,30	4,30	0,00	4,90	1,00	0,10	0,10	2,20	0,00	0,30
17	2,90	0,10	0,00	4,10	0,10	7,20	0,30	0,10	0,10	0,00	0,50	0,20
18	5,70	0,20	0,00	3,60	0,10	6,20	1,40	0,00	0,00	0,00	8,20	0,20
19	29,90	9,30	0,00	2,60	0,00	0,00	1,20	0,10	0,10	0,00	4,60	0,30
20	9,30	0,80	0,00	1,30	0,20	0,30	0,30	0,00	0,00	0,00	1,00	0,20
21	6,30	0,00	0,70	1,60	4,50	0,00	11,30	0,10	0,10	0,00	13,50	0,30
22	0,60	2,20	2,70	13,40	5,60	7,70	17,50	0,10	0,10	0,00	0,00	0,20
23	1,30	0,10	0,00	1,60	4,10	12,60	3,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10
24	1,60	0,00	2,10	26,60	3,50	2,50	1,20	0,00	0,10	0,00	1,90	0,20
25	0,10	0,00	3,20	3,00	3,10	4,10	7,00	0,10	0,10	0,40	0,00	0,20
26	7,50	0,00	0,30	3,20	7,10	8,30	9,10	0,10	0,00	6,60	8,80	0,10
27	0,20	0,00	0,10	5,70	8,20	6,10	0,50	0,00	0,00	1,10	1,40	0,20
28	1,80	0,00	12,20	22,00	4,80	9,30	1,50	0,00	0,00	1,00	3,00	0,10
29	0,00		6,00	3,20	3,60	16,10	43,20	0,10	0,00	0,80	0,70	0,20
30	0,00		2,40	0,20	2,90	2,00	5,40	0,00	0,00	2,80	1,20	0,10
31	0,00		10,00		3,00		1,10	0,10		0,70		0,20
Acumulada	94,80	24,80	92,20	130,70	52,60	128,40	145,00	62,10	1,40	39,40	104,50	171,70
Máximo Diario	29,90	9,30	19,10	26,60	8,20	22,00	43,20	13,20	0,10	9,60	13,50	15,40
Días con Lluvia	14,00	5,00	15,00	21,00	11,00	24,00	22,00	7,00	0,00	9,00	19,00	9,00

AÑO COMPLETO: 365 días
TOTAL ANUAL: 1047,60 mm

ABREVIATURAS: Día seco
(-) Sin dato

Maximo Diario: 43,20
Total días lluvia: 156

51

Red Hidrometeorológica Interinstitucional de Turgurash

(MT-0007)

Estación Aeropuerto HGPT-MT-0007

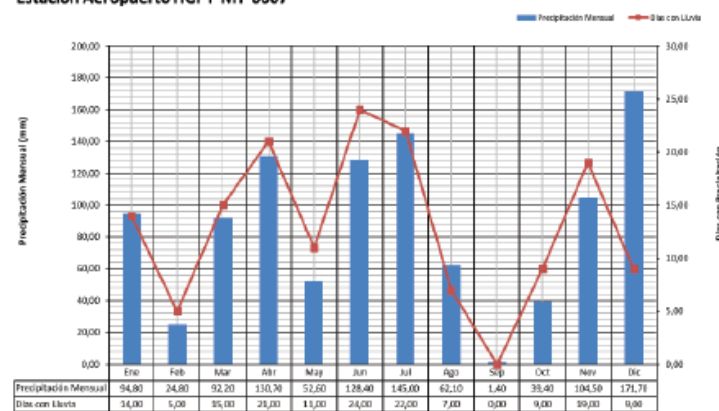


Tabla de Temperatura Ambiental y Humedad de Relativa del Aire Mensual

Meses	Temperatura (°C)			Humedad Relativa (%)			Punto de Rocío (°C)
	Max	Min	Media Mensual	Max	Min	Media Mensual	
Enero	13,50	13,30	13,40	82,10	80,60	81,30	9,66
Febrero	14,70	14,50	14,60	80,00	78,60	79,30	10,46
Marzo	14,30	14,10	14,20	81,30	79,90	80,60	10,32
Abril	13,90	13,70	13,80	82,60	81,10	81,80	10,16
Mayo	13,90	13,80	13,80	85,70	84,30	85,00	10,80
Junio	13,20	13,00	13,10	82,70	81,40	82,00	9,50
Julio	12,90	12,70	12,80	80,50	79,20	79,80	8,76
Agosto	12,70	12,50	12,60	80,90	79,50	80,20	8,64
Septiembre	13,50	13,30	13,40	78,70	75,20	75,90	8,58
Octubre	15,10	14,90	15,00	76,30	74,90	75,60	10,12
Noviembre	15,30	15,10	15,20	82,20	80,70	81,40	11,48
Diciembre	14,00	13,80	13,90	82,20	80,80	81,50	10,20

	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Punto de Rocío (°C)
Media Anual	13,82	80,37	9,89
Máxima Media Anual	15,30	85,70	12,44
Mínima Media Anual	12,50	74,90	7,48

52

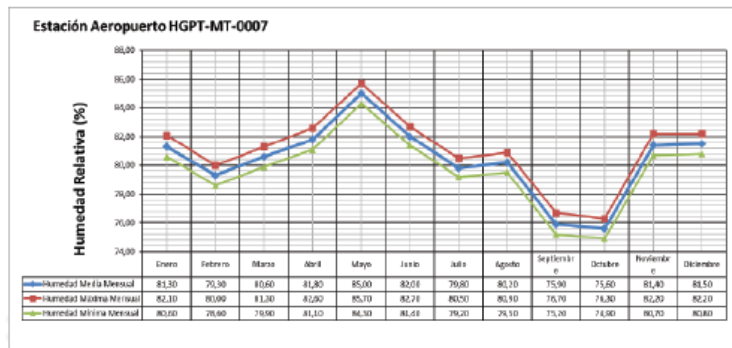
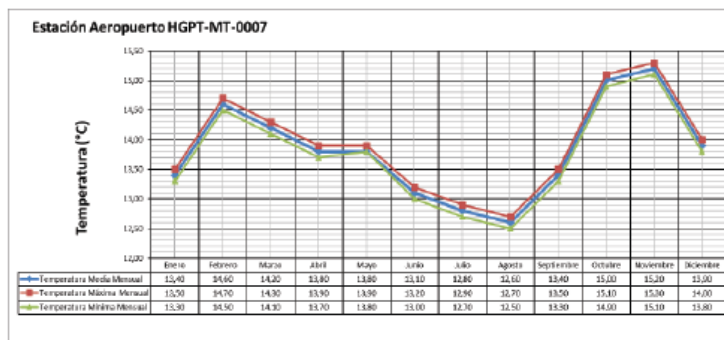
Red Hidrometeorológica Interinstitucional de Turgurash

Elaborado por: Ing. Ana María Amaya Díaz

Ilustración 18. Estación Aeropuerto (MT-0007)

Estación Aeropuerto (MT-0007)

Gráficos de Distribución Temporal De Temperatura y Humedad



(MT-0007)

Distribución Mensual de Velocidad de Viento y Frecuencia de Dirección de Viento

Meses		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
VELOCIDAD MEDIA MENSUAL Y FRECUENCIA DEL VIENTO	N	m/s 1.68	1.80	2.13	1.52	1.59	1.47	2.40	1.46	1.85	2.03	1.61	1.51
	%	23	25	6	23	16	3	6	6	20	19	40	10
	NNE	m/s 1.36	0.00	1.82	1.48	0.00	0.00	0.00	0.00	2.04	1.92	1.55	0.00
	%	3	0	3	20	0	0	0	0	3	26	10	0
	NE	m/s 2.05	0.00	0.00	0.00	1.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.53
	%	3	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	3
	ENE	m/s 0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	%	0	0	0	0	0	0	6	6	20	0	0	0
	E	m/s 0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ESE	m/s 0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SE	m/s 0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SSE	m/s 0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	%	0	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VELOCIDAD MEDIA MENSUAL Y FRECUENCIA DEL VIENTO	S	m/s 0.00	2.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SSO	m/s 0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SO	m/s 0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	OSO	m/s 0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	O	m/s 2.31	0.00	0.00	2.15	2.17	3.21	2.06	2.85	2.72	0.00	0.00	0.00
	%	3	0	0	3	10	10	6	16	3	0	0	0
	ONO	m/s 1.76	1.82	1.66	2.31	2.06	1.94	2.09	2.07	1.97	0.00	0.00	1.74
	%	19	4	16	13	13	33	35	35	20	0	0	26
	NO	m/s 1.50	1.76	1.53	1.85	1.46	1.56	1.81	1.74	1.87	1.79	1.63	1.54
	%	23	29	42	23	35	43	45	23	33	39	20	35
	NNO	m/s 1.47	1.71	1.75	1.61	1.32	1.66	1.74	1.55	1.82	1.73	1.69	1.59
	%	26	43	32	17	19	10	6	19	20	16	30	26
Vel. Max Mensual		2.31	2.31	2.24	2.61	2.55	3.69	2.89	3.68	2.72	2.53	2.08	2.53
Dir. Media Mensual		Dir	0	N	N	ONO	0	0	ONO	0	N	N	NE
Vel. Media Mensual		m/s	1.63	1.75	1.67	1.73	1.62	1.85	1.96	1.91	1.86	1.63	1.63

Elaborado por: Ing. Ana María Amaya Díaz

Tabla 12. Fotografías zona de estudio

Fotografía 1	Fotografía 2
	
Vista general del talud y acera junto al parque. Se observa cobertura vegetal discontinua y suelo visiblemente compactado, condiciones que favorecen la generación de escorrentía superficial. Área priorizada para el trazado del dren francés y revegetación funcional.	Detalle del borde superior del talud y zona de descarga hacia la vialidad. Se aprecian pendientes marcadas y ausencia de elementos de pretratamiento, lo que incrementa el arrastre de sedimentos finos.

Fotografía 3



Sector central del parque con vegetación escasa y huellas de tránsito peatonal que reducen la infiltración. Espacio idóneo para revegetación densa y conexión a dren francés.

Fotografía 4



Área abierta del parque utilizada como espacio recreativo, con cobertura irregular y microdepresiones susceptibles a encharcamiento. La topografía facilita la conducción de flujo hacia la avenida. Espacio idóneo para revegetación densa y conexión a dren francés.

Fotografía 5



Parterre central de Av. Manuela Sáenz con suelo altamente compactado y bordillos que limitan el ingreso superficial del escurrimiento desde calzada.

Fotografía 6



Parterre central de Av. Manuela Sáenz vegetado continuo que funciona como corredor de infiltración potencial, pero con cobertura densa superficial y sustrato poco permeable.

Fotografía 7



Sumidero tapado/inactivo con residuos, vegetación y sedimentos. La pérdida de sección efectiva reduce el caudal admisible, provoca refluo hacia calzada y acelera la sedimentación aguas abajo.

Fotografía 8



Rejilla con residuos y finos adheridos entre barrotes; la sección útil disminuye la eficiencia de entrada.

Elaborado por: Ing. Ana María Amaya Díaz

CAPÍTULO VI PROPUESTA

6.1 Título

“Solución integrada SUDS + Alcantarillado para la mitigación de inundaciones en el eje Cerro Casigana, Av. Manuela Sáenz y Parque La Cantera (Ambato)”

6.2 Descripción

La propuesta consiste en implementar un sistema integrado de drenaje urbano sostenible (SUDS) acoplado al alcantarillado existente para reducir el caudal pico que ingresa a la red en eventos de lluvia, disminuir inundaciones y evitar reboses en los puntos críticos del Cerro Casigana, Av. Manuela Sáenz y Parque La Cantera.

Se compone de cuatro elementos que se detallan a continuación:

1. Pretratamiento hidrodinámico: rejillas y sumideros operativos (limpios y/o repuestos), cámaras desarenadoras y separadores hidrociclónicos para remover sólidos y flotantes antes de la infiltración.
2. Captación y derivación: rejillas lineales/aberturas en bordillo en puntos bajos cada 25.00 m o 30.00 m, conectadas a cámaras de pretratamiento.
3. Dren francés modular (infiltración + almacenamiento + retardo): zanjas con tubería perforada Ø4", grava lavada y geotextil; bocas de inspección; conexión de alivio al colector con orificio/vertedero.
4. Revegetación funcional: gramíneas densas y arbustos, árboles nativos de raíz profunda para disminuir C , estabilizar taludes y mejorar la evapotranspiración.

Con base en los cálculos de la tesis ($A=15$ ha, $C=0,62$, $t_c \approx 12$ min, $I = 60,5$ mm/h), el sistema integrado reduce el pico de $1,56$ m³/s a $\approx 1,09$ m³/s (reducción $\approx 30.00\%$), realizando una operación y mantenimiento que ataca la causa operativa principal: rejillas y sumideros fuera de uso.

6.3 Desarrollo de la propuesta

6.3.1 Enfoque y parámetros de diseño

- El objetivo será reducir en un $\approx 30.00\%$ el caudal pico a red; evitar reboses bajo el evento base ($I=60,5$ mm/h) y verificar con escenario severo ($84,7$ mm/h).
- **Parámetros:** $A=15$ ha; $C=0,62$; $t_c \approx 12$ min (Kirpich); $Q_1 = 1.56 \text{ m}^3/\text{s}$ (alcantarillado) $\rightarrow Q_2 \approx 1.09 \text{ m}^3/\text{s}$ (SUDS+alcantarillado).
- **Criterios constructivos:** Realizar el pretratamiento previo a infiltración; drenes con geotextil ≥ 200 g/m², grava $\frac{3}{4}"-1"$, pendiente de tubería $\approx 2\%$; bocas de inspección cada 25–30 m; conexión de alivio a colector.

6.3.2 Fases y etapas

Fase 0 – Gestión institucional (0–3 meses)

- Presentación de la propuesta al GADMA y EMAPAA para su adopción oficial.
- Plan de choque de limpieza: limpieza integral de rejillas/sumideros y pozos.

Fase 1 – Pretratamiento y captación (4–6 meses)

- Reposición y adecuación de rejillas lineales y aberturas en bordillo cada 25–30 m.
- Construcción de cámaras desarenadoras y separadores hidrociclónicos en cabecera de cada tramo de dren.

Fase 2 – Dren francés (6–12 meses)

- Parterre Av. Manuela Sáenz: 2 módulos de 30 m (ampliables).
- Parque La Cantera: 1–2 módulos de 20–40 m en borde/talud.

Fase 3 – Revegetación y acabados (12–15 meses)

- Implementación de cobertura viva (gramíneas densas + arbustos y árboles nativos), suelo vegetal; protección de raíces.

6.3.3 Planificación y cronograma

- **0–3 meses:** aprobación GADMA–EMAPAA.
- **4–6 meses:** pretratamientos y captaciones.
- **6–12 meses:** construcción drenes franceses.
- **12–15 meses:** revegetación y entrega operativa.

6.3.4 Operación y mantenimiento

- **Rejillas/sumideros:** inspección mensual en lluvias y post-evento
- **Desarenador/hidrociclón:** purga semestral o cuando la carga supere 25–30 %.

- **Dren francés:** inspección trimestral de pozos; test de permeabilidad anual; reposición de grava/geotextil solo si hay contaminación persistente.

6.3.5 Resultados esperados y beneficios

- **Hidráulicos:** reducción ≈ 30 % del pico (de 1.56 a ≈ 1.09 m³/s); menor carga y descargas; disminución de inundaciones y riesgo de rebose.
- **Operativos:** menor arrastre de sedimentos a la red; mantenimiento constante.
- **Ambientales y urbanos:** estabilización de taludes, incremento de cobertura verde y mejor percepción del espacio público.
- **Institucionales:** esquema replicable para otras subcuencas.

Se recomienda remitir este capítulo y sus anexos al GADMA y EMAPAA para aprobación, diseño de detalle y ejecución por fases, estableciendo un convenio y un programa de monitoreo que garantice la continuidad del servicio y la eliminación de episodios de inundación en el sector.