

Revista Ciencia y Construcción

Vol.4 No.1 Enero – Marzo 2023

Facultad de Ingeniería Civil Universidad Tecnológica de La Habana “José A. Echeverría” CUJAE

27

Evaluación Del Transporte Público Colectivo En Ciudades Intermedias

PROYECTAR PARA LA MAYORÍA



Metodología Para Implementar Bus Rapid Transit En Ciudades Intermedias

Eficiencia Y Movilidad

Consejo Editorial

Director/Editor Técnico

- Dra. Vivian Beatriz Elena Parnás, Universidad Tecnológica de La Habana, José Antonio Echeverría (CUJAE), Cuba

Editor Ejecutivo

- Dra. Ingrid Fernández Lorenzo, Universidad Tecnológica de La Habana, José Antonio Echeverría (CUJAE), Cuba

Editores Asociados

- Dr. Willian Cobelo Cristiá, Universidad Tecnológica de La Habana, José Antonio Echeverría (CUJAE), Cuba
- Dra. Zenaida Paulette Frómeta Salas, Universidad de Oriente, Cuba
 - Dr. Rafael Larrúa Quevedo, Universidad de Camagüey, Cuba
- Dr. José Cataldo Ottieri, Universidad de la República, Udelar, Uruguay

Comité Científico

- Dra. Beatriz Camaño Schettini, Universidad Federal de Rio Grande del Sur (UFRGS), Brazil
- Dr. Carlos A. Recarey Morfa, Universidad Central de Las Villas, Marta Abreu, Cuba, Cuba
 - Dr. Francisco Lamas Fernández, Universidad de Granada, Spain
 - Dr. Gilberto Quevedo Sotolongo, Universidad Central de Las Villas, Marta Abreu, Cuba
- Dr. Geert Lombaert, KU Leuven University, Belgium
- Dr. José Fernando Martirena Hernández, Universidad Central de Las Villas, Marta Abreu, Cuba

Sumario 1

- 02 Consejo Editorial
- 03-04 Sumario
- 05 Sección 1: Artículos de Investigación
- 06-17 Índice De Sustentabilidad En Corredores Viarios Urbanos En Ciudades Intermedias.
 - Ing. Darío Xavier Macas Salvatierra
 - Ing. Carlos Eugenio Sánchez Mendieta
 - Ing. Yudy Patricia Medina Sánchez
 - Arq. Fresia Luisana Campuzano Vera
- 18-26 Metodología Para La Implementación De Un BRT (Bus Rapid Transit) En Ciudades Intermedias.
 - Ing. Peter Jair Ortega Cueva
 - Ing. Yudy Patricia Medina Sánchez
 - Ing. Carlos Eugenio Sánchez Mendieta
 - Arq. Fresia Luisana Campuzano Vera
- 27-37 Evaluación Del Transporte Público Colectivo En Ciudades Intermedias
 - Ing. Ariana Solange Condoy Armijos
 - Ing. Carlos Eugenio Sánchez Mendieta
 - Ing. Yudy Patricia Medina Sánchez
 - Arq. Fresia Luisana Campuzano Vera
- 38- 47 Evaluación De La Vulnerabilidad A Los Efectos Del Cambio Climático De Las Estructuras De Drenaje En Carreteras
 - Ing. Manuel Arturo Velásquez Rodríguez
 - Dr. Dania Olga Abreu Hernández

Sumario 2

- 48-55 La Planificación Estratégica Como Herramienta Para La Gestión Integral De La Subcuenca De Casacay
- Ing. Luis Angel Vargas Collaguazo
 - Ing. Jesús Enrique Espinoza Correa
- 56-66 Cuantificación Del Carbono Almacenado En Dos Niveles Altitudinales De Bosque Y Pastizal En El Sur Del Ecuador
- Est. Jandry Steven Encalada Maldonado
 - Est. María Cristina Cabrera Fajardo
 - Est. Tito David Serrano Guartatanga
 - Prof. Jaime Enrique Maza Maza
- 66-78 Metodología Para Diseño De Sistemas Urbanos De Drenajes Sostenibles En Vías Urbanas
- Ing. Jenny Goretty Gonzalez Aguilar
 - Ing. Carlos Eugenio Sánchez Mendieta
 - Ing. . Yudy Patricia Medina Sánchez
 - Arq. Fresia Luisana Campuzano Vera⁴
- 79-89 Reducción Del Congestionamiento Vehicular, Mediante Giro Protegido A La Izquierda, En La Ciudad De Huaquillas
- Ing. Marvin Daniel García Díaz
 - Ing. Erwin Javier Oyola Estrada
 - Ing. Leyden Oswaldo Carrión Romero
 - Ing. Elsi América Romero Valdiviezo

Artículos de Investigación

Índice De Sustentabilidad En Corredores Viarios Urbanos En Ciudades Intermedias.

Sustainability Index In Urban Road Corridors In Intermediate Cities.

Autores

Darío Xavier Macas Salvatierra¹, Carlos Eugenio Sánchez Mendieta², Yudy Patricia Medina Sánchez³, Fresia Luisana Campuzano Vera⁴

¹Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, Machala, daha251@yahoo.com

²Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, Machala, csanchez@utmachala.edu.ec

³Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, Pasaje, ymedina@utmachala.edu.ec

⁴Arquitecto, Universidad Técnica de Machala, Machala, fcampuzano@utmachala.edu.ec

RESUMEN

Los corredores viarios urbanos como áreas urbanas contemporáneas se acercan a aspectos fundamentales y básicos de la planificación urbana. La mayoría de corredores urbanos dejan de lado el promover la equidad, accesibilidad, actividades recreativas, actividades sociales, actividades deportivas, comodidad y seguridad, etc. El objetivo de la investigación fue desarrollar una planificación de los espacios públicos en corredores viarios urbanos en ciudades intermedias. En esta investigación se aplicó el análisis documental y de campo desde el punto de vista de movilidad urbana y los espacios públicos. Se escogió el tramo de la Avenida 25 de junio desde la Y de El Cambio hasta la Circunvalación Norte de la ciudad de Machala. En el análisis exploratorio se identificaron conceptos, variables e hipótesis que indagan el objeto de investigación para la planificación y diseño de los corredores viales urbanos. El análisis descriptivo nos permitió especificar los principios clave como: la participación de la comunidad, el establecimiento de prioridades dentro de los sistemas de vías urbanas y las consideraciones de diseño y gestión de los corredores viales. Se propone una metodología para la planificación de espacios públicos en corredores viarios urbanos mediante la construcción de una matriz de relación que permita formular políticas, estrategias y acciones para el manejo de la movilidad urbana sostenible acondicionando el corredor viario en aspectos como: Accesibilidad espacial y visual, arborización, condición de espacios públicos, estado de uso de aceras. La metodología aplicada en la Av. 25 de junio determinó que la accesibilidad espacial y visual se encuentra en un rango aceptable; en arborización un rango deficiente; en la condición de espacios públicos tenemos rangos de aceptable a perjudicial y en el estado de uso de aceras rangos de medio a aceptable. Finalmente se obtuvo un Índice de sustentabilidad de corredor urbano de 0,44, el cual indica que puede llegar a establecerse como corredor viario, mejorando los aspectos negativos de cada zona estudiada.

Palabras claves: Accesibilidad, Corredores Viarios Urbanos, Espacios públicos, Planificación.

ABSTRACT

Urban road corridors as contemporary urban areas approach fundamental and basic aspects of urban planning. Most urban corridors neglect to promote equity, accessibility, recreational activities, social activities, sports activities, comfort and safety, etc. The objective of the research was to develop a planning of public spaces in urban road corridors in intermediate cities. In this research, documentary and field analysis was applied from the point of view of urban mobility and public spaces. The section of Avenida 25 de Junio was chosen from the Y of El Cambio to the Circumvallation Norte of the city of Machala. In the exploratory analysis, concepts, variables and hypotheses that investigate the research object for the planning and design of urban road corridors were identified. The descriptive analysis allowed us to specify key principles such as: community participation, priority setting within urban road systems, and design and management considerations for road corridors. A methodology for the planning of public spaces in urban road corridors is proposed through the construction of a relationship matrix that allows formulating policies, strategies and actions for the management of sustainable urban mobility conditioning the road corridor in aspects such as: Spatial and visual accessibility, tree planting, condition of public spaces, state of use of sidewalks. The methodology applied to Av. 25 de Junio determined that spatial and visual accessibility is within an acceptable range; in arborization a poor range; in the condition of public spaces, we have ranges from acceptable to harmful and in the state of use of sidewalks ranges from medium to acceptable. Finally, an urban corridor sustainability index of 0.44 was obtained, which indicates that it can become established as a road corridor, improving the negative aspects of each area studied.

Keywords: Accessibility, Urban Road Corridors, Public Spaces, Planning.

1. INTRODUCCIÓN

Existen espacios en los que los estudios de planificación de las ciudades permiten propuestas de ordenamiento que han alimentado la investigación de planificación urbana, entre ellos los principales participantes son universidades, institutos de estudios urbanos, organizaciones independientes e investigadores que desarrollan el conocimiento a través de distintas aproximaciones al tema de lo urbano. Los municipios con su estructura de gestión y planificación normativa, interpretan la teoría con la realidad de las ciudades, donde convergen proyectos concretos de planificación en el territorio. La planificación y el diseño urbano ayudan a implementar corredores sostenibles que alberguen entornos naturales y son necesarios en las áreas urbanas y suburbanas, además de incentivar a las actividades recreativas, de movilidad y una educación sobre la naturaleza.

El desarrollo urbanístico de una ciudad sin la aplicación de indicadores para la valoración sobre un corredor viario urbano concluye con una planificación urbana inadecuada, congestión vial, accidentes de peatones, falta de accesibilidad al transporte urbano, la falta de acondicionamiento y la calidad del mobiliario (luminarias, bancas, carteles de información y paradas de transporte). Todas las causas antes citadas han provocado desorden urbano, infraestructura vial inadecuada y usuarios insatisfechos.

En la actualidad la ciudad se caracteriza por la movilidad mecanizada y masiva, y se funda en la movilidad individual como garante de los desplazamientos, condicionando poniendo a su servicio el sistema urbano y de transportes. La movilidad motorizada individual es cada vez más utilizada por los traslados cotidianos al trabajo, escuela, casas y equipamientos. Por lo tanto, se hace la necesidad de más modos de transporte motorizados. Las políticas de movilidad en el siglo XX, como consecuencia, se han servido de una ingeniería del tráfico simultáneamente convencional y positivista basada en la intensidad, composición, velocidad del tráfico, capacidad circulatoria y el nivel de servicio.

Países como Inglaterra, Holanda, Dinamarca, Francia, Canadá y Estados Unidos, fueron pioneros en las primeras redes de vías verdes que incrementaron ante la gran aceptación de la gente debido al uso para asistir a los colegios o trabajos. El número de usuarios en bicicleta se duplicaron en unos años y son utilizadas por patinadores, personas con discapacidades, niños, turistas y usuarios a favor de la movilidad no motorizada. En París, Barcelona, Nueva York entre otras grandes ciudades de Europa y Estados Unidos poseen una amplia red de bicicletas públicas, favoreciendo la intermodalidad, la integración de las bicicletas con el transporte público masivo, ayudando a reducir los tiempos de viaje y espera, y creando ciudades con transporte más sostenible y amigables con el medio ambiente [1]. El uso de la bicicleta se ha venido convirtiendo en una opción de movilidad, que ayuda a reducir problemas de congestión del tráfico, la mala calidad del aire provocada por las emisiones de gases que contribuyen al cambio climático.

Otoni establece que la seguridad al peatón influye en la interacción con los corredores verdes, por ello establece dimensiones como la seguridad personal, seguridad vial, interacción con otros peatones, miedo a la delincuencia y la relación que se tiene con la accesibilidad con el entorno construido, por ello es necesario darle su nivel de importancia en el estudio. La importancia de establecer corredores viarios urbanos que conecten a todos los ciudadanos con el centro urbano es debido a las características especiales de cada ciudad donde existen líneas troncales de transporte masivo, concentración comercial y de servicio [2].

La Agenda de Hábitat Sostenible del Ecuador 2036, está basada en la Nueva Agenda Urbana y en los Objetivos de Desarrollo Sostenibles de la Agenda 2030, Que tiene como objetivo *“consolidar ciudades y asentamientos humanos más equitativos, sustentables y productivos”* [3]. Considerando que las ciudades son espacios en donde el hombre realiza actividades cotidianas sean estas culturales, sociales, económicas, productivas y políticas, debe existir una planificación y ordenamiento de todos los espacios públicos, que giren en temas como la equidad, inclusividad, desarrollo, sostenibilidad a lo que hace referencia la Agenda, donde la distribución y la administración de la infraestructura, los equipamientos y servicios estén en conformidad con los sistemas ambientales a fin de considerar ciudades más sostenibles. Los objetivos que se alinean a un corredor urbano son promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos, lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles, garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y frenar la pérdida de la diversidad biológica.

Los modelos de la planificación urbana de la zona de estudio a lo largo de su historia en la ciudad de Machala no han sido renovados, y no se encuentran en la agenda de discusión o investigación urbana actual, por lo que se pretende generar una relevancia social y científica. La planificación de espacios públicos urbanos y su relación con los corredores viarios urbanos tiene relevancia social, científica y un significativo impacto en el conocimiento de la realidad socioeconómica de las ciudades. Para ello se planteó como objetivo estudiar los corredores viarios urbanos mediante una metodología de planificación de los espacios públicos para la optimización de la movilidad urbana en ciudades intermedias.

Se busca atender la problemática de las perspectivas y políticas de desarrollo urbano de la ciudad, para aportar con estrategias en el marco de la planificación de espacios públicos y su relación con los corredores viarios urbanos, con el fin de generar lineamientos que permitan promover un estilo de vida urbana centrado en la integración entre distintos modos de transportes públicos motorizados y no motorizados.

2. METODOLOGÍA

Las ciudades efectúan un papel importante en los espacios que generen influencia cultural e inclusión social aumentando el desarrollo económico de una región o país. Con la creación de estos espacios se ha priorizado el uso del vehículo privado el cual ha creado varios problemas tales como congestionamientos vehiculares, contaminación ambiental y auditiva, problemas en la salud de los ciudadanos, entre otros. Por esa razón en las últimas décadas se ha venido implantando nuevos sistemas de transportes que sean más eficientes y sostenibles, en donde se le da gran importancia al ciudadano a pie dentro del espacio público [4]. El rápido desarrollo de la expansión urbana ha llevado a la pérdida en la biodiversidad y del paisaje. Algunos argumentan que es necesario centrarse en los corredores ecológicos urbanos dentro de la escala más grande de las zonas urbanas y espacios rurales [5]. Los conectores viarios forman parte de la red de espacios públicos, ellos facilitan las conexiones dentro de la ciudad, ahorrando tiempo de viaje en los recorridos de los ciudadanos. En términos de movilidad la conectividad guarda relación con la accesibilidad, en referencia a infraestructura urbana ayudando a un mejor desplazamiento de todo tipo de usuario de la vía.

El caso de estudio fue la zona central de la ciudad de Machala comprendida por las parroquias urbanas Machala, La providencia y Jubones, limitadas por la Av. Edgar Córdova Polo hasta la Av. Las Palmeras y la Calle Marcel Laniado hasta la calle Arízaga. Dentro de esta área se definió la Av. 25 de junio como corredor viario urbano, donde se analizó indicadores como la accesibilidad vial y transporte público el cual se examinó mediante una lista de cotejo donde establecemos si el corredor cuenta con acceso vial, aceras peatonales, accesos a ciclistas, y al transporte público, luego obtendremos criterios de accesibilidad peatonal para el cual será necesario realizar un inventario de equipamientos que representen la accesibilidad para los peatones, de igual manera se obtendrán datos de cantidad de edificios y alturas encontradas en el corredor vial mediante observación directa, otros indicadores a obtener será la diversidad de vegetación y la superficie de sombra cuyos valores se conseguirán con el conteo de arborización mediante observación directa. Se pretende indicar la complejidad urbana con la existencia de lugares de deporte, alimentación, paseo, entre otros. La iluminación nocturna es un indicador importante por lo cual se obtienen dimensiones de zonas alumbradas, se evalúa el uso de la acera donde se establecen indicadores como la diversidad de usos, la relación que existe entre los portales y las aceras, y entre las rampas de estacionamiento y las aceras peatonales.

Implementar un corredor vial logra aumentar la productividad en los alrededores del corredor generando así plazas de empleo, permite que la ciudad sea más segura, resiliente y sostenible, permite implementar zonas productivas que aumentan el consumo, mejora de espacios verdes dentro del corredor y aporta como medida para promover el uso de ecosistemas terrestres ayudando a la reforestación y así aumentar la diversidad biológica.

En la Figura 1 se presenta la metodología propuesta para la planificación de corredores viarios urbanos donde indica la revisión de la accesibilidad espacial y visual, condición de espacios públicos, arborización, estado de uso de aceras para culminar con la obtención del índice de sostenibilidad de corredores urbanos (ISCU).

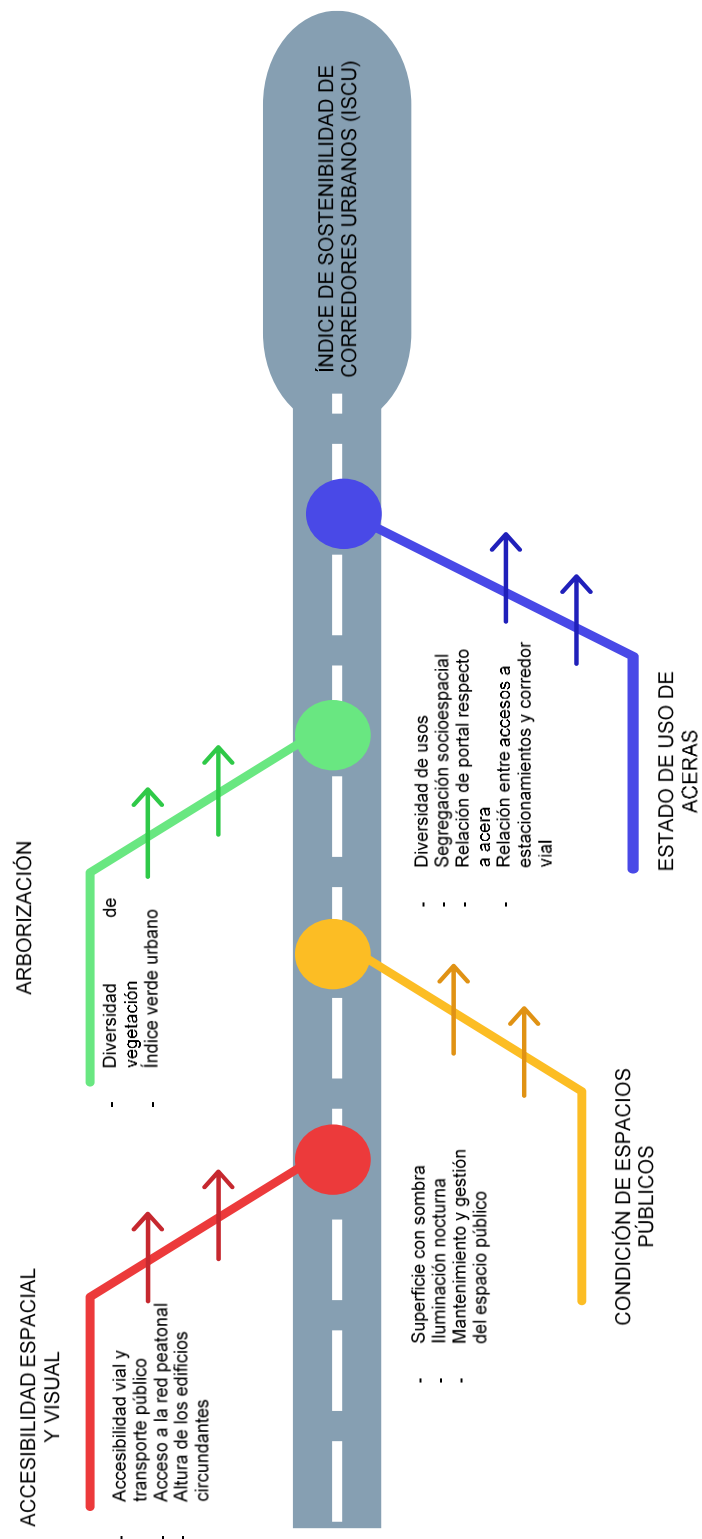


Figura 1: Metodología para la planificación de corredores viarios urbanos

2.2. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

Como primer paso se realizó la valoración de la accesibilidad peatonal en el corredor viario urbano como lo indica en la tabla 1. Este indicador sirve para la valoración en la dimensión en la accesibilidad espacial y visual (ver tabla 2) el cual deberá cumplir con la mayoría de equipamientos propuestos. De esta manera se obtiene la “zona ideal” modelo de accesibilidad peatonal adaptado al entorno, considerando los siguientes equipamientos y ponderaciones:

Tabla 1: Accesibilidad peatonal para una zona ideal

COMPONENTE	EQUIPAMIENTO	PONDERACIÓN
SERVICIO PÚBLICO	Servicio público	1
SERVICIO DE ABASTECIMIENTO	Restaurantes y cafeterías	0,75
	Autoservicio	1
	Locales comerciales	0,5
TRANSPORTE	Transporte público	1
RECREACIÓN	Espacio público	1
	Ocio o entretenimiento	0,5
CULTURA	Equipamiento cultural	0,5
SALUD	Equipamiento de salud - clínicas	0,75
	Farmacias	1
EDUCACIÓN	Equipamiento educativo - primaria	0,5
	Equipamiento educativo - secundaria	0,5
ZONA BANCARIA	Bancos	1
TOTAL		10

Tabla 2 :Matriz de planificación de un corredor viario urbano

DIMENSIONES	INDICADORES	RANGO DE CALIFICACION
ACCESIBILIDAD ESPACIAL Y VISUAL	Accesibilidad vial y transporte público	Óptimo: 4 Aceptable: 3 Medium: 2 Deficiente: 1 Perjudicial: 0
	Acceso a la red peatonal	Óptimo =>8 Aceptable =>6 <8 Promedio =>4 <6 Deficiente =>2 <4 Perjudicial =>0 <2
	Altura de los edificios circundantes	Óptimo =>2,40 Aceptable =>1,80 <2,40 Promedio =>1,20 <1,80 Deficiente =>0,60 <1,20 Perjudicial =>0 <0,60
ARBORIZACIÓN	Diversidad de vegetación	Óptimo =>16 Aceptable =>12 <16 Promedio =>8 <12 Deficiente =>4 <8 Perjudicial =>0 <4
	Índice verde urbano	Óptimo =>12 Aceptable =>12 <9 Promedio =>9 <5 Deficiente =>5 <2 Perjudicial =>2
CONDICIÓN DE ESPACIOS PUBLICOS	Mezcla de instalaciones - Complejidad urbana	Óptimo =>2,40 Aceptable =>1,80 <2,40 Promedio =>1,20 <1,80 Deficiente =>0,60 <1,20 Perjudicial =>0 <0,60
	Superficie con sombra	Óptimo =>80% Aceptable =>60% <80% Promedio =>40% <60% Deficiente =>20% <40% Perjudicial =>0% <20%
	Iluminación nocturna	Óptimo =>80% Aceptable =>60% <80% Promedio =>40% <60% Deficiente =>20% <40% Perjudicial =>0% <20%
	Mantenimiento y gestión del espacio público	Óptimo =>80% Aceptable =>60% <80% Promedio =>40% <60% Deficiente =>20% <40% Perjudicial =>0% <20%

DIMENSIONES	INDICADORES	RANGO DE CALIFICACION
ESTADO DE USO EN ACERAS	Diversidad de usos	Óptimo =>2,40 Aceptable =>1,80 <2,40 Promedio =>1,20 <1,80 Deficiente =>0,60 <1,20 Perjudicial =>0 <0,60
	Segregación socioespacial	Óptimo =>0,76 =<1,25 Aceptable =>0,57 <0,76 o >1,25 =<1,41 Promedio =>0,38 <0,57 o >1,41 =<1,58 Deficiente =>0,19 <0,38 o >1,58 =<1,75 Perjudicial =>0 <0,19 o >1,75
	Relación de portal respecto a acera	Óptimo =>0% <20% Aceptable =>20% <40% Promedio =>40% <60% Deficiente =>60% <80% Perjudicial =>80%
	Relación entre accesos a estacionamientos y corredor vial	Óptimo =>0% <20% Aceptable =>20% <40% Promedio =>40% <60% Deficiente =>60% <80% Perjudicial =>80%

Luego mediante rangos de calificación propuestos en la Tabla 3, se determinaron mediante una calificación numérica el estado actual de un corredor viario urbano en la ciudad y así evaluar la preparación urbana de cada zona. La misma calificación se aplica en el caso del promedio obtenido en cada zona, denominado como Índice de sostenibilidad de corredores urbanos, el cual indica que mientras más cercano a 2 es más adecuado como un corredor vial urbano.

Tabla 3: Valoración numérica por descriptores

Óptimo : 2
Aceptable : 1
Promedio : 0
Deficiente : -1
Perjudicial : -2

3. RESULTADOS

El modelo contiene indicadores para valorar el estado actual de las calles urbanas y que estas puedan presentarse a disposición para convertirse en un corredor viario urbano. El siguiente análisis se identificará el estado actual de la calle 25 de junio analizado como un corredor viario urbano, con la finalidad de obtener ideas para la planificación y mejora de la infraestructura del sector. Definimos la Av. 25 de Junio como corredor viario urbano, donde se encontraron características de los equipamientos y el área de cobertura, y se dividió en 4 zonas como se muestra en la Figura 2.



Figura 2: Zonas de estudio

Una vez realizado el levantamiento de información de los equipamientos ubicados en las diferentes zonas en las se divide el caso de estudio, se presenta a continuación las valoraciones obtenidas en cada componente por sector. Los resultados obtenidos de la valoración de accesibilidad peatonal (tabla 4) se agregan en la matriz de planificación de corredor viario urbano en el ítem de acceso a la red peatonal.

Tabla 4: Índices de accesibilidad peatonal en zonas de estudio

COMPONENTE	Equipamiento	Sector 1	Sector 2	Sector 3	Sector 4
SERVICIO PÚBLICO	Servicio público	1	1	1	1
SERVICIO DE ABASTECIMIENTO	Restaurantes y cafeterías	0,75	0,75	0,75	0,75
	Autoservicio	1	0	1	0
	Locales comerciales	0,5	0,5	0,5	0,5
TRANSPORTE	Transporte público	1	1	1	1
RECREACIÓN	Espacio público	1	1	1	1
	Ocio o entretenimiento	0,5	0,5	0,5	0,5
CULTURA	Equipamiento cultural	0	0	0,5	0
SALUD	Equipamiento de salud - clínicas	0	0,75	0,75	0,75
	Farmacias	1	1	1	1
EDUCACIÓN	Equipamiento educativo - primaria	0,5	0,5	0,5	0,5
	Equipamiento educativo - secundaria	0,5	0,5	0	0,5
ZONA BANCARIA	Bancos	1	1	1	1
TOTAL		8,75	8,5	9,5	8,5

Se observó que la mayoría de servicios inventariados en las zonas descritas cumplen con la mayoría de equipamientos de la zona ideal propuesta, se obtuvieron valores mayores a 8 indicando que la accesibilidad para los peatones es óptima, ya que dentro de cada zona existe una gran diversidad de equipamientos que cumple con un mínimo requerido para una zona ideal, así existe un mayor número de personas dispuestas a caminar en el corredor de la avenida 25 de junio desde la Av. Edgar Córdova Polo hasta la Av. Las Palmeras.

Luego se valoraron los indicadores propuestos en la matriz de planificación de corredores viarios urbanos (Ver tabla 2). Se determinó accesibilidad espacial y visual, arborización, condición de espacios públicos, estado de uso en aceras. En la Figura 3 se identificaron las rutas de líneas de buses dentro de las zonas estudiadas.

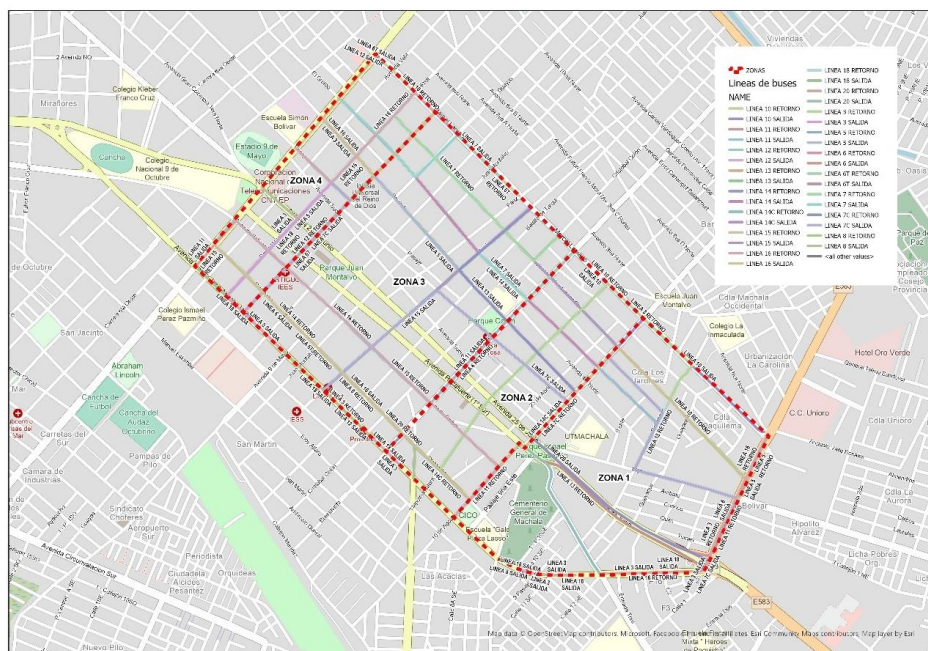


Figura 3: Acceso de Transporte público

En la tabla 5 se presenta un cuadro de resumen que compara cada valoración por cada indicador tales como la altura de los edificios circundantes, diversidad de vegetación, mezcla de instalaciones - complejidad urbana, superficie con sombra, iluminación nocturna, mantenimiento y gestión del espacio público, diversidad de usos, relación de portal respecto a acera, relación entre accesos a estacionamientos y aceras peatonales, los cuales se evaluaron mediante fichas, mapas, listados y formulas presentes en los artículos de referencia.

Tabla 5: Resumen de valoración de indicadores

ZONA	Accesibilidad vial y transporte público	Acceso a la red peatonal	Altura de los edificios circundantes	Mezcla de instalaciones - urbana	Iluminación nocturna	Diversidad de vegetación	Índice verde urbano	Superficie con sombra	Mantenimiento y gestión del espacio público	Diversidad de usos	Segregación socioespacial	Relación de portal respecto a acera	Relación entre accesos a estaciones y acera peatonal
ZONA 1	1	2	2	1	1	0	-2	-2	-2	0	2	2	2
ZONA 2	1	2	2	1	2	-2	-2	-2	-2	0	2	1	2
ZONA 3	1	2	1	1	2	-2	-2	-2	-2	1	2	1	2
ZONA 4	1	2	2	1	1	-1	-2	-2	-2	1	2	1	2

Para la evaluación final, se obtuvo el índice de sostenibilidad de corredores urbanos (**ISCU**) como valor que define que tan sostenible es un corredor vial en una zona determinada en términos de los indicadores de planificación de un corredor viario urbano.

Para el análisis de los criterios que envuelven a un corredor viario urbano por diferentes zonas se presenta en la Figura 4 a la Zona 1, que parte de Av. Edgar Córdova Polo hasta la calle 10 de Agosto en la ciudad de Machala. Se observa que se tiene una deficiencia en indicadores como la diversidad de vegetación, superficie con sombra, mantenimiento y gestión del espacio público y la diversidad de usos. Esto se debe a que en todo el tramo no existe una cantidad de árboles perceptible, lo que conlleva a que no haya suficiente sombra donde el peatón pueda protegerse del intenso sol de la zona, también se observa que no existe gran diversidad de usos en esta zona ya que no cuentan con suficientes comerciales, parques, entre otros que ayuden a la movilidad lo que conlleva a obtener un ISCU de 0,54.

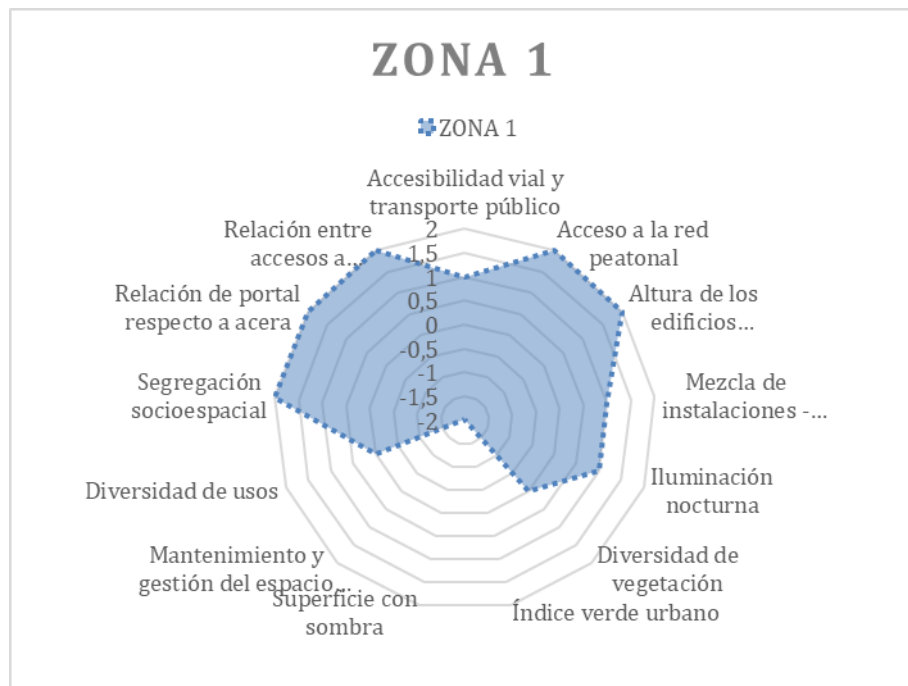


Figura 4 :Radial evaluativo de zona 1

En la figura 5, que corresponde a la zona 2, que parte de la calle 10 de Agosto hasta la Calle Buenavista, se observan deficiencias en la relación entre los estacionamientos y el área de la acera, así como en las superficies con sombra, el mantenimiento y la diversidad de usos. Se presentan pequeñas deficiencias en la accesibilidad vial y de transporte público, esto principalmente porque no existe acceso a ciclistas, además de los mismos problemas que se observaron en la zona 1 por lo cual el ISCU tiene valor de 0,38.

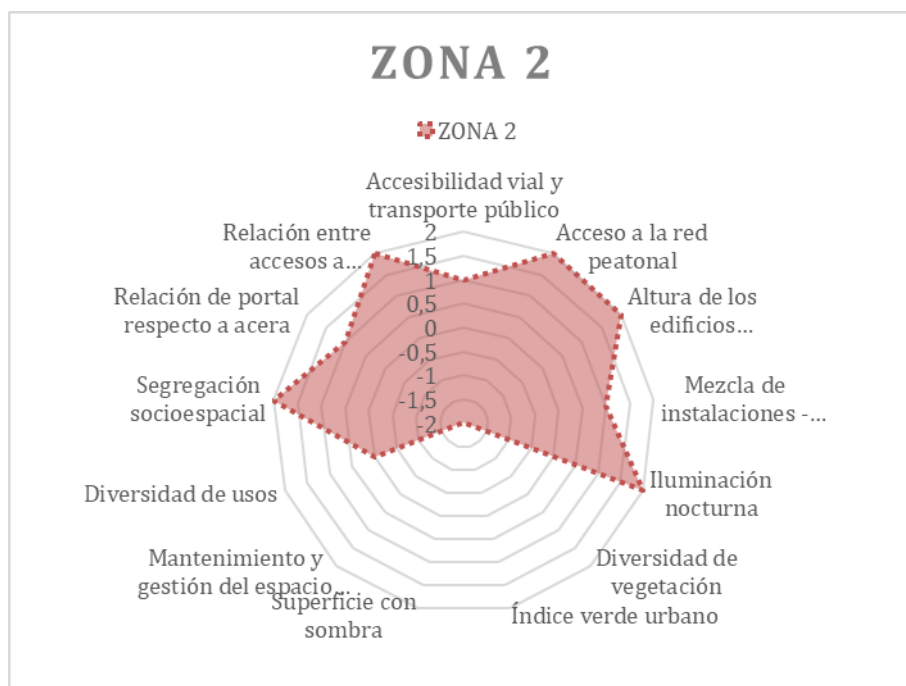
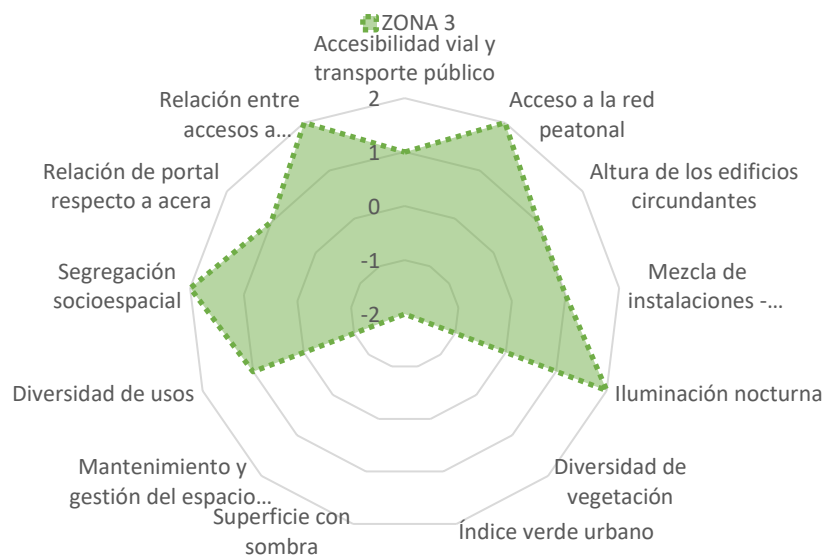


Figura 5: Radial evaluativo de zona 2

En la figura 6 se observa la zona 3, que parte de la calle Buenavista hasta la calle Ayacucho. Esta zona presenta las mismas deficiencias que las anteriores como las superficies con sombra, el mantenimiento y la diversidad de usos, además se presentan pequeñas deficiencias en la accesibilidad vial y el transporte público, lo cual conduce a un ISCU de 0,38.

ZONA 3

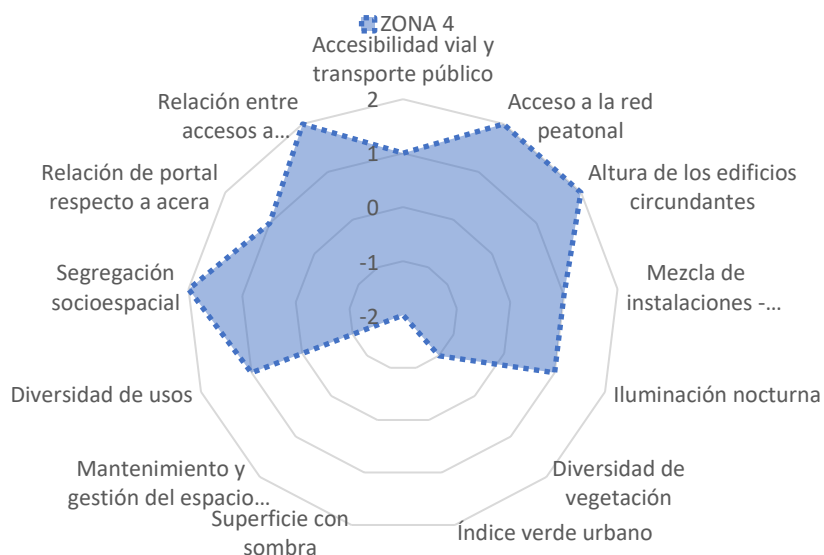


ISCU 0,38

Figura 6 :Radial evaluativo de zona 3

Se finaliza con la observación de la zona 4, que parte de la calle Ayacucho hasta la Av. Las Palmeras y se observa que presenta deficiencias iguales a las zonas anteriores, también presenta pequeñas faltas en el indicador de iluminación nocturna lo que conlleva a obtener un ISCU de 0,46.

ZONA 4



ISCU 0,46

Figura 7: Radial evaluativo de zona 4

En la tabla 6 se observa la valoración general del corredor viario urbano de la Av. 25 de Junio, como resultado se obtuvo: en la dimensión de Accesibilidad espacial y visual se encuentra en un rango óptimo y aceptable; en la dimensión de arborización se encuentra en un rango deficiente; en la condición de espacios públicos se tienen rangos de aceptable, deficiente y perjudicial y en el estado de uso de aceras se tienen rangos de medio, óptimo y aceptable.

Tabla 6: Evaluación de corredor vial 25 de Junio

ZONA	ISCU
ZONA 1	0,53
ZONA 2	0,38
ZONA 3	0,38
ZONA 4	0,46
PROMEDIO	0,44

Se verifica la hipótesis para el caso de estudio de un corredor viario urbano sustentable que la Av. 25 de junio donde se obtuvo un **Índice de sustentabilidad de corredor urbano** de 0,44, con este valor se indica que puede llegar a establecerse como corredor viario, mejorando los aspectos negativos de cada zona, ya que contiene indicadores que no se encuentran dentro de los parámetros establecidos en la metodología propuesta. Para poder cumplir con las dimensiones de la metodología se deberá elaborar un plan de mejoras de cada indicador que cuente con una calificación inferior a la media. Por otro lado, se debe tomar en cuenta los indicadores propuestos para la planificación urbana en territorio, ya sea para adecentamiento urbano o nuevas planificaciones urbanas en ciudades intermedias.

4. CONCLUSIONES

De acuerdo con la investigación bibliográfica realizada se obtuvo información de tres métodos: Por Indicador del confort en el espacio público, Medición y representación espacial para ciudades compactas y sustentables y Modelo de accesibilidad peatonal (MAP). Para la presente investigación se adoptaron los dos últimos métodos debido a que se adaptan de mejor manera al contexto de una ciudad intermedias.

Las características de un corredor viario urbano tomado como caso de estudio la Av. 25 de junio se determinaron y fue establecido que: en la dimensión de Accesibilidad espacial y visual se encontró en un rango óptimo y aceptable; en la dimensión de arborización se encontró en un rango deficiente; en la condición de espacios públicos se tuvieron rangos de aceptable, deficiente y perjudicial y en el estado de uso de aceras se establecieron rangos de medio, óptimo y aceptable.

Se obtuvo la matriz para el modelo de planificación, donde se establecieron los rangos de valoración que se miden en cada indicador, y se adaptaron evaluaciones de corredores viarios urbanos al entorno de estudio, con la verificación mediante rangos de calificación. Finalmente se obtuvo un Índice de sustentabilidad de corredor urbano de 0,44, el cual indica que puede llegar a establecerse como corredor viario, mejorando los aspectos negativos de cada zona, ya que existen indicadores que no se encuentran dentro de los parámetros establecidos en la metodología propuesta.

1. R. Rios, A. Taddia, C. Pardo, and N. Lleras, "Ciclo-inclusión en América Latina y el Caribe: Guía para impulsar el uso de la bicicleta," BID, 2015, Accessed: Apr. 03, 2022. [Online]. Available: <https://publications.iadb.org/es/ciclo-inclusion-en-america-latina-y-el-caribe-guia-para-impulsar-el-uso-de-la-bicicleta>
2. C. A. Ottoni, J. Sims-Gould, and M. Winters, "Safety perceptions of older adults on an urban greenway: Interplay of the social and built environment," *Health Place*, vol. 70, p. 102605, Jul. 2021, doi: 10.1016/J.HEALTHPLACE.2021.102605.
3. J. Cosme Casulo and J. Cosme Casulo, "Los Objetivos de Desarrollo Sostenible y la academia," *MEDISAN*, vol. 22, no. 8, pp. 838–848, 2018, Accessed: Dec. 20, 2022. [Online]. Available: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1029-30192018000800838&lng=es&nrm=iso&tlng=en
4. L. F. Benavides, M. B. Campoverde, and N. E. Cabrera, "Urban corridors as connectors of public life. Diagnosis of central urban corridors on Avenida 24 de Mayo, Azogues," *Revista Científica de Ciencias Sociales y Humanas, Azogues*, pp. 79–107, Dec. 2021. doi: 10.33324/uv.vi79.432.
5. S. Biscaya and H. Elkadi, "A smart ecological urban corridor for the Manchester Ship Canal," *Cities*, vol. 110, p. 103042, Mar. 2021, doi: 10.1016/J.CITIES.2020.103042.
6. Y. Che, K. Yang, T. Chen, and Q. Xu, "Assessing a riverfront rehabilitation project using the comprehensive index of public accessibility," *Ecol Eng*, vol. 40, pp. 80–87, Mar. 2012, doi: 10.1016/J.ECOLENG.2011.12.008.
7. O. A. Hernández-Mercado, M. Esquivel-Cuevas, and R. Garnica-Monroy, "Modelo de Accesibilidad Peatonal (MAP)," *Bitácora Urbano Territorial*, vol. 23, no. 2, Jan. 2013, doi: 10.15446/bitacora.
8. A. Santillán Fernández, I. J. Gómez Cruz, C. Emiliano Terrazas, J. Vera López, B. Rivera Hernández, and J. Bautista Ortega, "Dinámica de uso de suelo e índice verde en Poza Rica, Veracruz," *Rev Mex Cienc For*, vol. 11, no. 57, pp. 153–173, Jan. 2020, doi: 10.29298/RMCF.V11I57.648.
9. MA. Hermida, N. Cabrera-Jara, P. Osorio, and S. Cabrera, "Methodology for the assessment of connectivity and comfort of urban rivers," *Cities*, vol. 95, p. 102376, Dec. 2019, doi: 10.1016/J.CITIES.2019.06.007.

Metodología Para La Implementación De Un BRT (Bus Rapid Transit) En Ciudades Intermedias.

Methodology For The Implementation Of A BRT (Bus Rapid Transit In Intermediate Cities

Autores

Peter Jair Ortega Cueva¹, Yudy Patricia Medina Sánchez², Carlos Eugenio Sánchez Mendieta³, Fresia Luisana Campuzano Vera⁴

¹Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, Huaquillas, peterjair2383@gmail.com

²Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, Pasaje, csanchez@utmachala.edu.ec

³Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, Machala, yedina@utmachala.edu.ec

⁴Arquitecto, Universidad Técnica de Machala, Machala, fcampuzano@utmachala.edu.ec

RESUMEN

Se propone diseñar una metodología para la implementación del BRT (Bus Rapid Transit) que permita mejorar el servicio de transporte público colectivo en ciudades intermedias. A criterios de expertos el desarrollo de las ciudades se relaciona íntimamente con los sistemas de transporte público, son ellos los que facilitan la movilización de personas que necesitan hacer uso de este servicio para desplazarse a sus trabajos, centros de estudios, realizar turismo, compras entre otras actividades. Esta investigación realizó la revisión de artículos científicos que fundamenten el proceso que debe llevarse a cabo para la correcta implementación de un BRT en ciudades intermedias. Como su implementación mejora la movilidad de las personas que utilizan el transporte público, se establece una propuesta metodológica mediante criterios para la evaluación del servicio de transporte público a través de indicadores como el uso de suelo, red vial y la estimación del número de pasajeros. Así se crea una tabla de evaluación donde se encuentran rangos de implementación desde "no recomendable" hasta "recomendable", donde si el porcentaje es >100% se tendrá que evaluar otro sistema de transporte. De tal manera los resultados del estudio muestran que si se cumple con los indicadores de evaluación para recomendar implementar un BRT en la ciudad.

Palabras claves: BRT (Bus Rapid Transit), implementación, planeación, transporte público colectivo.

ABSTRACT

The objective of the following investigation is to design a methodology for the implementation of BRT (Bus Rapid Transit) to improve the collective public transport service in intermediate cities. According to expert criteria, the development of cities is closely related to public transport systems because they facilitate the movement of people to their work centers, studies, tourism, shopping among other activities. For this research, were reviewed scientific articles that support the process that must be carried out for the correct implementation of the BRT in intermediate cities. As its implementation improves the mobility of people, a methodological proposal is established through criteria to evaluate the public transport service through indicators such as land use, road network and estimation of the number of passengers. A table is created to evaluate where there are implementation ranges from "not recommended" to "recommended", where if the percentage is >100% another transport system will have to be evaluated. The results of the study show that the evaluation indicators are met to recommend implementing a BRT in the city of Machala.

Keywords: BRT (Bus Rapid Transit), implementation, planning, collective public transport.

Nota Editorial: Recibido: Diciembre 2022 Aceptado: Febrero 2023

1. INTRODUCCIÓN

Un transporte público eficiente es el que permite satisfacer las necesidades de movilidad de los ciudadanos. Por tal motivo, se hace necesario investigar sobre modos de transporte con sistemas integrados masivos que contribuyan a una ciudad más amigable con el medio ambiente, debido a que el tema de transporte público en la actualidad se relaciona íntimamente con el tema Ciudad Sostenible. La importancia de un servicio eficiente y organizado, genera una mejor alineación de los espacios públicos, mobiliario urbano, infraestructura, entre otros. No solo basta con brindar un servicio eficiente, si no también tomar en cuenta la sobreoferta de vehículos privados que crean demoras en los desplazamientos del usuario por el caos vehicular generando una oportunidad para la planificación y gestión del tránsito. Pensando en el desarrollo económico de la ciudad de Machala, se realiza el presente trabajo investigativo donde se propone un nuevo sistema de transportación pública que permita mejorar la movilidad humana ya que el desarrollo de las ciudades se relaciona íntimamente con los sistemas de transporte público, debido a que facilitan la movilización de personas que necesitan hacer uso de este servicio para desplazarse a diferentes puntos sean estos por trabajo, estudios, turismo, compras entre otras actividades [1].

Los BRT son modelos de autobuses articulados con infraestructura propia, para operar de una manera más eficiente que los autobuses tradicionales, y que se vienen poniendo más en moda en América Latina y el mundo en general. Tienen un costo relativamente más bajo que los otros sistemas de transporte, llegando hacer sustitutos de las redes del metro y de trenes urbanos [2]. Entre los elementos básicos para el funcionamiento del Sistema Integrado de Transporte Masivo Urbano se encuentran: vías exclusivas (separadas del resto del tránsito), estaciones de transferencias, centro de control operacional, paradas elevadas de acceso controlado, pago de pasaje antes de subir a la unidad. Son buses articulados con alimentadores que atraviesan la ciudad por carriles exclusivos, trasladando a los pasajeros y dejándolos en paradas que se ubican aproximadamente cada 300 metros [3].

El BRT como tal no resolverá toda la variedad de desafíos sociales, ambientales y económicos que enfrentan los diferentes centros urbanos alrededor del mundo. No obstante, el BRT ha demostrado ser un catalizador efectivo para ayudar a la transformación de ciudades hacia ambientes más vivibles y amigables para los seres humanos. El atractivo del BRT es la habilidad de proporcionar un sistema de transporte masivo de alta calidad dentro del presupuesto de la mayoría de las municipalidades, incluso en ciudades de bajos ingresos. Los sistemas BRT han demostrado que la barrera para lograr un transporte masivo efectivo no es el costo o la alta tecnología [4].

La ciudad de Machala en la actualidad cuenta con tres operadoras de transporte público urbano, que cubren las necesidades de gran parte de su territorio. Operadoras con rutas y frecuencias de circulación establecidas, la mayoría de sus líneas pasan por la zona céntrica de la ciudad, lo que provoca embotellamiento vehicular en las calles del centro de la urbe machaleña, siendo la causa principal de la pérdida de tiempo de viaje de los usuarios de la vía, pues a pesar de que existen carriles establecidos para la circulación de buses, existe una competencia por parte de los mismos, lo que conlleva a una insatisfacción del usuario, quien es el más afectado, alejándola así del término Ciudad Sostenible.

Algunas ciudades ecuatorianas han apostado en este inicio de siglo por nuevos e importantes proyectos de transporte público, lo cual obliga a recopilar, procesar y analizar de forma periódica datos cuantitativos y cualitativos no solo sobre la operación de los sistemas, sino sobre los impactos positivos y negativos que se pueden producir en los usuarios, en sus áreas de influencia y en la ciudad en general. Como el caso de los BRT en Quito y Guayaquil, el metro y el tranvía en Quito y Cuenca, respectivamente, y aquellos menos tradicionales, como el Quito-Cable y la aerovía en Guayaquil. En la tabla 1 se aprecia qué tipo de transporte es aconsejable según la Guía de Planificación de Sistemas BRT en función de la capacidad pasajero/hora [4].

Tabla 1 : Matriz de decisiones de transporte público

TIPO	PARÁMETRO PASAJERO/HORA
Bus	DE 3.000 HASTA 6.000
Tren Ligero	DE 6.000 A 12.000
Metro	DE 25.000 HASTA 45.000
Bus De Tránsito Rápido (BRT)	DE 3.000 HASTA 45.000

La densidad poblacional mundial se incrementa y las necesidades de desplazamientos de manera más rápida, eficiente y amigable con el medio ambiente es un tema que gana interés por investigadores en relación a los sistemas de transporte público. Por este motivo se plantea la investigación a través de un estudio del transporte público y la operatividad del mismo mediante una metodología para implementar un bus sistema BRT; por cuanto la demanda de pasajeros actual supera a la clásica unidad de transporte [5].

A este sistema se requiere otorgar un carril exclusivo y con señalización semafórica de preferencia porque desplazará a las personas de manera más rápida a sus destinos, siendo opción de movilidad del usuario para que deje de usar otros medios de transporte motorizados causantes de los conocidos embotellamientos en las calles, pérdida de tiempo de viajes, accidentes y la contaminación ambiental y auditiva. El servicio de transporte público urbano en la ciudad de Machala cubre gran parte del territorio de la urbe. La relación entre la oferta y la demanda de pasajeros permite pensar en la implementación de un nuevo sistema BRT para que los ciudadanos se desplacen de manera más cómoda, rápida, segura y a un costo razonable para su economía. Las actividades diarias del ser humano se localizan en los lugares de trabajo, escuelas, tiendas, lugares de recreación y entretenimiento, generalmente nunca se encuentran cerca o junto a nuestras casas. Uno puede darse cuenta de qué tan importante es el transporte en la vida cotidiana con sólo mirar alrededor, a cualquier lado que se mire podremos ver una calle o un automóvil, pues son los sistemas de transporte los protagonistas directos del desarrollo de las ciudades. Los resultados de las estadísticas mundiales de los sistemas BRT están en función de las siguientes variables: por ciudad, por pasajero, por número de autobuses y por velocidad promedio [2].

La demanda de movilidad y transporte se determinan por la configuración de las ciudades. La movilidad sostenible busca reducir distancias y promover desplazamientos cortos en las actividades cotidianas con planificaciones en las que se articulen sistemas integrados de movilidad inclusiva, en donde los habitantes se puedan conectar con todo el territorio y adecuar las actividades económicas, sociales y políticas. Es primordial considerar una sostenibilidad ambiental, social y económica; por lo cual es importante reducir la circulación del vehículo privado motorizado, y articular la movilidad a todas las formas y medios de transporte para los desplazamientos [5].

Existen modos de transporte motorizados y no motorizados y la calidad de cada uno de ellos influirá en el ciudadano que utiliza este medio de transporte; que va desde una bicicleta, un automóvil particular, caminar, un BRT y otros sistemas de transporte masivo de alta capacidad y servicialidad como un Transmilenio, un metro o un tren ligero, pues el transporte puede ayudar o afectar la eficiencia de la economía urbana en las ciudades [6].

1.1. ALCANCES Y OBJETIVOS

La planificación del transporte público urbano en la ciudad de Machala no ha sido manejada correctamente; debido a ello el transporte público ha sido implantado por emprendedores privados, y han agrupado sus unidades en tres operadoras: Ciudad de Machala, Oroconti y Multioro, mismas que a pesar de ser controladas por la Empresa Pública Municipal de Movilidad de Machala, trabajan de manera independiente. De tal manera, existen variedades de puntos de vista con respecto a la eficiencia del servicio como: rutas y frecuencias de las unidades, información geográfica de paradas, tiempos de espera en paradas, tiempos de viaje, infraestructura de unidades, accesibilidad y tarifas. Por ello se plantea en esta investigación, si es factible la implementación de un BRT en ciudades intermedias como Machala para mejorar la movilidad de las personas que utilizan el transporte público urbano. Para cumplir con esta interrogante el objetivo es establecer una propuesta metodológica mediante los criterios para la evaluación del servicio de transporte público que permita la implementación del BRT en ciudades intermedias.

2. METODOLOGÍA

En esta investigación se levantó información en referencia a verificación de la documentación proporcionada por el ente regulador del transporte en la ciudad. Para la fundamentación teórica y conceptual se recopiló información bibliográfica por medio de libros, revistas, artículos, tesis y manuales en relación a investigaciones previas, estudios o trabajos realizados a nivel nacional e internacional, referentes al tema que se está abordando. Se realizó una búsqueda de información en las oficinas de operadoras de transporte público urbano de la ciudad de Machala y se analizaron las experiencias recientes en Latinoamérica. Las organizaciones internacionales han estado liderando proyectos de este tipo y han documentado las características y los impactos de estos sistemas. El método de análisis de datos se realizó mediante tablas y gráficos que resultaron de la toma de información tales como: conteo sube y baja de pasajeros, fichas de observación de las características de la red vial y tablas de cotejo de los equipamientos urbanos. Las tablas presentan la información desagregada y permiten de forma simple y rápida observar las características de los datos. Para el diseño de la metodología de implementación del BRT, que mejore el servicio de transporte público colectivo en ciudades intermedias se utilizaron métodos de evaluación de criterios respaldados en publicaciones indexadas y guías técnicas de tránsito que contribuirá al presente trabajo de investigación [7]. Es así que se presenta la tabla 2 la cual se adaptó de la revisión bibliográfica y donde se propone la metodología para la evaluación en la implementación de un BRT y se evalúa los indicadores del uso de suelo, red vial y estimación de pasajeros.

Tabla 2:: Metodología para la evaluación de la implementación de un BRT en ciudades intermedias

DESARROLLO	DEFINICIÓN	CRITERIO	INDICADORES	INSTRUMENTOS
Inventario de transporte público	El inventario de transporte público es el número de operadoras, y sus unidades afiliadas con las que cuenta la ciudad para cubrir la demanda del transporte público.	Operadoras de transporte público	Número de operadoras. Número de unidades.	Análisis de contenido. Información obtenida por la entidad.
Operatividad del transporte público	El estado del nivel de servicio, los horarios y la capacidad máxima de flota, la oferta y demanda de cada ruta en horas pico y el cumplimiento de sus paradas.	Planificación urbana	Frecuencia operacional y conteo sube/baja de pasajeros. Inventario de infraestructura de paradas	Fichas de observación:
Inventario de Rutas de transporte Público	Son las características de la operatividad, longitud, el tiempo de viaje, la velocidad y la eficiencia del de transporte público actual.	Rutas de transporte público	Longitud, tiempo de viaje y velocidad de circulación.	Análisis de contenido.
Inventario de vial	Son las características de la vía definidas por el volumen vehicular y capacidad vial.	Características geométricas de la vía.	Volumen vehicular.	Aforo vehicular automático. Aforo peatonal manual y digital Fichas de observación.
Movilidad urbana	La movilidad es un hábito de la sociedad, que surge de la necesidad de viaje y deseo de desplazamiento.	Desplazamientos	Líneas de deseo.	Encuestas O/D peatonal de uso del transporte público.
Valoración para la implementación del BRT	Los BRT son deseables en especial en ciudades grandes donde exista gran cantidad de flujo de pasajero que utilicen frecuentemente el servicio.	Implementación de BRT	Uso de suelo	Lista de cotejo. Checklist.
			Red Vial	
			Estimación del número de pasajeros	

2.1. VALORACIÓN DEL USO DEL SUELO

Para la valoración de uso del suelo, se toma en consideración a la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo, quien promueve el desarrollo equitativo y equilibrado del territorio y hace necesario garantizar la integración y paulatina dotación de los Sistemas Públicos de Soportes basado en lo siguiente: “*las infraestructuras para la dotación de servicios básicos y los equipamientos sociales y de servicios requeridos para el buen funcionamiento de los asentamientos humanos. Estos son al menos: las redes viales y de transporte en todas sus modalidades, las redes e instalaciones de comunicación, energía, agua, alcantarillado y manejo de desechos sólidos, el espacio público, áreas verdes así como equipamientos sociales y de servicios*” [8].

Se evaluará la existencia de al menos tres equipamientos urbanos que se encuentren a 10 minutos de traslado mediante la modalidad peatonal. Para lograr esta valoración se realizará mediante unas fichas de observación valoradas en la *Tabla 3*. Esto permitirá evidenciar la existencia o no de los recursos básicos del uso del suelo en relación a la infraestructura y equipamientos que posibilite la implementación de un BRT en ciudades intermedias. Los equipamientos serán aquellos que cubran las necesidades cotidianas a través de la prestación de servicios, además del conjunto de dotaciones que la comunidad estima imprescindibles para el funcionamiento de la estructura social [9].

En la *tabla 3* se muestra cómo se evaluó el uso de suelo a través de la existencia de equipamientos necesarios para la comunidad y en la *tabla 4* indica la descripción de la calificación del uso de suelo.

Tabla 3: Valoración uso de suelo

EQUIPAMIENTO		PORCENTAJE	
EQUIPAMIENTOS SOCIALES Y DE SERVICIO	ADMINISTRATIVOS	5%	35%
	POLICIA	5%	
	BOMBEROS	5%	
	EDUCATIVOS	5%	
	COMERCIAL	5%	
	FINANCIERO	5%	
	SALUD	5%	
EQUIPAMIENTOS CULTURALES	BIBLIOTECA	5%	35%
	TEATRO	5%	
	MUSEO	5%	
	SALA DE CINE	5%	
	TURÍSTICOS	5%	
	RELIGIOSO	5%	
	SALAS DE EXPOSICIÓN	5%	
EQUIPAMIENTO RECREACIÓN Y DEPORTE	PARQUES RECREATIVOS	6%	30%
	ESPACIOS PARA ESPARCIMIENTO	6%	
	CENTROS DE RECREACIÓN	6%	
	ESTADIOS	6%	
	COLISEOS	6%	
TOTAL		100%	100%

Tabla 4: Descripción de valoración de Uso de Suelo

DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
Limitada funcionabilidad de la vía	< 50%
Moderada funcionabilidad de la vía	>=50%; <75%
Adecuada funcionabilidad de la vía	>75%

2.3. VALORACION DE ESTIMACIÓN NÚMERO DE PASAJEROS

“La estimación de la demanda se refiere a determinar el volumen, así como la distribución espacial y temporal de los viajes que se realizan en el corredor de estudio” [11]. En este caso se evaluó la ocupación crítica promedio de usuarios y la demanda del transporte público urbano, con la cual se podrá analizar si es factible o no la implementación de un nuevo sistema de transporte para que la ciudad mejore la calidad de servicio. Se consideraba que los buses de transporte público urbano operan hasta 5.000 pasajeros por hora por sentido por lo que un sistema BRT operaría a mayor demanda, aproximadamente unos 12000 pasajeros por hora por sentido y si el nivel de pasajeros supera esas cantidades se necesitaría de un metro o un sistema sobre rieles elevado [2].

En la tabla 7 aparece una estimación de pasajeros por cada modalidad de transporte público. Para la valoración de la estimación de usuarios se realiza un conteo sube/baja de pasajeros. Se establece un número de usuarios requeridos en la implementación de un BRT. La valoración de la información está definida por un atributo con su respectiva ponderación la cual servirá para determinar qué tipo de transporte público es el más adecuado en función del número de pasajeros.

Tabla 7: Parámetro Pasajero/hora

TIPO	PARÁMETRO PASAJERO/HORA	ATRIBUTO	CALIFICACIÓN
Bus De Tránsito Rápido (BRT)	MENOS DE 3000	Aplica/No aplica	0.25
	DE 3.000 HASTA 45 000	Aplica/No aplica	1
	MAS DE 45 000	Aplica/No aplica	2

2.4. EVALUACIÓN GENERAL

La evaluación final para la implementación de un BRT para ciudades intermedias, se realiza mediante la ponderación en los indicadores como se muestra en la *tabla 8*. El uso de suelo al obtenerse mediante el criterio de equipamiento urbano se le otorga una ponderación del 30%. A la red vial se le otorga una ponderación del 20% ya que son indicadores que evalúan la infraestructura implantada, que mediante actividades se puede intervenir directamente para mejorarla y finalmente se obtiene la estimación de pasajeros con un 50% de su valoración, al ser un indicador fundamental en la implementación de este tipo de sistema. Finalmente, mediante la *tabla 9* se indica que tan recomendable será la implementación de un BRT en la ciudad.

Tabla 8: Valoración de cada indicador

INDICADOR	VALORACIÓN
USO DE SUELO	30%
RED VIAL	20%
ESTIMACIÓN DE PASAJEROS	50%
TOTAL	100%

Tabla 9: Descripción de la valoración según indicadores

DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
NO RECOMENDABLE	< 40%
PARCIALMENTE RECOMENDABLE	>=40%; <75%
RECOMENDABLE	>=75%; <100%
EVALUAR OTRO SISTEMA DE TRANSPORTE	>100%

3. RESULTADOS

Uso de suelo

En la *tabla 10* aparece el resultado de la evaluación del uso de suelo el cual alcanza un porcentaje del 74%. Esto indica la existencia de una moderada movilización por equipamientos. Este valor según la guía de implantación de un BRT se encuentra dentro de las condiciones aceptables para su implantación con respecto al uso del suelo.

Tabla 10: Verificación Uso de Suelo

EQUIPAMIENTOS		EXISTENCIA		CANTIDAD		PORCENTAJE	
		SI	NO	MENOS DE 3	MAS DE 3		
EQUIPAMIENTOS SOCIALES Y DE SERVICIO	ADMINISTRATIVOS	X			X	5.00%	30%
	POLICIA	X		X		2.50%	
	BOMBEROS	X		X		2.50%	
	EDUCATIVOS	X			X	5.00%	
	COMERCIAL	X			X	5.00%	
	FINANCIERO	X			X	5.00%	
	SALUD	X			X	5.00%	
EQUIPAMIENTOS CULTURALES	BIBLIOTECA	X			X	5.00%	20%
	TEATRO	X			X	5.00%	
	MUSEO		X			0.00%	
	SALA DE CINE		X			0.00%	
	TURÍSTICOS		X			0.00%	
	RELIGIOSO	X			X	5.00%	
	SALAS DE EXPOSICIÓN	X			X	5.00%	
EQUIPAMIENTO RECREACIÓN Y DEPORTE	PARQUES RECREATIVOS	X			X	6.00%	24%
	ESPACIOS PARA ESPARCIMIENTO	X			X	6.00%	
	CENTROS DE RECREACIÓN	X			X	6.00%	
	ESTADIOS	X		X		3.00%	
	COLISEOS	X		X		3.00%	
TOTAL						74%	

Red vial

Al evaluar la condición de este indicador se obtuvo como resultado un 60% de la valoración total de la red vial conformada por las calles: avenida 25 de Junio, avenida 10 de Agosto, avenida Bolívar Madero Vargas. Esto indica que la funcionabilidad de la vía se encuentra en condiciones moderadas para la implementación de un BRT, pudiendo llegar a un estado óptimo si se realizan las mejoras en las condiciones para la ejecución de este sistema de transporte.

Tabla 11: Verificación Red Vial

CONDICIÓN	PONDERACION
Número de Carriles	10%
Ancho de carril	10%
Estación de parada de bus	0%
Ancho de separador	0%
Velocidad promedio	10%
Ancho de acera	10%
Tipo de Calzada	10%
Frecuencia de servicio	5%
Congestión vehicular	5%
Red integrada de rutas	0%
TOTAL	60%

Estimación de pasajeros

Para la evaluación general de este ítem se realizó un conteo sube/baja de pasajeros en las líneas de transporte público urbano de la ciudad, dando como resultado una estimación de pasajeros de 88159 pasajero/hora en la ciudad de Machala. Con estos datos se consideró a la ruta de la línea 13 como la más adecuada para la circulación de un BRT, pues alcanza un número de 8196 pasajero/hora como se observa en la tabla 12, otorgándole una ponderación de 1.

Tabla 12: Verificación Estimación de Pasajeros

TIPO	PARÁMETRO PASAJERO/HORA	PONDERACIÓN
Bus De Tránsito Rápido (BRT)	8196	1

Evaluación general

Con los resultados obtenidos se realiza la evaluación general mediante el producto de las ponderaciones de cada indicador con su respectiva valoración, obteniendo así una calificación de 84,2% como se observa en la tabla 13. Esto indica que implementar un BRT en la ciudad es recomendable debido a que cumple con los indicadores de evaluación.

Tabla 13: Evaluación general de indicadores

INDICADOR	VALORACIÓN	PONDERACIÓN	TOTAL
USO DE SUELO	30%	74%	22.2%
RED VIAL	20%	60%	12.0%
ESTIMACIÓN DE PASAJEROS	50%	100%	50.0%
TOTAL			84.2%

4. CONCLUSIONES

Mediante la investigación se plantea que los primeros pasos para la implementación de un BRT se basan en la planificación ordenada en la que se incluye una evaluación en cuanto a la demanda, costo y beneficios, que permita demostrar que este medio de transporte es confiable, de bajo costo y amigable con el medio ambiente. Para demostrarlo se valora en el análisis de población, uso del suelo, frecuencia operacional, estudio de oferta y demanda del transporte público de la ciudad, líneas de deseo de los usuarios de transporte público, tiempo de viaje, entre otros. Para el análisis de los criterios se elaboró una matriz en la que se evalúa: Inventario de transporte público, Operatividad del transporte público, Inventario de Rutas de transporte Público, Inventario vial, Movilidad urbana, y la Valoración para la implementación del BRT.

En la ciudad de Machala, considerada como una ciudad intermedia, se obtuvo como resultado de la aplicación de la metodología una calificación de 84,2%, lo cual indica, que implementar un BRT en la ciudad es recomendable debido a que cumple con los indicadores de evaluación. La propuesta metodológica para la evaluación del servicio de transporte público colectivo se realizó mediante la ponderación de los siguientes indicadores: el uso de suelo se obtienen mediante el criterio de equipamiento urbano y se le otorga una ponderación del 30%, la red vial se le otorga una ponderación del 20% ya que son indicadores que evalúan la infraestructura implantada, que mediante la intervención mejoran la calificación, finalmente se obtiene la estimación de pasajeros con un 50% de su valoración, al ser un indicador fundamental en la implementación de este tipo de sistema.

1. D. Toro, V. Cantillo, and A. Espinoza, "Vista de La demanda de transporte público en Colombia, 2000 - 2010," in *Economía & Región*, No. 2., vol. Vol. 12, Cartagena, 2018, pp. 181–204. Accessed: Mar. 22, 2022. [Online]. Available: <https://revistas.utb.edu.co/index.php/economiaayregion/article/view/204/186>
2. J. Rosas Gutiérrez, L. Chías Becerril, J. Rosas Gutiérrez, and L. Chías Becerril, "Los BRT ¿nuevo paradigma de la movilidad urbana mundial?," *Investigaciones geográficas*, no. 103, Aug. 2020, doi: 10.14350/RIG.60045.
3. Y. Naranjo Ramos and B. Arellano Ramos, "La Metrovía como sistema BRT - el caso de la ciudad de Guayaquil," en *Libro de proceedings, CTV 2018: XII Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual: "Ciudades y Territorios Inteligentes": UNCuyo, Mendoza, 5-7 septiembre 2018*, Dec. 2018, pp. 129–142. doi: 10.5821/CTV.8237.
4. Institute for Transportation & Development Policy, "Guía de Planificación de Sistemas BRT Autobuses de Tránsito Rápido". 2010. [Online]. Available: <http://www.itdp.org>
5. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, "Agenda Hábitat Sostenible del Ecuador 2036," 2020.
6. L. L. Amézquita -Duván, F. Durán, M.-D. Heriberth, and F. Morales, "Matriz origen-destino y eficiencia en modos de transporte urbano: un análisis de la movilidad de bogotá," *Semestre Económico*, vol. 19, no. 39, pp. 91–111, 2016, doi: 10.22395/SEEC.V19N39A4.
7. H. Levinson, S. Zimmerman, J. Clinger, J. Gast, S. Rutherford, and E. Bruhn, "Bus Rapid Transit Volume 2: Implementation Guidelines," in *Transit cooperative research program*, vol. 2, Transit Cooperative Research Program, Ed. Washington, D.C., 2003. doi: 10.17226/21947.
8. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, "Lineamientos urbanísticos mínimos para registro y calificación de planes masa para el programa casa para todos," 2018. Accessed: Apr. 05, 2022. [Online]. Available: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/04/Lineamientos-Urbanisticos-Minimos-Planes-Masa.pdf>
9. S. Rueda-palenzuela, "El urbanismo ecosistémico - Dialnet," *Dialnet*, Barcelona, 2012. Accessed: Apr. 25, 2022. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7221672>
10. P. Barrios and N. Arquitectura, "Los efectos de la red vial en el comportamiento de viaje de las personas," *Revista Arquitectura +*, vol. 6, no. 11, pp. 2–20, Jun. 2021, doi: 10.5377/ARQUITECTURA.V6I11.11722.
11. Ó. Sánchez-Flores and J. Romero-Torres, "Factores de calidad del servicio en el transporte público de pasajeros: estudio de caso de la ciudad de Toluca, México," *Economía, sociedad y territorio - Scielo*, Toluca, 2010. Accessed: Apr. 25, 2022. [Online]. Available: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-84212010000100003&script=sci_arttext

Evaluación Del Transporte Público Colectivo En Ciudades Intermedias

Evaluation Of Collective Public Transportation In Intermediate Cities

Autores

Ariana Solange Condo Armijos¹, Carlos Eugenio Sánchez Mendieta², Yudy Patricia Medina Sánchez³, Fresia Luisana Campuzano Vera⁴

¹Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, Machala, acondo4@utmachala.edu.ec

²Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, Machala, csanchez@utmachala.edu.ec

³Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, Pasaje, yedina@utmachala.edu.ec

⁴Arquitecto, Universidad Técnica de Machala, Machala, fcampuzano@utmachala.edu.ec

RESUMEN

La falta de cobertura del servicio de transporte público, los tiempos de viaje excesivos, el incumplimiento en los horarios de las operadoras de transporte público y la falta de información de rutas, ocasionan malestar en los usuarios del servicio afectando la movilidad urbana y convirtiéndose en una de las principales preocupaciones para las entidades reguladoras del tránsito, debido al impacto que este tiene en la calidad de vida y en la eficiencia de los viajes, optando por otras modalidades generando poca confiabilidad al uso del transporte y una mayor dependencia al vehículo privado. Por eso se requiere una evaluación para proponer mejoras al servicio, para ello se planteó una metodología de evaluación del transporte público colectivo que permita una movilidad urbana sostenible para ciudades de hasta 300,000 habitantes donde se califican indicadores como la estructura física del transporte, jerarquización de recorridos, equipamientos, capacidad del servicio, paradas de buses, cobertura del transporte público, tiempo de viaje y frecuencia. Se analizó el transporte público colectivo la ciudad de Machala donde se obtuvo una valoración del 50%, lo que indica que el servicio actual es regular. Con esto se concluye que para que el transporte público colectivo permita una movilidad urbana sostenible deberá evaluarse los indicadores propuestos donde analizan características del transporte público, motivos y duración de viajes, infraestructura, entre otros para finalmente realizar una valoración de los resultados en términos de sostenibilidad y así poder generar propuestas de mejoras a la calidad del servicio.

Palabras claves: cobertura, percepción de usuarios, rutas, transporte, transporte público colectivo.

ABSTRACT

The lack of coverage of the public transport service, excessive travel times, non-compliance with the schedules of the public transport operators and the lack of route information, cause discomfort in the users of the service, affecting urban mobility and becoming a One of the main concerns for traffic regulatory entities, due to the impact it has on the quality of life and the efficiency of travel, opting for other modalities generating little reliability in the use of transport and greater dependence on private vehicles. For this reason, an evaluation is required to propose improvements to the service, for which an evaluation methodology of collective public transport was proposed that allows sustainable urban mobility for cities of up to 300,000 inhabitants where indicators such as the physical structure of transport, hierarchy of routes are qualified, equipment, service capacity, bus stops, public transport coverage, travel time and frequency. Collective public transport in the city of Machala was analyzed, where an assessment of 50% was obtained, which indicates that the current service is regular. With this, it is concluded that in order for collective public transport to allow sustainable urban mobility, the proposed indicators must be evaluated, where they analyze characteristics of public transport, reasons and duration of trips, infrastructure, among others, to finally make an assessment of the results in terms of sustainability and thus be able to generate proposals for improvements to the quality of the service.

Keywords: coverage, user perception, routes, transportation, collective public transportation.

Nota Editorial: Recibido: Noviembre 2022 Aceptado: Enero 2023

1. INTRODUCCIÓN

La movilidad urbana se ha convertido en una de las principales preocupaciones sociales, por lo que las condiciones actuales del transporte requieren un mejoramiento constante, siendo que el transporte público genera un impacto directo en la calidad de vida y en la eficiencia de los viajes de los usuarios, ya que existen deficiencias en el transporte público que no permiten niveles sostenibles de desempeño económico, bienestar social y resiliencia ambiental. En este sentido, los indicadores desempeñan un papel importante en los sistemas de evaluación, constituyendo un instrumento de carácter cuantitativo que forma una idea clara y accesible sobre el fenómeno estudiado y sus características. La importancia de identificar y analizar indicadores que permitan medir dicho fenómeno, aportará a la institución pública encargada, como instrumento en la toma de decisiones al momento de la planificación, regulación y control del transporte público colectivo [1].

El transporte público en el mundo ha ido evolucionando con el pasar de los años, a medida que la población ha aumentado, y con la llegada de la tecnología este se ha ido sistematizando. Desde sus inicios en Francia con el uso de carrozas llevadas por dos caballos hasta hoy en día con la utilización del tren, metro, bus, entre otros que sirven para el transporte masivo de personas. De manera puntual en el Ecuador se utiliza el bus para el transporte colectivo de personas. El crecimiento de la población produce la necesidad de una dotación de transporte colectivo que promueva el desarrollo de las actividades productivas y permita realizar las actividades cotidianas de las personas.

El crecimiento explosivo, continuo y desorganizado de las ciudades tiene efectos desfavorables que afectan la calidad de vida de las personas que residen en ellas. Los territorios urbanos se detectan como espacios compactos con gran concentración de actividades en el núcleo central, con profunda segregación espacial, basados en la utilización de modos de transporte público y particular. Bajo estas condiciones, el presente trabajo aborda un importante tema como lo es un modelo de transporte público colectivo que sea sustentable siendo clave en el desarrollo de las sociedades y ciudades modernas [2].

El ineficiente servicio de transporte público colectivo existente combinado con el aumento del parque automotor se encuentran entre las principales causas que generan alteraciones en el tránsito y mayores tiempos de demoras en los desplazamientos de los usuarios. El incumplimiento de lo establecido en la planificación urbana ocasiona que no se ejecuten obras de infraestructuras de transporte necesaria, para evitar los colapsos del tránsito. Además, la falta de cobertura del servicio de transporte público, los tiempos de viaje excesivos, el incumplimiento en los horarios y frecuencias por parte de las operadoras de transporte y la falta de información acerca de las rutas, ocasionan malestar en los usuarios del servicio de transporte público, optando por otras modalidades generando poca confiabilidad al uso del transporte y una mayor dependencia al vehículo privado.

Se debe tener en cuenta que el sistema de transporte colectivo debe proyectarse, construir y hacer funcionar un sistema eficiente para la comunidad, además es importante establecer normas que coordinen al transporte haciéndolo sostenible en el ámbito económico y operativo. El transporte es el medio más manejado para ofrecer el desplazamiento de personas de un lugar a otro y traslado de mercancías, por medio de infraestructura de un sistema de redes vial [3], [4].

Este es el servicio más aceptado de acuerdo a la sustentabilidad por su capacidad de carga, además que este permite el acceso sectores de población y reduce efectos negativos del transporte como la congestión vehicular, los accidentes de tránsito y la contaminación ambiental, etc. Mientras que una ciudad crece, se van añadiendo nuevos medios de transporte colectivo, con ello surge la necesidad de coordinar dichos modos, cuyo interés se debe dar por las entidades públicas o de algún área metropolitana, esto debido a que los ciudadanos solicitan la coordinación para que el tránsito y el transporte funcione. En lo que a calidad del aire y salud se refiere, el tráfico vehicular es el causante de provocar altos niveles de contaminación en él. El transporte terrestre produce altas emisiones de monóxido de carbono y más derivados del petróleo, que, al entrar en contacto con las personas, provocan enfermedades cancerígenas, sanguíneas y respiratorias, debido a que generan partículas demasiado pequeñas que ingresan fácilmente por la vía respiratoria [3], [5].

1.1. ALCANCES Y OBJETIVOS

El crecimiento de las ciudades, generalmente es acompañado por la movilización motorizada, este carece de regulaciones lo que provoca que la movilidad no sea equilibrada. Es por ello que el transporte público urbano se vuelve conflictivo por la presencia de diversas demandas de movilidad cotidiana por parte de los ciudadanos [6]. El presente trabajo indaga el transporte público colectivo con respecto a la movilidad urbana. Como estudio de caso se ha tomado a la ciudad de Machala para analizar y evaluar el transporte público mediante indicadores de servicio. Se realizaron visitas técnicas a las operadoras de servicio de transporte público y a la empresa pública de movilidad de Machala para la recopilación de información. El universo de estudio son las rutas de transporte público y la muestra fueron 68 usuarios del servicio, finalmente nuestro objetivo a cumplir será analizar la evaluación del transporte público colectivo que permita una movilidad urbana sostenible para ciudades intermedias.

2. METODOLOGÍA

En la ciudad de Machala existen tres operadoras de transporte público urbano como son las cooperativas Ciudad de Machala, Multioro y Oroconti. Estas tres cooperativas dotan de servicio de transporte a los machaleños desplazando del área urbana hasta el área rural. Este servicio permite la interconexión de la ciudad y de esta manera fortalece la economía de la misma, ya que como se indica en la investigación realizada por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censo en el año 2010 las características socioeconómicas como las ocupaciones de la población son varias: empleados del estado, empleados privados, patronos, cuenta propia, jornaleros, empleadas domésticas, artesanos, personal de salud. Por lo tanto, las personas necesitan trasladarse a sus destinos, lo cual la mayoría de la población lo realiza en transporte público colectivo. Se deduce que parte de la dinámica de la población y el desarrollo de la economía de las ciudades importantes es el servicio del transporte público. La ciudad de Machala es la ciudad más poblada de la provincia de El Oro con una población de 245972 habitantes según el censo del 2010 del Instituto Nacional de Estadísticas y Censo y con una población proyectada para el 2022 de 289141 habitantes, por ello miles de ciudadanos diariamente usan el servicio de transporte público urbano.

Actualmente existen una diversidad de metodologías que establecen una evaluación al sistema de transporte público, los autores Tyrinopoulos & Aifadopoulou se basan en la necesidad de dar al público un transporte organizado capaz de monitorear y evaluar diferentes aspectos de los servicios prestados a los pasajeros. Para ello su metodología se dirige hacia puntos como las necesidades y prioridades del operador de tránsito, el análisis de la experiencia de organizaciones similares, encuestas de satisfacción/insatisfacción del usuario y control de calidad [7]. Por otro lado existen quienes evalúan el desempeño del tránsito mediante los niveles de servicio del transporte público, donde se seleccionan criterios de evaluación junto a indicadores de calidad y rendimiento en gastos y ahorro de tiempo de viaje de los pasajeros, con ello se implementan estrategias para mejorar el desempeño de las redes de transporte público [8].

La primera parte de la investigación define los sustentos teóricos y técnicos necesarios para la evaluación del transporte público colectivo mediante la revisión bibliográfica de artículos científicos, textos, guías técnicas, proyectos. Luego se caracterizó la evaluación del transporte público colectivo, mediante encuestas, fichas de observación, entrevistas para realizar un análisis de contenido. Uno de los métodos usados para la recolección de datos fueron las encuestas dirigidas a los usuarios del transporte público colectivo de la ciudad de Machala. Se realizaron de manera virtual planteando interrogantes como: medio de transporte que más emplea el usuario, origen y destino, tiempo de viaje y frecuencia del transporte público colectivo, con la finalidad de conocer cuan calificado es el servicio de transporte público en la ciudad. Además se recopiló información de la empresa Pública de Movilidad Machala mediante resoluciones administrativas acerca de las rutas de cada línea de bus, tiempos de viaje y frecuencia, paradas de bus.

La propuesta de evaluación está definida por el proceso que se indica en la Figura 1, donde se procede por el análisis de la estructura física de las rutas de transporte público colectivo (TPC) que se define como la estructura de la red vial en tipos como radiales, tangenciales, diametrales y circulares. La jerarquización de los recorridos del transporte público está definida por tres tipos de rutas: troncales, ramales y alimentadoras. En cuanto a la infraestructura es la relación entre el recorrido de la línea de bus y el área del territorio del cantón. El equipamiento del transporte público es un indicador que hace referencia a los años que llevan operando las unidades de cada operadora de transporte y se mide a través de la antigüedad del parque automotor del transporte público. La capacidad del transporte público será la estimación de usuarios en función de la capacidad de su flota. El proceso de parada de bus se define con la existencia o inexistencia de paradas reguladas óptimas de transporte público durante el recorrido, las cuales deben contar con señalización e información de ruta, horarios y frecuencia. La cobertura del transporte público está definida como la cantidad de parroquias en el que la ruta brinda el servicio. El tiempo de viaje y frecuencia se define como las diferencias que existen en los recorridos realizados por las operadoras de transporte en comparación con las resoluciones administrativas dadas por la Empresa Pública de Movilidad Machala (EP).

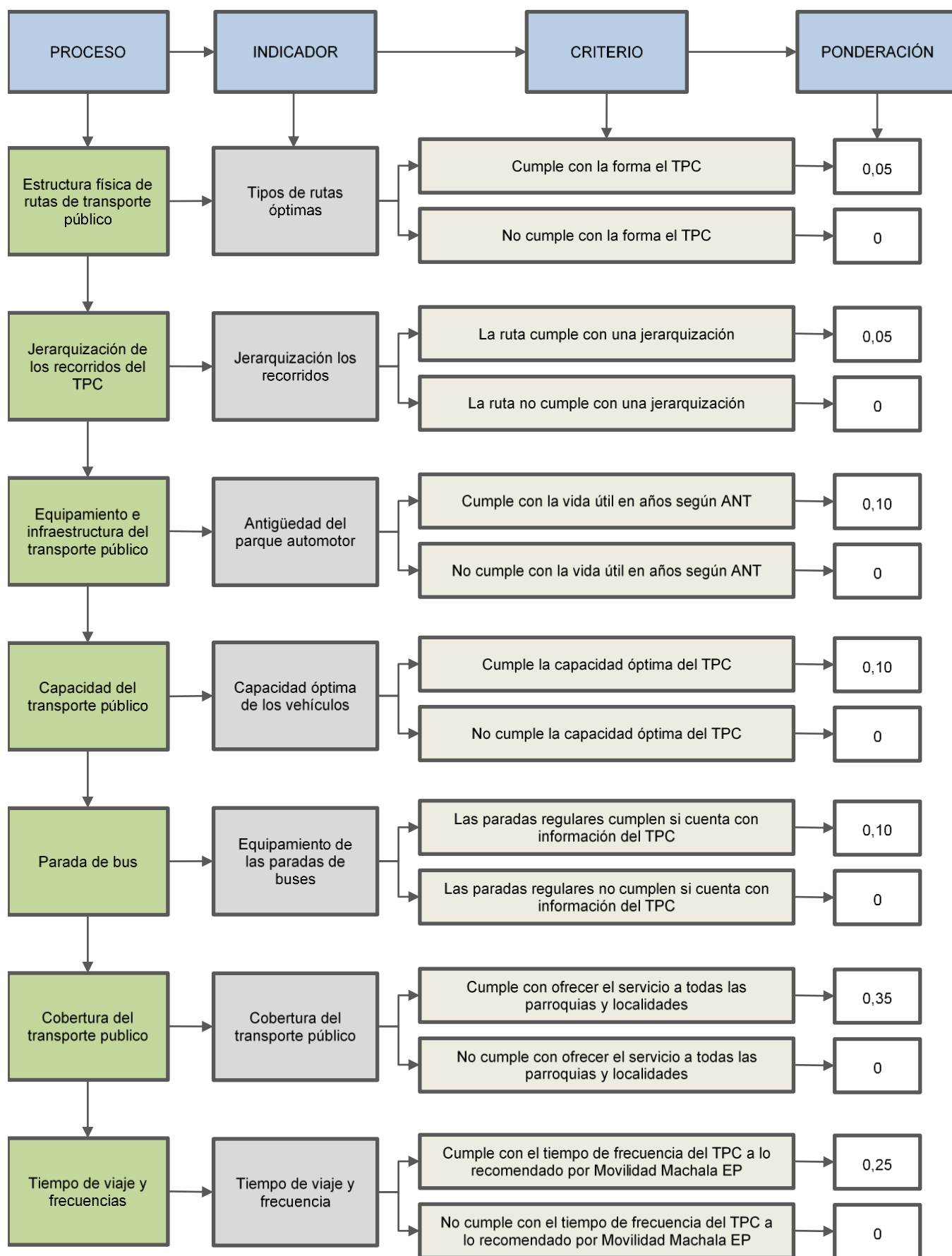


Figura 1: Propuesta de Metodología de la evaluación

Para la valoración del transporte público se cuenta con los indicadores por cada proceso y criterio propuesto como se indica en la tabla 1. El indicador tipos de rutas óptimas pertenece al proceso de estructura física de las rutas de transporte público en el cual se realiza mediante el análisis comparativo de los tipos de rutas: diametrales, radiales, tangenciales y circulares. Para la jerarquización del recorrido se hace un análisis comparativo de tres tipos de rutas: troncales, ramales, alimentadoras las cuales forman parte de un sistema de transporte público. El equipamiento e infraestructura del transporte público se evaluaron a través del indicador de antigüedad del parque automotor, que es el número de años que han estado en funcionamiento las unidades. La capacidad del transporte público colectivo se evaluó con el indicador de capacidad de vehículos que es la demanda vs la capacidad del transporte público colectivo. La cobertura del transporte público colectivo se midió a través del indicador de cobertura mediante el análisis de contenido de números de rutas que cumplen con ofrecer el servicio a todas las parroquias y localidades del cantón. Finalmente, el tiempo de viaje y frecuencia se evaluó mediante el análisis del número de rutas que cumplen con las resoluciones administrativas del ente regulador del transporte público colectivo.

Tabla 1: Indicadores para evaluar el servicio de transporte público

PROCESO	INDICADOR	CONCEPTO	METODO	CRITERIO	PONDERACIÓN
Estructura física de las rutas de transporte público	Tipos de rutas óptimas	Tipo de rutas Número de rutas estructuradas de acuerdo a la red de jerarquización vial de la ciudad	Análisis comparativo de tipos de rutas: radiales, tangenciales, diametrales y circulares	Cumple con la forma el TPC	0,05
Jerarquización los recorridos del TP	Jerarquización los recorridos	Número de rutas clasificadas según la jerarquización vial de la ciudad	Análisis comparativo de tres tipos de rutas: troncales, ramales, alimentadores	La ruta cumple con una jerarquización	0,05
Equipamiento e Infraestructura del transporte público	Antigüedad del parque automotor	Número de años que han estado en funcionamiento las unidades de las operadoras de Transporte Público	Análisis de contenido	Cumple con la vida útil en años según ANT	0,10
Capacidad óptima del Transporte Público Colectivo	Capacidad óptima de los vehículos	Capacidad diaria/ número de usuarios en el día	Análisis de contenido	Cumple la capacidad óptima del TPC	0,10
Paradas de bus	Equipamiento de las paradas de buses	Número de Paradas de bus regulares que cuenta con información para el usuario	Análisis estadístico de Observación: tipo de infraestructura de la parada de bus e información TPC	Las paradas regulares cumplen si cuenta con información del TPC	0,10
Cobertura del transporte público colectivo	Cobertura del transporte público	Número de Rutas de Transporte Público que ofrecen el servicio a todas las parroquias y localidades	Análisis de contenido	Cumple con ofrecer el servicio a todas las parroquias y localidades	0,35
Tiempo de viaje y frecuencia	Tiempo de viaje y frecuencia	Número de rutas que cumplen con la resolución administrativa del ente regulador del transporte público colectivo	Análisis de contenido	Cumple con el tiempo de frecuencia del TPC a lo recomendado por Movilidad Machala EP	0,25
TOTAL					1

Para determinar la valoración total del servicio de transporte público colectivo se presenta la tabla 2, donde se ajustan valores en base a la revisión de artículos, experiencia y criterios obtenidos, por lo que se ha dado tres rangos de calificación para el transporte público de ciudades intermedias.

Tabla 2: Evaluación del nivel de Serviabilidad del Transporte Público Colectivo

PONDERACION	DESCRIPCION
ENTRE 0,75 - 1	SERVICIO ADECUADO
IGUAL A 0,5 Y MENOR A 0,75	SERVICIO REGULAR
MENOR A 0,5	SERVICIO INADECUADO

3. RESULTADOS

Luego de la revisión de cada uno de los procesos de evaluación se procede a valorizar cada criterio. Para valorar estos criterios se toma en cuenta el atributo “cumple o no cumple”. Para que un atributo cumpla con la ponderación será necesario que las características del mismo superen el 60% de su funcionabilidad. A continuación se presenta la Tabla 3, donde se resumen los resultados obtenidos.

Tabla 3: Resultados de evaluación

INDICADORES	CONCEPTO	CUMPLE/NO CUMPLE	PONDERACIÓN
Tipos de rutas óptimas	Tipo de rutas Número de rutas estructuradas de acuerdo a la red de jerarquización vial de la ciudad	Sí	0,05
Jerarquización los recorridos	Número de rutas clasificadas según la jerarquización vial de la ciudad	No	0
Antigüedad del parque automotor	Número de años que han estado en funcionamiento las unidades de las operadoras de Transporte Público	Si	0,10
Capacidad óptima de los vehículos	Capacidad diaria/ número de usuarios en el día	No	0
Equipamiento de las paradas de buses	Número de Paradas de bus regulares que cuenta con información para el usuario	No	0
Cobertura del transporte público colectivo	Número de Rutas de Transporte Público que ofrecen el servicio a todas las parroquias y localidades	Sí	0,25
Tiempo de viaje y frecuencia	Número de rutas que cumplen con la resolución administrativa del ente regulador del transporte público colectivo	No	0
TOTAL			0,5

Para la interpretación de los resultados se realizó un análisis por cada indicador propuesto en la metodología. El indicador número uno se define como la estructura de la red de transporte público, se le otorga la calificación de 0,05 debido a que se tiene los tipos de rutas tangenciales y diametrales. El segundo indicador se define como la jerarquización de recorridos del transporte público, este parámetro tiene una calificación de cero debido a que existen solo tres líneas troncales y el resto de líneas no son ramales ni alimentadoras.

Tabla 4: Tipo de rutas

Ruta	Tipo de rutas
Línea 1	Diametral
Línea 2	Tangencial
Línea 3	Circular
Línea 4	Tangencial
Línea 5	Radial
Línea 6	Diametral
Línea 6T	Diametral
Línea 7	Diametral
Línea 7C	Diametral
Línea 8	Diametral
Línea 10	Diametral
Línea 12	Radial
Línea 13	Diametral
Línea 15	Diametral
Línea 18	Diametral
Línea 20	Diametral

En cuanto a la antigüedad del parque automotor se ha hecho un análisis de los años de operatividad de los buses de cada una de las cooperativas de transporte público, dicho indicador tiene una calificación de 0,10 puntos debido que el 62% de sus unidades tienen aún cumplen con lo establecido en el reglamento de la ley de tránsito, transporte y seguridad vial del Ecuador.

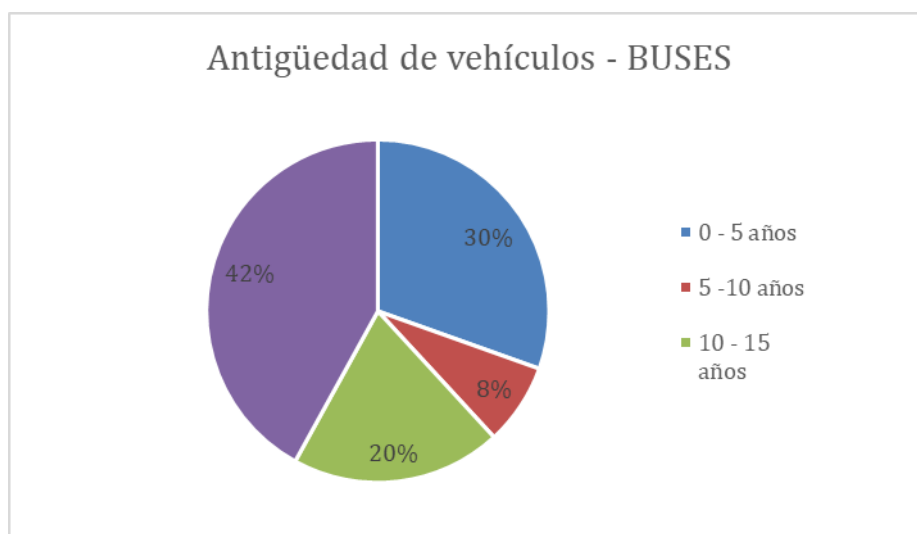


Figura 2: Antigüedad de vehículos

Luego se evalúa la capacidad de transporte público se analizó que tan requerido es el servicio de buses por los usuarios con respecto a ciertas líneas de bus, ya que varios no cumplen con la distribución uniforme respecto a la demanda, donde se evidenció que existe diferencias en la demanda operativa, como es el caso de la línea 12, por lo que se da una calificación de cero a este criterio. Con respecto al equipamiento de las paradas de bus, en la ciudad de Machala existen paraderos donde el usuario afirma que no existe información de las rutas, frecuencia, hora de inicio de recorrido, hora de fin del recorrido, por lo que dicho parámetro tiene una calificación de cero. Se ha dado una calificación de 0,25 al criterio de cobertura de transporte público ya que más del 50% de las líneas cubren la mayoría de las parroquias del cantón Machala como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5: Cobertura del transporte público

LINEA	PARROQUIAS URBANAS						PARROQUIA RURAL	
	MACHALA	PROVIDENCIA	JUBONES	9 DE MAYO	JAMBELÍ	PUERTO BOLIVAR	EL CAMBIO	EL RETIRO
1	X	X			X	X	X	X
4	X	X		X				
5	X	X	X		X		X	X
6	X	X			X			
6T	X	X	X		X		X	
7	X		X		X			
8	X	X	X		X			
9								
10	X	X	X		X			
11	X	X		X				
12	X	X	X	X				
13	X	X			X	X	X	X
15	X	X		X				
16	X	X	X	X	X			
18	X	X	X		X		X	
20	X	X					X	X

El indicador de tiempo de viaje y frecuencia tiene una calificación de cero debido a que existen irregularidades con respecto a los recorridos aprobados y además el usuario declara en las encuestas que la frecuencia no cumple con sus expectativas como se observa en la tabla 6.

Tabla 6: Comparación de recorridos vs resoluciones administrativas

Ruta Evaluada	Duración (h/mm/s)	Duración según resolución administrativa	Frecuencia Buses/hora	Frecuencia Buses/hora según resolución administrativa
Línea 5	2:24:00	1:35:00	12	8
Línea 6 T	2:06:00	1:45:00	12	9
Línea 12	3:54:30	1:25:00	12	9
Línea 18	1:48:00	1:08:00	12	4

Con la metodología propuesta se obtuvo como resultado de la evaluación del transporte público colectivo la ciudad de Machala una valoración del 0,5, lo que según nuestra metodología (ver tabla 2) indica que el servicio actual del transporte público es regular por las causas descritas en la interpretación de los resultados. Por todo lo expuesto en la metodología debemos indicar que se verifica la hipótesis de acuerdo al objetivo de nuestra investigación.

Tabla 7: Resultado de la evaluación

PONDERACIÓN	DESCRIPCIÓN
IGUAL A 0,5 Y MENOR A 0,75	SERVICIO REGULAR

4. CONCLUSIONES

En base a la investigación se reconoció una serie de artículos que sustentan de manera teórica y técnica la evaluación del transporte público colectivo, que permita una movilidad urbana sostenible para ciudades intermedias, con ellos se definió la metodología que indaga una serie de indicadores que se integran para así evaluar el transporte público colectivo tales como: la planificación, regulación, control de las líneas de transporte público, la operatividad de las unidades y la infraestructura de parada de buses. Se evaluó el TPC en la ciudad de Machala, donde se obtuvo como resultado un servicio regular con una ponderación de 0,5.

Se aplicó la propuesta de metodología de evaluación del TPC, donde se analizan indicadores como: la estructura de la red de TP, jerarquización los recorridos, antigüedad del parque automotor, capacidad de los vehículos, equipamiento de las paradas de buses, cobertura del transporte público, tiempo de viaje y frecuencia que al evaluarlos permitirá desarrollar mejoras en el servicio y como resultado permita una movilidad urbana sostenible en ciudades intermedias.

La metodología planteada para la evaluación del transporte público colectivo es aplicable para ciudades intermedias, esta demostró que existe un servicio regular de transporte público colectivo en la ciudad de Machala, pero no es el adecuado en el estudio de caso. Se puede evidenciar las falencias del servicio y con ello conocer que aspectos se deben mejorar mediante una implementación y readecuación de políticas de transporte dentro de la ciudad que permitan tener una movilidad sostenible en el tiempo y que estas políticas tengan como sustento los indicadores planteados.

1. M. Errampalli, K. S. Patil, and C. S. R. K. Prasad, "Evaluation of integration between public transportation modes by developing sustainability index for Indian cities," *Case Stud Transp Policy*, vol. 8, no. 1, pp. 180–187, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.cstp.2018.09.005.
2. G. Chaves-Flores and H. Hernández-Vega, "Desempeño y calidad de servicio de autobuses externos de la Universidad de Costa Rica," *Infraestructura Vial*, vol. 17, no. 30, pp. 13–22, 2015.
3. M. Bettera, M. Montero, M. Hildmann, R. Maldonado, and B. Bogino, "Geografía y Transporte. Construcción de materiales educativos multimediales y de secuencias didácticas para el nivel secundario y superior." Río Cuarto, Argentina: UniRío editora. Universidad Nacional de Río Cuarto ..., 2019.
4. M. Ruiz, "Un nuevo modelo de transporte para el gran Santo Domingo," *Cienc Soc*, 2016, Accessed: May 18, 2022. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7400835>
5. A. C. Patiño-Sánchez and O. F. Patiño-Silva, "Impacto de la combustión del transporte terrestre en la calidad del aire y la salud pública en áreas urbanas. Una revisión," *REVISTA NODO*, vol. 15, no. 30, pp. 61–73, May 2021, doi: 10.54104/nodo.v15n30.825.
6. S. Anapolsky et al., "Desafíos de la gestión y la planificación del transporte urbano y la movilidad en ciudades argentinas," *Revista Transporte y Territorio*, no. 7, pp. 57–75, 2012, doi: 10.34096/RTT.17.283.
7. Y. Tyrinopoulos and G. Aifadopoulou, "A complete methodology for the quality control of passenger services in the public transport business," *European Transport \ Trasporti Europei*, vol. 38, pp. 1–16, 2008.
8. G. Lin, S. Wang, C. Lin, L. Bu, and H. Xu, "Evaluating Performance of Public Transport Networks by Using Public Transport Criteria Matrix Analytic Hierarchy Process Models—Case Study of Stonnington, Bayswater, and Cockburn Public Transport Network," *Sustainability 2021, Vol. 13, Page 6949*, vol. 13, no. 12, p. 6949, Jun. 2021, doi: 10.3390/SU13126949.

Evaluación De La Vulnerabilidad A Los Efectos Del Cambio Climático De Las Estructuras De Drenaje En Carreteras

Evaluation Of The Vulnerability To The Effects Of Climate Change Of Drainage Structures On Highways

Autores

Manuel Arturo Velásquez Rodríguez¹, Dania Olga Abreu Hernández²

¹ Ingeniero Civil. Universidad Técnica de Manabí (UTM) mvelasquez6915@utm.edu.ec

² Doctor en Ciencias Pedagógicas, Ingeniero Aerofotogeodesta. Universidad Tecnológica de La Habana (Cujae). daniah@civil.cujae.edu.cu

RESUMEN

En el presente artículo se estudian cuatro alcantarillas de diferente tipología, ubicadas en la carretera que une los cantones Portoviejo y Pichincha de la provincia de Manabí con la finalidad de conocer su grado de vulnerabilidad ante eventos meteorológicos extremos como consecuencia de los efectos del cambio climático. Mediante la recopilación de datos históricos de precipitaciones obtenidos en las estaciones meteorológicas más próximas al lugar de estudio, se desarrolla la ecuación de intensidad duración frecuencia (IDF) propia de las cuencas aportantes, posteriormente mediante software especializado se evaluó la capacidad de evacuar los caudales producidos ante diferentes intensidades de precipitación generados por periodos de retorno de 10, 25, 50 100 y 500 años que suponen condiciones meteorológicas de lluvias extremas, simulando efectos del cambio climático. Luego de la evaluación se pudo comprobar que para periodos de retorno de 10 años, el 75% de las alcantarillas evaluadas trabajaban sumergidas a la entrada y que a partir de lluvias con un periodo de retorno de 50 años se empiezan a generar desbordamientos del agua sobre la calzada, adicionalmente en todas las condiciones evaluadas se presentaron velocidades de descarga erosivas.

Palabras claves: alcantarilla, cambio climático, drenaje, vulnerabilidad.

ABSTRACT

This article studies four sewers of different types, located on the road that connects the cantons Portoviejo and Pichincha in the province of Manabí in order to know their degree of vulnerability to extreme weather events as a result of the effects of climate change. Through the collection of historical rainfall data obtained in the meteorological stations closest to the place of study, the equation of intensity duration frequency (IDF) of the contributing basins is developed, later by means of specialized software the capacity to evacuate the flows produced before different precipitation intensities generated by return periods of 10 was evaluated, 25, 50 100 and 500 years that involve meteorological conditions of extreme rainfall, simulating effects of climate change. After the evaluation it was possible to verify that for return periods of 10 years, 75% of the evaluated sewers worked submerged at the entrance and that from rains with a return period of 50 years they begin to generate water overflows on the road, additionally in all the conditions evaluated erosive discharge speeds were presented.

Keywords: sewer, climate change, drainage, vulnerability.

Nota Editorial: Recibido: Enero 2023 Aceptado: Febrero 2023

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es un fenómeno asociado a las modificaciones del clima evidenciadas a nivel global por el aumento de la temperatura del planeta y la ocurrencia de eventos meteorológicos extremos. Entre sus múltiples consecuencias en la dinámica de la vida en el planeta, se pueden identificar algunas que en el orden tecnológico afectan a la infraestructura de objetos y medios necesarios para el desarrollo social.

Las carreteras constituyen uno de los elementos más afectados por el cambio climático, dado el nivel de exposición a diferentes fenómenos naturales, si se tiene en cuenta que se ubican en grandes extensiones del terreno, lo que las hace más vulnerables que otros objetos ubicados de forma puntual.

La vulnerabilidad de carreteras a efectos del cambio climático es una preocupación global, y encargo social de diferentes organizaciones que agrupan a especialistas que a nivel internacional o regional deben dar soluciones para contar con carreteras resilientes que puedan soportar los embates frecuentes de fenómenos naturales. La Asociación Mundial de carreteras (PIARC) en el Marco Internacional de Adaptación de la infraestructura de carreteras ante el cambio climático, propone se desarrollen acciones para mitigar los efectos negativos en las carreteras, en las que se promoció el empleo de nuevas tecnologías, medios de transporte adecuados, y la supervisión permanente de taludes, laderas, accidentes, interrupciones de servicios y de todos los parámetros que debiliten la funcionalidad de la vía [1].

Para esto se trazan políticas y se realizan acciones específicas en dependencia de las condiciones objetivas presentes en cada país. En Ecuador, los principales fenómenos que ocurren están relacionados con los sismos y las fuertes precipitaciones. Este último provocando inundaciones y pérdida de la funcionalidad de la carretera.

En las más recientes visitas realizadas a carreteras de la provincia de Manabí, se ha podido constatar que entre los problemas existentes se encuentran el funcionamiento del sistema de drenaje, pues como consecuencia del cambio climático se ha modificado el régimen de precipitaciones provocando caudales superiores a los previstos, reduciendo la capacidad hidráulica de las alcantarillas.

Atendiendo a esto se realizó un estudio del sistema de drenaje transversal en la carretera que une los cantones Portoviejo y Pichincha, en la provincia de Manabí. Se consideraron los eventos de lluvias extremas y sus posibles efectos en 4 alcantarillas seleccionadas de forma intencionada.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. ÁREA DE ESTUDIO

El tramo de vía en estudio está ubicado entre la Parroquia Rural San Plácido y el sitio Mancha grande en la vía que une los cantones Portoviejo y Pichincha de la provincia de Manabí.

La zona en estudio está cubierta de bosque natural y áreas de cultivos con precipitaciones que alcanzan su máximo entre los meses de enero a abril.

En el tramo comprendido entre las estaciones 30+220 al 31+420 se escogieron 4 alcantarillas de diferentes diámetros, materiales y características de la cuenca aportante. La ubicación del área de estudio se presenta en la figura 1 e información relevante de las alcantarillas seleccionadas se incluyen en la tabla 1.

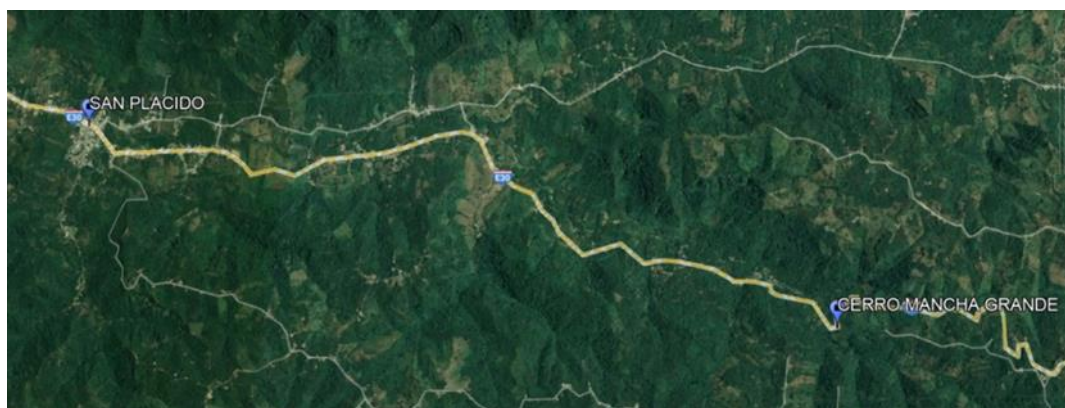


Figura 1: Localización del tramo en estudio
Fuente: Imagen tomada de Google Earth

Tabla 1: Características de las alcantarillas en estudio

Alc.	Abscisa	Coordenadas de Ubicación		Sección	Material
		x	y		
1	30+220	586513	9882504	Alc. 1200mm	Hormigón
2	30+410	586705	9882535	Alc. 1800mm	Acero Corrugado
3	31+200	587463	9882762	Alc. 1500mm	Hormigón
4	31+420	587673	9882835	Alc. Doble de 1000mm	Hormigón

2.2. DETERMINACIÓN DE CAUDALES HIDROLÓGICOS

2.2.1. IDENTIFICACIÓN DE CUENCAS APORTANTES

Para la identificación de las cuencas aportantes, primero fue necesario la obtención del modelo digital de elevación, el mismo se obtuvo mediante técnicas de aerofotogrametría utilizando una aeronave no tripulada, dron marca DJI modelo PHANTOM 4PRO V2.0, equipado con cámara de 20 megapíxeles en base a las recomendaciones de Ospina [2]. Los vuelos fueron planificados en el software PIX4DCapture, siguiendo los más eficaces métodos fotográficos para obtener una nube de puntos densa, modelo digital de terreno y orto mosaico de calidad. Las misiones en tierra se configuraron con parámetros que optimicen la toma de fotografías aéreas, con ángulo 90° y traslapes de fotografías frontal (Overlap) 75% y de gran importancia para que existan puntos de características comunes, los cuales son correlacionadas y triangulados para determinar la posición de cada uno de los miles de puntos que conforman la nube y así reconstruir el modelo digital de elevaciones en el Software Agisoft PhotoScan con el procesamiento de 1403 imágenes a una altura media de vuelo de 200 metros para obtener una resolución de terreno de 5,42 cm por pixel cubriendo una superficie de 5.84 km², con una densidad de 21 puntos por m².

Una vez obtenido el modelo digital de elevación, con la ayuda de las herramientas que ofrece el software ArcMap en su versión 10.4 se obtuvo la red hídrica y la delimitación de las cuencas drenantes en las alcantarillas de estudio. Figura 2.

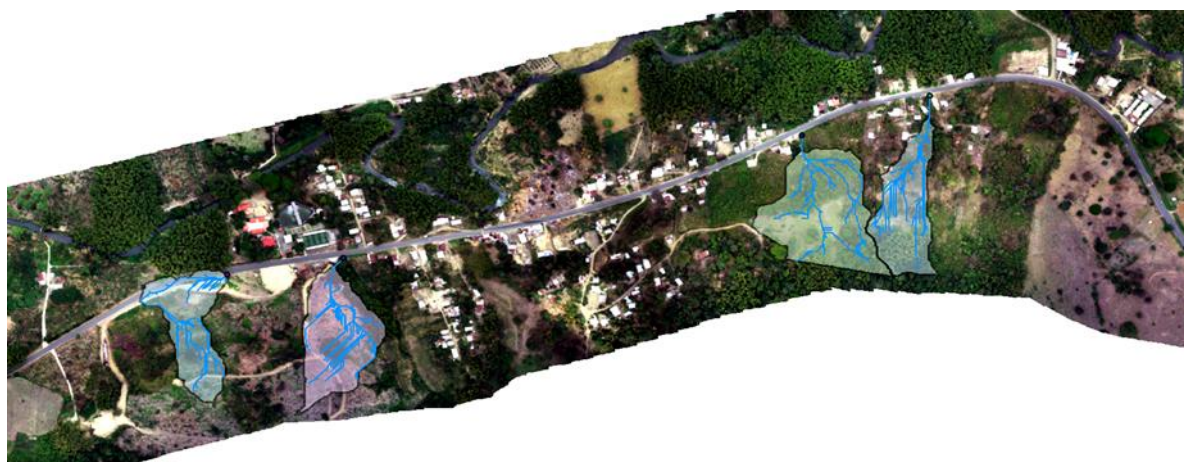


Figura 2: Identificación de cuencas aportantes
Elaborada por: Autores

2.2.2. PARÁMETROS UTILIZADOS PARA EL CÁLCULO DEL CAUDAL HIDROLÓGICO

Los caudales de crecida se obtuvieron mediante el método racional el que es aplicado para cuencas pequeñas con superficies menores a 5 km² [3] y para lo cual se consideraron periodos de retorno de 10, 25, 50, 100 y 500 años. La ecuación del método racional es:

$$Q = \frac{C I A}{3,6} \quad (1)$$

Donde Q es el caudal máximo en metros cúbicos por segundo; I es la intensidad de la precipitación en milímetros por hora para una duración igual al tiempo de concentración; A es el área de la cuenca, en kilómetros cuadrados, C es el coeficiente de escorrentía.

El coeficiente C se escogió de las tablas propuestas por Chow [4]. Relacionando las características topográficas, la cobertura y el periodo de retorno.

Se definió una intensidad de tormenta para periodos de retorno de 10, 25, 50, 100 y 500 años y una duración igual al tiempo de concentración que fue calculado mediante la ecuación propuesta por Kirpich que indica

$$t_c = 0,06628 \left(\frac{L}{S^{0,5}} \right)^{0,77} \quad (2)$$

Donde L es la longitud del cauce principal en kilómetros, S es la pendiente del cauce principal en metros sobre metros.

Para determinar la ecuación de Intensidad de precipitación, en primer lugar se analizó el área de estudio e identificó la existencia de 3 estaciones meteorológicas descritas en la tabla Nro. 2, que son cercanas y proporcionan información confiable relacionada a los registros históricos de precipitaciones desde el año 1990 al 2012, mediante la toma de datos con pluviómetros que miden las alturas de agua de las precipitaciones, cuya superficie receptora es un anillo de doscientos centímetros cuadrados de superficie, bajo la suposición que las precipitaciones están uniformemente distribuidas sobre una superficie horizontal impermeable y que no están sujetas a evaporación. Se mide las precipitaciones a una altura de un metro con veinte centímetros para evitar corrientes turbulentas a baja altura y salpicado en la superficie terrestre [5].

Tabla 2: Ubicación de estaciones meteorológicas

CODIGO	ESTACION	COORDENADAS		ALTURA
		ESTE	NORTE	
M454	Rio Chico en Alajuela	579146	9854384	72
M460	Mancha grande	589861	9881733	181
M464	Rio Chamotete – Jesús María	586290	9886407	95

La estación que brinda la mayor cantidad de información es Río Chamotete - Jesús María (M464) y está ubicada a 4 km del área de estudio, sin embargo para las series anuales con datos no observados, se emplearon regresiones lineales que permitió correlacionar información entre las estaciones vecinas, cuyas características físico climáticas tienen similitud, finalmente los meses en los que no existía datos, se procedió a obtener el promedio mensual de todo el periodo ya que la cantidad de datos faltantes no superaba el 10%.

Con la información de las precipitaciones mensuales máximas obtenidas de los registros pluviométricos, y en función de las experiencias obtenidas por López [6], Quispe [7], Parves [8] y Suárez et al [9]. se realiza el cálculo de variables probabilísticas aplicando el método de Gumbel para obtener las precipitaciones diarias máximas probables y las intensidades de lluvia para distintos periodos de retorno.

La expresión matemática de las curvas de intensidad duración y frecuencia es

$$I = \frac{K * T^m}{t^n} \quad (3)$$

Dónde, I es la intensidad de precipitación expresada en mm/hr, T representa el Periodo de Retorno expresado en años y t es el tiempo de duración de precipitación en minutos y K, m, n son parámetros de ajustes

Para poder calcular el valor de cada parámetro de ajuste primero realizamos un cambio de variable donde:

$$d = K * T^m \quad (4)$$

La ecuación 3 queda expresada de la siguiente forma:

$$I = d * t^{-n} \quad (5)$$

Mediante regresiones lineales obtenemos el valor de n para cada periodo de retorno, posteriormente en función del cambio de variable realizado, se hace otra regresión de potencia entre el periodo de retorno y la constante de regresión d para poder obtener valores de la ecuación 4

Finalmente se desarrolla la ecuación de las curvas IDF para el área de estudio según el tiempo de retorno requerido quedando expresada en la siguiente ecuación:

$$I = \frac{1509,8612 * T^{0,181820}}{t^{0,61885}} \quad (6)$$

Donde: I es la intensidad de precipitación expresada en mm/hr,

T representa el Periodo de Retorno expresado en años

t es el tiempo de duración de precipitación en minutos.

Las curvas IDF para las cuencas de estudio y diferentes periodos de retornos se muestra en la figura 3.

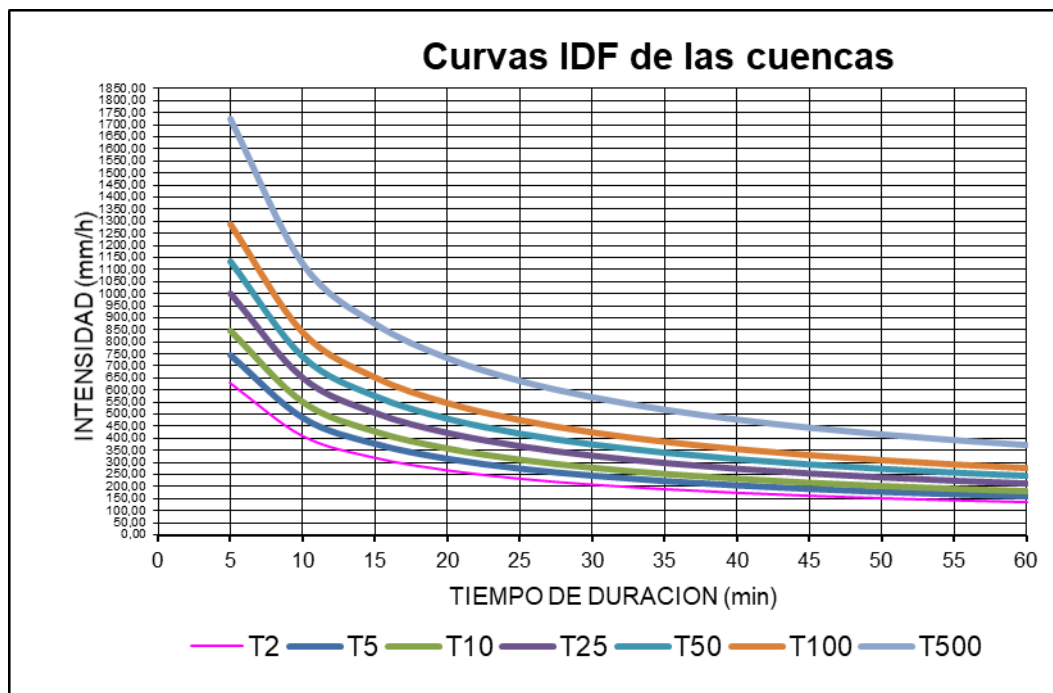


Figura 3: Curvas IDF para las cuencas de estudio

El área, longitud y pendiente de cada una de las cuencas drenantes, fue obtenido mediante la aplicación de herramientas proporcionadas en el software ArcMap en su versión 10.4.

2.3. EVALUACIÓN HIDRÁULICA DE LAS ESTRUCTURAS DE DRENAJE

La capacidad hidráulica de cada una de las estructuras de drenaje objeto de estudio fue evaluada mediante el software HY-8 en su versión 7.7, desarrollado por el "U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration", permitiendo automatizar los cálculos hidráulicos y determinar las profundidades del flujo de agua tanto al ingreso como a la salida, así como el perfil de flujo en el cuerpo de la alcantarilla [10]. Como resultado del estudio se consideraron alcantarillas con control a la entrada, y el caudal aportante se obtuvo según lo detallado en la sección 2.2.

2.4. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

Para determinar el nivel de vulnerabilidad de las estructuras de drenaje se emplearán las curvas de desempeño hidráulico, que relacionan el caudal con la altura del flujo a la entrada de la alcantarilla. Con base en las recomendaciones de Vargas & Garro [11] en la que definen cuatro zonas de operación tal como se expresa en la figura 4 donde en las zonas 1 y 2 la alcantarilla funciona como un canal abierto en operación normal y al límite de operación normal, respectivamente, la zona 3 implica la acumulación de fluido a la entrada de la alcantarilla y su funcionamiento como tubería a presión, por lo que se considera inadecuada y potencialmente peligrosa para el terraplén mientras que la zona 4 representa la probabilidad de inundación de la vía y comprometería la integridad de la estructura de vial.

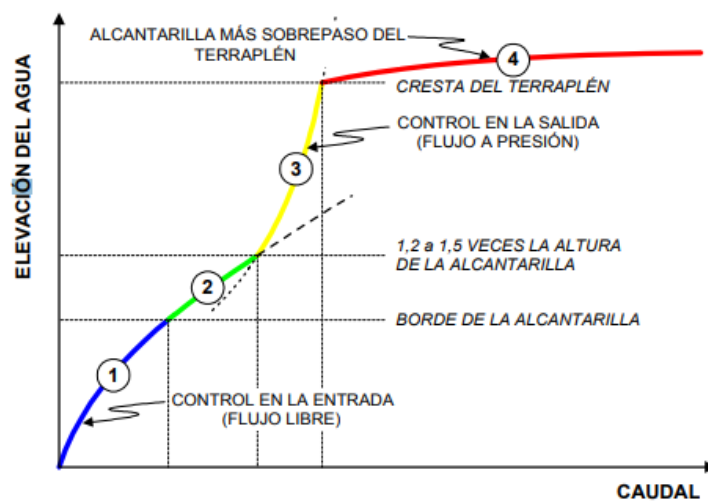


Figura 4: Curvas de desempeño hidráulico de una alcantarilla - Vargas & Garro [10]

En la tabla 3 se expresa el criterio con el que se evaluarán las diferentes estructuras de drenaje en relación con el rango de operación según las curvas de desempeño.

Tabla 3: Niveles de vulnerabilidad según curvas de desempeño

Vulnerabilidad	Zona de Curva	Comentario	Color
Baja	1	Funcionamiento normal	Azul
Moderada	2	Límite de operación normal	Amarillo
Alta	3	Inadecuada, potencialmente peligrosa	Naranja
Muy alta	4	Inundación y daños a la estructura vial	Rojo

Adicional se debe considerar que el nivel de mantenimiento realizado a las estructuras de drenaje influye directamente en la capacidad de evacuar la demanda hidráulica. En el presente caso de estudio las alcantarillas se encontraban limpias y libres de azolvamiento y vegetación que impida el normal flujo del agua.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las principales características de las cuencas se describen en la tabla 4, y se puede identificar que son cuencas pequeñas con superficies que varían desde 0,019 a 0,033 km², con longitud de cauces desde 276 a 400 metros y pendientes pronunciadas entre 13,5% al 24,2% propiciando que los tiempos de concentración sean muy cortos variando entre 0,043 y 0,071 horas.

Tabla 4: Características de las cuencas aportantes

Cuenca	Área (km ²)	Longitud (m)	Pendiente S (m/m)	Tc (horas)
1	0,019	400	0,135	0,071
2	0,023	285	0,172	0,050
3	0,033	276	0,239	0,043
4	0,020	335	0,242	0,049

En función de que las cuencas están caracterizadas como áreas de cultivo con pendientes superiores a 7%, los coeficientes de escorrentía según Chow [4] para periodos de retorno de 10 años es de 0,44; para 25 años es 0,48; para 50 años es 0,51; 100 años 0,54 y finalmente para un periodo de retorno de 500 años es de 0,61.

La tabla 5 representa los caudales calculados mediante la metodología empleada

Tabla 5: Caudales aportantes (m3/seg.)

Cuenca	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
1	2,18	2,81	3,39	4,07	6,15
2	3,29	4,23	5,10	6,13	9,28
3	5,18	6,67	8,04	9,66	14,62
4	2,87	3,70	4,46	5,35	8,10

3.1. RESULTADOS DE EVALUACIÓN DE LA ALCANTARILLA NRO. 1

Los resultados de la evaluación de la alcantarilla Nro. 1 cuyo material es hormigón y diámetro de 1200mm ubicada en el km 30+220 ante los caudales generados para los periodos de retorno antes mencionados se expresan en la tabla 6 y figuras 6-7.

Tabla 6: Evaluación de alcantarilla Nro. 1

PERIODOS DE RETORNO	CAUDAL EVALUADO (m3/seg)	CAPACIDAD DE DESCARGA (m3/seg)	ELEVACIÓN (m)	PROFUNDIDAD DE CONTROL DE ENTRADA (m)	PROFUNDIDAD DE CONTROL DE SALIDA (m)	VELOCIDAD DE SALIDA (m/s)
PR 10 AÑOS	2,18	2,18	101,29	1,29	0,94	3,48
PR 25 AÑOS	2,81	2,81	101,60	1,60	1,40	3,74
PR 50 AÑOS	3,39	3,39	101,96	1,96	1,69	3,96
PR 100 AÑOS	4,07	4,07	102,47	2,47	2,08	4,24
PR 500 AÑOS	6,15	5,20	103,55	3,55~	2,82	4,67

3.2. RESULTADOS DE EVALUACIÓN DE LA ALCANTARILLA NRO. 2

El comportamiento de la alcantarilla Nro. 2 ubicada en el km 30+410 se presenta en la tabla 7 y figuras 6-7. La alcantarilla es metálica con un diámetro de 1800mm.

Tabla 7: Evaluación de alcantarilla Nro. 2

PERIODOS DE RETORNO	CAUDAL EVALUADO (m3/seg)	CAPACIDAD DE DESCARGA (m3/seg)	ELEVACIÓN (m)	PROFUNDIDAD DE CONTROL DE ENTRADA (m)	PROFUNDIDAD DE CONTROL DE SALIDA (m)	VELOCIDAD DE SALIDA (m/s)
PR 10 AÑOS	3,29	3,29	82,38	1,38	0,85	2,81
PR 25 AÑOS	4,23	4,23	82,63	1,63	1,12	2,99
PR 50 AÑOS	5,10	5,10	82,88	1,88	1,38	3,12
PR 100 AÑOS	6,13	6,13	83,27	2,19	2,27	3,30
PR 500 AÑOS	9,28	9,28	84,47	3,47~	3,07	4,09

3.3. RESULTADOS DE EVALUACIÓN DE LA ALCANTARILLA NRO. 3

En la tabla 8 y figuras 6-7 se evidencia el comportamiento de la alcantarilla Nro. 3 cuyo material es hormigón y diámetro de 1500 mm, ubicada en el km 31+200, la cual ante los caudales evaluados presenta los siguientes resultados:

Tabla 8: Evaluación de alcantarilla Nro. 3

PERIODOS DE RETORNO	CAUDAL EVALUADO (m3/seg)	CAPACIDAD DE DESCARGA (m3/seg)	ELEVACIÓN (m)	PROFUNDIDAD DE CONTROL DE ENTRADA (m)	PROFUNDIDAD DE CONTROL DE SALIDA (m)	VELOCIDAD DE SALIDA (m/s)
PR 10 AÑOS	5,18	5,18	99,11	2,11	1,78	4,49
PR 25 AÑOS	6,67	6,67	99,84	2,84	2,33	4,88
PR 50 AÑOS	8,04	7,05	100,05	3,05	2,49	4,99
PR 100 AÑOS	9,66	7,12	100,1	3,1	2,52	5,01
PR 500 AÑOS	14,62	7,29	100,2	3,2	2,59	5,06

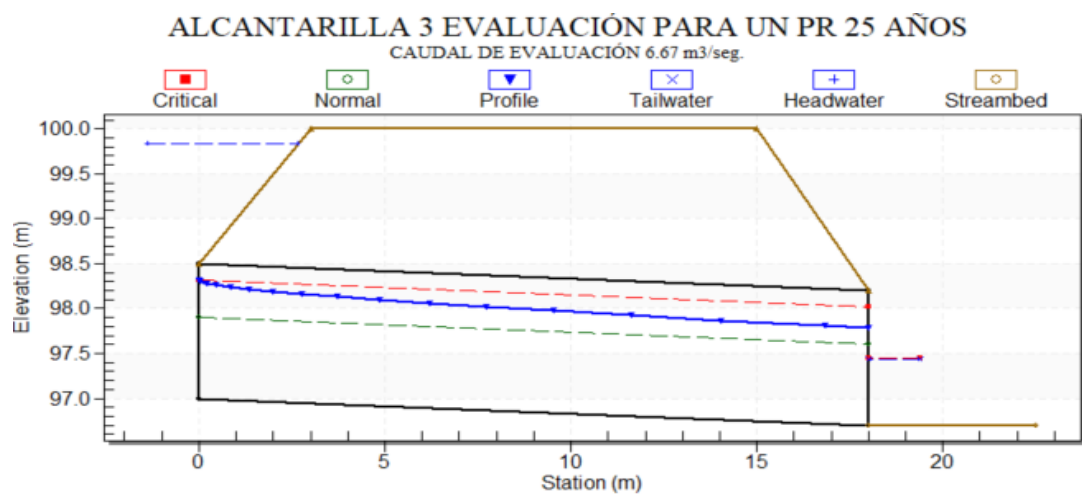


Figura 5: Comportamiento de la alcantarilla Nro. 3 para un caudal generado para un PR 25 años

3.4. RESULTADOS DE EVALUACIÓN DE LA ALCANTARILLA NRO. 4

En el kilómetro 31+420 se ubica una estructura de drenaje que está conformada por dos alcantarillas de hormigón ubicadas en paralelo de diámetro 1000 mm cada una y cuyo comportamiento ante los caudales generados por los periodos de retorno evaluados se presentan en la tabla 9 y figura 6-7.

Tabla 9: Evaluación de alcantarilla Nro. 4

PERIODOS DE RETORNO	CAUDAL EVALUADO (m ³ /seg)	CAPACIDAD DE DESCARGA (m ³ /seg)	ELEVACIÓN (m)	PROFUNDIDAD DE CONTROL DE ENTRADA (m)	PROFUNDIDAD DE CONTROL DE SALIDA (m)	VELOCIDAD DE SALIDA (m/s)
PR 10 AÑOS	2,87	2,87	94,1	1,1	0,71	3,41
PR 25 AÑOS	3,7	3,7	94,39	1,39	1,13	3,64
PR 50 AÑOS	4,46	4,46	94,71	1,71	1,4	3,83
PR 100 AÑOS	5,35	5,35	95,17	2,17	1,77	4,06
PR 500 AÑOS	8,1	5,7	95,37	2,37	1,93	4,14

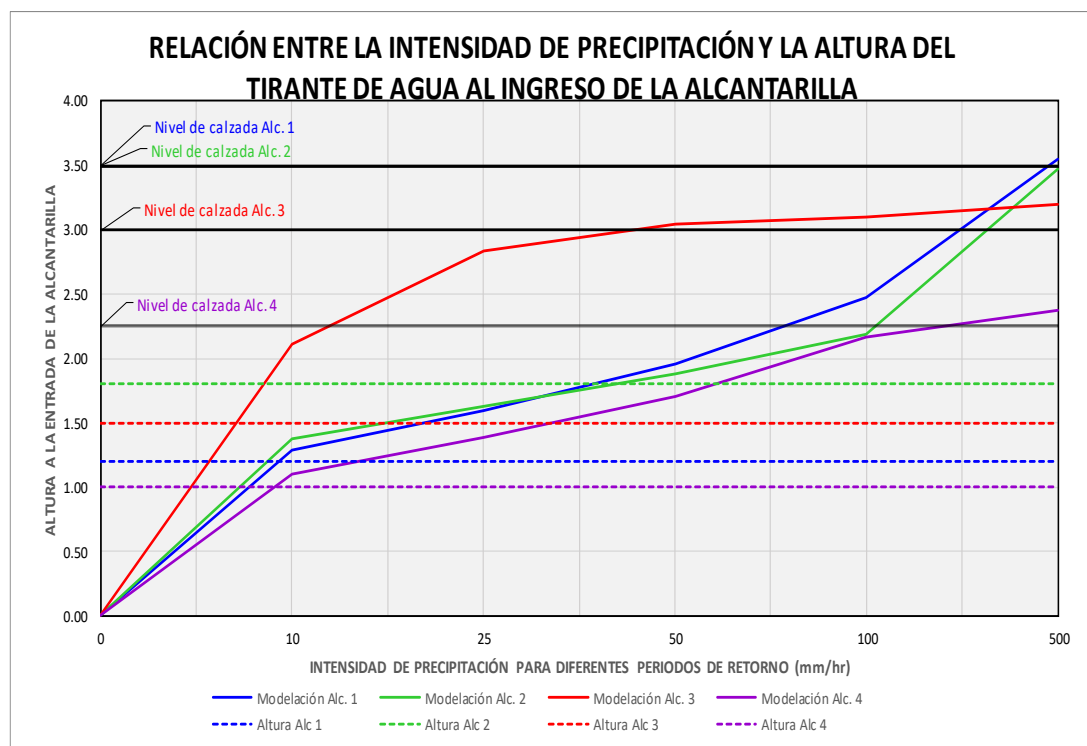


Figura 6: Relación entre la intensidad de precipitación y la altura del tirante de agua al ingreso de la alcantarilla

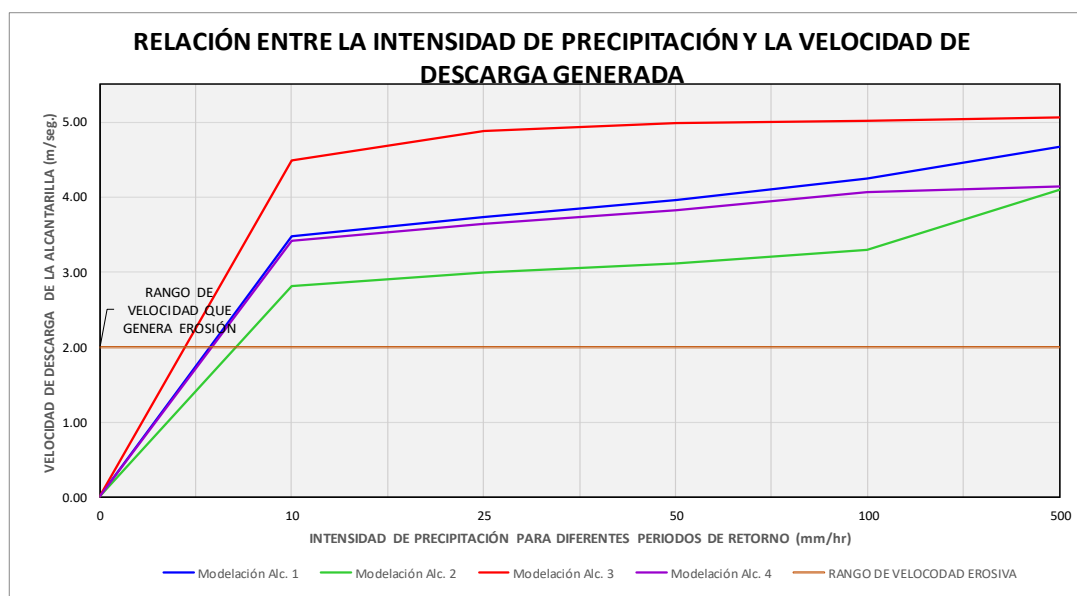


Figura 7: Relación entre la intensidad de precipitación y la velocidad de descarga generada a la salida.

La evaluación de las estructuras de drenaje para un periodo de retorno de 10 y 25 años permitió constatar que únicamente la alcantarilla Nro. 2 de diámetro 1800mm tiene la capacidad de evacuar el caudal generado trabajando a un 76 y 90% de capacidad, mientras que las restantes lo hacían estando sumergidas a la entrada, adicionalmente al ser canales no revestidos todas las alcantarillas generaban una velocidad de salida erosiva.

Para un periodo de retorno de 50 años, las alcantarilla Nro. 1, 2 y 4 trabajan estando sumergidas a la entrada, mientras la alcantarilla Nro. 3 no tiene la capacidad de evacuar el caudal generado a tal punto que presenta desbordamiento sobre la calzada.

Mientras que, para un periodo de retorno de 100 años, la alcantarilla Nro. 4 está próxima al desbordamiento, y finalmente ante un evento meteorológico más extremo donde se considere una lluvia con periodo de retorno de 500 años, todas las alcantarillas no estarían en capacidad de evacuar el caudal generado, presentando el desbordamiento sobre la calzada; lo que comprometería enormemente la integridad de la estructura vial.

3.5. NIVEL DE VULNERABILIDAD

En base al criterio planteado en la sección 2.4 y a los resultados obtenidos al evaluar el funcionamiento hidráulico de cada una de las alcantarillas para diferentes periodos de retorno que simulan condiciones meteorológicas extremas, en la tabla 10 se expresan los niveles de vulnerabilidad para cada caso

Tabla 10: Resultado de la evaluación de vulnerabilidad de las alcantarillas.

Alcantarilla	PR 10 años	PR 25 años	PR 50 años	PR 100 años	PR 500 años
1	Moderada	Moderada	Alta	Alta	Muy Alta
2	Baja	Baja	Moderada	Moderada	Muy Alta
3	Moderada	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
4	Moderada	Moderada	Alta	Alta	Muy Alta

4. CONCLUSIONES

Se evaluaron 4 alcantarillas ubicadas en la vía que une los cantones Portoviejo y Pichincha en la provincia de Manabí, considerando las características de cada una y un caudal de crecida con periodos de retorno de 10, 25, 50, 100 y 500 años obteniendo que ante eventos de lluvias extremas los sitios evaluados son bastante vulnerables, lo que conllevaría al desbordamiento del agua por sobre la calzada, generando velocidades erosivas, lo cual comprometerá la integridad de la estructura vial.

De todas las alcantarillas evaluadas, la nro. 3 tiene la mayor vulnerabilidad ante los eventos meteorológicos que se puedan presentar.

Basado en que la normativa ecuatoriana considera que las estructuras de drenaje transversal deben ser diseñadas para un periodo de retorno de 25 años, se sugiere rediseñar las alcantarillas 1, 3 y 4 ya que ante el caudal evaluado trabajaban sumergidas a la entrada.

Adicionalmente se deben considerar acciones de protección que reduzcan los efectos erosivos de las velocidades de diseño, así como el mantenimiento preventivo que evite la acumulación de desechos sólidos y el desbordamiento de las alcantarillas.

1. PIAR, Marco Internacional para la Adaptación de la Infraestructura Carretera ante el Cambio Climático" Taller, La Habana, 2017
2. Ospina, E. J. C. (2021). Levantamientos topográficos mediante el uso de drones topographic uprising through the use of drones. *INGENIERÍA: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 8(2), 100-113.
3. Briceño-Briceño, E., Oñate-Valdivieso, F., & Oñate-Paladines, A. (2021). Evaluación de la capacidad de transporte de caudales y sedimentos del drenaje transversal en una carretera montañosa en los Andes del Ecuador. *Avances Investigación en Ingeniería*, 18(1).
4. Chow, V.T., Maidment, D. y Mays, L. (1994). *Hidrología aplicada*. Bogotá: McGrawHill.
5. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), Anuarios Meteorológicos 1990 al 2012, Quito, Ecuador, [en línea]. Disponible: <https://www.inamhi.gob.ec/biblioteca/>
6. López Rodríguez, J. J., Delgado, O., & Campo, M. Á. (2018). Determinación de las curvas IDF en Igueldo-San Sebastián. Comparación de diferentes métodos. *Ingeniería del agua*, 22(4), 209-223.
7. Quispe Mamani, J. C. (2018). Curvas IDF para la estación meteorológica de Viacha, departamento de La Paz. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 5(1), 99-105
8. Parvez, M. B., & Inayathulla, M. (2019). Assesment of the intensity duration frequency curves for storms in upper Cauvery Karnataka based on pearson Type III extreme value. *World Academics Journal of Engineering Sciences*, 6(1), 26-46
9. Suárez-Aguilar, ZE, Sepúlveda-Delgado, O., Patarroyo-Mesa, M., & Canaria-Camargo, LC (2020). Modelo matemático para estimar curvas de intensidad, duración y frecuencia de lluvias extremas en Tunja, Colombia. *Información tecnológica*, 31 (1), 193-206
10. Adeogun, A. G., Akinpelu, M. A., Yusuf, M. A., & Animashaun, R. A. (2019). Evaluation of HY-8 Modeling Tool for Hydraulic Analysis of Selected Culverts along Ilorin-Jebba Road, Kwara State, Nigeria. *Arid Zone Journal of Engineering, Technology and Environment*, 15(1), 133-141
11. Vargas, W., & Garro, J. (2008). Relación entre las características geométricas y la vulnerabilidad de algunas rutas de montaña de Costa Rica. In *I Congreso Ibero-Americano de Seguridad Vial (I CISEV)*. Costa Rica.

La Planificación Estratégica Como Herramienta Para La Gestión Integral De La Subcuenca De Casacay

Strategic Planning As A Tool For The Comprehensive Management Of The Casacay Sub-Basin

Autores

Luis Angel Vargas Collaguazo¹, Jesús Enrique Espinoza Correa²

¹Ingeniero Ambiental, Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador e-mail: lvargas@utmachala.edu.ec

²Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador e-mail: jespinoza@utmachala.edu.ec

RESUMEN

Con el fin de garantizar la seguridad hídrica los técnicos gubernamentales y la sociedad civil organizada han desarrollado esfuerzos para gestionar de manera adecuada las cuencas hidrográficas. Estos esfuerzos pueden resultar infructuosos si no se utilizan metodologías apropiadas para planificar los objetivos a mediano plazo al que se quiere llevar una cuenca hidrográfica. La planificación estratégica para la gestión integral de cuencas hidrográficas involucra, de forma general, establecer las pretensiones de los actores a periodos de entre 10 a 20 años y de qué manera se pueden alcanzar. Establecer estrategias de manejo permiten identificar problemáticas, fijar una prioridad de intervención, analizar opciones de gestión y analizar los costos y beneficios. Mediante la aplicación de planificación estratégica se demuestra que, definir un marco de trabajo para la gestión de la subcuenca del río Casacay, dota de una impronta de objetividad a la toma de decisiones y garantiza que los programas y proyectos que se ejecuten logren impactar positivamente.

Palabras claves: Gestión integrada de cuencas hidrográficas, planificación estratégica, rehabilitación forestal, zonificación de cuencas hidrográficas.

ABSTRACT

In order to guarantee water security, government technicians and organized civil society have developed efforts to adequately manage hydrographic basins. These efforts can be unsuccessful if appropriate methodologies are not used to plan the medium-term objectives to which a river basin is to be brought. Strategic planning for the integral management of hydrographic basins involves, in general, establishing the claims of the actors for periods of between 10 and 20 years and how they can be achieved. Establishing management strategies make it possible to identify problems, set an intervention priority, analyze management options, and analyze costs and benefits. Through the application of strategic planning, it is demonstrated that defining a framework for the management of the Casacay river sub-basin gives an imprint of objectivity to decision-making and guarantees that the programs and projects that are executed achieve a positive impact.

Keywords: Integrated management of hydrographic basins, strategic planning, forest rehabilitation, zoning of hydrographic basins.

Nota Editorial: Recibido: Diciembre 2022 Aceptado: Febrero 2023

1. INTRODUCCIÓN

La problemática en una cuenca hidrográfica es multidimensional y heterogénea. Requiere de la intervención multidisciplinaria por lo que a menudo se dificulta tomar una decisión respecto a que problema resolver primero. Es más, en algunas ocasiones, de manera errónea se intenta resolver varios problemas a la vez y con medidas que no se basan en estudios técnicos formales ni mucho menos sobre evidencia científica. Son varias las herramientas que se han desarrollado para la gestión integral de las cuencas hidrográficas. La planificación estratégica, como insumo de anticipación a los desafíos futuros y el respectivo diseño de procesos y operaciones para tal fin, ha demostrado ser efectiva para la establecer el marco de trabajo dentro del cual se deben desarrollar las medidas de intervención de la cuenca. Esto permite conciliar las actividades antrópicas con la integridad natural de los servicios ecosistémicos asegurando el desarrollo sostenible [1].

En vastas regiones del planeta el recurso agua se encuentra cada más amenazado por el crecimiento de la población, el avance de la frontera agrícola y la variabilidad climática causando una presión sobre los recursos hídricos por lo que ya se empiezan a sentir condiciones de escasez, permanentes o recurrentes [2]. En ese contexto, resulta necesario ejercer una gestión eficaz de los recursos hídricos y considerar las interacciones entra la demanda de agua, uso de suelo, requerimientos ecológicos y las condiciones sociopolíticas de la cuenca hidrográfica. Esta gestión debe considerar estrategias de adaptación con el fin de alcanzar la seguridad hídrica [3]. Las medidas que se deseen implementar en una cuenca deben estar enmarcadas en la estrategia definida a través de la metodología adecuada de la planeación estratégica por lo que es fundamental abordar la mecánica de cómo aplicar esta herramienta para la subcuenca del río Casacay.

En la subcuenca del río Casacay se ha invertido en importantes iniciativas para el aseguramiento hídrico, sin embargo, hasta ahora, ninguna medida ha causado el impacto deseado a mediano plazo. Esto se debe a que han sido iniciativas aisladas que no convergen en un escenario del futuro que se espera para la cuenca. Existen varios casos de éxito en otras áreas en los cuales se ha aplicado la planeación estratégica para la gestión integrada de cuencas hidrográficas obteniendo resultados prometedores [4]. Sobre la base de lo antes mencionado, se ha logrado identificar la necesidad de definir estrategias a mediano plazo para la subcuenca del río Casacay y que las medidas de gestión se encaminen en sinergia para el aseguramiento hídrico y el uso sostenible de los servicios ecosistémicos del área.

Uno de los principales problemas de la subcuenca del río Casacay es la erosión. Este problema causa deterioro tanto en la cantidad como en la calidad del agua debido a que es consecuencia de varios fenómenos. El uso de suelo incide en la calidad del recurso hídrico y en el comportamiento hidrológico, la magnitud del impacto en el recurso varía de acuerdo con el uso que se le da a la tierra, condiciones climáticas, edafología, topografía y geología [5]. Eso sucede debido a que la pendiente media del área de estudio es considerable lo que favorece la ocurrencia de crecidas y facilita el arrastre de sedimentos, sumado a que sus suelos en su mayoría son débiles de estructura y de textura fina [6]. La planificación de las medidas de intervención en una cuenca hidrográfica debe combinar la definición adecuada del uso del suelo con la del uso del agua [7].

Si bien es cierto que existe un plan de ordenamiento territorial para la subcuenca, este es un documento técnico-legal que debe ser actualizado; para tal fin, se considera relevante aplicar la planeación estratégica y sobre la base de esto diseñar un nuevo plan de manejo para la subcuenca del río Casacay. El objetivo de este trabajo es establecer una estrategia de manejo para la subcuenca del río Casacay a través de la aplicación de la planificación estratégica con el fin de asegurar que las acciones que se ejecuten logren impactar positivamente en la gestión integral de los recursos hídricos. La planificación estratégica permitió identificar la problemática prioritaria de la subcuenca del río Casacay y el concepto de las soluciones basadas en la naturaleza, brindó luces de como gestionar dicho problema.

2. DESARROLLO

2.1. PLANEACIÓN ESTRATÉGICA EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS

La planeación estratégica identifica metódicamente las oportunidades y peligros que suceden durante la ejecución del plan; en concreto, planificar representa diseñar un futuro al que se desea llegar y buscar de qué manera se puede lograr [8]. En la gestión de cuencas hidrográficas, las estrategias enmarcan los objetivos a largo plazo y que acciones deben tomarse. Puede abarcar un periodo de entre 10 a 20 años y es la base sobre la cual se debe diseñar el plan de acción que se ejecute entre 3 a 6 años. Hay 4 elementos clave en el desarrollo de una estrategia de cuenca. Dependiendo de las circunstancias se pueden implementar o no en secuencia: 1) identificar la problemática, 2) fijar prioridades, 3) identificar opciones de gestión y 4) analizar costos y beneficios. Estos elementos se deben debatir en el proceso de gestión participativa entre los actores y el resultado debe convertirse en el marco para el diseño de los programas del modelo de gestión sostenible [9].

En ocasiones es aconsejable reducir la problemática a uno o máximo 2 problemas comunes de los actores primarios e intentar resolverlos. Sobre la base de experiencias previas en gestión de cuencas, se encontró que resultaba muy efectivo dar seguimiento a un solo problema en una comunidad al inicio del proceso como forma de ganar credibilidad y confianza en la población local [10].

2.2. MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio es la subcuenca del río Casacay. El trabajo se llevó a cabo desde noviembre de 2019 a septiembre de 2020. Para establecer las estrategias de manejo se utilizó el “Manual para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos” de Global Water Partnership [11]. Se recabó información secundaria del área de estudio respecto al estado del arte y se generaron productos cartográficos mediante el software QuatumGIS (QSIG) acompañados de una propuesta para la gestión de la problemática encontrada sobre la base de la metodología aplicada. Se definió una estrategia para un problema en común de toda la subcuenca y para establecer un área prioritaria de atención se aplicó la metodología de la planificación estratégica en cuencas hidrográficas. Para cuantificar y cualificar el área y la ubicación óptima para la propuesta de gestión, se utilizó el mapa de información cartográfica levantada por CLIRSEN y el Ministerio de Agricultura y Ganadería en los “Mapas de zonas susceptibles a la erosión” de 2000 a 2002.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. DELIMITACIÓN DEL ÁREA A INTERVENIR (IDENTIFICAR LA PROBLEMÁTICA Y FIJAR PRIORIDADES)

La metodología utilizada para la generación de dichos mapas fue la homogenización y re-tematización del mapa de suelos de MAG (PRONAREG), cruce de variables climáticas y edafológicas, edición de los archivos y construcción de la topología y reclasificación de las unidades y categorización de estas [12]. En la figura 1 se puede observar la susceptibilidad de erosión para la subcuenca del río Casacay. En términos generales, se puede ver que gran parte de la superficie es susceptible a procesos de erosión. Sin embargo, las áreas que se establecieron como prioritarias son las más propensas a erosión. Estas áreas se encuentran en la cuenca alta y en el mapa se encuentran pintadas de rojo hacia el suroeste de la subcuenca.

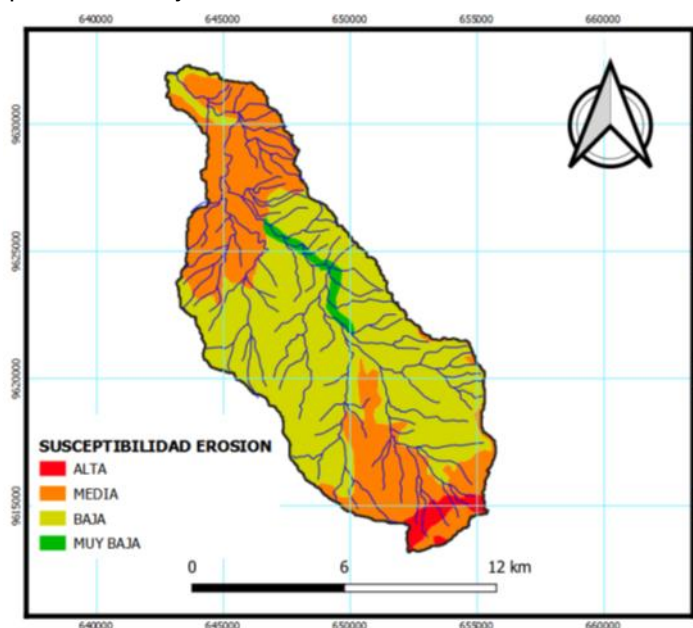


Figura 1: Mapa de susceptibilidad a la erosión
Fuente: elaboración propia

Sobre la base de esta información, se identificaron y analizaron las opciones de gestión que permitan resolver el tema a largo plazo. La alternativa seleccionada para la gestión de la problemática es un proyecto de rehabilitación forestal. Establecer plantaciones con especies nativas contribuye al restablecimiento de la cubierta vegetal en laderas degradadas, deteniendo el rápido y continuo proceso erosivo [13]. Existen claras evidencias que prueban la eficacia de las soluciones basadas en la naturaleza y de cómo a través de la restauración de ecosistemas como bosques o humedales brindan beneficios a usuarios de agua cuenca abajo regulando el ciclo hidrológico, y, sobre todo, controlando la erosión. De esta manera se asegura el agua tanto en cantidad como en calidad, a la vez que se reducen los costos en pretratamiento en desarenadores en la zona de captación [13]. En la figura N°2 se puede observar el área en rojo que debe ser reforestada. El área con la prioridad de reforestación es de 277.18 has.

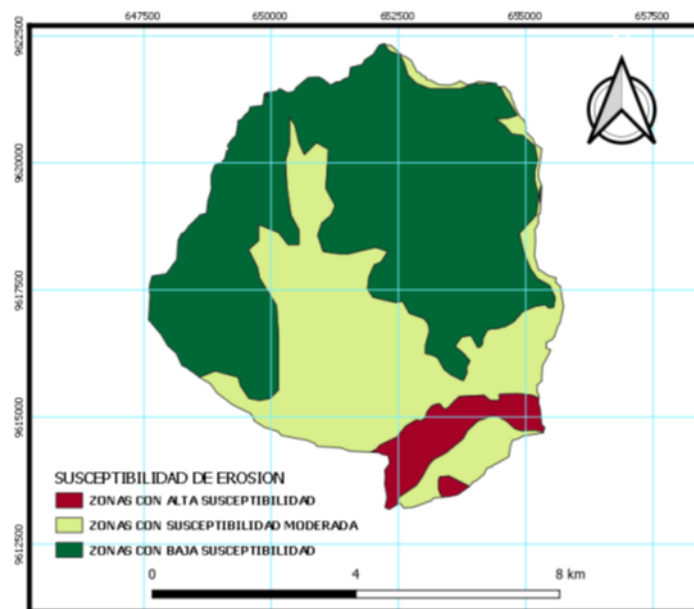


Figura 2: Mapa de la cuenca alta de susceptibilidad a la erosión
Fuente: elaboración propia

Para establecer las especies adecuadas para la reforestación se utilizó el mapa de biogeorregiones generado en el diagnóstico ambiental y su respectiva información. Se pudo establecer que el área objetivo de la reforestación pertenece al Bosque siempreverde montano alto. Las especies diagnóstico más importantes son: *Aegiphila ferruginea*, *Axinaea macrophylla* y *Buddleja jamesonii* [15].

3.2. ELECCIÓN DE ESPECIES PARA LA REHABILITACIÓN FORESTAL (IDENTIFICAR OPCIONES DE GESTIÓN)

Entre los años de 1987 y 1988 se realizaron ensayos en diferentes sitios con 19 especies forestales nativas del Ecuador y se llegó a la conclusión que existen 6 especies óptimas para la reforestación en el rango de 3410 – 4160 m s. n. m.: *Polylepis incana* y *reticulata*, *Buddleja incana* y *coriacea*, *Gynoxys sp* y *Prunus serótina* [15]. Para este proyecto se escogió *Buddleja coriacea* debido que cumple con los requerimientos ecológicos para el área identificada como prioritaria a ser intervenida; además de su fácil producción de semillas, alto porcentaje de germinación y prendimiento de esquejes de hasta 90-95% en substratos de turba tierra agrícola-arena (3:2:1) [13]. En la figura N°3 se muestra una ilustración botánica de la especie propuesta.

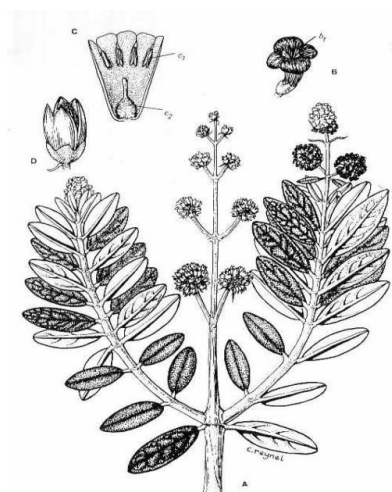


Figura 3: Ilustración de *Buddleja coriacea*
Fuente: (Reynel, 1995)

La propagación se debe realizar por medio de semillas y tiene un alto porcentaje de germinación. Pero la especie se reproduce más rápido por esquejes. Se recomienda 1.5 gramos semillas/m² que producen aproximadamente 2000 plántulas. Para dar buen soporte a las plántulas conviene recubrir el almácigo con una capa de tierra negra-arena (1:1) y para evitar que las plántulas sean afectadas por el frío, se debe cubrir la superficie con paja e ir raleando lentamente [13].

3.3. ANALIZAR COSTOS-BENEFICIOS

En el mercado, 1 Kilogramo de *Buddleja coriacea* tiene un costo aproximado de 58.29 dólares y se estima que vienen 14 000 000 de semillas. La propagación es principalmente por semilla, la que se obtiene de 10 a 12 millones de semillas por Kg, con un alto porcentaje de germinación (entre 80 y 90%). Esta especie tiene dificultades durante el proceso del almácigo que requiere mucha atención y especialización del viverista, por ser muy pequeña, apenas tiene energía acumulada para su germinación [17]. Se identificó una posible fuente semillera con la cual se debe establecer un acercamiento para la obtención de las semillas para la reforestación. En la provincia de Chimborazo el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias tiene el programa nacional de forestería. Específicamente en el sitio UCASAJ en Chorrera, es el lugar en donde se debe obtener las semillas de *Buddleja caribaea*.

En la figura 4 se puede ver el mapa diseñado sobre la base del mapa con las áreas de mayor susceptibilidad a la erosión identificadas y fijadas como prioridad en la subcuenca del río Casacay. El polígono en rojo es el área propuesta a ser intervenida en este proyecto y tiene una superficie de 16.8 ha. En la esquina superior izquierda se puede ver la ubicación del área a reforestar pintada de rojo con respecto a la subcuenca del río Casacay.

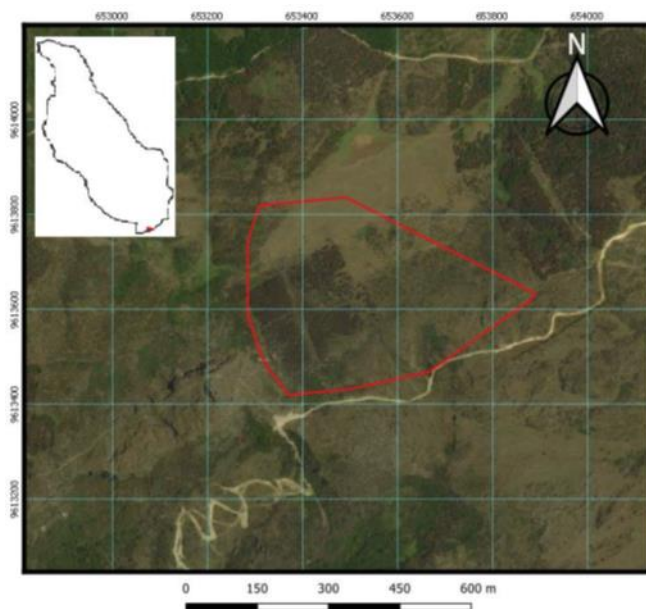


Figura 4: Mapa para el proyecto de reforestación de la cuenca alta del río Casacay
Fuente: elaboración propia

En la tabla N°1 se detallan las coordenadas del área propuesta para ser reforestada. Las coordenadas se encuentran en el sistema de referencia WGS84, proyección UTM, zona 17 Sur.

Tabla 1: Coordenadas del área propuesta para la rehabilitación forestal

Nº	Coordenadas X	Coordenadas Y
1	653891	9613632
2	653879	9613618
3	653666	9613468
4	653498	9613431
5	653369	9613419
6	653317	9613490
7	653285	9613588
8	653285	9613745
9	653309	9613819
10	653491	9613836
11	653891	9613632

A largo plazo, este tipo de medidas disminuyen el riesgo de erosión y arrastre de sedimentos hacia los cuerpos hídricos. Además, beneficia a la conservación de la capa fértil de suelo. La identificación de esta área debe estar sustentada por la actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. Este herramienta técnico-legal permite que los Gobierno Autónomos Descentralizados, competentes respecto a las autorizaciones de uso de suelo, establezcan áreas de protección permanente en las que su objetivo a mediano plazo sea la conservación de la diversidad biológica y servicios ecosistémicos asociados al aseguramiento hídrico. Estas áreas deberán ser definidas a través de metodologías adecuadas y sobre la base de evidencia científica.

3.4. DISCUSIÓN

Si bien la planificación estratégica permite establecer prioridades de intervención y medidas de gestión, este solo es el primer paso para la gestión integral de la cuenca hidrográfica. Los resultados de este trabajo mostraron que el problema prioritario a resolver de la subcuenca del río Casacay es la erosión. Encontrar las causas es otro desafío ya que es un problema multicausal y parte de la estrategia a considerarse en la planificación a mediano plazo de medidas de intervención debe incluir un estudio que sustente en evidencia científica el origen de la problemática. De esta manera se puede gestionar de mejor forma la erosión.

Para establecer una medida de gestión como la restauración y rehabilitación forestal se debe contar con bases científicas sólidas que sinteticen casos de éxitos para el ecosistema intervenir [18]. En este trabajo se tomaron en consideración estudios hechos en el mismo ecosistema a intervenir ya que, como se ha descrito, es fundamental sustentar estas medidas en evidencia científica. Resulta importante traer al debate la diferenciación entre 2 conceptos respecto a restauración: la restauración ecológica y la restauración del capital natural. La restauración ecológica se orienta a permitir que el ecosistema se recupere de una posible degradación en su salud mientras que la restauración del capital natural es un concepto innovador que integra la restauración y la economía ecológica para la conservación de la naturaleza [19]. Bajo este contexto, se evidencia que es fundamental intervenir las cuencas hidrográficas con el fin de no solo restaurar los ecosistemas *per se* sino de recuperar el capital natural que ofrecen sus servicios ecosistémicos.

Una de las limitaciones de este trabajo se relaciona con la misma metodología de la planificación estratégica. Esta metodología establece que la planificación debe tener una fuerte participación de los actores a través del diagnóstico participativo y la gestión participativa. Para una correcta aplicación de la planificación estratégica y evitar sesgos tanto en la identificación del problema prioritario a resolver en la cuenca como su posible medida de gestión, el aporte de los actores involucrados es fundamental [20]. Sin embargo, para que este trabajo sea riguroso, se utilizó una exhaustiva revisión bibliográfica y se analizó únicamente medidas basadas en la evidencia científica.

4. CONCLUSIONES

Definir un marco de trabajo respecto a la gestión integrada de una cuenca hidrográfica a través de la planificación estratégica dota de una impronta de objetividad a la toma de decisiones y garantiza que los programas y proyectos que se ejecuten logren impactar positivamente en la gestión integral de los recursos hídricos. Establecer estrategias adecuadas para cada zonificación de la subcuenca en estudio permite que los planes y programas que se implementen persigan metas claras y las iniciativas no se conviertan en esfuerzos infructuosos en el largo plazo.

Se deben agotar los mecanismos de pagos por servicios ambientales para retribuir la conservación de bosques o vegetación nativa a los propietarios que decidan no intervenir sus lotes. En caso de que el mecanismo de sostenibilidad financiera que llegue a concertarse sea el fondo de agua, este debe orientarse a comprar tierras en zonas de importancia hídrica, ecosistemas frágiles y hábitats de la flora y fauna endémica. Para definir la prioridad de conservación de cada área, se debe utilizar el mapa generado de la zona de protección permanente. Estas tierras serán de propiedad municipal y pueden ser incorporados al régimen de áreas protegidas municipales. Para tal efecto, el artículo 376 de la Constitución del Ecuador reconoce que para hacer efectivo el derecho a la conservación del ambiente, las municipalidades podrán expropiar, reservar o controlar áreas para el desarrollo futuro.

1. L. Zavala y J. Hidalgo, «Metodología de planeación ambiental para una cuenca: caso Lerma Chapala,» Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, 2014.
2. P. Martinez-Austria, C. Díaz-Delgado y G. Moeller-Chavez, «Seguridad hídrica en México: diagnóstico general y desafíos principales,» Ingeniería del Agua, vol. 23, nº 2, pp. 107-121, 2019.
3. B. Ochoa-Tocachi, J. Bardales, J. Antiporta, K. Pérez, L. Acosta, F. Mao, Z. Zulkafli, J. Gil-Ríos, O. Angulo, S. Grainger, G. Gammie, B. De Briève y W. Buytaert, «Potential contribuitons of pre-Inca infiltration infraestructure to Andean water security,» Nature sustainability, vol. 2, pp. 584-593, 2019.
4. FAO, «Fortalecimiento de la planificación estratégica para la gestión de los recursos naturales en cuencas hidrográficas,» Organización de las Naciones Unidas pra la Alimentación y la Agricultura, El Salvador, 2021.
5. J. Bosch y J. Hewlett, «A review of catchment experiments to determinate the effect of vegetation changes on water yield evapotranspiration,» Journal of hidrology, vol. 55, pp. 3-23, 1982.
6. GAD Casacay, «Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de Casacay,» Casacay, 2015.
7. J. Hall, V. Kirn y E. Yanguas-Fernández, La gestión de cuencas hidrográficas para asegurar los servicios ecosistémicos en las laderas del neotrópico, Ciudad de Panamá: Banco Interamericano de Desarrollo, 2015.
8. G. Steiner, Planeación estratégica. Lo que todo director debe saber., Ciudad de México: CECSA, 1998.
9. GWP, Manual para la gestión integrada de recursos hídricos en Cuencas, Paris: Red internacional de organismos de cuenca, 2009.
10. A.López, América latina: estrategias para el desarrollo sostenible, Gland y Cambrigde: Unión Internacional de Conservación de la Naturaleza, 1995.
11. Global Water Partnership, Manual para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en Cuencas, Londres: Scriptoria, 2009.
12. CLIRSEN, Cobertura de zonas susceptibles a erosión, Quito: Ministerio de Agricultura del Ecuador, 2000.
13. R. Hofstede, J. Lips y W. Longsma, Geografía, ecología y forestaciónd de la sierra alta del Ecuador, Quito: Abya Yala, 1988.
14. Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos (ONU-Agua), Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018: soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua., Paris: UNESCO, 2018.
15. C. Garzón-Santomaro, B. Prieto-Albuja y J. Mena-Jaén, Propuesta para el establecimiento del subsistema de áreas naturales de conservación y diseño del corredor ecológico de la provincia de El Oro: Una guía para el desarrollo de estrategias de investigación,conservación y manejo de biodiversidad orense, Quito: INABIO, 2019.
16. CESA, Investigación con especies forestales nativas del Ecuador, Quito: Central Ecuatoriana de Servicios Agrícolas, 1991.
17. J. Fossati, Resumen silvicultura de 10 sp nativas (programa de repoblamiento forestal Prefectura-Intercooperación COSUDE), Cochabamba, 1996.
18. F. López-Barrera, C. Martínez-Garza y E. Cecon, «Ecología de la restauración en México: estado actual y perspectivas,» Revista mexicana de biodiversidad, vol. 88, pp. 97-112, 2017.
19. N. Aguirre, J. Torres y P. Velasco-Linares, Guía para la restauración ecológica en los páramos del Antisana, Quito: CONDESAN, 2013.
20. S. Báez y L. Cortizas, «Una aproximación al manejo de cuencas hidrograficas desde el ordenamiento territorial en la región metropolitana de Buenos Aires,» Geograficando, vol. 17, nº 2, 2021.

Cuantificación Del Carbono Almacenado En Dos Niveles Altitudinales De Bosque Y Pastizal En El Sur Del Ecuador

Quantification Of Carbon Stocks In Two Altitudinal Levels Of Forest And Grassland In Southern Ecuador

Autores

Jandry Steven Encalada Maldonado¹, María Cristina Cabrera Fajardo², Tito David Serrano Guartatanga³, Jaime Enrique Maza Maza⁴

¹Universidad Técnica de Machala (UTMACH). Estudiante pregrado en Ingeniería Ambiental, Machala-Ecuador, e-mail: jencalada8@utmachala.edu.ec

²Universidad Técnica de Machala (UTMACH). Estudiante pregrado en Ingeniería Ambiental, Machala- Ecuador, e-mail: mcabrera13@utmachala.edu.ec

³Universidad Técnica de Machala (UTMACH). Estudiante pregrado en Ingeniería Ambiental, Machala- Ecuador, e-mail: tserrano2@utmachala.edu.ec

⁴Profesor de la Universidad Técnica de Machala (UTMACH). Magister en Impacto Ambiental, Machala- Ecuador, e-mail: jemaza@utmachala.edu.ec

RESUMEN

El constituyente del CO₂ representa una pequeña parte dentro del ciclo del carbono. Así mismo, los diferentes tipos de suelos en la naturaleza contienen diversos porcentajes de Carbón orgánico, dependiendo de su composición. Respecto a los suelos del cantón Machala y Chilla son áreas de gran riqueza dentro del Ecuador, siendo esencial para el crecimiento y equilibrio de las especies de flora-fauna, sin embargo. El objetivo de este trabajo fue determinar el porcentaje de C y la cantidad de CO₂ en pastizales-bosques. Se construyeron fosas a una determinada medida, donde se extrajeron muestras de suelo a diferentes profundidades (0-10 cm y 10-30 cm) para determinar las propiedades físico-químicas. Los resultados en el porcentaje de CO₂ ($\approx 2,24\%$) y la densidad real en bosques ($\approx 2,26 \text{ mg.m}^{-3}$) y densidad aparente en pastizales ($\approx 1,29 \text{ mg.m}^{-3}$) en el Pueblo Viejo evidencian un incremento notable, a diferencia de la finca Santa Inés que dio un $\approx 2,08\%$ de CO₂, $\approx 1,93 \text{ mg.m}^{-3}$ de densidad real y $\approx 1,45 \text{ mg.m}^{-3}$ densidad aparente en pastizales. El C obtenido en la biomasa de CO₂ almacenado por cobertura y profundidad en el bosque de Machala y Chilla muestran una alta variabilidad alterando los procesos fisiológicos de las plantas en el sur del Ecuador.

Palabras claves: Bosque, pastizal, clase textural, muestreo, propiedades físicas y químicas

ABSTRACT

The CO₂ constituent represents a small part of the carbon cycle. Likewise, the different types of soils in nature contain different percentages of organic carbon, depending on their composition. Regarding the soils of the Machala and Chilla cantons, they are areas of great wealth within the equator, being essential for the growth and balance of the flora-fauna species, however. The objective of this work was to determine the percentage of carbon and the amount of CO₂ in grasslands-forests. Pits were built to a certain extent, where soil samples were extracted at different depths (0-10 cm and 10-30 cm) to determine the physical-chemical properties. The results in the percentage of CO₂ ($\approx 2.24\%$) and the real density in forests ($\approx 2.26 \text{ mg.m}^{-3}$) and apparent density in grasslands ($\approx 1.29 \text{ mg.m}^{-3}$) in the Pueblo Viejo show a notable increase, unlike the Santa Inés farm, which gave $\approx 2.08\%$ CO₂, $\approx 1.93 \text{ mg.m}^{-3}$ real density and $\approx 1.45 \text{ mg.m}^{-3}$ apparent density in grasslands. The carbon obtained in the biomass of CO₂ stored by coverage and depth in the Machala and Chilla forests show a high variability, altering the physiological processes of plants in southern Ecuador.

Keywords: Forest, grassland, textural class, sampling, physical and chemical properties

1. INTRODUCCIÓN

Factores como el calentamiento global, degeneración del territorio y disminución de la diversidad biológica han provocado que uno de los recursos naturales indispensables para la supervivencia de los seres vivos como lo es el suelo, se exponga abismalmente. De igual forma, es considerado como una reserva importante de Carbono (C), el cual, supera el contenido del medio atmosférico. No obstante, el impacto ambiental que ha experimentado durante todo este tiempo y de continuar así mismo, puede transformarlo en fuente para la generación de gases que originan una serie de actividades naturales negativas y catastróficas para el entorno. Con respecto al Carbono orgánico del suelo (COs) se ha querido explicar su evolución convirtiéndolo en un enorme progreso de la ciencia, pero, en cuanto a su protección y monitoreo a nivel nacional y global aún se enfrentan desafíos que dificultan el diseño de políticas útiles sobre el terreno y ajustadas a regiones determinadas [1].

El suelo según Andrades y Elena [2], es una base rica en elementos nutritivos, y es un elemento indispensable en el desarrollo y soporte de la producción de una determinada flora o especie vegetal, para establecer su fertilidad se deben seguir parámetros *físico-químicos*. Martínez, Fuentes y Acevedo [3] contextualizan que el carbono enlaza el balance de los sistemas de agricultura que degradan las propiedades del suelo analizadas junto a la productividad de los cultivos. *El carbono orgánico* es un elemento indispensable en el mantenimiento de los suelos, grandes cantidades de un *elemento químico* como lo es el *carbono (C)* favorece a la vegetación y al ambiente, genera una buena composición de materia orgánica (M.O) o residuos orgánicos (vegetal, animal o microorganismos) en los suelos. De acuerdo con García y Ballesteros [4], la indagación sobre el carbono orgánico está obteniendo una considerable aceptación.

En esta investigación se analiza el contenido de carbono en *El Cantón Chilla y el Cantón Machala*, dentro de ambas zonas existen varias problemáticas por el uso y la infertilidad de sus suelos. En el *Cantón Chilla* según Belduma et al. [5] la actividad agrícola y ganadera se dispersan en cantidades excesivas, lo que quiere decir que la mayor parte de los territorios de este sector se dedican al cultivo y al abastecimiento de alimentos dentro de la *Provincia de El Oro*, y afectan al suelo con el uso de fertilizantes y conservantes. Bajo este contexto en la segunda zona, el *Cantón Machala* surge un efecto negativo [6], pues con la explotación del banano, cacao y la producción en el ámbito de la acuicultura se debilitan las cantidades de nutrientes de la tierra, desgastan al suelo y la riqueza de este, por la mala adecuación de pesticidas.

En el presente documento científico se relaciona la efectividad del suelo con distintos tipos parámetros *físicoquímicos* y *la determinación del carbono orgánico* de las zonas de interés mediante el análisis estadístico de correlación de ambas variables. La base de esta investigación es profundizar en los análisis geológicos y edafológicos pues son de gran ayuda para el conocimiento de los factores de los suelos.

Este trabajo tiene como objetivo determinar las concentraciones de carbono orgánico en dos niveles altitudinales de bosque y pastizal en el *sur del Ecuador* específicamente en dos zonas de la *Provincia de El Oro* a diferentes profundidades (0-10 y 10-30 cm), a través del análisis de procedimientos cuantitativos y cualitativos dentro del laboratorio de la *Universidad Técnica de Machala* donde se obtendrá la información pertinente para el debido análisis de las muestras extraídas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El presente estudio se realiza en dos zonas altitudinales de la Provincia de El Oro (ver figura 1), Ecuador, siendo la primera Zona el cantón Machala (finca Santa Inés) que cuenta con una altitud 6 m.s.n.m. con una extensión de 337,5 km² con una temperatura que varía de los 21 a 31°C con un clima cálido-tropical. Las actividades económicas principales de esta región son la agricultura, comercio, acuicultura e Industria [7].

La segunda zona es el Cantón Chilla (Pueblo viejo Chilla) con una altitud de 2450 m.s.n.m. y una altitud de 389 km² que cuenta con una temperatura de 8 a 12 °C siendo este un clima Frío. Las actividades económicas más importantes en este cantón son la ganadería y la agricultura [8].

MAPA DE UBICACIÓN DE PUNTOS DE ESTUDIOS

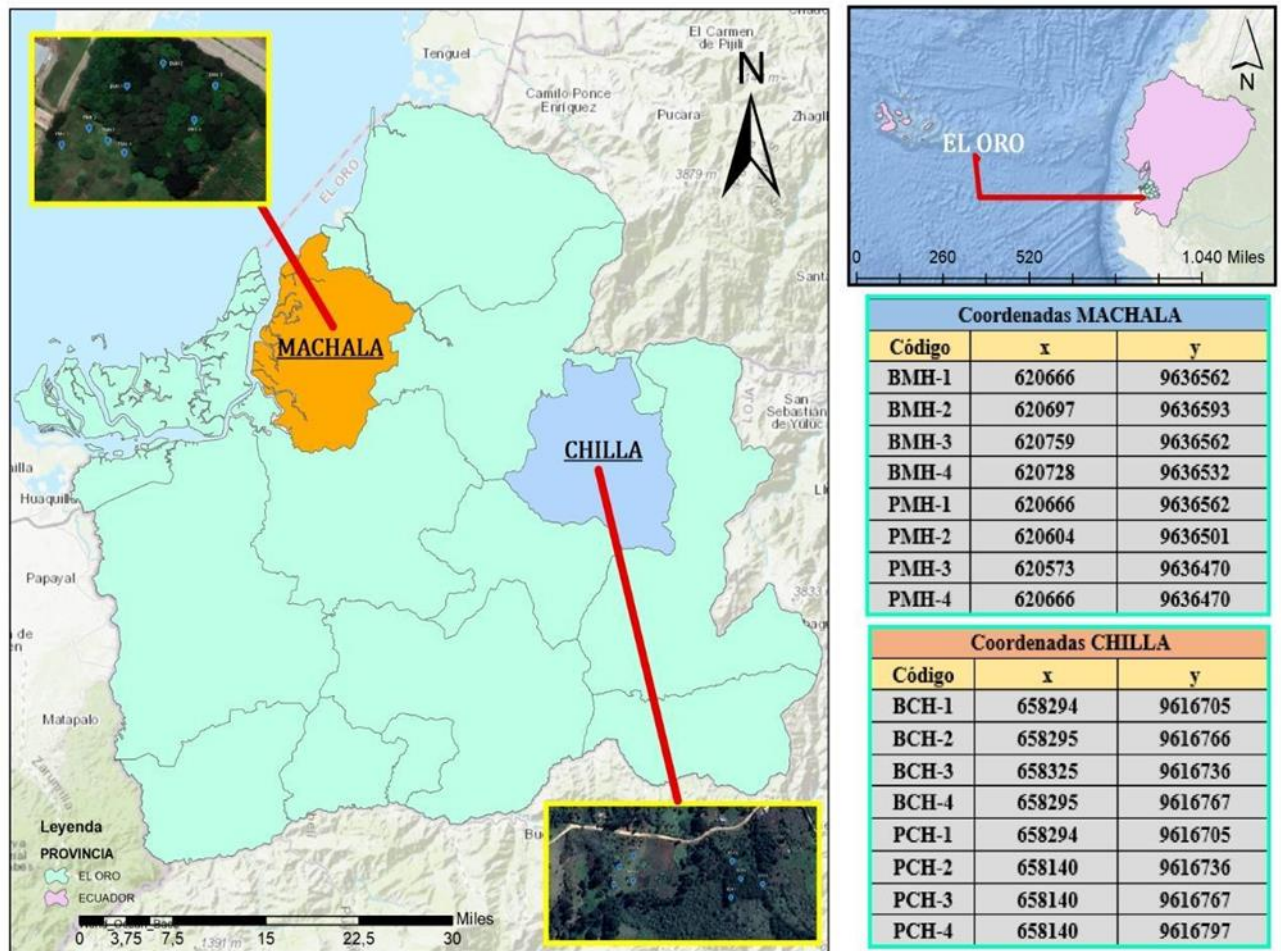


Figura 1.- Área de estudio.

Selección y toma de muestras de suelos

Para un análisis comparativo y completo se tomaron 16 puntos de estudio en las dos zonas altitudinales diferentes (Zona baja Machala y Zona alta Chilla) tal y como se describe en la tabla 1. Se recolectaron 32 muestras en total, en cada punto se extrajeron 4 kg de suelo con dos tipos de profundidades de 0-10 cm y de 10-30 cm. En este proceso se registró la altitud correspondiente en cada punto de muestreo y se tomó la distancia correspondiente entre puntos de muestreo, 80 m.

Tabla 1.-Coordenadas, Ecosistema y Orden de suelo de los puntos de estudio

Cantón	Sector	Altitud (msnm)	Altitud prom. (msnm)	Cobertura	Código	Ecosistema	Ord. de suelo
Machala	Sitio Santa Inés UTMACH	16	16	Bosque	BMH-1	Intervenido	Inceptisol
		17		Bosque	BMH-2		
		17		Bosque	BMH-3		
		15		Bosque	BMH-4		
		13	12	Pastizal	PMH-1		
		12		Pastizal	PMH-2		
		11		Pastizal	PMH-3		
		12		Pastizal	PMH-4		
Chilla	Sitio: Pueblo Viejo	2668	2670	Bosque	BCH-1	Intervenido	Inceptisol
		2670		Bosque	BCH-2		
		2672		Bosque	BCH-3		
		2666		Bosque	BCH-4		
		2639	2640	Pastizal	PCH-1		
		2641		Pastizal	PCH-2		
		2637		Pastizal	PCH-3		
		2640		Pastizal	PCH-4		

Análisis de las propiedades físicas y químicas del suelo

El análisis de las propiedades físicas, se obtuvo por la aplicación de varios métodos para la determinación de densidad aparente, densidad real, porosidad en el suelo. Para la determinación de densidad aparente se utilizó el "método de la parafina" [9], el cual consiste en que una porción de muestra sea sumergida en parafina, para determinar su capacidad de drenaje y compactación, ya que la muestra contiene cierta cantidad de agua.

En el estudio de la densidad real, se determinan las partículas sólidas del suelo, para ellos se utilizó el "método de picnómetro", que consiste en la determinación del peso de las partículas sólidas, mediante la muestra tamizada y pesada junto con el balón de agua. La porosidad del suelo se ve determinada por la relación entre densidad aparente y densidad real, y su valor es expresado en porcentaje.

La textura del suelo, no es más que la conformación de tres factores primarios, tales como lo son: arcilla, limo y arena. La textura se logró determinar con el uso del triángulo de textura desarrollado por el departamento de USDA [1] y el método de laboratorio de Bouyoucos.

Para las propiedades químicas se determinó el contenido de materia orgánica del suelo, indicador muy valioso como indicador de fertilidad, si bien se puede definir de manera preliminar con el color es justo hacer un análisis de laboratorio que precise la magnitud de este componente en el suelo con el método de ignición a 600°C. Con la aplicación del método de Walkley-Black se determina la cantidad de carbono orgánico para esto es preciso el uso de la ecuación (1) [10].

$$\%C = (ml \text{ dicromato} - ml \text{ sulfato}) \times 0,4 = \%MO = \%C \times 1,724 \quad (1)$$

Donde: MO= materia orgánica, 1,724= constante de la fórmula, ml dicromato y ml sulfato= sustancias empleadas, %C= porcentaje de carbono.

El análisis del contenido de carbono orgánico

El análisis de las propiedades químicas, considera la determinación de la cantidad de carbono presente en el suelo dependiendo de la cantidad de materia orgánica presente el suelo (restos de animales y vegetación bien descompuesta que tiene gran cantidad de carbono). Estos resultados se obtuvieron por el método de ignición con la aplicación de la ecuación (2) y la ecuación (3) para la obtención de los datos de manera precisa [10].

$$COS (kg/m^3) = \frac{(PVs \times \%C)}{100} \quad (2)$$

$$PVs(Mg. ha - 1) = DA \times Ps \times 10000 \quad (3)$$

Donde: COS= carbono orgánico del suelo (Kg/m³), %C= porcentaje de carbono PVs= peso del volumen del suelo (Mg.ha-1), DA= densidad aparente, Ps= profundidad del horizonte (cm).

Análisis estadístico

Para este trabajo de investigación se optó por utilizar el Programa estadístico SPSS, versión 26.0 [11]. Para el análisis de las propiedades físico-químicas por uso del suelo (contenido de arcilla, arena, limo, densidad aparente (Da), densidad relativa (Dr)) y los valores de COs se utilizó estadística descriptiva, la media estadística, desviación estándar, diagrama de cajas.

Se optó por realizar análisis de la varianza de un factor, con un nivel de significancia de 95% (p<0,005). además, para la comparación de los diferentes parámetros a distinta profundidad y altitud se utilizó la prueba de Games-Howell y Tukey. Para medir el nivel de correlación de las variables se decidió aplicar la prueba de normalidad y correlación de Rho de Sperman [11].

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan los valores de las medias de los parámetros físicos y químicos obtenidos en este estudio tabla 2.

Tabla 2.- Parámetros Físicos-químicos de los suelos Bosque y pastizal.

Cód	Prof (cm)	Textura (%)			Clase Textural USDA	Densidad Aparente (Mg.m ³)	Densidad Real (Mg.m ³)	Porosidad (%)	C (%)	Cos (Kg/m ³)
		Arena	Arcilla	Limo						
BMH	0-10	24,30	43,58	32,13	Y	1,35	1,92	29,64	1,15	15,14
BMH	10-30	19,95	45,45	34,60	Y	1,47	1,94	23,61	1,28	18,83
BCH	0-10	53,30	24,75	21,95	FYA	1,24	2,25	43,97	1,94	24,02
BCH	10-30	54,93	21,73	23,35	FYA	1,24	2,27	45,25	1,84	23,02
PMH	0-10	19,38	34,38	46,25	FYL	1,45	2,26	30,87	2,31	32,50
PMH	10-30	16,25	23,13	60,63	FL	1,44	2,24	39,62	1,86	26,41
PCH	0-10	45,63	21,88	32,50	F	1,29	2,16	41,02	2,43	31,34
PCH	10-30	57,50	8,75	33,75	FA	1,27	2,07	42,53	2,06	26,04

Y= arcilloso; FYA= franco arcilloso arenoso; FYL= franco arcilloso limosos; FL= franco Limoso; F= franca; FA= franco arenoso.

Clase textural

En cuanto a clase textural se puede observar en el cuadro de resultados que en Machala la cobertura bosque presenta una textura arcillosa en sus dos profundidades mientras que en el bosque Chilla la clase textural es franca arcillo arenoso a sus dos profundidades.

En cuanto a pastizal en Machala se puede ver cómo varía su clase textural de acuerdo a sus profundidades; de 0-10 cm su textura es franca arcillo limosa y de 10-30 es franco limoso mientras tanto en Chilla de 0-10 presenta un suelo franco y de 10-30 franco arenoso. En pastizal de Chilla a una profundidad de 0-10 este tipo de suelo franco es el más óptimo para el crecimiento de la mayoría de las plantas ya que son ligeros, permeables y bien aireados.

Densidad aparente

Los bajos valores de densidad aparente (Da) indican que son suelos porosos, con buena aireación, drenaje e introducción de raíces, lo que hace que haya un buen crecimiento de las raíces. En cambio, los valores altos de este parámetro hacen referencia a suelos compactados y con bajo porcentaje de porosidad, con falta de aireación y baja infiltración del agua lo cual provoca problemas en el desarrollo de las raíces de las plantas [12]. Como se puede observar en el cuadro los valores de densidad en los dos cantones son bajos, y de acuerdo a esta densidad aparente se puede deducir que son suelos óptimos para el desarrollo de la vegetación.

Según los datos obtenidos de los predios de la Universidad Técnica de Machala se obtuvo un promedio de una Da de 1,41 mg/m³ y con respecto a sus texturas, puntualizan que es un valor apto para el crecimiento radicular vegetal. No obstante, para el bosque en la zona alta de Chilla se extrajo un promedio de una Da de 1,24 mg/m³. De acuerdo a investigaciones realizadas [1], un suelo con una buena circulación del agua y un alto desarrollo vegetal, debe estar en el rango de 1,30-1,50 mg/m³ [22].

Se evidencia una homogeneidad en los resultados del sector bosque de los predios de la UTMACH con respecto al pastizal de los predios de la UTMACH con un promedio de Da de 1.44 mg/m³ compartiendo así las mismas características físicas. En cambio, para el pastizal de la zona alta de Chilla se obtuvo un promedio de una Da de 1,27 mg/m³. En los pisos climáticos fríos [2], estos valores de Da aparecen por la presencia de fuertes lluvias, alto contenido de humedad y robustas pendientes [23].

Densidad Real

La densidad real (Dr) expuesta en este análisis no se ve afectada por los métodos aplicados puesto que es una variable más estable. Las variaciones significativas entre los tratamientos indican que su composición y la cantidad de minerales se encuentran directamente relacionadas a la cantidad de materia orgánica de una manera óptima [10].

Los suelos de uso Pastizal y bosque presentaron un nivel muy bajo de densidad real esto se debe a que la zona de estudio presenta arcillas minerales que contienen o están revestidas por finas capas con óxido de hierro y aluminio. Los suelos arcillosos [3] presentan una densidad real de 1,2 a 2,6 g/cm³, resultados similares a la tabla 2.

En la capa superficial no existe un proceso de iluviación correcto debido a la estructura del suelo lo que no permite generar un buen transporte de minerales a las capas inferiores [3].

Porosidad

Analizando este parámetro físico se puede deducir que en el cantón Chilla en pastizales a sus dos profundidades se tiene un porcentaje muy cerca pero por debajo al 50% que es el valor promedio que indica una buena porosidad del suelo. Así mismo en aquel cantón, pero en bosque se tienen los valores más cercanos a dicho porcentaje, en cambio en Machala se tienen valores más bajos que en Chilla tanto en pastizales como en bosque pudiendo llegar a la conclusión que en los dos cantones los valores de porosidad indican que no hay un balance entre poros grandes y pequeños (mayor porcentaje de microporos) lo que produce un suelo con problemas de aireación, circulación del agua no siendo apto para el desarrollo de las raíces de las plantas.

Mientras el tamaño de los poros disminuye, las fuerzas para retener el agua aumentan. Debido a esto se afectan el drenaje, la aireación, la disponibilidad de agua y el desarrollo de las raíces. Por ello el porcentaje óptimo sería entre 50%-55% [13].

Carbono orgánico del suelo por cobertura y profundidad

Con la prueba de la Anova se verifica de manera cuantitativa que el valor de significancia al ser menor que 0,005 (margen de error al aplicar el método descriptivo), dicta que existen diferencias entre tratamientos. Además, al aplicar la prueba de homogeneidad de varianza da como resultado, tabla 3, que no cumple con lo establecido en esta prueba ya que su valor es de 0,004 siendo menor a 0,005.

Tabla 3.-Prueba Anova carbono almacenado, cobertura y profundidad

ANOVA					
Carbono almacenado en el suelo (Mg C.ha-1)					
	suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig
Entre grupos	502,374	7	717,768	4,081	0,004
Dentro de grupos	4221,23	24	175,888		
Total	9245,696	31			

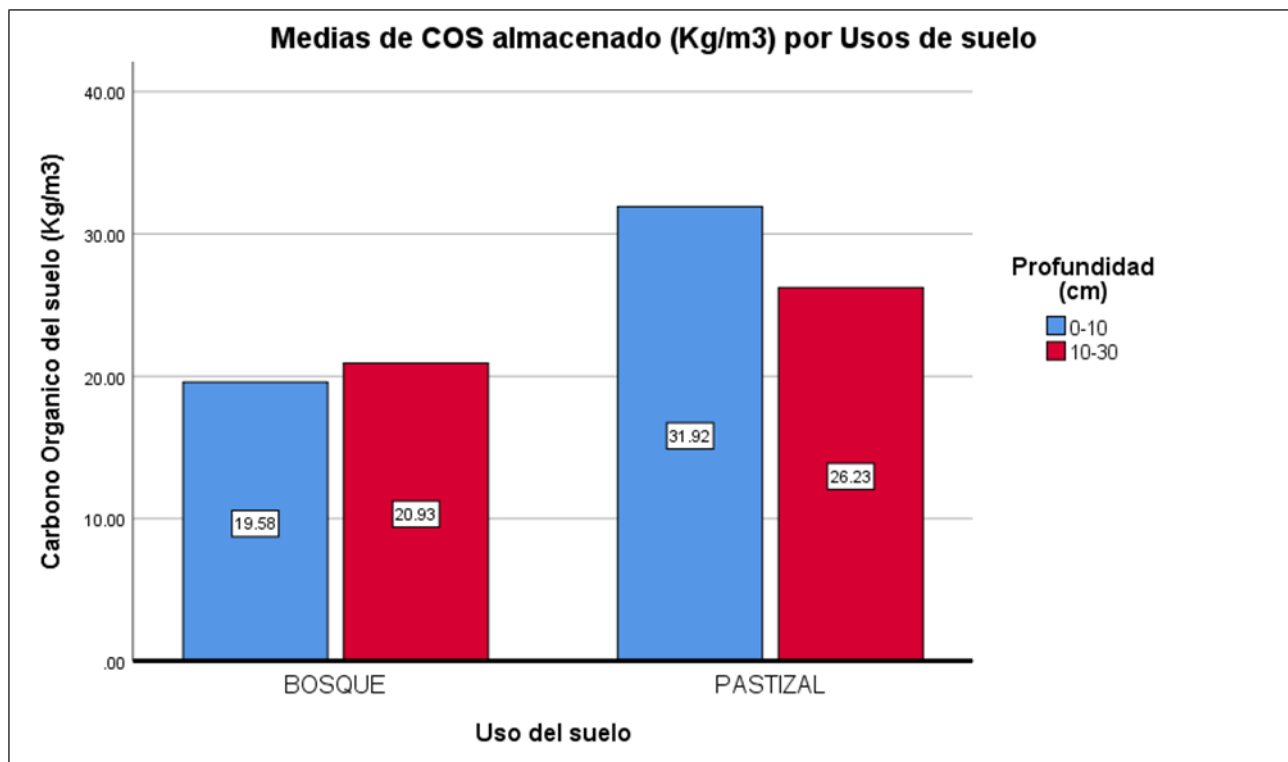


Figura 2.- test de Games-Howell ($p < 0.05$) por uso del suelo, cobertura y profundidad carbono orgánico almacenado(COS)

En la figura 2 se puede visualizar que la cantidad de almacenamiento de carbono en uso de suelo pastizal es mayor en relación al uso de suelo Bosque. En Bosques a mayor profundidad el almacenamiento de carbono es ligeramente superior; sin embargo, en el uso de suelo Pastizal a menor profundidad presenta mayor nivel de COs. Además, que las concentraciones de carbono orgánico almacenado en el uso de suelo Bosque en las profundidades de 0-10 y de 10-30 son inferiores al uso de suelo pastizal de 0-10 y de 10-30, a su vez la mayor diferencia se da en la profundidad de 0-10 en el uso de suelo pastizal donde se logra ver un almacenamiento de COs superior.

El almacenamiento de Carbono orgánico (COS) en bosques y pastizales es conveniente para la captura de emisiones de gases de efecto invernadero, porque los cambios en el uso del suelo y la cobertura vegetal perjudican la cantidad de carbono acumulado en la vegetación y el suelo [14].

La razón por la que la cantidad de Carbono se da a niveles altos es por características del suelo, del clima y de las prácticas de uso de suelo que se realicen. Es importante que el suelo pueda estar protegido la mayoría del tiempo.

También se puede decir que se da por los restos vegetales aéreos y por los restos de raíces después de la cosecha de la pastura; por sedimentos de los animales y por los residuos de organismos degradadores habitantes en el suelo [15].

Comparación de carbono orgánico del suelo por niveles altitudinales

Para determinar si existe o no homogeneidad en los tratamientos es preciso realizar una comparativa entre los mismos, con el uso de una prueba de Anova, Tabla 4, con esto se puede verificar el nivel de significancia si resulta ser mayor a 0,005 se comprueba que existe homogeneidad. En la tabla se verifica lo planteado con un valor de 0,212.

Tabla 4.- Prueba ANOVA carbono orgánico del suelo por niveles altitudinales

ANOVA					
Carbono almacenado en el suelo (Mg C.ha⁻¹)					
	suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig
Entre grupos	1353,191	3	451,064	1,600	0,212
Dentro de grupos	7892,506	28	281,875		
Total	9245,696	31			

En la figura 3 se puede observar que el carbono orgánico almacenado es más alto en el uso de suelo pastizal. El carbono orgánico a mayor altitud en bosque responde mejor, en contraste a bosque de altitud baja.

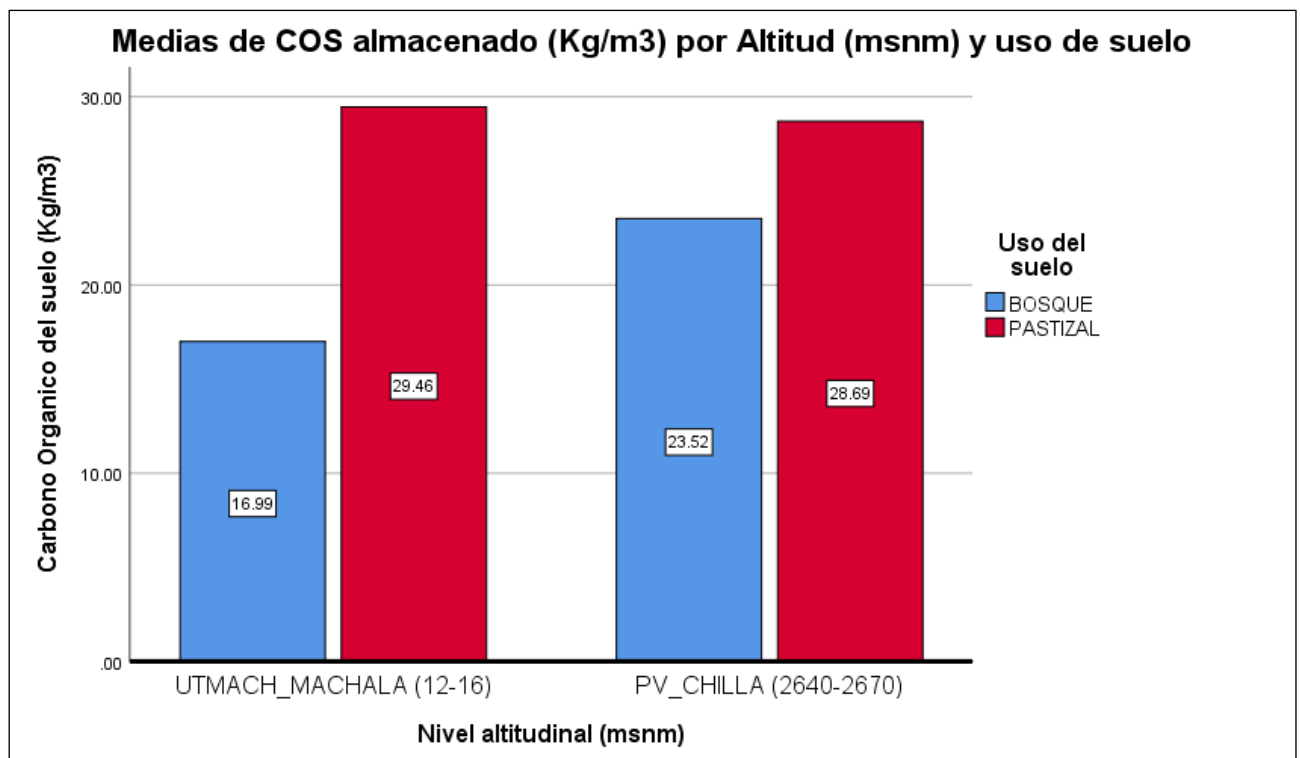


Figura 3.- Diagrama de barras.

Con la prueba de Anova se puede determinar que existe homogeneidad de varianzas realizadas y con el diagrama de la figura 3 se puede verificar que no existe diferencia significativa entre el uso de suelo pastizal en la zona baja como en la zona alta siendo esta última un poco inferior. La media de concentración de almacenamiento en Machala fue de 46,45 Kg/ m³ a una altitud de 12 a 16 msnm algo no tan alejado a lo representado en Pueblo Viejo de Chilla donde la media de (COS) fue de 53,21 Kg/ m³ a una altitud de 2640 a 2670 msnm, la diferencia es mínima de 5,76 Kg/ m³ que en porcentaje representa el 3%.

La existencia de actividad agrícola y ganadera aumenta la presencia de MOS esto en compañía de la altitud toma un papel importante en las reservas de carbono orgánico del suelo en el Pueblo Viejo de Chilla, ya que esto se asocia con un incremento de las precipitaciones y temperaturas más bajas que resultan en un incremento de las reservas de COs [16], dando contraste a la zona de Machala debido a su altitud y temperatura que da como resultado un nivel de COs un poco más bajo; sin embargo, no muy lejano debido a las actividades que allí se generan.

La vegetación juega un papel importante ya que puede determinar diferencia en los niveles altitudinales cuando se habla de la capacidad de almacenamiento de COs, mientras que en la zona de Pueblo Viejo Chilla se presenta (*Stipa*, *Festuca* y *Calamagrostis*) y en Machala se presenta (*Cyperus esculentus*, *Panicum maximun*, *Eriochloa polystachya* [17]) como especies presentes en pastizal, lo que indica que tienen capacidades similares de almacenamiento de carbono orgánico en el suelo [18], dando como resultado valores de carbono orgánico elevados ya que su cobertura vegetal aísla el suelo de factores climáticos y de la radiación del suelo [3]. En cuanto a bosques en el Pueblo Viejo de Chilla [8] se tiene la presencia de una especie introducida (*Pinus patula*) que ha generado cambios significativos en las concentraciones de COs ya que presenta un aumento considerado por las características de la especie [19] en comparación con las especies presentadas en bosque de Machala (*Pseudosamanea guachapele*, *Spondias purpurea*) las cuales tienen un nivel de almacenamiento de carbono orgánico menor en comparativa Bosque de pueblo viejo de Chilla.

Efecto de correlaciones de las propiedades fisicoquímicas del suelo por profundidad y nivel altitudinal.

Aplicando prueba de Normalidad de Kolmogorov-Smirnov se puede determinar lo siguiente, tabla 5:

Tabla 5.- Tabla Efecto del COS almacenado sobre las propiedades físicas del suelo.

		densidad aparente (mg. m3)	porosidad (%)	arcilla (%)	limo (%)	arena (%)	profundidad (cm)	nivel altitudinal (msnm)
N		32	32	32	32	32	32	32
Parámetros normales ^{a,b}	Media	13425	37,0463	27,9531	35,6438	36,4031	1,5000	1,5000
	Desv. Desviación	0,15507	12,35116	20,35755	22,75859	18,97194	0,60800	0,60800
Máximas diferencias extremas	Absoluto	0,113	0,124	0,102	0,099	0,139	0,338	0,338
	Positivo	0,113	0,073	0,102	0,099	0,132	0,338	0,338
	Negativo	-0,099	-0,124	-0,085	-0,059	-0,139	-0,338	-0,338
Estadístico de prueba		0,113	0,124	0,102	0,099	0,139	0,338	0,338
Sig. asintótica (bilateral)		0,200 ^{C,d}	0,200 ^{C,d}	0,200 ^{C,d}	0,200 ^{C,d}	0,118 ^{C,d}	0,000 ^{C,d}	0,000 ^C

Con la aplicación de la prueba de normalidad se pueden definir los cuadros de normalidad tal y como indica su regla Valor de significancia mayor a 0,050 con valores normales, al ser el mayor número de variables son de característica normal. Por lo tanto, se considera la prueba de correlación de Spearman tabla 6.

Tabla 6.- Tabla correlación de Rho de Spearman.

Correlación de Rho de Spearman		COS almacenado (kg/m ³)
Densidad aparente (mg.m-3)	Correlación	-0,005
	sig. (bilateral)	0,977
Porosidad (%)	Correlación	0,162
	sig. (bilateral)	0,376
Arcilla (%)	Correlación	-0,133
	sig. (bilateral)	0,489
Limo (%)	Correlación	-0,291
	sig. (bilateral)	0,108
Arena (%)	Correlación	0,404
	sig. (bilateral)	0,022
Nivel altitudinal (msnm)	Correlación	0,359
	sig. (bilateral)	0,044
Profundidad (cm)	Correlación	0,142
	sig. (bilateral)	0,438

Al aplicar la prueba de correlación se establece que a mayor porcentaje de arena el nivel de carbono almacenado será superior, bajo el análisis de este estudio se puede definir que los resultados están relacionados a las características que presenta este tipo de suelo ya que ocurre algo similar con el parámetro nivel altitudinal donde se refleja un almacenamiento de carbono orgánico superior, lo que indica una mayor capacidad de almacenamiento de carbono a mayor nivel altitudinal [18].

4. CONCLUSIONES

Los análisis obtenidos de los suelos, se lograron agrupar por sus diferentes taxonomías tanto físicas como químicas, donde el límite geográfico que presenta el cantón Chilla y el cantón Machala de la provincia de El Oro son zonas de gran importancia para la diversidad florística y faunística, además, permite el equilibrio de los diferentes suelos. Estas clases texturales que se determinaron en el campo general, se encuentran dominadas por suelos tanto franco arcilloso como franco arenoso, debido a que la mayoría de los espacios presentan zonas de monocultivo respecto a un suelo con grandes valores de humedad para la zona alta. Sucede lo contrario en el área de Machala que presenta un terreno relativamente bajo de acuerdo a los estudios y datos presentados en esta investigación.

El perfil del suelo que es arena media gruesa cambió de categoría debido a la profundidad, donde presentaron espesores de texturas y drenajes internos, y que a su vez generaron espacios de poros que varían desde el 14% hasta el 60% de porosidad. Finalmente, este suelo, en proporciones óptimas y equilibradas puede ser empleado en sembríos de cultivos agrícolas, debido al carbono orgánico y la fertilidad que contiene, lo que produce porosidad. Es importante enfatizar, que los sectores de esta clase estadísticamente se encuentran deteriorados debido a los altos índices de degradación de fertilidad con modificaciones físicas y químicas.

Mediante el análisis estadístico usando la matriz de Pearson se determinó como resultado que la concentración de COs disminuye conforme va decreciendo la profundidad, esto se debe a las condiciones climáticas en la que se encuentran los suelos. También se realizó un análisis estadístico usando ANOVA para el COs para dos niveles altitudinales de bosque y pastizal en el cual se determinó que el valor de significancia es mayor que el 5% evidenciando una homogeneidad entre variables.

Se determinó con este estudio el nivel de carbono almacenado, dando una perspectiva positiva tanto en la zona baja como en la zona alta, lo que indica un manejo apropiado sobre recurso del suelo el cual bajo este estudio da un porcentaje alto de reserva de carbono orgánico.

1. USDA, "Soil Survey Manual Agriculture. Handbook No. 18," *USDA, Nat. Resour. Conserv. Serv.*, vol. 18, no. 18, p. 483, 2017.
2. M. Andrades and M. Elena, "Fertilidad del suelo y parametros que lo definene," *Iberus*, vol. 3, no. 1. pp. 55–63, 2014.
3. H. Eduardo Martínez, E. Juan Pablo Fuentes, and H. Edmundo Acevedo, "Carbono orgánico y propiedades del suelo," *Rev. la Cienc. del Suelo y Nutr. Veg.*, vol. 8, no. 1, pp. 68–96, 2008.
4. J. García and M. Ballesteros, "Evaluación De Parámetros De Calidad Para La Determinación De Carbono Orgánico En Suelos," *Rev. Colomb. Química*, vol. 34, no. 2, pp. 201–210, 2005.
5. R. G. Belduma-Belduma, S. Barrezueta-Unda, O. Vargas-Gonzales, and O. Sánchez-Romero, "Gestión y uso del suelo agropecuario en la zona de rural del Cantón Chilla desde una visión socioeconómica," *Univ. Y Soc.*, vol. 12, no. 1, pp. 299–306, 2020.
6. D. Villaseñor, J. Chabla, and E. Luna, "Caracterización física y clasificación taxonómica de algunos suelos dedicados a la actividad agrícola de la Provincia de El Oro," *Cumbres*, vol. 1, no. 2, pp. 28–34, 2016.
7. Alcaldía de Machala, "Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Machala," 2019.
8. C. Vidal, L. Velepucha, M. Tur, and E. Samaniego, "Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Chilla," 2015.
9. D. Villaseñor, *Fundamentos y procedimientos para análisis físicos y morfológicos del suelo*. 2016.
10. S. Barrezueta-unda, A. Cervantes-alava, M. Ullauri-espinoza, J. BARRERA-LEON, And A. Condoy-gorotiza, "Evaluación Del Método De Ignición Para Determinar Materia Orgánica En Suelos De La Provincia El Oro-Ecuador," *FAVE Sección Ciencias Agrar.*, vol. 19, no. 2, pp. 25–36, 2020.
11. IBM, "IBM SPSS Statistics," *IBM Web Site*, 2020. [Online]. Available: <https://www.ibm.com/es-es/products/spss-statistics>.
12. A. M. Rubio Gutiérrez, "La densidad aparente en suelos forestales del parque natural los alcornocales," 2010.
13. U.N.L.P., "Apunte de edafología," 2019.
14. L. A. Castillo-Pacheco, J. I. Bojórquez-Serrano, A. Hernández-Jiménez, and D. García-Paredes, "Contenidos De Carbono Orgánico En Suelos Bajo Diferentes Coberturas Vegetales Y De Cultivo," *Cultiv. Trop.*, vol. 37, no. 3, pp. 72–78, 2016.
15. CRCS, "Carbono orgánico: aliado de nuestros suelos," *Consejo Regional de Conservación de Suelos - Río Cuarto*, 2022. [Online]. Available: <http://conservaciondesuelos.org/carbono-organico-aliado-de-nuestros-suelos/>.
16. O. Cano-Flores, G. Vela-Correa, O. A. Acevedo-Sandoval, and M. Á. Valera-Pérez, "Organic carbon concentrations in the woodland and soils of the protected natural area 'El Faro' in Tlalmanalco, Estado de Mexico," *Terra Latinoam.*, vol. 38, no. 4, pp. 895–905, 2020.
17. M. L. Mendoza Castro, "Inventario florístico de la granja Santa Inés," 2015.
18. M. L. Huamán-Carrión, F. Espinoza-Montes, A. I. Barrial-Lujan, and Y. Ponce-Atencio, "Influencia de la altitud y características del suelo en la capacidad de almacenamiento de carbono orgánico de pastos naturales altoandinos," *Sci. Agropecu.*, vol. 12, no. 1, pp. 83–90, 2021.
19. J. Jiménez Pérez, E. J. Treviño Garza, and J. I. Yerena Yamallel, "Concentración De Carbono En Especies Del Bosque De Pino-Encino En La Sierra Madre Oriental," *Rev. Mex. Ciencias For.*, vol. 4, no. 17, pp. 50–61, 2018.

Metodología Para Diseño De Sistemas Urbanos De Drenajes Sostenibles En Vías Urbanas

Methodology For The Design Of Sustainable Urban Drainage Systems In Urban Roads

Autores

Jenny Goretty Gonzalez Aguilar¹, Carlos Eugenio Sánchez Mendieta², Yudy Patricia Medina Sánchez³, Fresia Luisana Campuzano Vera⁴

¹Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, Machala, gore_25@hotmail.es

²Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, Machala, csanchez@utmachala.edu.ec

³Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, Pasaje, ymedina@utmachala.edu.ec

⁴Arquitecto, Universidad Técnica de Machala, Machala, fcampuzano@utmachala.edu.ec

RESUMEN

La investigación atiende al riesgo de inundaciones en vías urbanas de ciudades intermedias, debido a que se ha notado que el sistema de alcantarillado no es suficiente para drenar el agua de escorrentía durante la temporada de lluvia en la ciudad de Machala, por ello analizaremos alternativas para minimizar los caudales que van al sistema de drenaje y así controlar las inundaciones. Analizamos las afectaciones en temporal invernal en el área que presenta puntos de inundaciones adyacentes al canal de drenaje de la ciudad para posteriormente proponer una metodología de diseño de drenaje sostenible mediante criterios de gestión de drenaje que permitan la disminución de riesgos de inundación en vías urbanas. Para la propuesta de los SUD's se analizó los elementos, drenajes, caudales e inundación de vías urbanas, además del contexto físico y ambiental. Se seleccionó el SUD en función de la tipología edificatoria de la ciudad. Finalmente como resultado del diseño se dimensionó un sistema de pavimento permeable, donde la estructura será de adoquín, capa de transición, base, subbase y un mejoramiento, además cuenta con un sistema de hormigón poroso, el cual acumula parte de la escorrentía, esta se conforma de un hormigón poroso, una subbase permeable y un tubo perforado de 250mm de diámetro. El otro sistema propuesto es un parterre inundable para un área de 11.65Has, con jardines inundables para abarcar con la escorrentía producida por el área impermeable. Se concluye que la implementación de la metodología sirve para el correcto diseño de un sistema urbano de drenaje sostenible.

Palabras claves: Alternativas, Diseño, Inundación, Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible, Vías Urbanas

ABSTRACT

The investigation attends to the risk of flooding in urban roads of intermediate cities, because it has been noticed that the sewage system is not sufficient to drain runoff water during the rainy season in the city of Machala, therefore we will analyze alternatives to minimize the flows that go to the drainage system and thus control flooding. We analyze the affectations in winter storms in the area that presents flood points adjacent to the city's drainage channel to later propose a sustainable drainage design methodology through drainage management criteria that allow the reduction of flood risks in urban roads. For the SUD's proposal, the elements, drainage, flow and flooding of urban roads were analyzed, in addition to the physical and environmental context. The SUD was selected based on the building typology of the city. Finally, as a result of the design, a permeable pavement system was sized, where the structure will be paving stone, transition layer, base, subbase and an improvement, it also has a porous concrete system, which accumulates part of the runoff, this is It is made up of porous concrete, a permeable subbase and a 250mm diameter perforated tube. The other proposed system is a floodable parterre for an area of 11.65Ha, with floodable gardens to cover the runoff produced by the impervious area. It is concluded that the implementation of the methodology serves for the correct design of a sustainable urban drainage system.

Keywords: Alternatives, Design, Flooding, Sustainable Urban Drainage Systems, Urban Roads

Nota Editorial: Recibido: Noviembre 2022 Aceptado: Febrero 2023

1. INTRODUCCIÓN

En muchas ciudades se trabaja en la formulación de estrategias que fortalezcan la resiliencia urbana en el tema de las inundaciones. Para ello algunos investigadores proponen cambios en la visión de la ciudad, que desmantele el modelo tradicional de la gestión del agua pluvial [1]. El estudio de los sistemas urbanos de drenaje de agua son un desafío para nuevos investigadores, por eso es necesario implementar investigaciones respecto al tema impulsando el interés en el modelaje del drenaje urbano, integrando cuestiones sociales/económicas y técnicas además del uso de software que faciliten el uso de estos sistemas. Es así que avanzamos hacia la gestión combinada de los diversos componentes del sistema de agua urbana como el tratamiento de agua, distribución, alcantarillado y drenaje pluvial, con el fin de la protección contra inundaciones [2].

Se han propuesto e implementado varias estrategias de gestión de aguas pluviales urbanas en los últimos años, especialmente las que controlan el área impermeable, como ejemplos de estas medidas incluyen el Diseño Urbano Sensible al Agua (WSUD) en Australia, los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) en el Reino Unido y las Mejores Prácticas de Gestión (BMP) y Desarrollo de Bajo Impacto (LID) en los EE. UU [3]. Debido a las intensas precipitaciones durante el temporal invernal, las zonas urbanas del cantón Machala en especial al norte de la ciudad, cuya zona presenta inundaciones anualmente ya que por la escorrentía superficial de las calles y viviendas el sistema de alcantarillado combinado colapsa, además de efectos ambientales provocan la demora en el drenaje de aguas y el desborde del canal natural utilizado para drenaje de aguas de la ciudad denominado "El Macho". El riesgo de inundación en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2018 del GAD Municipal del Cantón Machala, indica que el territorio presenta susceptibilidades a inundaciones del 13% para muy alta y el 44% para alta.

En el presente estudio se analizaron las afectaciones durante el temporal invernal en las zonas urbanas del cantón Machala específicamente en el sector delimitado por las calles Circunvalación Norte, Palmeras, Sucre y Marcel Laniado cuya área presenta puntos de inundaciones adyacentes al canal de drenaje de la ciudad, en donde por las intensas precipitaciones la escorrentía superficial anega las calles y viviendas, colapsa el sistema de alcantarillado, y además en condiciones de marea alta provoca que se desborde el canal, perjudicando aún más a la población.

2. OBJETIVO Y ALCANCE

Es evidente que el sistema de alcantarillado no es suficiente para drenar el agua de escorrentía durante la temporada de lluvia, siendo imperioso realizar un estudio que permita plantear alternativas para minimizar los caudales que van al sistema de drenaje y así controlar las inundaciones, es por ello que los administradores necesitan herramientas para evaluar y controlar las aguas pluviales en los sistemas urbanos en un evento de tormenta. Por esta razón el objetivo es proponer una metodología de diseño de drenaje urbano sostenible mediante criterios de gestión de drenaje que permitan la disminución de riesgos de inundación en vías urbanas.

3. METODOLOGÍA

Los Sistemas de Drenaje Urbano Sostenibles (SUDS) son una red integrada de áreas con vegetación y espacios abiertos tales como techos verdes, jardines de lluvia, pavimentos porosos, entre otros. Estos son utilizados para proteger los principios y funciones de los ecosistemas naturales y ofrecer una amplia variedad de beneficios a las personas y la vida silvestre, abordan problemas de gestión de aguas pluviales y brindan una variedad de beneficios a los residentes en términos de servicios ecosistémicos [4], [5].

3. METODOLOGÍA

Garantizar la reducción de descargas de agua lluvia de las áreas urbanas mediante una gestión adecuada de sistemas pluviales será de gran importancia ya que los sistemas de alcantarillado son inadecuados y pueden ser altamente contaminantes para las escorrentías. Por ello se recomienda una gestión integrada de aguas pluviales para reducir el impacto por las precipitaciones. La infraestructura verde, especialmente los jardines de lluvia y pavimentos permeables ayudan a restablecer el equilibrio hídrico al capturar, retener y mejorar la capacidad de infiltración en las áreas urbanas[6]. Existen diversos modelos de desarrollo, planificación y diseño urbano que son homólogos a la Infraestructura Verde. Existen tres modelos: Desarrollo de Bajo Impacto (LID, por sus siglas en inglés: Low Impact Development); Sistemas de Drenaje Sostenible (SuDS, por sus siglas en inglés: Sustainable Drainage Systems) y Diseño Urbano Sensible al Agua (WSUD, por sus siglas en inglés: Water Sensitive Urban Design)

La investigación se centró en los SUDS, por ello se definieron estrategias diseñadas para gestionar los riesgos ambientales resultantes de la escorrentía urbana, los cuales contribuirán siempre que sea posible a la mejora de la ecología urbana. Los objetivos de los SUDS, son minimizar los impactos del desarrollo urbano sobre la cantidad y calidad de los escurrimientos y maximizar oportunidades de biodiversidad [7].

La metodología de diseño se fundamenta mediante información como antecedentes, teorías, modelos y referencias bibliográficas. Los antecedentes indican que es necesario la obtención de información del sector público respecto al sistema de drenaje, además de información como riesgo de inundación, calidad de agua lluvia, entre otros. Con esta información se realizan levantamientos topográficos, estudios hidrológicos, alcantarillado además de la selección del tipo de SUD's. Se adaptaron criterios en la gestión de escorrentías de aguas pluviales, donde se involucra tanto al sector público y el sector privado que desarrollan acuerdos mutuos al desarrollo de problemas de control y tratamiento del drenaje de aguas. Este autor utiliza características como almacenamiento y control de inundaciones, adaptabilidad del sistema, impacto del volumen de agua, costo, financiación, operación y mantenimiento del sistema, estos criterios se subdividen en indicadores y servirán de diagnóstico para la descripción de los criterios [8]. Para la toma de decisiones en la gestión del agua, se evalúan criterios múltiples para combinar los diseños de varios candidatos en ellos se deberán considerar cuatro criterios: técnico, ambiental, económico y social. En cada criterio, las tecnologías individuales se clasifican según una serie de métricas en una escala de 0 a 5 dependiendo de la opinión de expertos [9]. Esta fundamentación científica asistió a la creación de la Metodología que se muestra en la Figura 1, la cual evalúa los criterios técnicos, ambientales, planificación urbana, económicos y operaciones y de mantenimiento.

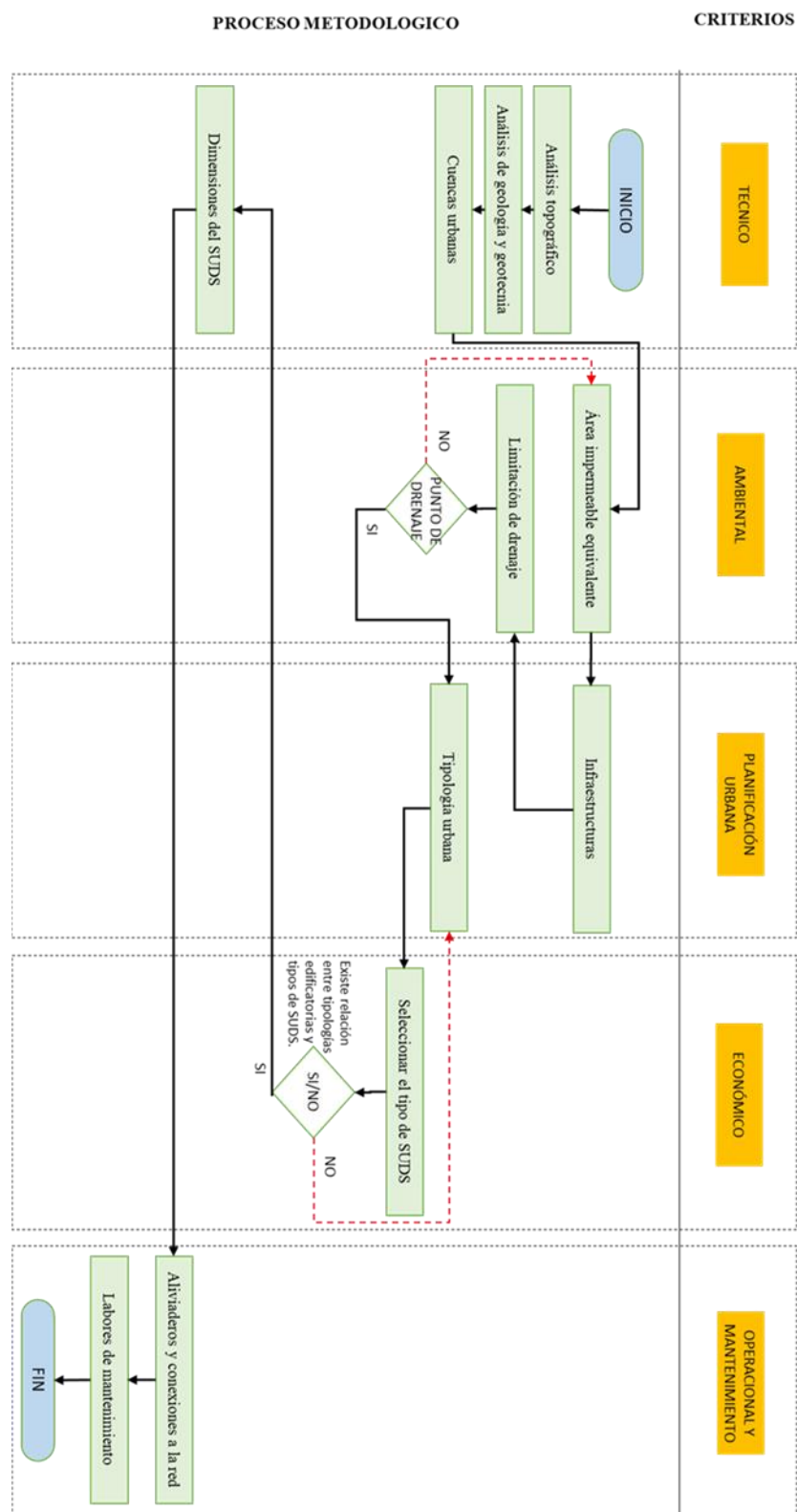


Figura 1. Metodología de diseño de sistemas urbanos de drenaje sostenible

3.2, DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

Sobre la base de la Figura 1, a continuación se describe la propuesta metodológica donde en la Tabla 1 coloca a los procesos técnicos que se deberán cumplir, cada uno de ellos describe la aportación que ofrece a la metodología y propone los indicadores que se deberán obtener de cada proceso para finalizar con el diseño de un SUD's.

Tabla 1: Descripción del proceso metodológico

Propuesta metodológica	Descripción	Indicadores
Análisis topográfico	Identificar puntos bajos y puntos de difícil acceso.	Identificación de los patrones naturales de drenaje
Análisis de geología y geotecnia	Evaluar la posibilidad de infiltrar la escorrentía al terreno.	Caracterizar la permeabilidad del suelo
Análisis de cuencas urbanas	Identificar el drenaje que se gestionarán en el SUDS	- Procesos hidrológicos naturales - Estudio topográfico - Elementos arquitectónicos - Los flujos y las pendientes de las superficies. - El tipo de suelo.
Análisis de área impermeable equivalente	Calcular las áreas impermeables a partir de los usos del suelo	- Coefficientes de escorrentía asociados a cada tipo de suelo. - Superficie del tipo de suelo
Evaluación de Infraestructuras	Evaluar otros condicionantes físicos, como infraestructuras existentes, que puedan condicionar el diseño o limitar el espacio disponible.	Red de alcantarillado pluvial
Análisis de limitación de drenaje	Establecer la existencia de alguna limitación de vertido o geométrica a considerar para el diseño.	Punto de drenaje
Identificación de Tipología urbana	Identificar la tipología urbana donde se va a efectuar la actuación con SUDS para partir del PUGS	- Urbanización - Condominios - Red vial - Parques - Casco central - Zona industrial - Zona agropecuaria
Selección el tipo de SUDS	Proponer el tipo de SUD's teniendo en cuenta la tipología urbana y los condicionantes físicos existentes.	- Cubiertas vegetales - Parterres inundables - Cunetas vegetales - Pavimentos permeables - Drenes filtrantes - Zanjas y pozos de infiltración - Humedales artificiales y estanques
Dimensionamiento del SUDS	Calcular las dimensiones del SUDS como se describe en los ejemplos, de modo que su geometría quede totalmente definida.	- Superficie impermeable - Volumen almacenamiento necesario - Profundidad necesaria de SUDS - índice de peligrosidad a los distintos usos del suelo índice de mitigación a las distintas técnicas SUDS.
Dimensionamiento de aliviaderos y conexiones a la red	Dimensionar las conexiones a la red, empleando la información pluviométrica de la curva IDF. Justificar debidamente al Ciclo Integral del Agua la laminación obtenida mediante los SUDS.	Conexiones a red existente o propuestas
Selección de Labores de mantenimiento	Definir las actividades de mantenimiento	- Técnicas de mantenimiento - Fichas de mantenimiento

4. RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS TOPOGRÁFICO

Estudios preliminares aportan con información de la zona, en la Figura 2 se muestra un modelo digital de elevaciones de la ciudad el cual se delimita un área de drenaje y el desnivel que existe en la zona urbana. Se observan niveles de 6,2 msnm hasta 2,20 msnm. Con ellos se crea el mapa de elevaciones del estudio caso, dentro de las calles mencionadas.

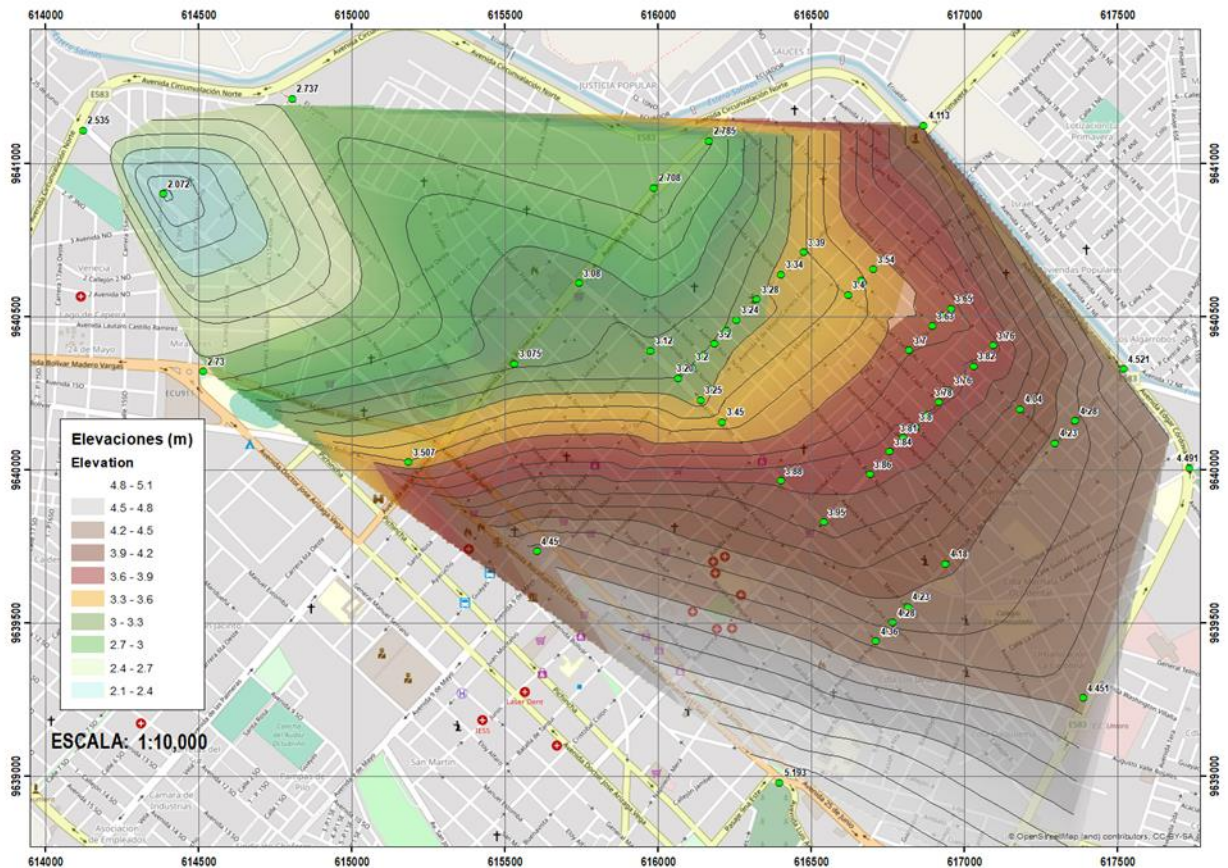


Figura 2: Modelo digital de elevación de la ciudad de Machala

4.2. ANÁLISIS DE GEOLOGÍA Y GEOTÉCNICA

Para la permeabilidad y el tipo de suelo se realiza en el campo calcatas para realizar pruebas de infiltración de suelo donde se instalará el sistema de absorción. Mediante revisión documental se determinó la capacidad de infiltración del suelo estudiado, los resultados obtenidos muestran un promedio de infiltración de 2,70 min/cm, lo que clasifica al terreno con una capacidad media de infiltración. En cuanto a la clasificación de suelo mediante SUCS, se obtuvo un Limite Líquido de 40,40% y un Índice de Plasticidad de 6,18 %, obteniendo un suelo limo inorgánico de baja compresibilidad (ML) o suelos limo arcillosos orgánicos (OL), siendo un suelo limoso o arcilloso orgánico de baja plasticidad.

4.3. CUENCAS URBANAS

En la Figura 3 se muestra que la zona de estudio considerada como zona de inundación la superficie abarca 302,76 ha. Y cuenta con una cuenca urbana donde participan varias microcuencas en función de los desniveles del terreno.

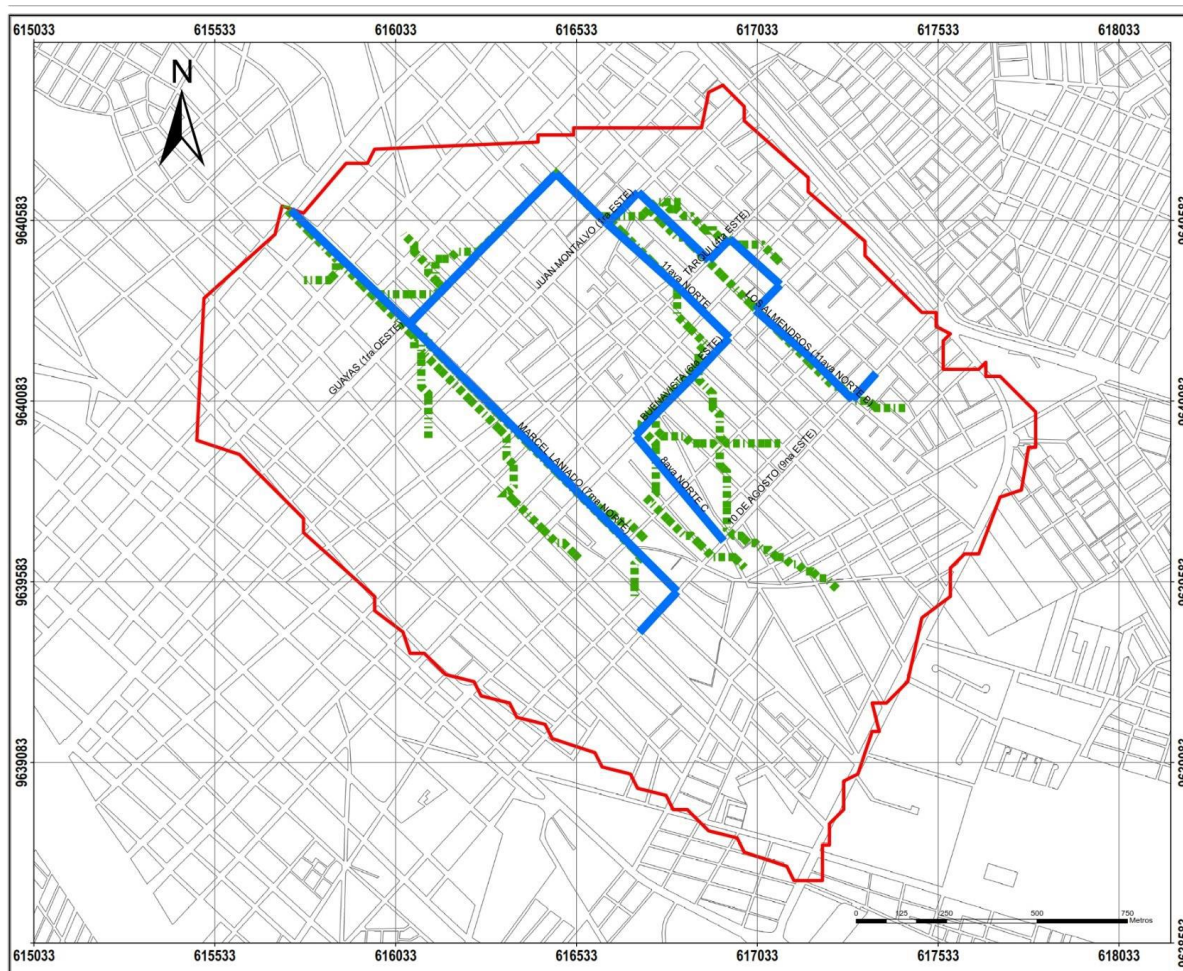


Figura 3: Mapa de cuenca urbana

4.4. ÁREA IMPERMEABLE EQUIVALENTE

Se identificó que el 96,07% de la cuenca urbana es impermeable debido a la existencia de viviendas, aceras y calles como se muestra en la Tabla 2, en la Figura 4 se observa el mapa de zonas permeables e impermeables del estudio de caso, donde las zonas en color verde representan las áreas verdes, y las grises representan las zonas de vivienda, aceras y calles.

Tabla 2: Superficies de cuenca urbana

Superficie	Tipo	Área		%	Coef. N
		ha	km2		
Permeable	Pasto natural	12,15	0,12	3,97	0,13
	Hierba corta				0,15
Impermeable	Viviendas	214,55	2,15	70,05	0,012
	Aceras	19,06	0,19	6,22	0,012
	Calles	60,54	0,61	19,76	0,011

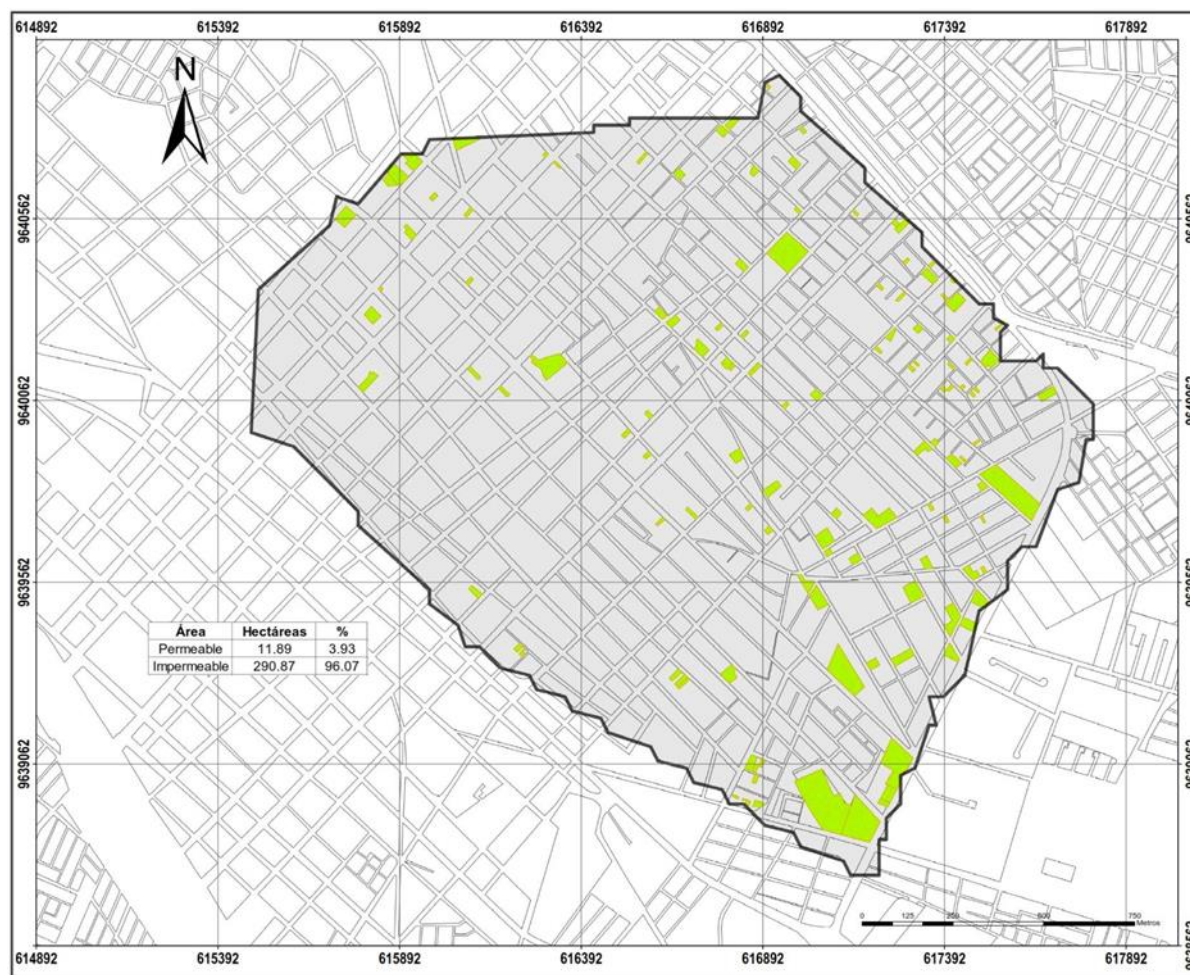


Figura 4: Mapa de áreas permeables e impermeables de la cuenca urbana

4.5. INFRAESTRUCTURAS

Se encontró que no existe un sistema de drenaje el cual separe las aguas lluvias y aguas servidas. En base a revisión de planos realizados por Aguas Machala se observó que existen un sistema de drenaje combinado, teniendo un total de 23,59 km de tuberías colectoras principales de alcantarillado en la zona Norte de Machala, generando un total de 27 descargas en el Canal El Macho.

4.6. LIMITACIÓN DE DRENAJE

Se escogió un periodo de retorno el de 25 años para el estudio y se presenta los resultados de las modelaciones donde se encontró que la altura de precipitación total que cae en la cuenca urbana estudiada es de 21,18 mm y las pérdidas por infiltración son de 0,75 mm, además la escorrentía superficial que se produce es de 19,27 mm. Con estas condiciones representa que la capacidad de inundación llega a igualar o sobrepasar los 0,20 m de profundidad en las zonas impermeables limitando el drenaje con eventos máximos de precipitaciones; por lo tanto, se provocará zonas de inundación como se observa en la Figura 5. Se observan calles y los nodos inundables como las calles Guayas, Marcel Laniado, Juan Montalvo, 11ava Norte, Los Almendros, Buenavista.

Tabla 3: Datos de precipitación de la Cuenca urbana

Cantidad de escorrentía	Altura de precipitación (mm)
Precipitación total	21,18
Infiltración	0,754
Escorrentía superficial	19,27

Cabe recalcar que el gran porcentaje de las inundaciones se debe a que el área impermeable de la cuenca es de más del 90% lo cual indica un limitante muy amplio en cuanto al drenaje.

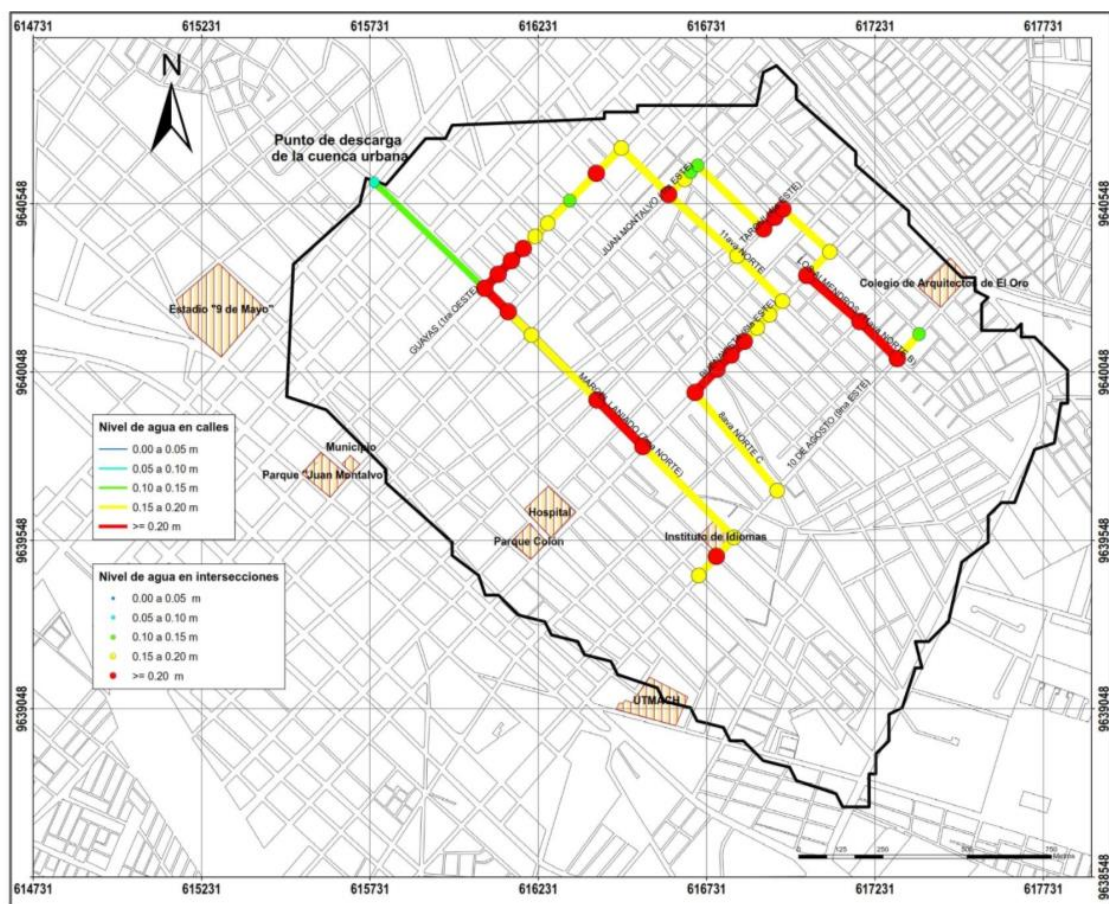


Figura 5: Mapa de nivel de agua y drenaje en intersecciones

4.7. TIPOLOGÍA URBANA

La Alcaldía Machala en su plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Machala establece un uso de suelo muy general en cuanto al uso del territorio, los cuales son: Arbórea/arbustiva, Camaroneras, Cuerpos de agua, Otras tierras, Tierras agropecuarias, Vegetación arbustiva y herbácea, Áreas urbanas. Para la investigación se realizó una tabla de tipologías edificatorias en base a la investigación científica como se observa en la Figura 6 en ella se encuentra la zona de Urbanización, Red vial y Casco central relacionada al uso de territorio de la ciudad.

	Tipología edificatoria						
	Zonas urbanas					Zona de producción	
SUD's	Urbanización	Condominio	Red vial	Parques	Casco central	Industrial	Agropecuaria
Cubiertas vegetales							
Parterres inundables							
Cunetas vegetales							
Pavimentos permeables							
Drenes filtrantes							
Zanjas y pozos de infiltración							
Humedales artificiales y estanques							
	USO ADECUADO			USO POSIBLE		USO NO ADECUADO	

Figura 6: Tipologías edificatorias Ciudad de Machala

4.8. SELECCIONAR EL TIPO DE SUDS

Sobre la base de la tipología urbana de la Figura 6 como lo es la zona urbana, constituida por viviendas, red viales y parte del casco central se propuso las siguientes alternativas tipos de SUDS. Se sabe que en zonas urbanas la infiltración debido al suelo es mínima, es por ello que en nuestro estudio proponemos el uso de pavimentos permeables o parterres inundables.

Parterres inundables

Son áreas con leves depresiones y ajardinadas que logran almacenar la escorrentía de las superficies impermeables cercanas. Estos parterres pueden ser: Jardines de lluvia o Áreas de bio-retención, las cuales se diferencian en el tratamiento de agua que deben realizar luego de su recolección [11].

Pavimentos permeables

En la tipología de sistemas de infiltración se encuentran en las superficies permeables, aplicando técnicas que faciliten la infiltración y almacenamiento. Para el caso estudiado al utilizar pavimentos permeables se puede aprovechar el manejo de aguas realizado in situ. Este funciona de tal manera que el agua pasa al suelo a través de poros, se evapora cuando la temperatura del material aumenta [12].

4.9. DIMENSIONES DEL SUDS

En el dimensionamiento del SUD definimos un área a intervenir, esta será la intersección de las calles Guayas y Marcel Laniado, cuyo nivel de agua basado en más investigaciones podría llegar a 1,20 m siendo este el punto de mayor intervención. En la Figura 7 observamos el área de aportación S23 situado en la intersección que se va a intervenir, en estos encontraremos la siguiente información:

Tabla 4: Datos iniciales para el dimensionamiento

DATOS DE PARTIDA	
Tipología urbana	Zona urbana
Superficie total de la actuación proyectada	11,65 Has
Superficie correspondiente a viario impermeable	3,02 Has
Superficie correspondiente a jardines	0,5 Has
Intensidad de lluvia	20 mm
Tubería	250 mm
Tipología de SUDS	Parterre inundable – Pavimentos permeables
Área de SUDS	5000 m2
Índice de peligrosidad	Medio
	Sólidos suspendidos: 0,7
	Metales pesados: 0,6
	Hidrocarburos: 0,7
Índice de mitigación SUDS	Pavimento permeable
	Sólidos suspendidos: 0,7
	Metales pesados: 0,6
	Hidrocarburos: 0,7

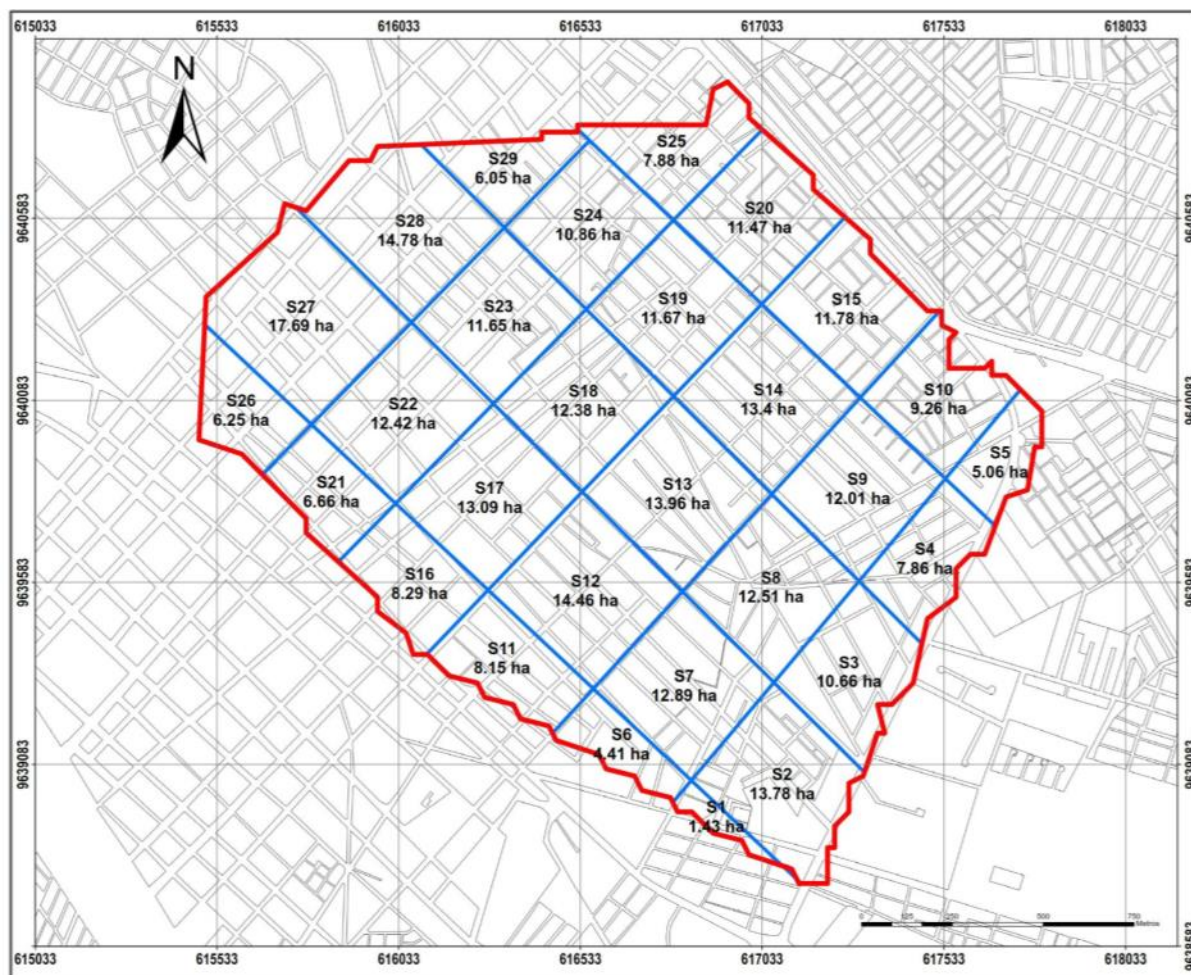


Figura 7: Áreas de aportación

Dimensionamiento parterre inundable

En la Tabla 5 se calcula que el parterre inundable tendrá un área de 5000 m² y 13 cm de profundidad el cual será suficiente para cubrir con la demanda obtenida. Con este tipo de SUD's se integra áreas verdes al paisaje urbano de la ciudad.

Tabla 5: Dimensiones del parterre inundable

DIMENSIONAMIENTO PARTERRE INUNDABLE	
Superficie impermeable	30261,8 m ²
Volumen almacenamiento necesario	605,2 m ³
Profundidad necesaria	0,13 m

Tabla 6 : Dimensiones del pavimento permeable

DIMENSIONAMIENTO PAVIMENTO PERMEABLE	
DRENAJE	
Uso de vía	Vía vehicular y peatonal
Área	720 m ²
Área propia pavimento permeable	120 m ²
Volumen afluente	53,257 m ³
Volumen sobre el pavimento	9,468 m ³
Volumen de tubería	40,32 m ³
Volumen de almacenamiento	22,405 m ³
Súbase	0,3 m
ASFALTO POROSO	
Hormigón Poroso	15 cm
Subbase permeable	45 cm

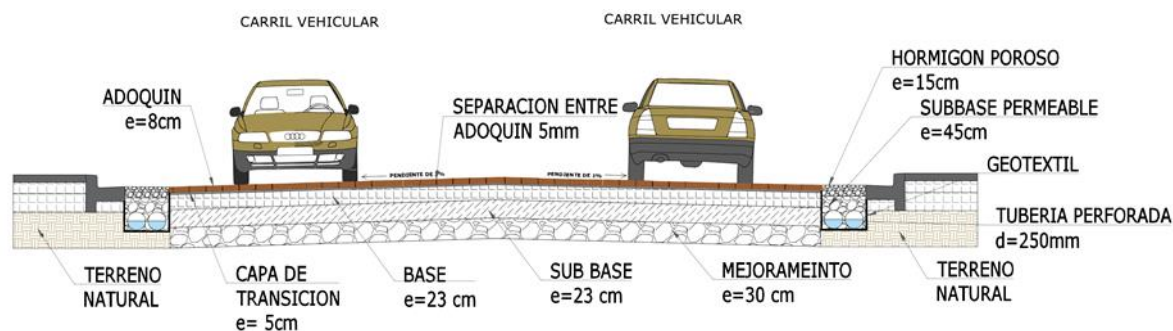


Figura 8 :Sección de propuesta de diseño de pavimento permeable

4.10. ALIVIADEROS Y CONEXIONES A LA RED

Se identificó la infraestructura existente del drenaje de agua recolectado por cada tipo de SUD. Es necesario que el diseñador proponga el tipo de conexión, además de una red de aguas lluvias que mejore el sistema de drenaje actual.

4.11. LABORES DE MANTENIMIENTO

Se finaliza con el tipo de mantenimiento a realizar a los pavimentos permeables los cuales deben garantizar su funcionalidad debido a que se ven obstaculizados en sus aberturas por materiales finos como arenas, polvos y basura. Simpson en su investigación presentó tres tipos de mantenimientos, los cuales son barrido de calles con aire regenerativo, Lavado a presión, rejuvenecedor y Vehículo de limpieza municipal indicando que el barrido no se recomienda en climas húmedos en comparación con los lavados a presión.

5. CONCLUSIONES

Se fundamentó teórica y conceptualmente mediante la revisión bibliográfica sobre los estudios para la aplicación tecnológica al diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible que minimicen el riesgo de inundación en vías urbanas. Estos consideran procesos y criterios donde intervienen las siguientes áreas: técnica, ambiental, planificación urbana, económica, y de operación y mantenimiento para la implementación de un SUD's en vías urbanas.

Se caracterizaron los tipos de diseños de Sistemas Urbanos de Drenaje sostenible y se configuró una matriz en la cual consta de la tipología urbana relacionando los tipos de sistema de drenajes sostenibles aplicados en vías urbanas. La tipología urbana está definida por: zonas urbanas y de producción. Mientras que los sistemas de drenaje aplicados a vías urbanas son: cubiertas vegetales, parterres inundables, cunetas vegetales, pavimentos permeables, drenes filtrantes, zanjas y pozos de infiltración y humedales artificiales y estanques. Ambas tipologías se clasificaron y se validó el uso mediante tres niveles: uso adecuado, posible y no adecuado. Esta valoración dependerá de la zona involucrada sustentándose en los parámetros de diseño propuestos en la metodología.

Se elaboró una Metodología para el Diseño de Sistemas Urbanos de Drenajes Sostenibles el cual consta de las siguientes partes: Criterios y Proceso metodológico. Los criterios están definidos en la fundamentación teórica descrita anteriormente. Mientras el proceso metodológico para el diseño consta de varias actividades que se encuentran entrelazadas y ligadas a condiciones que dependerán del uso y tipología de SUD. El análisis técnico consta de topografía, geología e hidrología, los cuales se complementan para la obtención de datos de áreas, infraestructuras, drenajes, tipología urbana para finalizar con el diseño y el mantenimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. L. Molina, "Resiliencia a inundaciones: nuevo paradigma para el diseño urbano," *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, vol. 18, no. 2, pp. 82–94, Aug. 2016, doi: 10.14718/REVARQ.2016.18.2.8.
2. P. M. Bach, W. Rauch, P. S. Mikkelsen, D. T. McCarthy, and A. Deletic, "A critical review of integrated urban water modelling – Urban drainage and beyond," *Environmental Modelling & Software*, vol. 54, pp. 88–107, Apr. 2014, doi: 10.1016/J.ENVSOFT.2013.12.018.
3. F. Kong, Y. Ban, H. Yin, P. James, and I. Dronova, "Modeling stormwater management at the city district level in response to changes in land use and low impact development," *Environmental Modelling & Software*, vol. 95, pp. 132–142, Sep. 2017, doi: 10.1016/J.ENVSOFT.2017.06.021.
4. P. Ferrans, M. N. Torres, J. Temprano, and J. P. Rodríguez Sánchez, "Sustainable Urban Drainage System (SUDS) modeling supporting decision-making: A systematic quantitative review," *Science of The Total Environment*, vol. 806, p. 150447, Feb. 2022, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2021.150447.
5. D. Johnson and S. Geisendorf, "Valuing ecosystem services of sustainable urban drainage systems: A discrete choice experiment to elicit preferences and willingness to pay," *J Environ Manage*, vol. 307, p. 114508, Apr. 2022, doi: 10.1016/J.JENVMAN.2022.114508.
6. M. Kasprzyk, W. Szpakowski, E. Poznańska, F. C. Boogaard, K. Bobkowska, and M. Gajewska, "Technical solutions and benefits of introducing rain gardens – Gdańsk case study," *Science of The Total Environment*, p. 155487, Apr. 2022, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2022.155487.
7. G. A. Villalba et al., "Techos verdes. Contribución de *Carpobrotus acinaciformis* al manejo integrado de escurrimientos superficiales urbanos," *Rev Fac Cienc Agrar*, vol. 49, no. 2, pp. 169–181, 2017.
8. J. B. Ellis et al., "The DayWater decision support approach to the selection of sustainable drainage systems: A multi-criteria methodology for BMP decision makers," *Water Pract Technol*, vol. 1, no. 1, Mar. 2006, doi: 10.2166/WPT.2006.002.
9. P. M. Bach et al., "A planning algorithm for quantifying decentralised water management opportunities in urban environments," *Water Science and Technology*, vol. 68, no. 8, pp. 1857–1865, Oct. 2013, doi: 10.2166/WST.2013.437.
10. Alcaldía de Machala, "Plan de desarrollo y ordenamiento territorial el canton Machala," 2019. Accessed: Apr. 20, 2022. [Online]. Available: https://www.machala.gob.ec/SIL/ter/plate/PDOT_CANT%C3%93N%20MACHALA%202019.pdf
11. L. Fuente García, S. Perales Momparler, M. Rico Cortés, I. Andrés Doménech, and J. B. Marco Segura, "Guía Básica para el Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en la Ciudad de Valencia," Valencia, 2021. Accessed: Apr. 18, 2022. [Online]. Available: https://www.ciclointegraldelagua.com/files/normativa/Guia_Basica_para_el_Diseño_de_Sistemas_Urbanos_de_Drenaje_Sostenible_en_la_Ciudad_de_Valencia_V01.pdf
12. E. Cárdenas Gutiérrez, Á. Albitzer Rodríguez, and J. Jaimes Jaramillo, "Pavimentos permeables. Una aproximación convergente en la construcción de vialidades urbanas y en la preservación del recurso agua," 2016. Accessed: Apr. 20, 2022. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10450491009>.
13. I. M. Simpson, R. J. Winston, and R. A. Tirpak, "Assessing maintenance techniques and in-situ pavement conditions to restore hydraulic function of permeable interlocking concrete pavements," *J Environ Manage*, vol. 294, p. 112990, Sep. 2021, doi: 10.1016/J.JENVMAN.2021.112990.

Reducción Del Congestionamiento Vehicular, Mediante Giro Protegido A La Izquierda, En La Ciudad De Huaquillas

Reduction Of Vehicular Congestion, Through Protected Turn To The Left, In The City Of Huaquillas

Autores

Marvin Daniel García Díaz¹, Erwin Javier Oyola Estrada², Leyden Oswaldo Carrión Romero³, Elsi América Romero Valdiviezo⁴

¹Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ingeniería Civil, Machala, mgarcia7@utmachala.edu.ec

²Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ingeniería Civil, Machala, eoyola@utmachala.edu.ec

³Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ingeniería Civil, Machala, locarrion@utmachala.edu.ec

⁴Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ingeniería Civil, Machala, eromero@utmachala.edu.ec

RESUMEN

Este trabajo describe la metodología empleada para dar solución al congestionamiento de una intersección en el cantón "Huaquillas", mediante un giro protegido a la izquierda. Ya que el problema de congestionamiento vehicular es un tema muy frecuente en la ciudad, y es un indicador que detiene el desarrollo de la misma impidiendo garantizar la movilidad eficaz de la población y los visitantes.

El proceso empleado para solucionar la problemática consiste en un levantamiento topográfico con dron y GPS para obtener valores planimétricos y altimétricos, seguido de la realizaron aforos vehiculares en horarios pico durante una semana mediante herramientas manuales.

También se usó programas computacionales como el Synchro 8; para simular el tráfico con el problema y con la solución planteada, validando su funcionamiento. Así mismo, se usó Civil3D como programa de análisis y diseño vial; donde se propuso un diseño de giro protegido que cumple las normativas vigentes, siga recomendaciones de publicaciones de otros autores conocedores del tema y calza en el espacio disponible en el área donde existe el parque actualmente, afectando de la menor manera a ese nicho turístico, pero contribuyendo grandemente al desarrollo vial de la ciudad, y a otros ejes económicos como el comercio, turismo, etc.

Palabras claves: congestión vehicular, giro protegido, intersección.

ABSTRACT

This paper describes the methodology used to solve the congestion of an intersection in the "Huaquillas" canton, through a protected left turn. Since the problem of vehicular congestion is a very frequent issue in the city, and it is an indicator that stops its development, preventing the effective mobility of the population and visitors from being guaranteed.

The process used to solve the problem consists of a topographic survey with a drone and GPS to obtain planimetric and altimetric values, followed by carrying out vehicle gauging during peak hours for a week using manual tools.

Computer programs such as Synchro 8 were also used; to simulate the traffic with the problem and with the proposed solution, validating its operation. Likewise, Civil3D was used as a road analysis and design program; where a protected turn design was proposed that complies with current regulations, follows recommendations from publications by other authors who are knowledgeable about the subject and fits in the space available in the area where the park currently exists, affecting this tourist niche in the least way, but contributing greatly to the road development of the city, and to other economic axes such as commerce, tourism, etc.

Keywords: traffic congestion, protected turn, intersection.

Nota Editorial: Recibido: Noviembre 2022 Aceptado: Febrero 2023

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el gran crecimiento poblacional y la relativa búsqueda de confort ha vuelto al congestionamiento vehicular un reto, debido a la gran cantidad de personas que buscan movilizarse a sus trabajos, dentro y fuera de las ciudades en las que residen, y a esto sumándole la movilización de los productos de abastecimiento local y de comercialización externa [1].

El congestionamiento en las vías también genera mayor contaminación auditiva [2], el frenado, acelerado, sonido del claxon, gritos de los conductores, entre otras acciones son las que generan este tipo de contaminación, y que estas se ven sujetas a ejecutarse cuando existe más proliferación de vehículos en una misma sección de la carretera.

Hace 5 años la Organización Mundial de la Salud menciona que los accidentes de origen vehicular son responsables de casi 1.24 millones de muertes alrededor del mundo, y que esta cifra puede aumentar en un 55% en los próximos 3 años [3], todo esto complicando diversos aspectos del desarrollo de los países, especialmente el de la salud, llevando a congestionar este servicio y a encarecer los procesos médicos que solucionan lesiones generadas por este acontecimiento.

Se han hecho investigaciones, determinando que el factor que incide en los accidentes de tránsito es el humano [4], catalogándolo como el principal responsable de las vidas que se pierden por estos sucesos. Lo que nos lleva a nosotros mismos, como responsables, reducir estos números para solucionar estos problemas con todas las herramientas que tengamos a nuestra disposición o crear nuevas si hacen falta.

Hay que tener en claro que la elaboración de una vía involucra muchos aspectos de carácter social como ambiental [5], causando malestar a las personas, contaminando de diversas formas su ecosistema y explotando los recursos de alrededor, hay que tener en cuenta que los resultados prósperos que se consiguen con la vía habilitada son muchos, pero no por ello vamos a construir vías sin medida, sin una programación o estudios previos, ya que esto desencadenaría grandes gastos económicos innecesarios y un impacto ambiental negativo.

Huaquillas no es la excepción ante el crecimiento poblacional y con ello el vehicular, a esto agregándole el hecho de que se ubica en una zona fronteriza y su principal sustento económico es el comercio, lo que incluye actividades informales del mismo, lo cual significa que el congestionamiento vehicular es uno de los problemas actuales de la ciudad, y de hecho, con solo visitarla podemos darnos cuenta de eso, como en las horas pico estas avenidas centrales se ven casi intransitables, y que la señalética actual no se abastece en la gestión del flujo vehicular actual, incluso causando daños en las calzadas, bordillos, etc.

En ciudades de España se han presentado problemas de tráfico, pero se adoptaron soluciones novedosas, habilitando vías antiguas, que, aunque son más extensas y rústicas, han generado una gran acogida con los turistas, liberando así el congestionamiento [6], este tipo de políticas arriesgadas son las que logran soluciones a los problemas de tráfico, lo que hace ver la importancia de la inversión en esta área.

Caracas, gran ciudad de Colombia, tiene problemas de congestionamiento al igual que otros países sudamericanos, y estos principalmente se deben al extenso parque automotor que posee y a la ausencia de políticas viales implantadas por las autoridades [7]. Estos casos son similares a los que generan el problema en la ciudad de Huaquillas, las autoridades han hecho nada o muy poco por contrarrestar este inconveniente que presenta la ciudadanía, por lo que es común escuchar quejas por parte de ellos.

Esto da a notar que en varios países han existido estos problemas viales a los que les han dado soluciones innovadoras como la rehabilitación de vías antiguas para volverlas turísticas, de senderismo y hasta ofreciendo recorridos más extensos, pero de más entretenimiento. Son soluciones novedosas que a pesar de que no se pueden aplicar en esta problemática incita a aplicar soluciones no antes aplicadas, como un giro protegido para la disminución del congestionamiento vehicular.

En este proyecto se ha pretendido solucionar el problema de una de las intersecciones centrales más transitadas de la ciudad, la intersección de la Av. La República y la Calle Santa Rosa, que es uno de los puntos por donde los vehículos que se movilizan al casco central, al área comercial, a la residencial, a las afueras de la ciudad y al puerto se interceptan, producto de esto se ocasiona un gran congestionamiento que las señaléticas convencionales e incluso los encargados del control vehicular no han podido solucionar.

Al momento que se hizo el aforo vehicular y la simulación de la intersección, asunto que se explica con mayor detalle en el apartado de desarrollo y resultados más adelante, se pudo observar un nivel de servicio tipo "F", lo que se denota en la figura 1, suficiente para validar el problema existente.



Figura 1: Nivel de servicio de la intersección en cuestión. Fuente: Elaboración propia

La infraestructura de las vías ha sido un eje elemental en el desarrollo de las sociedades en el transcurso de la historia [8], por lo que, si se quiere promover el desarrollo de la ciudad de Huaquillas, una ciudad fronteriza, comercial y turística, es necesario invertir en la infraestructura de las vías existentes y de la creación de nuevas. Por ejemplo, en la figura 2 se evidencia de la inversión que el cantón está haciendo en la infraestructura vial, adquiriendo una planta asfáltadora para reparación de las calzadas de la ciudad, las cuales se ven deterioradas por el propio exceso de tráfico según conocedores del tema.



Figura 2: Planta asfáltadora del cantón Huaquillas. Fuente: GADM Huaquillas.

El diseño de una carretera es el indicador más eficaz a la hora de evaluar su seguridad [9], por lo que el correcto diseño geométrico de la vía es indispensable a la hora de querer salvaguardar la vida de los usuarios. De modo que este diseño vial debe ser correctamente evaluado y visualizado para no generar nuevos problemas a días posteriores.

La red vial interna de Huaquillas no ha tenido una correcta programación de acuerdo al crecimiento de la población, aglomerando así el tráfico en la parte urbana de la ciudad, generando inseguridad e incomodidad tanto a la población que habita como la que visita el cantón, ya que hay que recordar que el turismo y el comercio son las principales fuentes de ingreso de la ciudad. La intersección en cuestión que se analizará en este escrito es una de las principales y más importantes de la ciudad, por lo cual el problema de congestión se ve reflejado claramente aquí, y el poder solucionar el problema en esta es un gran paso para solucionar el problema.

2. DESARROLLO

Cuando los usuarios usan de forma responsable los medios de transporte, esto genera una gran mejora en la calidad de vida de los propios usuarios como los que los rodean, incluyendo la reducción del impacto negativo al medio ambiente [10]. Si Huaquillas presenta problemas de congestión, entonces es un hecho que hay un impacto ambiental negativo al cual se está enfrentando de forma inconsciente, el cual va a ir en aumento conforme los años pasan. En la figura 3 se puede observar como la calle “Santa Rosa” se ve aglomerada de tráfico, desde el semáforo ubicado en la intersección con la avenida “La República”, y generando colas vehiculares hasta la intersección anterior con la calle “Tnte. Cordovez”.



Figura 3: Congestionamiento de la intersección. Fuente: Elaboración propia

La intersección está compuesta por las vías de la Avenida La República y Calle Santa Rosa, influenciada directamente por la Avenida Hualtaco, justo en la esquina del parque central de “El Algarrobo” y que comunica directamente con el GAD Municipal del cantón Huaquillas, el Banco Machala, el cuartel de la Policía Nacional, la iglesia central católica “La Merced”, la escuela de educación básica “República del Ecuador Nro 52” y el área comercial de la ciudad que está en dirección al puente internacional, entre otros lugares de importancia; todos estos sitios son extremadamente concurridos, por lo que en esta intersección son muy recurrentes los graves problemas de congestión, especialmente en horas pico.

En la tabla 1 se puede conocer las coordenadas de la ubicación de la intersección a analizar.

Tabla 1: Tabla de coordenadas de la zona del conflicto. Fuente: Elaboración propia

TABLA DE COORDENADAS	
Norte	9615170,77
Este	584561,87

Previo a cualquier propuesta de solución al conflicto, como en todo proyecto civil, es necesario hacer un *levantamiento topográfico*; en este caso se optó por hacer un levantamiento mediante un dron, y tratar de ser más precisos ayudándonos con un GPS para tomar puntos de control. Esta metodología se optó por el problema de seguridad que está enfrentando la ciudad de Huaquillas, y hacer el levantamiento completo con una estación total puede atraer delincuentes y causar pérdidas económicas, el levantamiento con dron se hizo usando un “Phanton 4” y desde un lugar seguro a 300 metros.

En el estudio topográfico se empleó el siguiente proceso obteniendo los siguientes datos de acuerdo a la descripción a continuación.

El levantamiento se lo realizó el 15 de junio del 2022, con 21 imágenes tomadas solapadas entre sí y tomadas a una altura promedio de 166 metros (m), a una resolución de 4,1 centímetros por cada píxel (cm/pix), cubriendo un área de 0,04 kilómetros cuadrado (km²) por cada imagen a un error de 0,765 píxeles (pix).

Se usó una cámara FC6310S que toma imágenes cuadradas con resolución de 5472x3648 con distancia focal de 8,8 milímetros (mm) con un tamaño de píxel de 2,41x2,41 micras la cual fue precalibrada antes del levantamiento para disminuir el error.

Se tomaron 3 puntos de control terrestres con un GPS marca Garmin modelo Montana 680 con un error máximo de 37,43 centímetros (cm) en dirección XY y un mínimo de 0,024 centímetros (cm) en dirección Z. Obteniendo el modelo digital de elevaciones con estructuras de 14 a 41 metros sobre el nivel del mar (msnm) con una densidad de puntos de 149 puntos por metro cuadrado (puntos/m²).

El levantamiento se lo hizo con la cámara en 3 ángulos; guiñada, cabeceada y alabeada, buscando mejorar la precisión. Con esto se obtuvo una precisión alta según los parámetros de orientación, con 40 puntos clave por foto y 4 puntos de paso entre ellas. También se obtuvo una calidad alta según los parámetros de obtención de mapas de profundidad usando el programa Agisoft Metashape Professional en su versión 1.6.2.10247. Todos los datos fueron ingresados y obtenidos en coordenadas UTM Zone 17S.

El siguiente estudio indispensable en estos casos es el *aforo vehicular*, en donde se precisa saber el número de vehículos que usan la intersección en horas pico para corroborar el problema y plantear la mejor solución según sea el caso. Se hizo el conteo vehicular de forma manual, siendo la opción más económica.

Los aforos requeridos en este caso fueron de cantidad de vehículos, mas no de velocidad, ya que la zona no permite conducir a velocidades superiores a 40 kilómetros por hora (km/h).

El aforo fue realizado de manera manual en la intersección durante 7 días de la semana, del 25 al 31 de julio del 2022 en horarios pico de 7H00 a 8H00, de 12H30 a 13H30 y de 17H30 a 18H30.

Las maniobras vehiculares a contabilizar fueron las realizadas de la siguiente manera:

- **Maniobra 1 - Giro a la izquierda:** Desde la Calle Santa Rosa a la Av. La República.
- **Maniobra 2 - Giro a la derecha:** Desde la Calle Santa Rosa a la Av. La República.
- **Maniobra 3 - Cruce de intersección:** Atravesar la Av. La República desde y hasta la Calle Santa Rosa en un solo sentido.
- **Maniobra 4 - Giro en U:** Desde la Calle Santa Rosa hasta la Av. Hualtaco por la Av. La República.
- **Maniobra 5 - Giro a la izquierda:** Desde la Av. La República a la Calle Santa Rosa.
- **Maniobra 6 - Giro a la derecha:** Desde la Av. La República a la Av. Hualtaco.
- **Maniobra 7 - Cruce de intersección:** Atravesar la Calle Santa Rosa desde y hasta la Av. La República en sentido oeste.
- **Maniobra 8 - Cruce de intersección:** Atravesar la Calle Santa Rosa desde y hasta la Av. La República en sentido este.
- **Maniobra 9 - Giro a la derecha:** Desde la Av. La República a la Calle Santa Rosa.
- **Maniobra 10 - Giro a la izquierda:** Desde la Av. La República a la Av. Hualtaco.

Así mismo con los resultados obtenidos del aforo se realiza una *simulación del tráfico*, que nos permitirá conocer mejor la problemática y si la solución es la más óptima o no. Esto es lo que pudimos ver en la figura 1 insertada en la sección de introducción, que es en donde se puede ver los resultados obtenidos en este estudio ingresados al programa.

3. RESULTADOS

Los resultados del levantamiento topográfico fueron depurados y corregidos para buscar la mayor precisión en dimensiones de la infraestructura existente y que se obtengan los mejores resultados del giro a trazar.

La figura 4 es el resultado del levantamiento topográfico con el dron, lo que nos proporciona las dimensiones de la infraestructura existente para realizar el diseño geométrico del giro protegido.



Figura 4: Ortofoto de la intersección levantada con dron. Fuente: Elaboración propia.

Con los resultados del aforo vehicular, expuestos en la tabla 2, se espera tomar la mejor decisión con respecto a las posibles soluciones.

Tabla 2: Resultados resumidos de los valores críticos de los aforos vehiculares realizados en la intersección.
Fuente: Elaboración propia.

RESUMEN DE LOS AFOROS		
MANIOBRA	VEHÍCULOS/HORA	DETALLE
Maniobra 1	25	Viernes 29 de julio al medio día
Maniobra 2	14	Sábado 30 de julio al medio día
Maniobra 3	327	Viernes 29 de julio al medio día
Maniobra 4	443	Viernes 29 de julio al medio día
Maniobra 5	49	Sábado 30 de julio por la tarde
Maniobra 6	457	Sábado 30 de julio por la tarde
Maniobra 7	17	Sábado 30 de julio por la tarde
Maniobra 8	113	Sábado 30 de julio por la tarde
Maniobra 9	33	Sábado 30 de julio al medio día
Maniobra 10	44	Sábado 30 de julio al medio día

Verificando el problema se usa software de modelado del flujo vehicular para observar mejor el comportamiento de los vehículos y como se genera el congestionamiento.

En la figura 5 se puede ver como el simulador genera grandes colas vehiculares en la calle “Santa Rosa”, dato que se pudo observar también en la vida real con la figura 3; este es el problema que se espera solucionar.



Figura 5: Simulación en Synchro de la intersección con la problemática. Fuente: Elaboración propia.

Se verifica la funcionalidad de la solución definitiva al problema modelándolo de la misma forma que al problema, con ello se busca no generar nuevas inconformidades a los participantes de la movilidad, por lo que la opción más funcional es el diseño de un giro protegido que otorgará un carril exclusivo para quienes giren en U desde la “Calle Santa Rosa”, hacia la “Avenida Hualtaco”, liberando la congestión generada en la intersección de la “Avenida La República” y “Calle Santa Rosa”.

En la figura 6 se puede observar como el comportamiento del flujo vehicular ha mejorado al ya no generarse esas colas vehiculares, por lo que se observa una circulación con mayor fluidez del tráfico.



Figura 6: Simulación en Synchro de la intersección con el giro protegido. Fuente: Elaboración propia.

Y esta solución queda totalmente validada a la hora de obtener el nivel de servicio de la intersección con la nueva estructura vial, como se puede observar en la figura 7; y aunque no es el mejor nivel de servicio, está entre los 3 mejores después de haber sido el de peor categoría.

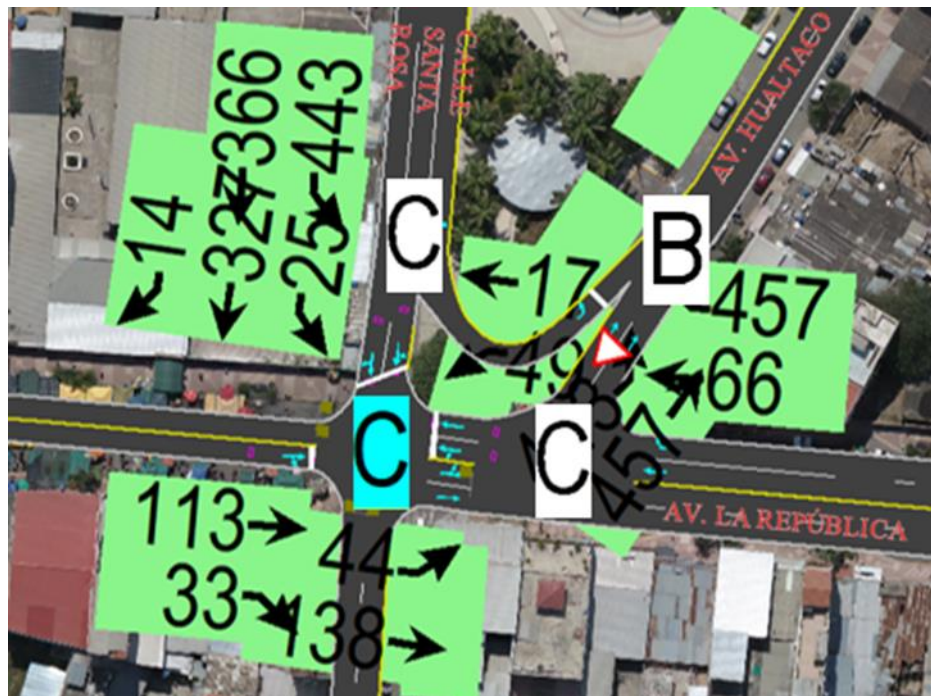


Figura 7: Nivel de servicio de la intersección obtenido por Synchro 8. Fuente: Elaboración propia.

Con esto se puede llegar a elaborar la solución mediante un software de diseño vial incorporando y verificando las normativas actuales y recomendaciones de otros autores.

En la figura 8 describe el diseño geométrico según normativas e infraestructura existente de acuerdo al levantamiento topográfico.

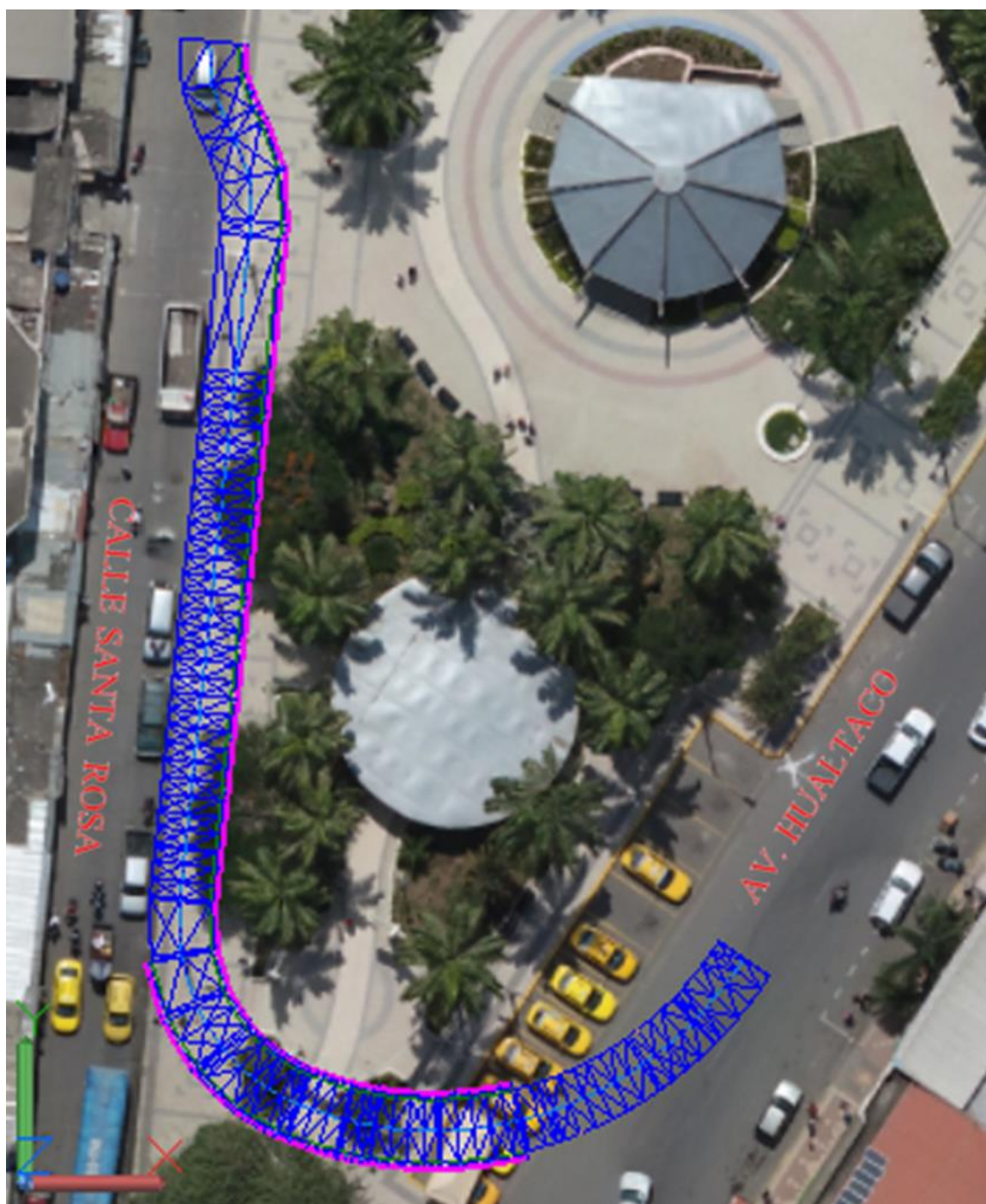


Figura 8: Giro protegido diseñado en Civil3D. Fuente: Elaboración propia.

Este giro protegido atravesará el parque “El Algarrobo”, siendo este el único espacio para proyectarlo, por lo que se deberá salvaguardar la seguridad de quienes transiten de una sección del parque a la otra mediante señalética tanto para los vehículos como para los peatones.

Así mismo, este proyecto debe incluir campañas de educación vial que concienticen a los usuarios de la importancia del proyecto e informarles cómo aprovecharlo de mejor manera para evitar se generen nuevos problemas como disconformidades por falta de conocimiento o desinformación, casos muy comunes en nuestro medio.

4. CONCLUSIONES

En muchos otros lugares se ha aplicado soluciones innovadoras para problemas en torno a la vialidad, y estos escritos fueron el sustento para poder validar la metodología empleada para solucionar el congestionamiento en esta intersección, que a pesar de que no se tomó la misma solución que en estos lugares debido a las condiciones de la ciudad y especialmente de la intersección, se valida el uso de una solución novedosa como lo es el giro protegido que no se suele usar usualmente para reducir la congestión vehicular.

El simular el flujo vehicular en la intersección permitió conocer mejor el problema y forjar de una manera más eficaz el proyecto, demostrando así que la selección del giro protegido como solución a la congestión en esta intersección es viable.

El diseño geométrico siguiendo las normativas vigentes, consideraciones que ya toma el software automáticamente, y recomendaciones impartidas por profesionales del tema, las cuales se usaron para corregir y evaluar el diseño del software, aporta un grado de confianza para la seguridad, funcionalidad y economía del proyecto, por lo que en este caso no fue diferente, cada trazo y proyección de la obra fue hecha cuidando minuciosamente los requerimientos de las autoridades competentes, demostrando que el espacio dentro del parque es el suficiente para ejecutarse este nuevo recurso de la vialidad del cantón.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad Técnica de Machala, en especial a la Facultad de Ingeniería Civil, por formarnos para ser capaces de realizar este trabajo y otros profesionales que ejercen la docencia en la misma institución, por guiarnos y brindarnos las herramientas necesarias con las que se logró completar este artículo.

Así mismo debemos incluir un agradecimiento especial a nuestras familias quienes han estado apoyándonos en cada una de nuestras decisiones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. F. Pérez, A. Bautista, M. Salazar, and A. Macías, "Análisis del flujo de tráfico vehicular a través de un modelo macroscópico," *DYNA*, vol. 81, no. 184, pp. 36–40, 2014, Accessed: Jun. 06, 2022. [Online]. Available: <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v81n184/v81n184a04.pdf>
2. M. A. Alfie Cohen and O. Salinas Castillo, "Ruido en la ciudad. Contaminación auditiva y ciudad caminable," *Estudios demográficos y urbanos*, vol. 32, no. 2448–6515, pp. 65–96, Jan. 2017, Accessed: Jun. 05, 2022. [Online]. Available: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0186-72102017000100065&script=sci_arttext
3. A. M. S. Cardona, D. C. Arango, D. Y. B. Fernández, and A. A. Martínez, "Mortality in traffic accidents with older adults in Colombia," *Revista de Saude Publica*, vol. 51, 2017, doi: 10.1590/S1518-8787.2017051006405.
4. Y. Asprilla, F. García, and M. González, "Señalización y seguridad vial en buses de tránsito rápido: el transmilenio en Bogotá," *Revista Infraestructura Vial / LanammeUCR*, vol. 19, no. 2215–3705, pp. 15–25, Jul. 2017, Accessed: Jun. 05, 2022. [Online]. Available: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/infraestructura/v19n33/2215-3705-infraestructura-19-33-15.pdf>
5. E. Cárdenas, Á. Albiter, and J. Jaimes, "Pavimentos Permeables. Una aproximación convergente en la construcción de vialidades urbanas y en la preservación del recurso agua," *CIENCIA ergo-sum*, vol. 24, no. 1405–0269, pp. 173–180, Jul. 2017, Accessed: Jun. 05, 2022. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6046445>
6. F. Rodríguez Gutiérrez, "Las carreteras proyectadas en Asturias entre 1893 y 1936. Encuadre conceptual y potencial actual como carreteras escénicas," *Revista cuatrimestral de geografía*, vol. 38, no. 3, pp. 307–325, 2018, Accessed: Jun. 15, 2022. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6681731.pdf>
7. J. Acuña, "Atención de emergencias ante eventos sicionaturales y las tecnologías de información geográfica. Caso: Municipio Bolivariano Libertador de Caracas," *Terra Nueva Etapa*, vol. 33, no. 54, pp. 165–188, 2017, Accessed: Jun. 15, 2022. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/721/72155359007.pdf>
8. S. L. Barreto Cedeño, J. Banguera Garces, and J. Córdova Rizo, "Análisis comparativo de ejes equivalentes obtenidos mediante método AASHTO 93 y los proporcionados por pesaje en balanza fija de vehículos," *Universidad y Sociedad*, vol. 10, no. 1, pp. 59–68, 2018, Accessed: Jun. 16, 2022. [Online]. Available: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202018000100059
9. Y. García-Ramírez, B. Zárate, S. Segarra, and J. González, "Variación diaria y horaria de la velocidad de operación en carreteras rurales de dos carriles en el cantón Loja," *Revista Politécnica*, vol. 40, no. 1, 2017, Accessed: Jul. 19, 2022. [Online]. Available: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-01292017000300045&lang=es
10. C. M. Pacheco Cortés, "Educación vial en la era digital: cultura vial y educación permanente," *Diálogos sobre Educación*, vol. 8, no. 15, 2017, Accessed: Jun. 15, 2022. [Online]. Available: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-21712017000100011