



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**Optimización de las rutas de ciclovías en la ciudad de Trujillo
mediante algoritmo Ant Colony con aplicación de Librerías
Python**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Civil

AUTORES:

García Mendoza, Jhuniór Michel (orcid.org/0009-0002-0788-3240)

Urcía Alvan, Georgia Anthuanne (orcid.org/0000-0003-3641-2157)

ASESOR:

Mg. Noriega Vidal, Eduardo Manuel (orcid.org/0000-0001-7674-7125)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de Infraestructura Vial

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo económico, empleo y emprendimiento

TRUJILLO- PERÚ

2024

Declaratoria de autenticidad del asesor



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, NORIEGA VIDAL EDUARDO MANUEL, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Optimización de las rutas de ciclovías en la ciudad de Trujillo mediante algoritmo Ant Colony con aplicación de Librerías Python", cuyos autores son GARCIA MENDOZA JHUNIOR MICHEL, URCIA ALVAN GEORGIA ANTHUANNE, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 10.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 19 de Junio del 2024

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
NORIEGA VIDAL EDUARDO MANUEL DNI: 43236142 ORCID: 0000-0001-7674-7125	Firmado electrónicamente por: ENORIEGAVI el 19- 06-2024 18:35:38

Código documento Trilce: TRI - 0765710



Declaratoria de originalidad de los autor(es)



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Declaratoria de Originalidad de los Autores

Nosotros, GARCIA MENDOZA JHUNIOR MICHEL, URCIA ALVAN GEORGIA ANTHUANNE estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Optimización de las rutas de ciclovías en la ciudad de Trujillo mediante algoritmo Ant Colony con aplicación de Librerías Python", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
GARCIA MENDOZA JHUNIOR MICHEL DNI: 48331008 ORCID: 0009-0002-0788-3240	Firmado electrónicamente por: JGARCIA13 el 27-06-2024 15:33:30
URCIA ALVAN GEORGIA ANTHUANNE DNI: 72966871 ORCID: 0000-0003-3641-2157	Firmado electrónicamente por: GURCIA el 20-06-2024 10:08:49

Código documento Trilce: INV - 1687913

Dedicatoria

Este logro con el que tanto anhele, dedico a mis amados padres Luis e Yrma, por brindarme su apoyo y por estar conmigo en esta etapa tan importante. A mis hermanos Josi, Xime, Fabrizio y Valentino por siempre contagiarme sus alegrías, darme la fuerza para seguir adelante y no darme por vencida. También, a mis abuelitos Alejandro y Meri por todo el amor dado en esta etapa, y a mi tía Betty por sus enseñanzas. A Youri, por estar en los momentos difíciles. Y al Mg. Eduardo Noriega por su tiempo y dedicación para el desarrollo de esta investigación.

URCIA ALVAN, GEORGIA ANTHUANNE

A mis padres, Miguel y Lupe por apoyo incondicional y apoyo constante en cada paso de mi camino. A mis docentes de la universidad que fueron mis guías para llegar a la meta, que han sido la luz en mi camino del conocimiento. Y a mis hermanos Erick y Anguie, por estar siempre allí, en los buenos y malos momentos. Esta tesis es el resultado de un viaje que no hubiera podido completar sin todos ustedes. Gracias.

GARCIA MENDOZA, JHUNIOR MICHEL

Agradecimiento

Expreso mi mayor agradecimiento al asesor Mg. Eduardo Noriega Vidal, por impulsarme a realizar esta investigación, agradezco a Dios por darme salud y permitir culminar con mis estudios, agradezco a mis padres que fueron los que me guiaron, a Moni que estuvo apoyándome en los últimos meses de mi carrera por haberme dado su amor y apoyo en esta etapa tan importante para mí, y agradecerle especialmente a ti por darme la fuerza de no darme por vencida.

URCIA ALVAN, GEORGIA ANTHUANNE

Agradezco a Dios por la salud y bienestar que nos brinda día a día y permitirnos llegar a cada vez más cerca de nuestras metas.

Agradezco a mis padres Miguel y Lupe por brindarme las fuerzas necesarias para acabar esta etapa de mi vida, por su apoyo constante en mi formación académica y por enseñarme a luchar en la vida de manera perseverante.

A mi hijo Iker que me motiva cada día a ser una gran persona y un buen profesional.

GARCIA MENDOZA, JHUNIOR MICHEL

Índice de contenidos

Declaratoria de autenticidad del asesor	ii
Declaratoria de originalidad de los autor(es)	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimiento	v
Índice de contenidos.....	vi
Índice de tablas	vii
Índice de figuras	viii
Resumen.....	x
Abstract.....	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. METODOLOGÍA.....	12
III. RESULTADOS	38
IV. DISCUSIÓN.....	42
V. CONCLUSIONES	45
VI. RECOMENDACIONES.....	46
REFERENCIAS.....	47
ANEXOS	53

Índice de tablas

Tabla 1. Proyecto de Implementación de Red de Rutas de Ciclovías en Trujillo	17
Tabla 2. Ciclovías en la ciudad de Trujillo	19
Tabla 3. La Libertad: Población censada urbana y rural y tasa de crecimiento promedio anual, 2007 y 2017	27
Tabla 4. Distancias desde el punto de inicio al punto final	34

Índice de figuras

Figura 1. Ciclovías Implementadas por el Proyecto de Implementación de Rutas de Ciclovías Trujillo	18
Figura 2. Ciclovía Desaparecida Av. Miraflores.....	20
Figura 3. Ciclovía Desaparecida Av. Miraflores – Invasión de Carril.....	20
Figura 4. Ciclovías de Trujillo	21
Figura 5. Ciclovía Existente Av. Húsares de Junín.....	21
Figura 6. Ciclovía Existente Av. Húsares de Junín.....	22
Figura 7. Ciclovía Existente Av. Fátima.....	22
Figura 8. Ciclovía Existente Prolongación César Vallejo.....	23
Figura 9. Señalética Ciclovía Prolongación César Vallejo.....	23
Figura 10. Ciclovía Gonzales Prada.....	24
Figura 11. Ciclovía Gonzales Prada Bidireccional.....	24
Figura 12. Temperatura máxima y mínima promedio en Trujillo 2023	26
Figura 13. Isócronas de distancia desde la Plaza de Armas	27
Figura 14. ¿Cuánto tiempo demora usted en trasladarse al Centro Histórico?	28
Figura 15. ¿Principalmente con qué transporte se moviliza usted para acceder al Centro Histórico?	28
Figura 16. ¿Cuántos kilómetros suele recorrer al día con el transporte no motorizado?.....	29
Figura 17. ¿Principalmente con qué fin usted hace uso del transporte no motorizado para moverse?.....	29
Figura 18. ¿Por qué no hace uso del transporte no motorizado para moverse?	30
Figura 19. Plazas o Jardines mayormente recurrentes por los Trujillanos	30
Figura 20. Centros Comerciales mayormente recurrentes por los Trujillanos..	31
Figura 21. Universidades mayormente recurrentes por los Trujillanos.....	31
Figura 22. Lugares Turísticos mayormente recurrentes por los Trujillanos	32
Figura 23. Mercados mayormente recorridos por los Trujillanos.....	32
Figura 24. Transporte mayormente recurrentes por los Trujillanos	33
Figura 25. Propuesta de Red de Rutas de Ciclovías.....	33
Figura 26. Lugares mayormente visitados	34
Figura 27. Distancia óptima de las rutas de ciclovías mediante el Algoritmo Ant Colony	38

Figura 28. Costo óptimo de las rutas de ciclovías mediante el Algoritmo Ant Colony	39
Figura 29. Tiempo óptimo de las rutas de ciclovías mediante el Algoritmo Ant Colony	40
Figura 30. Flujograma operado para el Algoritmo Ant Colony con Aplicación de Librerías Python	41

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo general realizar la optimización de las rutas de ciclovías en la ciudad de Trujillo mediante el algoritmo heurístico Ant Colony con aplicación de Librerías Python. La metodología en función del propósito fue aplicada de enfoque cuantitativo, de nivel no experimental con un nivel de profundidad descriptiva simple. Se consideró como muestra las ciclovías Víctor Larco en la Av. Miraflores, Av. Larco, Av. América Sur, Av. Húsares de Junín y la Prolongación César Vallejo, distrito La Esperanza y Florencia de Mora. Para el desarrollo de la investigación se empleó el algoritmo Ant Colony aplicado a Librerías de programación Python para lograr la optimización de distancia, costo y tiempo de las rutas de ciclovías. Los resultados obtenidos para la optimización de rutas de ciclovía fueron, distancia óptima de 10.9 km, con un tiempo de recorrido de 43 minutos y un costo total de S/. 5 051 932.00. Por otro lado, para mejorar la eficacia del resultado de costos se realizó el análisis en el software S10, donde arrojó un resultado similar al costo, por lo que se concluyó que la aplicación del algoritmo Ant Colony es una herramienta fiable que permite analizar y optimizar rutas.

Palabras clave: Algoritmo Ant Colony, Optimización, Python, Rutas de ciclovías

Abstract

The general objective of this research was to optimize the bicycle lanes routes in the city of Trujillo using the Ant Colony heuristic algorithm with the application of Python libraries. The methodology, according to the purpose, was applied with a quantitative approach, at a non-experimental level with a simple descriptive depth level. The sample considered were the Victor Larco bicycle lanes on Miraflores Avenue, Larco Avenue, South America Avenue, Hussars de Junín Avenue and César Vallejo Extension, La Esperanza and Florencia de Mora districts. For the development of the research, the Ant Colony algorithm applied to Python programming libraries was used to achieve the optimization of distance, cost and time of the bicycle path routes. The results obtained for the optimization of bicycle path routes were optimal distance of 10.9 km, with a travel time of 43 minutes and a total cost of S/. 5,051,932.00. On the other hand, to improve the effectiveness of the cost result, the analysis was performed in the S10 software, where it yielded a result similar to the cost, so it was concluded that the application of the Ant Colony algorithm is a reliable tool that allows analyzing and optimizing routes.

Keywords: Ant Colony algorithm, Bicycle lane routes, Optimization, Python.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, a causa del riesgo global provocado por la enfermedad infecciosa COVID-19, los medios de transporte no motorizados se transformaron en una de las opciones con mayor popularidad a nivel mundial, debido a su eficacia para prevenir la infección y frenar la propagación del virus. Cabe recalcar que, al inicio de la declaración de emergencia sanitaria en el año 2020, el Ministerio de Transporte y Comunicaciones prestó asistencia técnica a 25 municipalidades que gestionaron para participar en el proyecto de Implementación de Sistemas de Transporte Sostenible no Motorizado (MTC, 2021), como resultado de este proyecto, la Municipalidad Provincial de Trujillo pudo establecer las ciclovías en las avenidas Miraflores, América sur, América norte y húsares de Junín, las cuales tienen como objetivo conectar la ciudad y ofrecer un medio de transporte seguro a los ciudadanos.

Con las adaptaciones tecnológicas actuales, el empleo de algoritmos destinados a la resolución de problemas y su aplicabilidad se está generalizando cada vez más. Los algoritmos están siendo utilizados en diversos campos, como la ciencia, la vida cotidiana, la medicina, el comercio, entre otros; por lo tanto, su utilidad en el ámbito del transporte no es indiferente, sobre todo en este momento. (López, 2009)

Cabe mencionar que, el algoritmo de colonia de hormigas más conocido como ACO, se fundamenta en la conducta real de las hormigas en el momento de búsqueda de su fuente de alimento por medio de, un componente llamado feromona que es una carta fundamental para la creación de una optimización natural que guía a estos insectos en su búsqueda de alimento. (McCaffrey, 2012)

De acuerdo a, los trabajos existentes, el algoritmo Ant Colony es mayormente utilizado para solucionar problemas de rutas.

Se presentó como objetivo el mejoramiento de la planificación de caminos de restitución de bicicletas entre la prestación de asistencia de las estaciones BiciMAD; para ello, optó por implementar el Algoritmo Ant Colony, ya que este algoritmo ha demostrado de ser eficaz en la determinación de soluciones de problemas de optimización de trayectorias similares; a través de este estudio se compararon los resultados con proyectos que no se basaban en el uso del

algoritmo Ant Colony, y se demostró que utilizando este enfoque se registran rutas más cortas y mejores. (Hidalgo, 2020)

También, se buscó establecer una eficaz ruta en la ciudad de Riobamba en el Ecuador para la repartición de mercancía, mediante el uso de un vehículo repartidor y el empleo del algoritmo de colonia de hormigas. Sucesivamente, se desarrolló un programa informático que implementa este algoritmo en Visual Basic haciendo uso de programación C#. La planificación fue capaz de generar un camino con distancias de menor recorrido; sin embargo, se observó problemas que existían en el procesamiento, lo que indicaba que el algoritmo proporcionaba resultados casi óptimos, pero requería tiempos de respuesta prolongados. (Miño, et al., 2018)

De la misma manera, se proyectó e implementó el algoritmo de colonia de hormigas para la creación de una aplicación desarrollada en el lenguaje de programación Python para la reducción de rutas; además, se recomienda como dirección para futuras investigaciones la inclusión de la variable del embotellamiento vehicular, especialmente si se tiene en cuenta el factor tiempo ya que tiene un impacto significativo en la determinación de la ruta óptima. (Avalos, 2021)

Del mismo modo, se presentó la implementación de un método para afrontar el problema del consumo de carburante para el transporte de GLP a diferentes estaciones de servicio de Lima haciendo uso del algoritmo Ant Colony, el cual simplifica el trabajo de los trabajadores encargados de monitorear el consumo de combustible en los vehículos durante el día de entrega a los clientes; cabe recalcar que, el consumo de combustible se habrá reducido hasta un 15% en los nuevos viajes realizados entre enero y marzo de 2016, comparando los resultados obtenidos mediante el algoritmo ACO con los resultados reales. (Quispe, 2022)

Para dar respaldo a la presente investigación, se ha buscado múltiples investigaciones que contemplen la optimización de rutas utilizando el método heurístico Ant Colony, de las cuales se han considerado las siguientes. Se aplicó al problema del agente viajero el algoritmo ACO, el cual se basa en visitar todos los puntos solo una vez de una cadena, y volviendo al nodo de inicio, además

minimizar el recorrido de la ruta y el tiempo que recorre, propuso cuatro puntos de recorrido que tiene trece combinaciones demostrando parámetros experimentales de aspectos positivos, para su modelamiento ACO se consideraron un (m) de doscientas hormigas con la mismo número de vaporización para la actualización global y su valor inicial de feromona fue dado por las cifras de ciudades (n) como las cifras de consecuencias parciales a enlazar. Para este modelamiento se usó programación Matlab con data de Berlín 52, el experimento contó con cincuenta y dos ciudades que fueron proporcionados por la data, obteniendo resultados beneficiosos llegando a encontrarse la distancia más corta. (Hugo, et al., 2015)

Se investigó la problemática sobre transporte de paquetería en camiones de carga, llevando de una ciudad a otra, se trataba de elegir las rutas más accesibles y óptimas en condiciones de economía, las rutas de trabajo que tenían era el transporte directo, transporte directo a través de un camión de carga y traslado directo mediante dos camiones de carga con múltiples paradas, para ello recurrieron a métodos heurísticos para la solución al problema. En su informe desarrollaron el algoritmo metaheurístico colonia de hormigas (ACO), con procesos iterativos dando como resultado la alternativa de ruta directa que fue caso de estudio para la segunda fase que introdujeron rutas con múltiples paradas, también aplicando colonia de hormigas, generando resultados positivos, en condiciones de espacio y tiempo, los camiones saldrán respetando un intervalo de horarios haciendo varias paradas en zonas sin aglomeración, mientras que con tres camiones de carga les arrojó un error relativo, esto demostró un contraste con la vida real y se concluyó que la optimización con este método es el más viable. (Barcos, et al., 2002)

Asimismo, se presenta un caso de estudio práctico sobre la distribución de productos a un grupo específico de clientes, denominado "Clientes en Abandono", en una empresa abandonada del sector alimentario. El estudio señala la importancia de generar una ruta óptima, lo que requiere tener en cuenta las distancias reales obtenidas mediante coordenadas GPS; también, reconoce la necesidad de abordar la asimetría en la planificación de las rutas debido a la complejidad inherente a una ciudad. Además, incluye el desarrollo de métodos exactos para dar solución al problema, al que responde la aplicación de un

optimizador que facilita las iteraciones necesarias. Este estudio tiene como finalidad la creación de una vía viable aplicable al contexto de la empresa en cuestión, con el fin de mejorar la eficacia de la distribución de productos a sus clientes. (Alvarado, 2020)

Se realizó un estudio relacionado con el estudio de diseño de trayectorias óptimas en el contexto de una cadencia de entrega que integra decisiones de ruta y localización. En este estudio, se exhibe una muestra matemática fundamentada mediante la colonia de hormigas para abordar la dificultad de localización y enrutamiento, el modelo toma en consideración un grupo de ubicaciones de parada candidatas, cada una con un presupuesto de inicio seguro y una cavidad delimitada. Además, se propone un método metaheurístico de solución basado en la búsqueda iterativa local; a partir de ello, se intenta desarrollar un plan híbrido para optimizar la repartición de los informes contables a través de la combinación del algoritmo ACO con la heurística 2-OPT. Este enfoque permite seleccionar el mejor camino para obtener una distribución óptima y los resultados mostrarán los caminos óptimos en función de los nodos de referencia. Como resultado, se determina que el método híbrido planteado elige el camino más conveniente para la distribución de los estados de cuenta sin incurrir en tiempo adicional, este procedimiento se convierte en una guía que identifica la insatisfacción del cliente y propone soluciones que ayudan a alcanzar los objetivos fijados. (Vargas, 2018),

Se sostuvo la gran importancia que tiene la optimización de rutas en los procesos logísticos y en la gestión de la cadena de distribución en la era actual. Posteriormente, a través del análisis de la información proporcionada, se determinó que los algoritmos metaheurísticos son más utilizados en estos tiempos para la creación de referencias de optimización en la administración y planificación de trayectorias. La conclusión es que estos algoritmos son considerados los mejores a causa de su ductilidad y versatilidad para hacer vanguardia a una variedad de limitaciones y desafíos que pueden ocurrir en el contexto de los procesos logísticos. (Bravo, y otros, 2021)

Se aplicó el algoritmo minimizando el recorrido en una red de transporte interprovincial partiendo desde la ciudad de Arequipa hacia los siguientes destinos Ayacucho, Ica, Juliaca, Lima, se evaluó distancia, tiempo y ahorro de

combustible, los parámetros se iniciaron con quinientas iteraciones saliendo satisfactorio en los resultados con la ruta más corta de 1858.22 km en recorrido total, con las siguiente secuencia Arequipa, Juliaca, Ica, Lima, Ayacucho y Arequipa, considerando también que antes de ser evaluado, el consumo de combustible era mayor que ahora, el resultado de esta tesis es una aplicación que muestra al usuario la ruta más óptima y por dónde debe circular mostrando la distancia en kilómetros y un consumo de combustible aproximado. (Avalos, 2021)

Se realizó un estudio de distribución de rutas en la empresa Inversiones Generales 15 Diciembre E.I.R.L con el objetivo de reducir los costes de traslados. Este estudio se realizó sobre un tema aplicado y utilizó una demostración consistente en 5 unidades de traslado de combustible pertenecientes a la compañía mencionada. El estudio incluyó un resultado de la condición de costes de transporte, así como el grupo óptimo de ubicaciones de acuerdo a su cercanía y la carga a colocar en cada una de ellas. Se utilizó el programa VRP Solver en Excel para determinar mejores trayectorias con el objetivo de reducir costos. El resultado de este estudio fue una reducción de costos de transporte de 15.83% respecto a la situación actual de transporte, lo que se traduce en un ahorro anual de costos de S/ 12,374.68 con la implementación de las rutas optimizadas, este resultado dió respuesta al problema de que la optimización de los recorridos de distribución conduciría a una reducción significativa de los costes de traslado en la compañía. (Cruzado, et al., 2022)

Para que la presente investigación tenga un respaldo, se ha considerado las siguientes referencias teóricas:

Actualmente, el transporte urbano juega un papel vital en la organización económica y social de las ciudades y centros de población. A medida que las ciudades se fragmentan cada vez más, la demanda de movilidad de la sociedad sigue creciendo. La importancia de la movilidad urbana se revela, por tanto, desde múltiples perspectivas, que van desde la sostenibilidad ambiental hasta la competitividad urbana, pasando por las transformaciones productivas y las nuevas formas de organización del trabajo. (Suárez, et al., 2016)

Asimismo, el propósito de la Ley de Movilidad Urbana Sostenible establece principios y orientaciones de la política pública ligada al transporte urbano sostenible, su principal objetivo es recuperar la calidad del ambiente urbano, mejorar la movilidad desempeño de las personas en zonas urbanas densamente pobladas, garantizar actividades y servicios sostenibles con una conectividad segura y eficiente; dando preferencia a los medios de transporte minimizar el uso de recursos naturales para con el objetivo de respetar la vida y la salud de la sociedad, es necesario preservar el ecosistema. (Congreso de la República, 2019).

La optimización es un fragmento fundamental de la investigación operativa, que experimentó un rápido avance en el desarrollo de algoritmos en sus primeras etapas; al mismo tiempo, se desarrollaron abundantes técnicas: programación lineal LP (linear programming), programación dinámica DP (dynamic programming), que se dieron antes de 1960. La optimización implica la selección de alternativas que sean de alguna manera superiores a otras alternativas posibles, siendo un concepto intrínseco en la investigación operativa; no obstante, algunas técnicas específicas de la investigación operativa se engloban dentro los nombres de términos computacionales. (Ramos , et al., 2010)

Los problemas de optimización son constituidos por tres componentes principales. En primer lugar, la función objetivo, que constituye un medio cuantitativo de la eficacia de un sistema que se pretende optimizar, ya sea maximizando o minimizando; esta función define el problema que hay que optimizar y produce un valor real o un conjunto de valores reales que representan la utilidad de los puntos correspondientes en el dominio del problema. En segundo lugar, están las variables que simbolizan las determinaciones que se puedan elegir y que sean capaces de influir en la trascendencia de la función objetivo; desde la perspectiva funcional, estas variables son idóneas para dividirse en variables autónomas o esenciales (también conocidas como variables de control) y variables subalternas (también conocidas como variables de estado), matemáticamente, todas ellas también son importantes. Por último, las restricciones constituyen un conjunto de relaciones expresadas mediante combinaciones y deseos que deben satisfacer determinadas variables, en

algunos problemas existen restricciones de idoneidad y restricciones de diseño cuya solución debe completarse para considerarse válida. (Lopez, 2013)

La solución de un enigma implica la determinación de unidades que deben asignarse a las variables en modo que la función objetivo alcance su valor óptimo, todo ello bajo la concurrencia de un conjunto de restricciones establecidas. En términos generales, los métodos de optimización pueden clasificarse en dos categorías: los métodos clásicos, que son algoritmos generalmente documentados en libros especializados en optimización, y los métodos metaheurísticos, que pertenece a lo que se le conoce como "inteligencia artificial" que representan el enfoque más reciente en este campo.

Muchos problemas que surgen en las aplicaciones son NP- hard, es decir, existe una fuerte creencia de que no pueden resolverse de manera óptima en un tiempo de cálculo polinomialmente acotado. Por lo tanto, las soluciones prácticas a menudo requieren el uso de métodos de aproximación que acerquen las soluciones óptimas en un plazo razonablemente corto, este tipo de algoritmo se llama algoritmo heurístico; a menudo, utilizan el conocimiento de un problema específico para construir o mejorar una solución. Con el tiempo, muchos investigadores se han interesado por una nueva categoría de algoritmos conocidos como metaheurísticos, las metaheurísticas representan un conjunto de conceptos algorítmicos que pueden adaptarse para diseñar heurísticas aplicables a una amplia gama de problemas, la aplicación metaheurística ha demostrado ser extremadamente eficaz a la hora de descubrir resoluciones de excelencia en un período prudente para problemas complejos de optimización combinatoria de alta prioridad desde la perspectiva teórica como práctica. Uno de los ejemplos más famosos de metaheurísticas eficaces se inspiró en el comportamiento de las hormigas reales. A partir del Sistema Hormiga, se han desarrollado y aplicado numerosos métodos algorítmicos basados en estas ideas, estos métodos han demostrado su eficacia en una amplia gama de problemas de optimización combinatoria y se han aplicado eficazmente en contextos académicos y en situaciones del mundo real. (Dorigo , et al., 2004).

De tal modo, un sistema heurístico es un enfoque utilizado que aborda una incógnita de optimización claramente delimitado profundizando en el conocimiento intuitivo de la estructura del problema con el fin de obtener una

solución satisfactoria, para obtener resultados más sólidos que los obtenidos con la heurística tradicional, se recurre a procedimientos metaheurísticos. Estos procedimientos representan una categoría de procedimientos contiguos desarrollados para la resolución de enigmas complejos de optimización donde la heurística convencional resulta ineficaz. La metaheurística ofrece una marca general que permita la creación de modernos algoritmos híbridos que combinan diversas definiciones provenientes de la IA, el desarrollo somático y los instrumentos de estadística. (Tito, et al., 2015).

La gran ventaja de las metaheurísticas es su versatilidad: al utilizar conceptos estratégicos independientes del problema es posible aplicarlas a un gran abanico de problemas de optimización realizando cambios simples para adaptarlas a las características de éstos. Algunas están basadas en principios útiles para la resolución de problemas, como puede ser el impedir la repetición de soluciones o en la búsqueda sistemática de mejores soluciones en el vecindario. En cambio, otras simulan fenómenos naturales, como puede ser la recombinación genética que se produce en la reproducción o la comunicación entre hormigas. (Guirao, 2012)

En la heurística de optimización Ant Colony (ACO), se utilizan colonias de hormigas artificiales para cooperar en la indagación de resoluciones eficientes a enigmas de optimización complejos, la cooperación es un elemento esencial en el diseño del algoritmo ACO, ya que implica la asignación de un sistema informático a un grupo de elementos (hormigas artificiales) que se transfieren información de manera indirecta a través de un concepto denominado estigmergía. De hecho, la optimización por colonias de hormigas se concibe como un esfuerzo de ingeniería que busca diseñar e implementar sistemas de software para resolver problemas de optimización desafiantes. En el algoritmo de colonias de hormigas, se crea una agrupación limitada de hormigas artificiales que trabajan juntas para proporcionar soluciones de alta calidad a un problema de optimización, cada hormiga construye la solución o sus componentes a partir de un estado inicial seleccionado según los criterios del problema en cuestión. (Dorigo, et al., 1999)

Las hormigas son artrópodos sociales que forman colonias y su conducta es orientada para garantizar la subsistencia de la colonia en su conjunto, en vez de

dar prioridad a un individuo en particular. Los insectos sociales han sido objeto de interés para muchos científicos debido a la gran organización que muestran en sus colonias, que contrasta con la relativa simplicidad de los miembros individuales de la colonia.

La idea fundamental que subyace al algoritmo ACO se sustenta en gran medida de lo biológico, y, por ende, existen notables semejanzas a través de las hormigas reales y las artificiales, tanto las colonias de hormigas reales como las artificiales están constituido por grupos de agentes que laboran juntamente por un propósito común. Tal es el caso de las hormigas reales como es el de las artificiales, el problema que hay que resolver está relacionado con la búsqueda de una solución adecuada. Las hormigas reales buscan alimento, mientras que las artificiales buscan una solución óptima a un problema específico de optimización, aunque sólo haya una hormiga, ya sea real o artificial, encontrar una solución requiere una importante cooperación entre numerosos individuos. En el caso de las hormigas reales, utilizan sustancias químicas llamadas feromonas, que se depositan en el suelo a medida que se desplazan. Por otro lado, las hormigas artificiales operan en un entorno virtual y regulan valores numéricos, llamados feromonas artificiales, que están relacionados con diferentes condiciones del problema; cabe recalcar, que una secuencia de niveles de feromonas artificiales vinculados a condiciones del problema se conoce como huella de feromonas artificiales. En el algoritmo Ant Colony, las huellas de feromonas artificiales representan el único canal de diálogo entre las hormigas. Un proceso parecido a la ebullición natural de las feromonas en las colonias de hormigas reales puede permitir que las hormigas artificiales dejen pasar la información y se dirijan en nuevos sentidos de investigación que se presentan como más promotoras. (Arito, 2010)

Inicialmente, las hormigas no dejan huellas de feromonas en ningún recorrido, por esta razón la opción de qué recorrido tomar es al azar, y cuando se encuentran en un punto definido, cuentan con dos alternativas: girar a siniestra o a diestra. De esta manera, una vez trazada una ruta hacia la diestra o siniestra según la alternativa de las hormigas, y después de encontrar su objetivo principal (es decir, encontrar comida), regresan al nido dejando feromonas que sirven como conductor para las hormigas futuras. Entonces, se puede decir que, si hay

más feromonas en un camino, entonces ese es el camino más corto que debe tomar la hormiga para llegar con éxito a la fuente de alimento. (Dorigo, et al., 1999)

Uno de los pioneros en la investigación de la conducta comunitaria de los artrópodos fue Pierre-Paul Grasse. Durante las décadas comprendidas entre 1940 y 1950, se centró en el estudio de la conducta de las termitas, especialmente en las especies *Bellicositermes* y *Cubitermes*. En su investigación, Grasse identificó la capacidad de estos insectos para reaccionar ante lo que denominó "estímulos significativos", que, según los informes, desencadenan una respuesta codificada genéticamente. Observó que las consecuencias de estas respuestas podían funcionar como incitaciones significativas, tanto como para el individuo que los generaba asimismo para otros artrópodos de la colonia. Grasse utilizó la expresión "estigmergía" para explicar este peculiar tipo de diálogo indirecto, en la que los miembros de la colonia son estimulados por el desempeño que han logrado. (Arito, 2010)

La stigmergía es un mecanismo de coordinación indirecto en el cual un rastro dejado en el entorno estimula a acciones posteriores como mecanismo de coordinación. Una de las ventajas de stigmergía es que no se requiere planificación previa ni control central, no requiere comunicación directa entre los agentes que realizan acciones y ningún agente necesita estar al tanto de la existencia de agentes. (Lewis, et al., 2015)

De igual forma, pueden observarse ejemplos de stigmergía en las colonias de hormigas y hay varios ejemplos de ello. En muchas especies de hormigas, cuando se desplazan del nido en el que cuenta con su suministro de alimento e inversamente, almacenan en el terreno un componente conocido como feromona, la presencia de feromona influye en su elección de camino, esto significa que, pueden seguir las concentraciones de feromonas más intensas. (Lewis, et al., 2015)

Por tanto, de acuerdo a lo anteriormente expuesto se plantea el siguiente problema general ¿Cómo es la optimización de las rutas de ciclovías en la ciudad de Trujillo mediante el algoritmo heurístico Ant Colony con aplicación de librerías Python? Mediante la ejecución de este proyecto se pretende optimizar las rutas

de ciclovías a través del algoritmo heurístico Ant Colony, esto permitirá seleccionar la ruta más óptima en función de factores como el tiempo, costo y distancia, así como se menciona en la justificación general. Por otra parte, se menciona la justificación teórica, la optimización de las rutas de ciclovías en la ciudad de Trujillo, tiene como objetivo la conexión eficiente de los puntos claves para generar una red de rutas más eficientes, esto contribuirá al desarrollo sostenible de la ciudad y mejorará la seguridad de la población; asimismo, ofrecerá nuevas alternativas e iniciativas a la sociedad sobre la implantación de algoritmos en la gestión de los sistemas de transporte no motorizados, con el objetivo de optimizarlos en la ciudad de Trujillo.

De lo expuesto anteriormente, se indica la justificación práctica del presente estudio, donde se podría deducir que, de llevarse a cabo esta investigación se daría un beneficio a la población logrando optimizar sus rutas según la duración, distancia y costo mediante la aplicación del algoritmo Ant Colony. Además, es importante partir del punto de vista metodológico de que el algoritmo ACO es versátil y es utilizado para abordar un amplio abanico de problemas en diferentes contextos, por lo que aplicarlo a la optimización de rutas de ciclovías de forma eficiente y eficaz permitirá obtener resultados óptimos.

Del mismo modo, se ha planteado como objetivo general realizar la optimización de las rutas de ciclovías en la ciudad de Trujillo mediante el algoritmo heurístico Ant Colony; por consiguiente, se han planteado los siguientes objetivos específicos, determinar la distancia óptima de rutas de ciclovías en la ciudad de Trujillo mediante el algoritmo heurístico Ant Colony con aplicación de librerías Python, determinar el costo óptimo de las ruta de ciclovías en la ciudad de Trujillo mediante el algoritmo heurístico Ant Colony con aplicación de librerías Python, y, determinar el tiempo óptimo de las rutas de ciclovías en la ciudad de Trujillo mediante el algoritmo heurístico Ant Colony con aplicación de librerías Python.

En tal caso se ha planteado la siguiente hipótesis, mediante el Algoritmo Heurístico Ant Colony se podría optimizar las rutas de ciclovías en la ciudad de Trujillo.

II. METODOLOGÍA

En el presente proyecto se llevó a cabo una investigación aplicada, en este caso se buscaron directamente nuevas soluciones para optimizar rutas de ciclovías a través del algoritmo Ant Colony otorgando la ruta óptima para la población con menor costo, distancia y tiempo. Por otro lado, al no realizarse modificaciones en la variable en la presente investigación, la investigación será no experimental ya que no se manipula la variable independiente. En este sentido, de acuerdo al grado de profundidad se determina que la investigación será descriptiva simple, porque busca describir y explicar cómo se logra desarrollar la optimización de rutas de ciclovías mediante el algoritmo Ant Colony; y es cuantitativa, porque consiste en recoger y analizar datos numéricos, y poder llegar a la toma de decisiones exactas para poder alcanzar los objetivos establecidos.

En la presente investigación, la variable de estudio será “Optimización de rutas”. Así mismo, las dimensiones que abarcan la variable son nodos, probabilidad, distancia, tiempo y costo. La operacionalización de la variable se encuentra en el apartado de Anexos.

En este caso, la población que se consideró para el desarrollo de la investigación es la red de rutas de ciclovías en la provincia de Trujillo. Por lo cual, en la presente investigación la muestra fue las rutas de ciclovías establecidas por la Municipalidad Provincial de Trujillo en los distritos, Víctor Larco en la Av. Miraflores, Av. Larco, Av. América Sur, Av. Húsares de Junín y la Prolongación César Vallejo, distrito La Esperanza y Florencia de Mora, haciendo un total de 39 kilómetros de ciclovías; cabe recalcar que, las vías antes mencionadas son las únicas que se han implementado en el sistema de transporte para vehículos no motorizados. En este estudio se utilizó el muestreo intencional, donde el investigador selecciona la muestra de acuerdo a los objetivos del estudio y parte de la población que se desee conocer.

En la presente investigación se utilizó la técnica de observación para adquirir datos de la variables a investigar. En este método el indagador se profundiza con el contexto del problema para sostener un pensamiento conciso del problema que se está estudiando. Asimismo, en este estudio se consideró el cuestionario como instrumento de recolección de datos, que fue dirigido a la población de la

ciudad de Trujillo para obtener información sobre los puntos más recurrentes, el costo, tiempo, distancia que recorren los usuarios, entre otros.

Excel es un software que realiza procedimientos complejos con una diversidad de datos, esta técnica se utilizó para el análisis y procesamiento de datos, que se recolectó a través del instrumento de recolección de datos (cuestionario).

Por otro lado, Google Earth es una herramienta tecnológica muy poderosa que permite a los usuarios explorar virtualmente la geografía del planeta tierra, ofrece imágenes satelitales de alta resolución, la visualización de los planetas, vistas panorámicas y funciones interactivas que permiten navegar en cualquier parte del mundo. Es una aplicación muy utilizada para fines académicos, útil para la investigación de cualquier ciudad, para viajes o simplemente explorar el globo terráqueo. En este caso, Google Earth permitió definir la red de rutas de ciclovías mediante los datos obtenidos a lo largo de la ciudad de Trujillo.

Posteriormente, el lenguaje de programación Python, actualmente es preferido por su sencillez, legibilidad y su precisión de sintaxis, es un lenguaje de alto nivel que permite la aplicación con muy pocos códigos, y es ideal para crear prototipos rápidos, pero también algoritmos complejos como es el caso del algoritmo Heurístico Ant Colony, lo cual permitió la optimización de rutas de ciclovías.

El proceso para obtener las referencias necesarias para efectuar la finalidad de la presente investigación optimización de rutas de ciclovías se efectuó mediante el análisis de datos a través del software Excel, el cual realiza procedimientos complejos con una diversidad de datos, esta técnica se utilizó para el análisis y procesamiento de datos, que se obtuvo mediante el instrumento de recolección de datos (cuestionario) dirigido a la población de la ciudad de Trujillo.

En primer lugar, se procedió a definir los lugares con mayor recurrencia, tiempo, distancia, uso del transporte motorizado determinados por la población, estos datos son esenciales para poder establecer la red de rutas de ciclovías que se identificaron con el software de información geográfica Google Earth.

Google Earth, es una herramienta tecnológica muy poderosa que permite a los usuarios explorar virtualmente la geografía del planeta tierra, ofrece imágenes satelitales de alta resolución, la visualización de los planetas, vistas panorámicas y funciones interactivas que permiten navegar en cualquier parte del mundo. Es

una aplicación muy utilizada para fines académicos, útil para la investigación de cualquier ciudad, para viajes o simplemente explorar el globo terráqueo. (Oliveira , 2012)

Este proceso permitirá establecer una base de datos para el posterior estudio de las rutas de ciclovías que mediante el Algoritmo Ant Colony se logrará determinar la ruta, el tiempo, costo y distancia óptimos. Una vez recopilados estos datos se procederá a ingresarlos en el sistema para luego poder elaborarlo en Librerías Python, donde se realizará principalmente el análisis y procesamiento de datos.

El lenguaje de programación Python, actualmente es preferido por su sencillez, legibilidad y su precisión de sintaxis, es un lenguaje de alto nivel que permite la aplicación con muy pocos códigos, y es ideal para crear prototipos rápidos, pero también algoritmos complejos como es el caso del algoritmo Heurístico Ant Colony, lo cual permitirá la optimización de rutas de ciclovías.

Para la presente investigación, se va a recolectar información de los puntos que se ha creído conveniente, como primera instancia se aplicará un cuestionario a la población para la recolección de datos; posteriormente en un archivo Excel se colocarán los registros obtenidos detallando los lugares con mayor recurrencia, frecuencia de uso de transporte no motorizado, tiempo, distancia y la demanda de la población.

Por otro lado, se estima que los viajes con transporte no motorizado comprenden un 6% en la ciudad de Trujillo, además es importante mencionar que los viajes son la mayor parte breves; es decir no sobrepasan más de 4 kilómetros, lo cual es una buena índole que permite fomentar el traslado con transporte no motorizado. (Municipalidad Provincial de Trujillo , 2020)

Además, la Política Nacional de Transporte Urbano (PNTU) aprobada mediante Decreto Supremo N° 012-2019-MTC instaura como finalidad de política a nivel nacional la ejecución de ecomovilidad, eficaz, de confianza, incluyente e higiénico para aumentar la competencia de las localidades y hacer mejoras en el bienestar de sus residentes.

La aplicación de una red de ciclovías es importante para futuras generaciones donde el transporte no motorizado se masifique como modo de transporte, es

importante contar con una ciclovía ya que provee una infraestructura exclusiva para que los usuarios puedan movilizarse de forma rápida, segura y contribuya con la regularización del tráfico.

Luego de analizar los datos, se procedió a definir los lugares más recurrentes por la población en los diferentes distritos de la provincia de Trujillo, procediendo a identificarlos en Google Earth, seguidamente se logró definir la red de rutas de ciclovías, que se procedió a optimizar a través del algoritmo Ant Colony.

El algoritmo ACO se encarga de crear iteraciones con la finalidad de crear soluciones, que en el caso del presente proyecto buscó determinar la ruta más óptima, tiempo y costo. El algoritmo es dividido en dos etapas: construcción de ruta y actualización de feromonas. La construcción de la ruta se realiza a partir de hormigas distribuidas aleatoriamente en varias ciudades. Cada ruta tomada por la hormiga tiene una probabilidad y una regla de escala aleatoria para seleccionar la siguiente ciudad. La probabilidad de que k hormigas ubicadas en la ciudad i visiten j está dada por la Ecuación 1.

$$\rho_{ij}^k = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in N_i^k} [\tau_{il}]^\alpha [\eta_{il}]^\beta}$$

Ecuación 1 Probabilidad hormiga k de visitar ciudad j

Donde $\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$ y d_{ij} es el espacio entre las localidades i y j , α y β son dos factores que determinan el impacto de la feromona y el valor heurístico η_{ij} . El numerador de la ecuación 1 se almacena en una estructura denominada *Choice_info*.

El valor de feromona de todas las hormigas m se actualizan en cada iteración, las cuales construyen soluciones por sí mismas. Las feromonas τ_{ij} relacionada con el camino que conecta las ciudades i y j es establecida de la siguiente manera en la ecuación 2.

$$\tau_{ij} = (1 - \rho) * \tau_{ij} + \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k$$

Ecuación 2 Actualización de feromona

Donde ρ es la constante de evaporización, m es la cifra de hormigas, y $\Delta \tau_{ij}^k$ es la cantidad de feromona depositada entre la ciudad i y j por la hormiga k .

Una vez hallada las soluciones por medio del algoritmo Ant Colony, se procedió a implementar los datos en el sistema que será elaborado con Librerías Python. El procedimiento se desarrolló con un lenguaje de programación inclinado a Python, por lo que dispone de una variedad de beneficios como, brevedad y presteza, acoplamiento con diferentes lenguajes y se puede ejecutar en la mayor parte de sistemas operativos. (Reyes, 2020)

Las rutas de ciclovía se deben diseñar para establecer un marco de regulación para el uso de transporte no motorizado, que permita utilizar de manera equilibrada la vía pública, considerando el ordenamiento del sistema vial urbano en lo referente a la clasificación de las vías. También, considerar la planificación en las calles y avenidas para evitar la congestión y contaminación de los vehículos motorizados. Además, se debe realizar un registro de cómo y de qué manera se movilizan las personas para poder obtener datos concisos y reales; de tal manera, que se logre realizar una óptima planificación ciclo vial.

La Municipalidad de Trujillo en el año 2021 con ayuda del Programa Nacional de Transporte Urbano Sostenible del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, recibió un presupuesto de más de un millón y medio de soles para implementar 39.48 km de ciclovías en la ciudad de Trujillo, con la finalidad de interconectar la ciudad y permitir que los ciudadanos que hacen uso del transporte no motorizado se movilicen con seguridad.

Tabla 1. Proyecto de Implementación de Red de Rutas de Ciclovías en Trujillo

NOMBRE	TIPO DE CICLOVÍA	DESDE	HASTA	LONGITUD (KM)	DISTRITO
Ciclovía Av. Miraflores	Bidireccional	Av. España	Av. 26 de Marzo	5.01 Km	Trujillo
Ciclovía Av. Larco	Bidireccional	Av. España	Av. Colón	4.25 Km	Víctor Larco Herrera
Ciclovía Av. América Sur	Bidireccional	Ovalo Papal	Prolongación Unión	11.33 Km	Trujillo
Ciclovía Av. Húsares de Junín	Bidireccional	Av. Fátima	Alameda de los Héroes	1.35 Km	Trujillo
Ciclovía Prolongación César Vallejo	Bidireccional	Av. Huamán	Av. América Sur	1.47 Km	Trujillo
Ciclovía Gonzales Prada	Bidireccional	Av. América Sur	Carretera Industrial	1.23 Km	Trujillo
TOTAL				24.64 Km	

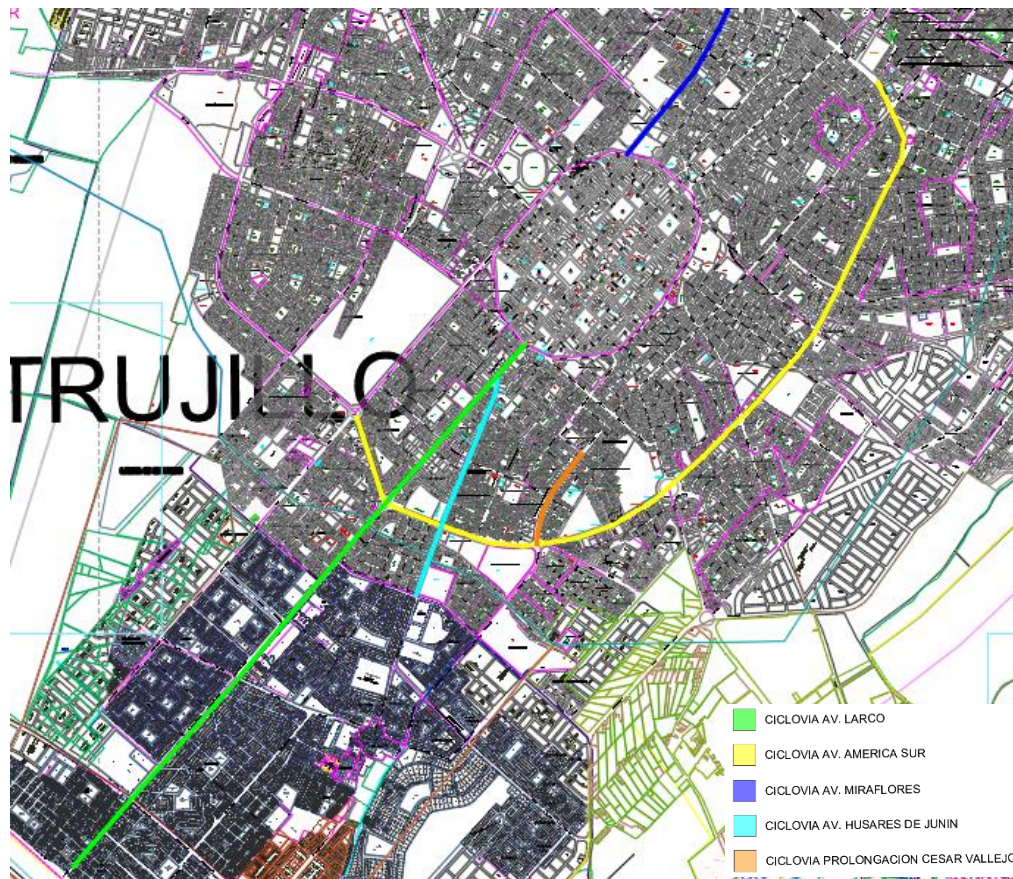


Figura 1. Ciclovías Implementadas por el Proyecto de Implementación de Rutas de Ciclovías Trujillo

Como se puede observar en la Tabla 1, el Proyecto de Implementación de Rutas de ciclovías en la Ciudad de Trujillo solo ha implementado un 24.64 km de ciclovías a diferencia de 39.48 km que se presentaron como propuesta del proyecto, de las cuales no todas se encuentran interconectadas entre sí, precisamente como se aprecia en la Figura 1.

Tabla 2. *Ciclovías en la ciudad de Trujillo*

NOMBRE	LONGITUD (KM)	ESTADO
Ciclovía Juan Pablo II	2.15 Km	No Implementadas
Ciclovía Nazareth	2.26 Km	
Ciclovía Mansiche	2.61 Km	
Ciclovía Tupac Amaru	1.70 Km	
Ciclovía España	3.82 Km	
Ciclovía Prolongación Unión	1.69 Km	
Ciclovía La Marina Moche	1.88 Km	
Ciclovía Condorcanqui	3.28 Km	
Ciclovía Manuel Vera	1.87 Km	
Ciclovía América Norte	6.38 Km	
Ciclovía Miraflores	5 Km	Desaparecidas
Ciclovía América Sur	11.3 Km	
Ciclovía Larco	3.62 Km	
Ciclovía América Oeste	4.79 Km	Incompleta Desaparecida
Ciclovía Pablo Casals	3.15 Km	
Ciclovía Húsares de Junín	1.35 Km	Existentes
Ciclovía Prol. César Vallejo	1.47 Km	
Ciclovía Av. Fátima	0.68 Km	
Ciclovía Gonzales Prada	1.23 Km	

Como se puede observar en la Tabla 2, no han sido implementadas un total de 16.11 km ciclovías, de igual manera actualmente un total de 36.24 km se encuentran desaparecidas y la Ciclovía Pablo Casals que cuenta con 3.15 km es la única que no ha sido terminada en su debido tiempo y en la actualidad está desaparecida.



Figura 2. Ciclovía Desaparecida Av. Miraflores



Figura 3. Ciclovía Desaparecida Av. Miraflores – Invasión de Carril

La ciclovía Miraflores se construyó a raíz de la coyuntura que se vivió en el año 2020 debido al COVID- 19, como se puede apreciar en la Figura 2 y 3 actualmente solo quedan señaléticas de tránsito y la invasión de la ciclovía por parte de vehículos motorizados obstruyendo el paso a los usuarios.

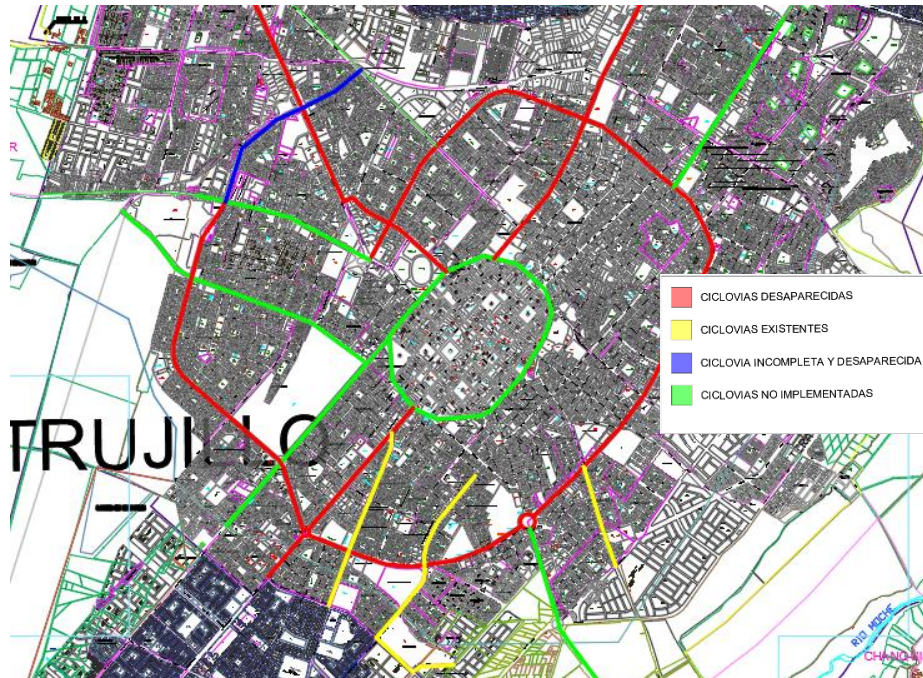


Figura 4. Ciclovías de Trujillo

Asimismo, en la Figura 4 se puede apreciar las ciclovías que se encuentran en la Tabla 2, donde solo se cuenta con un total de 4.73 Km de ciclovías existentes a lo largo de toda la ciudad de Trujillo.



Figura 5. Ciclovía Existente Av. Húsares de Junín



Figura 6. Ciclovía Existente Av. Húsares de Junín

Como se observa en la Figura 6, la ciclovía Húsares de Junín es bidireccional y el carril tiene un ancho de 2.00 m, cuenta con un total de 1.53 km que se extiende desde la Av. Larco hasta la Av. Fátima el material con el que ha sido construido es enchapado con cerámica y actualmente aún se encuentra en buen estado.



Figura 7. Ciclovía Existente Av. Fátima

En la Figura 7 se puede ver que la ciclovia en la Av. Fátima ha sido construida en material de cemento pulido con ocre color verde y se extiende desde la Prolongación César Vallejo hasta la Av. Carretera Industrial, haciendo un total de 0.69 km que en la actualidad aún se encuentra existente pero no se realiza el mantenimiento correspondiente, como consecuencia provocaría el deterioro de la ciclovia y posteriormente su desaparición así como lo han venido haciendo las ciclovia que se aprecian en la Tabla 2.



Figura 8. Ciclovia Existente Prolongación César Vallejo



Figura 9. Señalética Ciclovia Prolongación César Vallejo

La Ciclovía de la Prolongación César Vallejo cuenta con un carril unidireccional que tiene un ancho de 1.50 m y se extiende desde la calle Guatemala hasta la Av. Fátima contando con recorrido total de 1.47 km, ha sido construida con el mismo material de la ciclovía de la Av. Fátima, cabe recalcar que es la más utilizada por los usuarios porque se encuentra separada de la vía vehicular con un separador en la berma echo en concreto, otorgando mayor seguridad a los usuarios. Además, se observa que las señaléticas no se encuentran en un buen estado al igual que el ocre a lo largo de la ciclovía; por lo que, se deduce que no se realiza el respectivo mantenimiento como se aprecia en la Figura 8 y 9.



Figura 10. Ciclovía Gonzales Prada



Figura 11. Ciclovía Gonzales Prada Bidireccional

En la Figura 10 y 11 se observa que la Ciclovía Gonzales Prada es bidireccional es decir que los usuarios pueden circular en dos sentidos, en este caso cada carril tiene un ancho de un 1.00 m y se encuentran separados en la parte central por áreas verdes y con un separador en berma separadas de la vía vehicular. Esta ciclovía se extiende desde la Av. América Sur hasta la carretera Industrial contando con un total de 1.23 km. A diferencia de las otras ciclovías, ha sido construida en material embloquetado con adoquines y se sigue manteniendo en buen estado.

Para la identificación de los espacios destinados a ciclovías, el Manual para infraestructura ciclo vial indica que una vía existente puede convertirse en una ciclovía cuando se cumpla principalmente con las siguientes condiciones; la ciclovía debe conectar con una estación de transporte público o que se ubique como mínimo a 300 metros, conectar instituciones educativas y/o espacios públicos. Además, de realizarse estudios preliminares útiles para evaluar la implantación de la infraestructura ciclovial y evaluar la topografía y clima del lugar.

Para determinar los tipos de infraestructura ciclovial, se tomó como referencia el Proyecto Manual de Diseño Geométrico para Infraestructura Ciclovial para vías urbanas, donde se considera los siguientes tipos de ciclovía; ciclovía segregada, vía compartida, vía de prioridad peatonal, vía peatonal con circulación ciclista, vía verde, carril exclusivo bus-bicicleta, ciclosenda, ciclovía temporal, vía activa o ciclovía recreativa; asimismo, se pueden implementar de acuerdo a cada tipo de vía en la ciudad de Trujillo. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones , 2023)

Dentro de las características geográficas en la ciudad de Trujillo, principalmente la topografía es diversa, especialmente en su área urbana, donde se distinguen claramente dos sectores: Alto Trujillo, que incluye La Esperanza, El Porvenir, Florencia de Mora y El Milagro, con alturas que van desde los 70 hasta los 190 msnm y una pendiente que oscila entre 3° y 8°, pero que es mayor en las laderas de los cerros "Cabras", "Mampuesto" y "El Presidio". Por otro lado, Bajo Trujillo, que abarca los distritos de Trujillo y Víctor Larco Herrera, presenta pendientes más suaves, que van desde 0° hasta 1.5°. En el caso del distrito de Laredo, su topografía en la parte baja del valle es plana, con ligeras inclinaciones y diversos

rasgos geográficos en la parte alta, por donde el río Moche atraviesa de este a oeste. (Municipalidad Provincial de Trujillo, 2018)

La época cálida se extiende por casi 3 meses, desde mediados de enero hasta principios de abril, la temperatura máxima promedio diaria es superior a los 25°C. Febrero destaca como el mes más caluroso en Trujillo, con una temperatura máxima promedio de 26°C y 21°C como mínimo. Por otro lado, la temporada fresca abarca 4 meses, desde julio hasta noviembre, con una temperatura máxima promedio diaria inferior a los 22°C. Septiembre se posiciona como el mes más frío del año en Trujillo, con una temperatura mínima promedio de 17°C y máxima de 21°C.

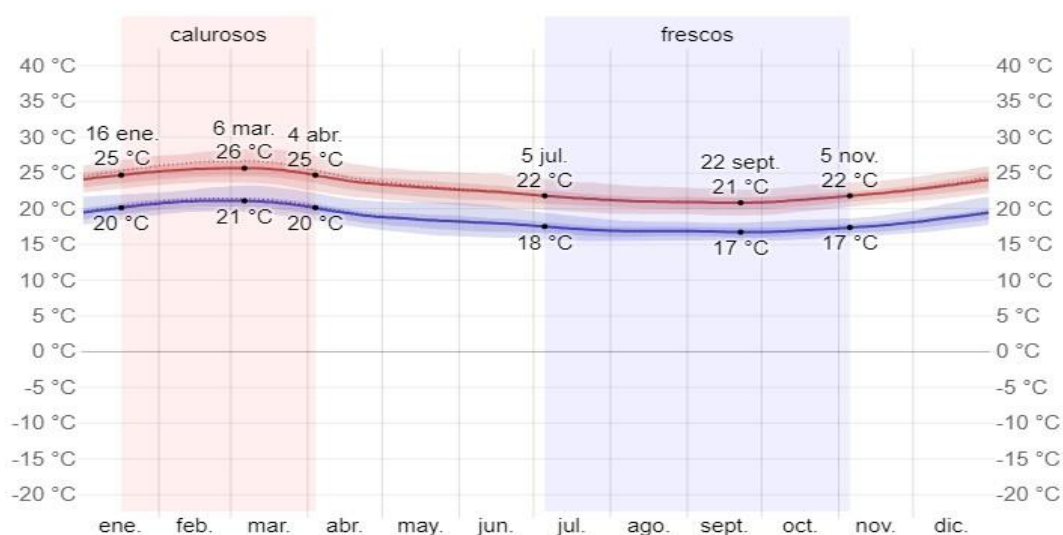


Figura 12. Temperatura máxima y mínima promedio en Trujillo 2023

De acuerdo con los resultados del censo 2017 como se observa en la Tabla 3, la población urbana en la región de La Libertad se ha incrementado en 219 007 personas desde el año 2007, con una tasa de promedio anual de 1.7%. Sin embargo, la población rural ha disminuido en 57 997 personas, lo que representa una tasa decreciente promedio anual de 1.4%. (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2018)

Tabla 3. *La Libertad: Población censada urbana y rural y tasa de crecimiento promedio anual, 2007 y 2017*

Año	Total	Población		Variación Intercensal		Tasa de crecimiento promedio anual	
		Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural
2007	1 617 050	1 184 548	432 502				
				219 007	-57 977	1,7	-1,4
2017	1 778 080	1 403 555	374 525				

Fuente: INEI - Censos Nacionales de Población y Vivienda (2017)

La ciudad de Trujillo, debido a sus características geográficas, se considera una ciudad idónea para implementar y fomentar los viajes con transporte no motorizado debido a los siguientes motivos: cuenta con una alta población urbana residente, climatología óptima con promedio anual máximo de 26°C y mínima de 17°C, pendientes poco pronunciadas y con baja inclinación.

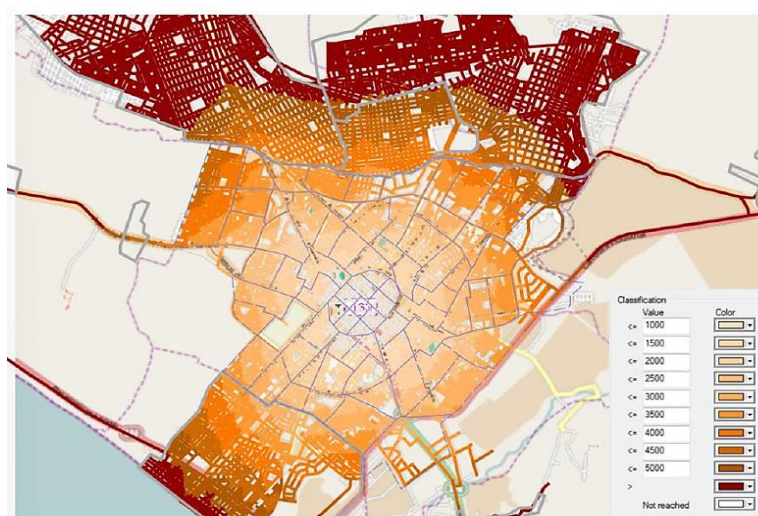


Figura 13. Isócronas de distancia desde la Plaza de Armas

Los tramos a recorrer en Trujillo serían distancias razonables con transporte no motorizado tomando como punto de inicio y fin el centro histórico de la ciudad tal y como se observa en la Figura 13.

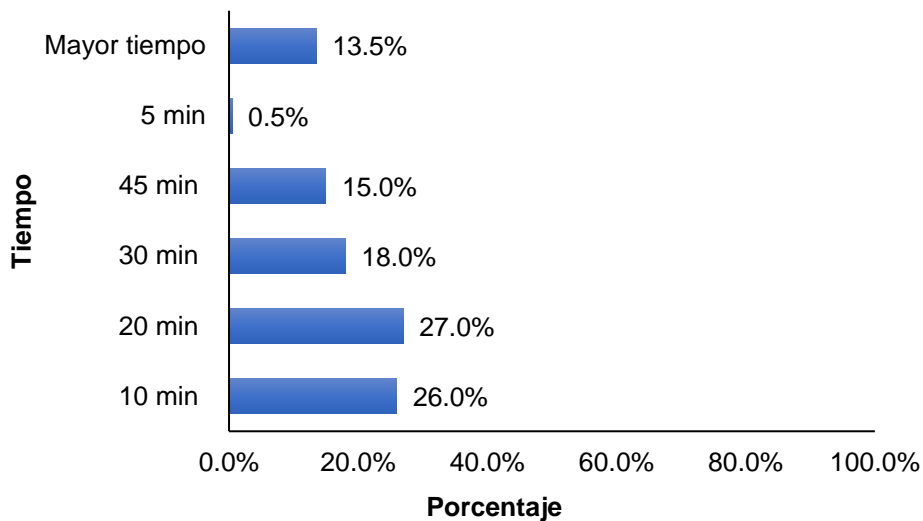


Figura 14. ¿Cuánto tiempo demora usted en trasladarse al Centro Histórico?

Como se puede observar en la Figura 14 un 86.5% de personas encuestadas demora en trasladarse desde su distrito al Centro Histórico entre 10 a 45min, y un 13.5% se demora más de 45 min; por lo que, se deduce que las distancias a recorrer con transporte no motorizado desde los distintos distritos de la provincia de Trujillo, teniendo como punto de referencia el Centro Histórico de Trujillo debido a su ubicación céntrica y características de conectividad con las distintas vías de Trujillo.

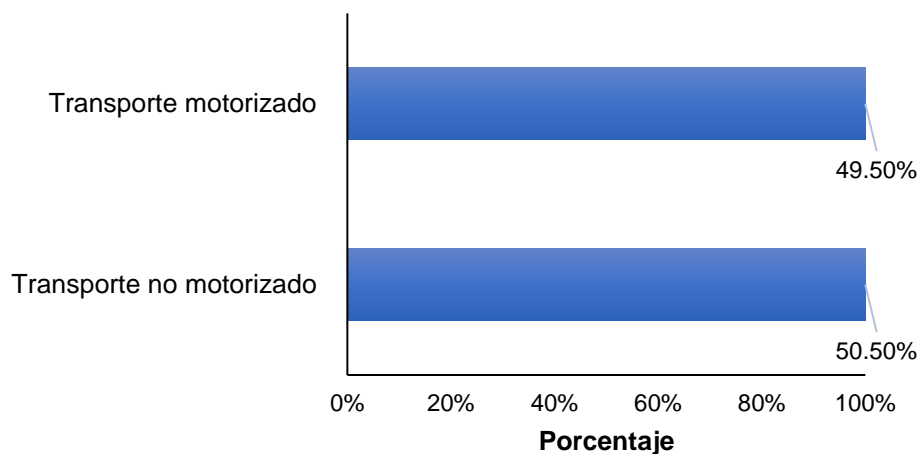


Figura 15. ¿Principalmente con qué transporte se moviliza usted para acceder al Centro Histórico?

De acuerdo, a la Figura 15 mitad de la población se moviliza hacia el Centro Histórico con Transporte No Motorizado; sin embargo, la otra mitad hace uso del Transporte Motorizado para trasladarse hacia el Centro Histórico; por ende, indica que ambos tipos de Transporte son viables para acceder al Centro Histórico. Asimismo, se considera que es factible utilizar el Transporte No Motorizado a lo largo de Trujillo.

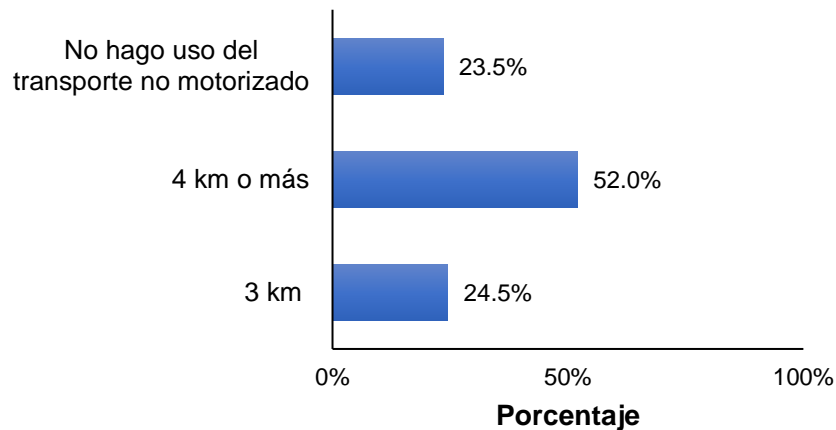


Figura 16. ¿Cuántos kilómetros suele recorrer al día con el transporte no motorizado?

A través de la Figura 16, se indica que un 52% recorre al día entre 4km a más con transporte no motorizado, 24.5% recorre 3 km al día y un 23.5% no hace uso del transporte no motorizado; por tanto, se deduce que las personas suelen recorrer distancias largas.

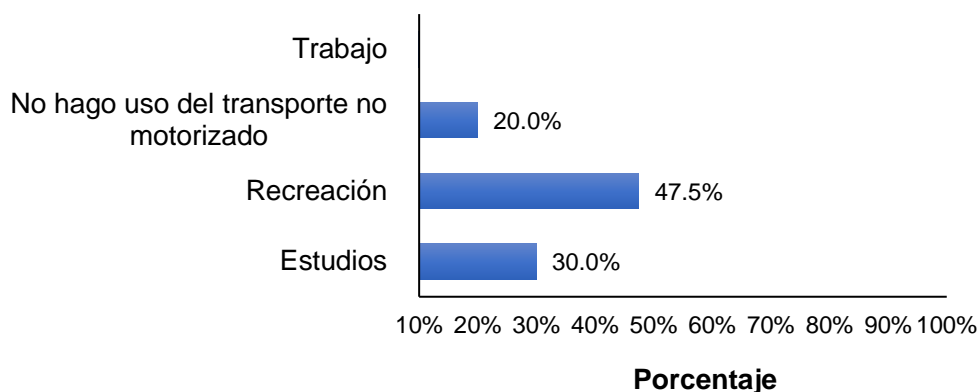


Figura 17. ¿Principalmente con qué fin usted hace uso del transporte no motorizado para movilizarse?

En la Figura antecedente, se muestra que, un 46.5% hace uso del transporte no motorizado para fines recreativos, un 30% se moviliza con este transporte por motivo de estudios, un 23.5% no hace uso del transporte no motorizado y el 0% hace referencia que las personas no utilizan el transporte no motorizado para movilizarse a su centro de trabajo.

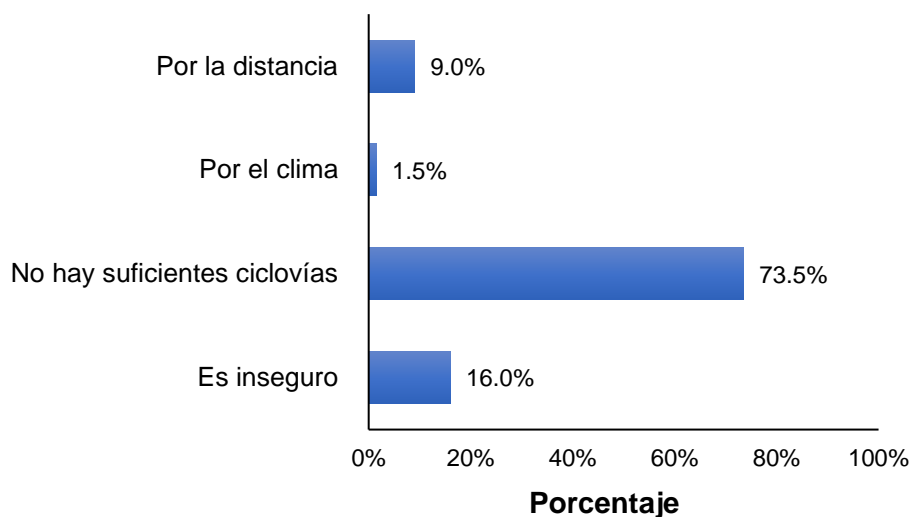


Figura 18. ¿Por qué no hace uso del transporte no motorizado para movilizarse?

Sin embargo, en la Figura 18, se observa que el 73.5% de las personas opina que no hace uso del transporte no motorizado porque no hay suficientes ciclovías, un 16% considera que es inseguro, el 9% refiere por motivo de las distancias, y el porcentaje más bajo, equivale al 1.5% por razones climáticas; por tanto, la población no hace uso de este tipo de transporte a causa de insuficientes ciclovías.

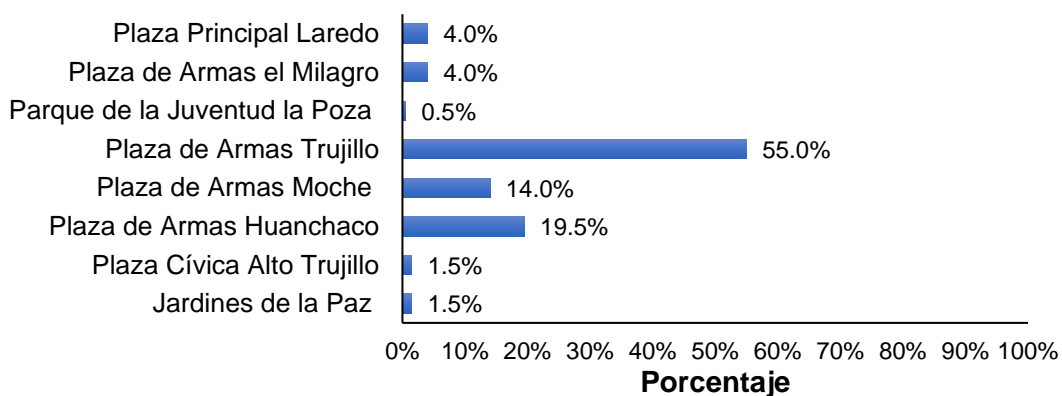


Figura 19. Plazas o Jardines mayormente recurrentes por los Trujillanos

En la Figura 19, se muestra que un importante 55% visita la Plaza de Armas de Trujillo, un 19.5% acude a la Plaza de Armas Huanchaco, el 14% recurre a la Plaza de Armas Moche, mientras que un 4% concurre la Plaza Principal Laredo al igual que la Plaza de Armas el Milagro, en cambio el 1.5% va a la Plaza Cívica de Alto Trujillo y los Jardines de la Paz; por último, el 0.5% visita el Parque de la Juventud la Poza.

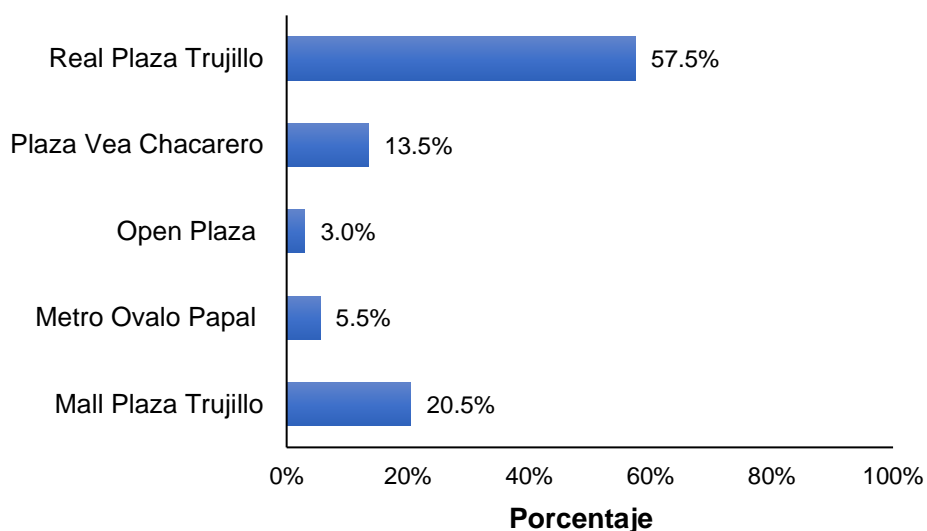


Figura 20. Centros Comerciales mayormente recurrentes por los Trujillanos
 Esta figura muestra que el 57.5% visita el centro comercial Real Plaza, el 20.5% recurre al Mall Plaza Trujillo, un 13.5% concurre Plaza Vea Chacareo; mientras que, el 5.5% acude al Metro Ovalo Papal y solo el 3% va a Open Plaza.

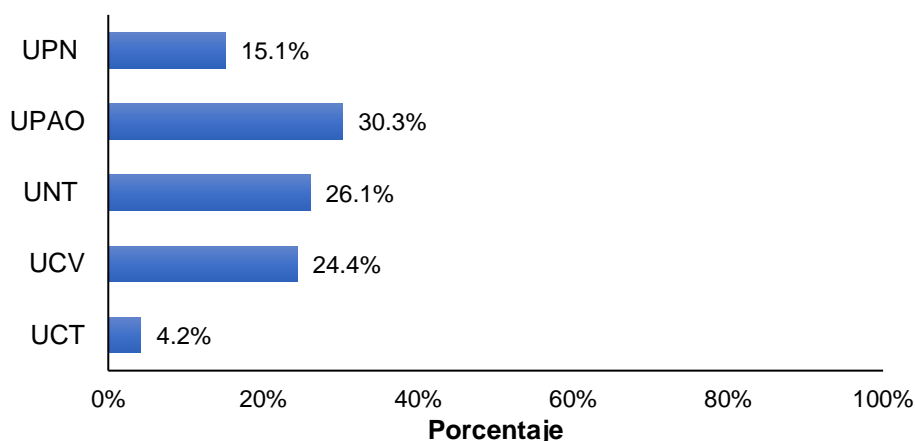


Figura 21. Universidades mayormente recurrentes por los Trujillanos

A través de la Figura 21, se indica que el 30.3% concurre la Institución Educativa UPAO, siguiendo un 26.1% que realiza sus estudios en la Universidad Nacional de Trujillo, el 24.4% acude a la Universidad Cesar Vallejo, el 15.1% asiste a la Universidad Privada del Norte; mientras que, solo un 4.2% va a la Universidad Católica de Trujillo.

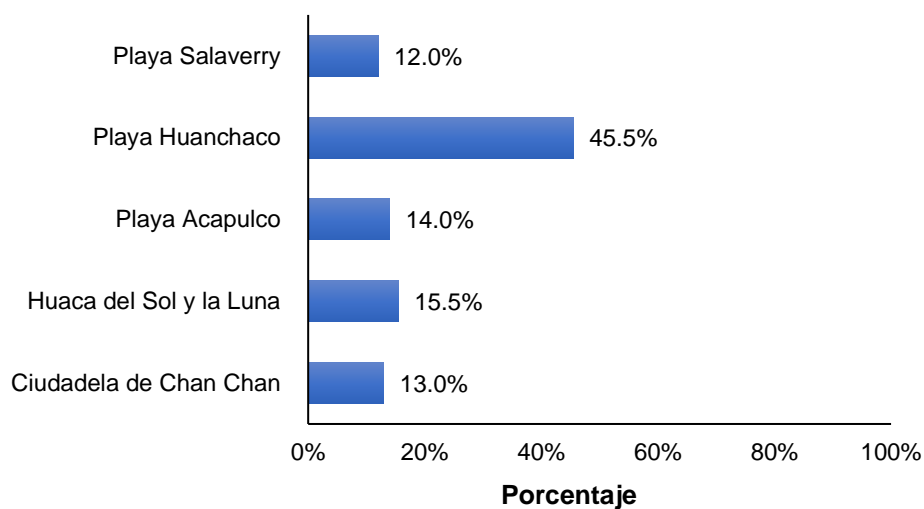


Figura 22. Lugares Turísticos mayormente recurrentes por los Trujillanos

En la Figura 22, el mayor valor es 45.5% que representa a la población que visita la Playa Huanchaco, siguiendo de forma descendiente un 15.5% que simboliza a las personas que asisten a la Huaca del Sol y La Luna, el 14% accede a la Playa Acapulco, un 13% concurre la Ciudadela de Chan Chan, y finalmente se muestra un 12% que acude a la Playa Salaverry.

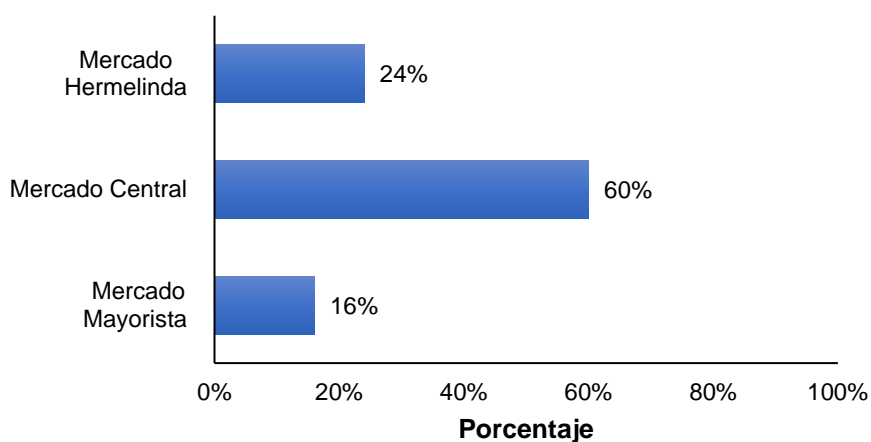


Figura 23. Mercados mayormente recorridos por los Trujillanos

En esta figura se puede verificar que primordialmente un 60% acude al Mercado Central, un 24% concurre el Mercado Hermelinda; por último, solo un 16% va al Mercado Mayorista.

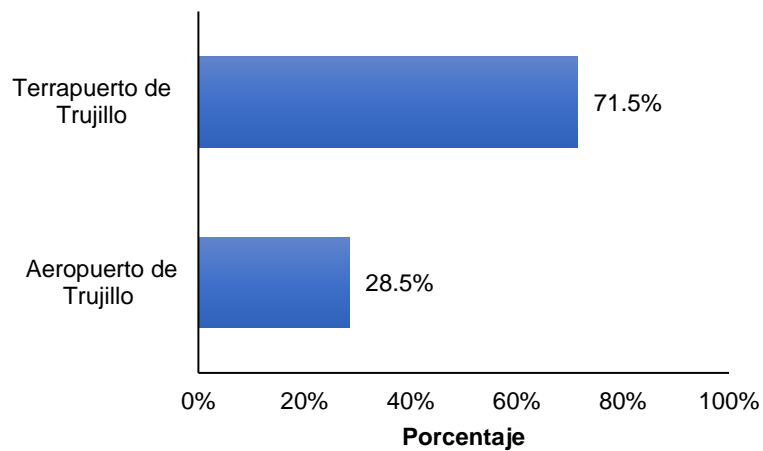


Figura 24. Transporte mayormente recurrentes por los Trujillanos

En la Figura 24, se muestra que el 71.5% aún realiza sus viajes a través del Terrapuerto de Trujillo y/o agencias, y solo un 28.5% accede al Aeropuerto de Trujillo.

A partir de los lugares cedidos como opciones en el cuestionario, se logró definir como posible alternativa una red de rutas de ciclovías mediante el software Google Earth, donde se toma como nodos los puntos con mayor recurrencia en la ciudad de Trujillo como se puede observar en la Figura 25.

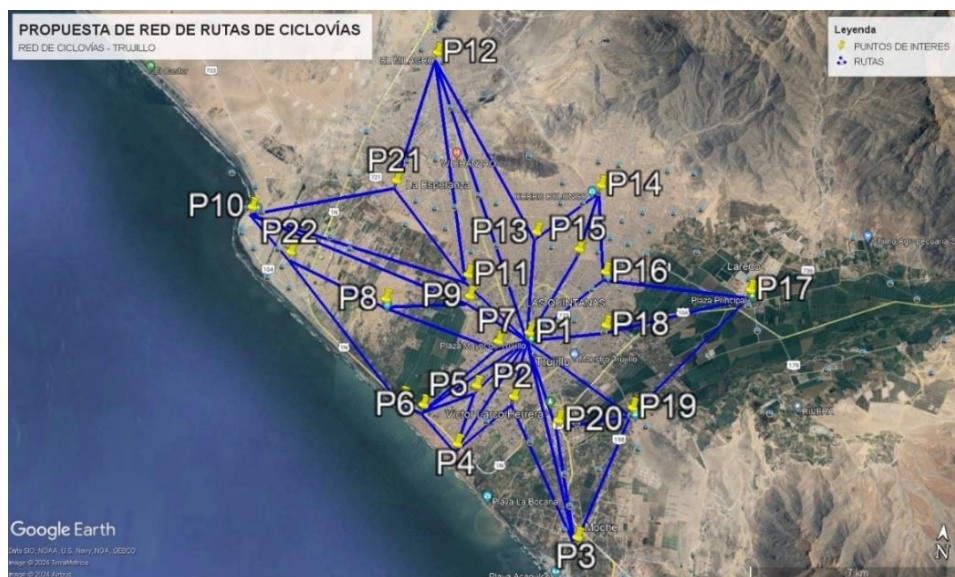


Figura 25. Propuesta de Red de Rutas de Ciclovías

De acuerdo, a los resultados obtenidos a través del cuestionario se identificó los lugares que son mayormente visitados por los Trujillanos en diversos ámbitos; Plaza de Armas de Trujillo, Playa Huanchaco, Mercado Central, UPAO, Real Plaza Trujillo y Terrapuerto de Trujillo. Al realizar el respectivo análisis de los resultados anteriores se determinaron los parámetros de la trayectoria de la ciclovía, obteniendo como resultado los siguientes lugares, la Plaza de Armas de Trujillo (P1) como punto de inicio y la Playa Huanchaco (P10) como punto final como se observa en la Figura 26. Dichos puntos se tendrán en consideración para ejecutar la optimización de rutas de ciclovías en Trujillo; puesto que, son unos de los puntos a los que más acude la población de Trujillo, y principalmente dado que existe una considerable distancia entre los dos puntos a diferencia de otros lugares como se puede visualizar en la Tabla 4.

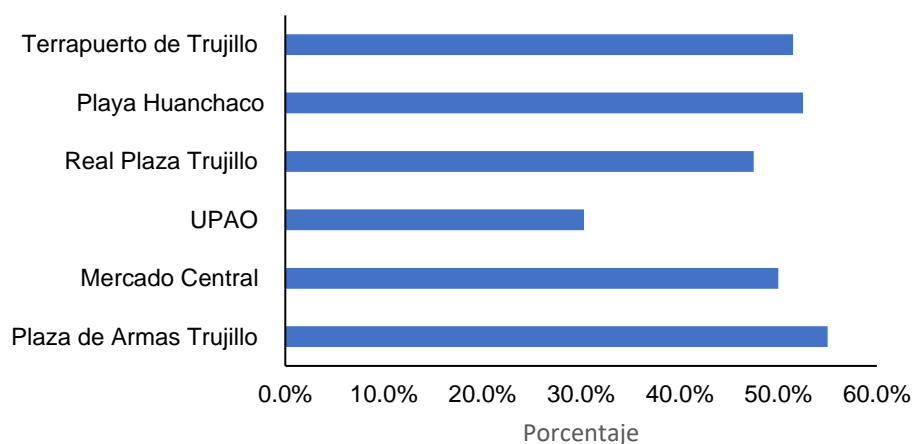


Figura 26. Lugares mayormente visitados

Tabla 4. Distancias desde el punto de inicio al punto final

PUNTO DE INICIO	PUNTO FINAL	DISTANCIA
Plaza de Armas Trujillo	Playa Huanchaco	10.82 km
	Mercado Central	0.323 km
	Universidad Privada Antenor Orrego	1.71 km
	Real Plaza Trujillo	2.25 km
	Terrapuerto de Trujillo	3.13 km

Para la programación del Algoritmo Ant Colony, se debe tener en cuenta los siguientes criterios que serán utilizados para dar solución al problema.

- k = número de hormigas
- τ_{ij} = valor del rastro de feromonas
- ρ = coeficiente de evaporación de feromonas
- α = influencia relativa en el rastro de feromonas $\alpha \in [0,1]$
- β = influencia en la información heurística $\beta > 1$

Se debe considerar que, cuan mayor sea el valor del coeficiente de evaporación “ ρ ”, será extralimitado el rastro de feromonas en cada ruta de cálculo computacional.

El precepto de probabilidad que persigue cada hormiga k para optar por una nueva solución es el siguiente:

$$P_{ij}^k = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in N_i^k} [\tau_{il}]^\alpha [\eta_{il}]^\beta}$$

Donde, P_{ij}^k indica la probabilidad que la hormiga k opte por el nodo j teniendo como punto de inicio el nodo i , en este caso se seleccionará el nodo en función al que tenga mayor probabilidad.

De acuerdo a la condición hallada en el transcurso del cálculo, cada hormiga guardará una cantidad precisa de feromona según cada iteración descubierta. Es decir, el valor de feromona depositada en cada ruta de solución obtenida se expresa de la siguiente manera:

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{1}{L_k}, & \text{si se transitó de } i \text{ a } j \\ 0, & \text{si no se transitó de } i \text{ a } j \end{cases}$$

Donde, L_k es la extensión de la ruta de solución descubierta por la hormiga.

Para obtener los hiperparámetros que serán considerados para el Algoritmo Ant Colony, se realiza como primera instancia el afinamiento de hiperparámetros mediante la metodología Bayesian Optimization, la cual permite encontrar cuales

son los parámetros adecuados para que el algoritmo explore todas las rutas. De acuerdo a, la metodología Bayesian Optimization los parámetros apropiados son los siguientes:

- $k= 100$ (número de hormigas)
- $n_iterations= 100$ (número de iteraciones)
- $\rho = 0.01$ (coeficiente de evaporación de feromonas)
- $\alpha= 1$ (influencia relativa en el rastro de feromonas)
- $\beta= 2$ (influencia en la información heurística)

Los datos que han sido considerados para determinar el tiempo que tarda una persona en movilizarse con transporte no motorizado se basa en el tiempo que se toma en recorrer 1km, conforme a las investigaciones realizadas se sostiene que una persona regular tarda en recorrer de 3 a 5 minutos 1 km con transporte no motorizado; por ende, el parámetro que será utilizado para determinar el tiempo que conlleva recorrer la ruta óptima será el promedio minutos; es decir, tiempo por km igual a 4 minutos. Asimismo, en la evaluación del tiempo influyen una cadena de factores como, la geografía del terreno, flujo de tráfico, clima, entre otros; cabe recalcar que, estos factores no han sido considerados para realizar la optimización del tiempo en las rutas.

Por otra parte, para calcular el costo optimizado de la ciclovía se ha definido los siguientes componentes; costo de material, mano de obra, costo maquinaria, costo señalización, longitud y ancho de la ciclovía, estos componentes han sido considerados en cada una de las partidas para ser aplicados posteriormente al algoritmo; asimismo, el 10% de Gastos generales y 5% de Utilidades no ha sido implementado por motivo que se aplica a todos las rutas que el algoritmo logra encontrar.

```
Def calcular_costo_ciclovía(longitud_km, ancho_m,  
                           costo_material_m2,  
                           costo_mano_obra_m2,  
                           costo_maquinaria_día,
```

```

dias_maquinaria,
costo_senalizacion_total,
area_m2 = longitud_km * 1000 * ancho_m
costo_materiales = area_m2 * costo_material_m2
costo_mano_obra = area_m2 * costo_mano_obra_m2
costo_maquinaria = costo_maquinaria_dia * dias_maquinaria
presupuesto = detalle_presupuesto(longitud_km, ancho_m,
costo_material_m2, costo_mano_obra_m2,
costo_maquinaria_dia, dias_maquinaria,
costo_senalizacion_total, varios_mano_obra_m2)

```

El presente estudio de investigación, respeta el derecho de los autores, además, de respetarse la originalidad de las fuentes de estudio y aplicar el principio de no maleficencia. Para lograrlo, es importante que se utilice correctamente la información recolectada en el banco de datos, mencionando apropiadamente a los creadores y delimitando las fuentes información en donde se encuentra lo citado, garantizando de tal manera que toda la información que sea relevante al presente proyecto de investigación sea expuesta con total veracidad, siendo este el sustento de la investigación.

III. RESULTADOS

4.1. Distancia

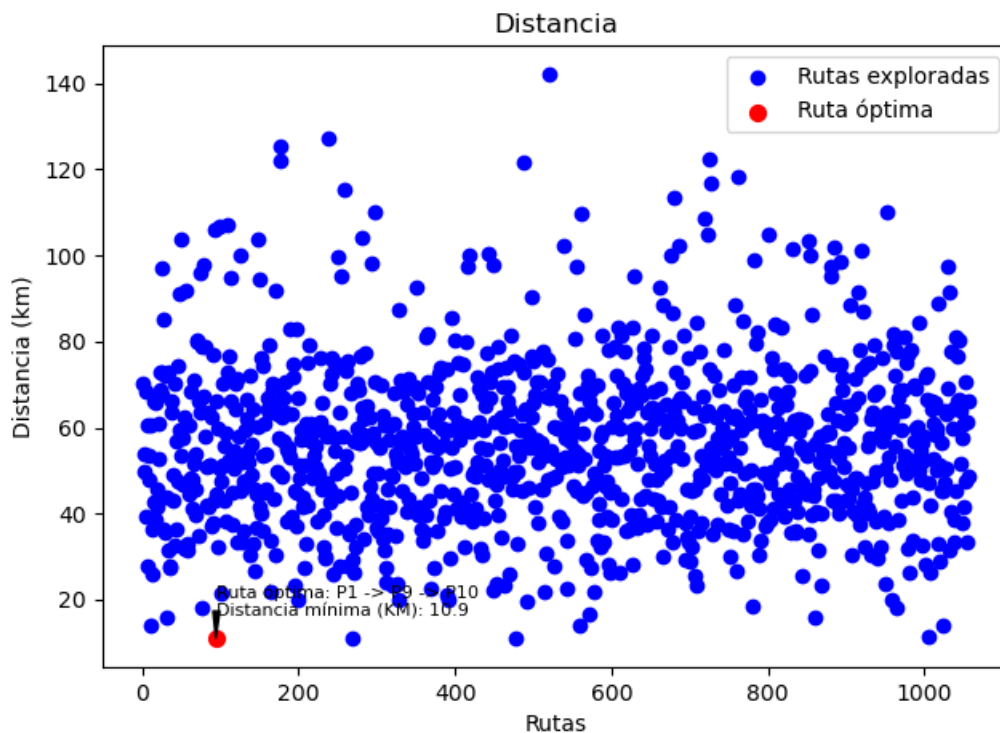


Figura 27. Distancia óptima de las rutas de ciclovías mediante el Algoritmo Ant Colony

Nota. Al ejecutar el algoritmo Ant Colony desarrollado en el lenguaje de programación Python, y empleando los hiperparámetros obtenidos mediante la metodología de tuneo Bayesian Optimization de acuerdo al grafo de rutas de ciclovías propuesto conforme a los resultados de las estadísticas de lugares más concurridos por las personas en la ciudad de Trujillo, se obtuvo como distancia óptima 10.9 km en total para la ruta que parte desde La Plaza de Armas de Trujillo (P1) a la Playa Huanchaco (P10); donde, el algoritmo indica que se debe atravesar por el Mall Plaza Trujillo (P9). Asimismo, el algoritmo logra analizar todas las rutas de ciclovías posibles de acuerdo a los parámetros (punto de partida y punto de arribo), mostrando de color azul las rutas exploradas y de color rojo la ruta óptima en base al factor distancia.

4.2. Costo

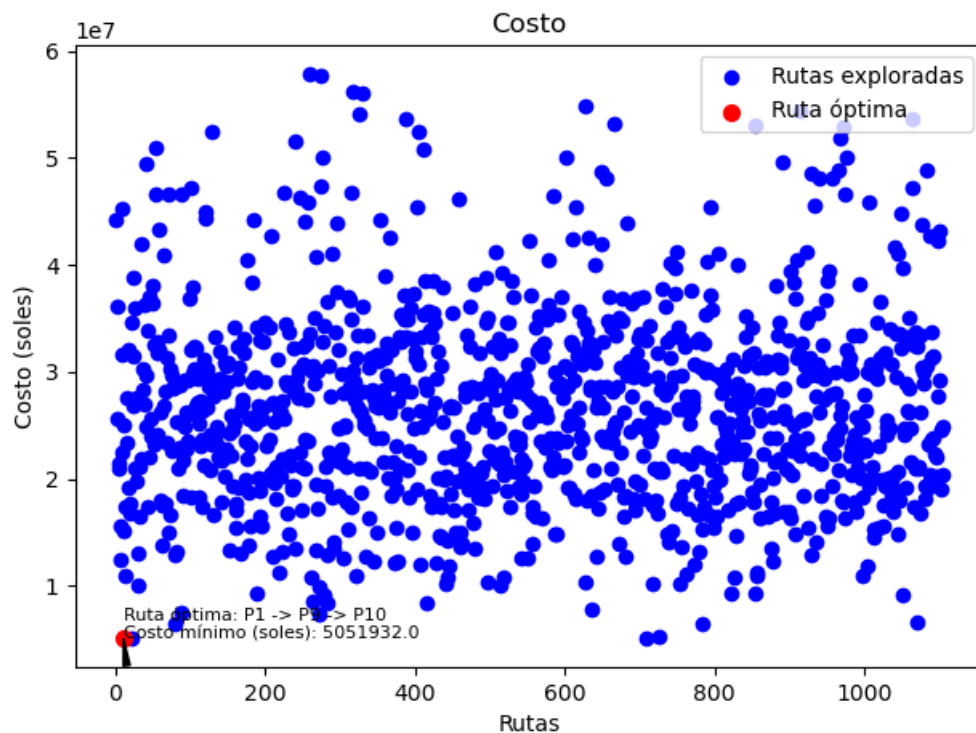


Figura 28. Costo óptimo de las rutas de ciclovías mediante el Algoritmo Ant Colony

Nota. Al ejecutar el algoritmo Ant Colony desarrollado en el lenguaje de programación Python, y empleando los parámetros del costo de ciclovía (costo de materiales, costo mano de obra, costo de maquinaria) de acuerdo al grafo de rutas de ciclovías propuesto conforme a los resultados de las estadísticas de lugares más concurridos por las personas en la ciudad de Trujillo, se obtuvo como costo óptimo una suma de S/. 5 051 932.00 para la ruta que parte desde La Plaza de Armas de Trujillo (P1) a la Playa Huanchaco (P10), atravesando por el Mall Plaza Trujillo (P9). Asimismo, el algoritmo logra analizar todas las rutas de ciclovías posibles de acuerdo a los parámetros (punto de partida y punto de arribo), mostrando de color azul las rutas exploradas y de color rojo la ruta óptima en base al factor costo que se le asigna en la programación. Además, el costo de una ruta de ciclovía puede variar según una serie de factores como, el espacio disponible, geografía del terreno, demolición y construcción de obras de arte, excavaciones, señalización, entre otros factores que no se han logrado implementar en la programación del algoritmo.

4.3. Tiempo

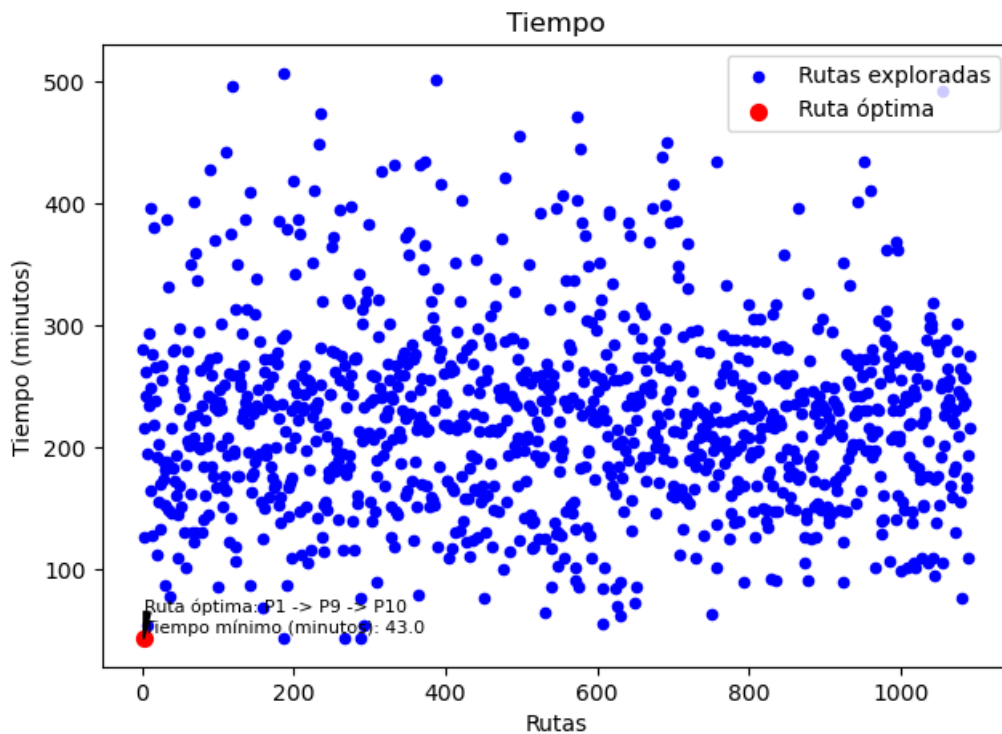


Figura 29. Tiempo óptimo de las rutas de ciclovías mediante el Algoritmo Ant Colony

Nota. Al ejecutar el algoritmo Ant Colony desarrollado en el lenguaje de programación Python, y empleando los parámetros de tiempo de recorrido con transporte no motorizado conforme a los resultados de las estadísticas de las personas en la ciudad de Trujillo, se obtuvo como tiempo óptimo 43 minutos para la ruta que parte desde La Plaza de Armas de Trujillo (P1) a la Playa Huanchaco (P10), atravesando por el Mall Plaza Trujillo (P9). Asimismo, el algoritmo logra analizar todas las rutas de ciclovías posibles de acuerdo a los parámetros (punto de partida y punto de arribo), mostrando de color azul las rutas exploradas y de color rojo la ruta óptima en base al factor tiempo que se le asigna en la programación. Asimismo, el tiempo de una ruta de ciclovía puede variar conforme a una cadena de factores como, la geografía del terreno, flujo de tráfico, clima, entre otros; cabe recalcar que, estos factores no han sido considerados en la programación del algoritmo para realizar la optimización del tiempo en las rutas.

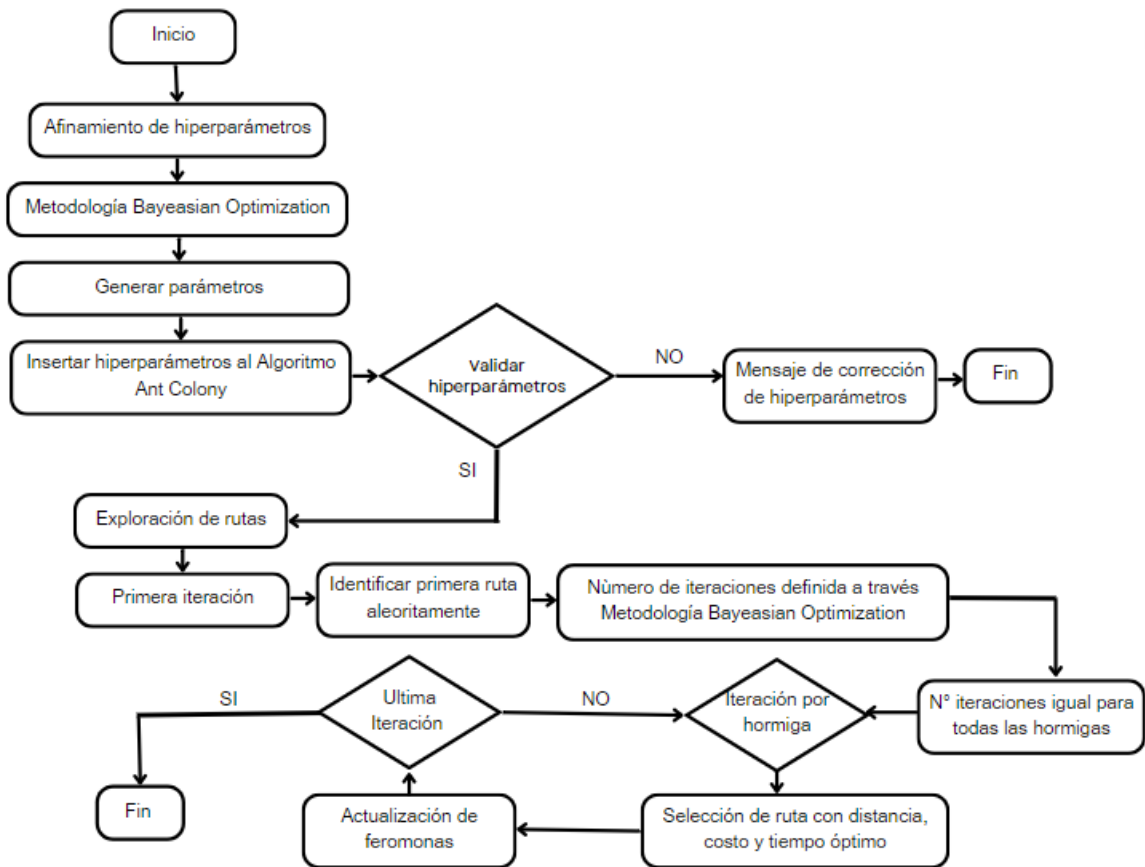


Figura 30. Flujograma operado para el Algoritmo Ant Colony con Aplicación de Librerías Python

Nota. El flujo anteriormente expuesto fue utilizado para el desarrollo de programación del algoritmo Ant Colony en el lenguaje de programación Python; de modo que, el algoritmo funcione eficazmente otorgando resultados óptimos y eficaces en un menor tiempo en base a factores como; distancia, costo y tiempo para el grafo de rutas de ciclovías propuesta en la ciudad de Trujillo.

IV. DISCUSIÓN

La optimización de las rutas de ciclovías en la ciudad de Trujillo mediante el Algoritmo Ant Colony con aplicación de Librerías Python, valida la hipótesis establecida en la presente investigación; en tal sentido, permitió disminuir la distancia de las rutas en un 7.52%, usando los hiperparámetros asignados al algoritmo (ver Figura 27), ocupando un impacto en la minoración de las distancias de 145 km a 10.9 km.

En la Figura 27 se visualiza la evolución del algoritmo Ant Colony al momento de la exploración de rutas de ciclovías posibles en base al factor distancia para la ruta de ciclovía Plaza de Armas de Trujillo (P1) a la Playa Huanchaco (P10), logrando optimizar de 145 km a 10.9 km, detallando que se debe atravesar por el Mall Plaza Trujillo (P9).

Por otra parte, en la Figura 28 se puede observar el costo óptimo para la ruta de ciclovía desde La Plaza de Armas de Trujillo (P1) a La Playa Huanchaco (P10) es una suma de S/. 5 051 932.00 para una totalidad de 10.9 km de ciclovía, teniendo en cuenta los parámetros elegidos para el costo, lo cual indica que la optimización del costo de las rutas de ciclovías mediante el Algoritmo Ant Colony logra determinar el menor costo posible, permitiendo aumentar la eficiencia al momento de evaluar los posibles costos de las rutas de ciclovías que serán definidas permanentemente para su respectiva construcción, que es lo que se busca con el Algoritmo Ant Colony. Posteriormente, en la Figura 29 se muestra como la optimización de las rutas a través del Algoritmo Ant Colony utilizando librerías Python permite reducir el tiempo estimado de las rutas, logrando determinar que el tiempo óptimo para la ruta desde La Plaza de Armas de Trujillo (P1) a Playa Huanchaco (P10) es un total de 43 minutos pasando por el Mall Plaza Trujillo (P9), logrando disminuir el tiempo en un 9.05% consiguiendo alcanzar una reducción de 475 minutos a 43 minutos.

Por otro lado, (Hugo, et al., 2015) aplicó al problema del agente viajero el algoritmo ACO, el cual se basa en visitar todos los puntos solo una vez de una cadena y volviendo al nodo de inicio, además de minimizar el recorrido de la ruta y el tiempo que recorre; para el modelamiento ACO asignó hiperparámetros que obtuvieran resultados beneficiosos llegando a encontrar la distancia más corta; por tanto, es acorde el análisis realizado en esta investigación ya que se asignó

hiperparámetros acorde a las rutas de ciclovías para realizar las respectivas iteraciones y lograr la optimización y posteriormente obtener la distancia más corta.

Asimismo, (Barcos, et al., 2002) investigó la problemática sobre las rutas más accesibles y óptimas en condiciones de economía para el transporte de paquetería en camiones de carga, para ello recurrieron a métodos heurísticos para la solución al problema. Por esta razón, aplicaron el algoritmo metaheurístico colonia de hormigas (ACO), con procesos iterativos dando como resultado la alternativa de ruta directa concluyendo que la optimización con este método es el más viable; por ende, concuerda con la presente investigación puesto que en este estudio se explora un método de optimización mediante el Algoritmo Ant Colony con aplicación de Librerías Python con el cual se logra optimizar el costo de la ruta de ciclovía y al mismo tiempo encontrar la ruta directa.

Por otra parte, (Alvarado, 2020) presenta un caso de estudio práctico que incluye el desarrollo de métodos exactos para dar solución al problema, al que responde la aplicación de un optimizador que facilita las iteraciones necesarias, con el fin de mejorar la eficacia de la distribución de productos a sus clientes. A medida que se descifra el hiperparámetro de las iteraciones necesarias para lograr una optimización eficaz, se logra disminuir las distancias, costos y tiempo de las rutas de ciclovía; que relacionado con esta investigación se determinó que con 100 iteraciones se logra obtener un costo óptimo de S/. 5 051 932.00 para 10.9 Km de distancia óptima y un tiempo óptimo de 43 minutos.

Esta investigación presenta limitaciones; debido a que, al ser un algoritmo que utiliza Librerías Python tiene características estocásticas y además solo realiza 100 iteraciones. Asimismo, es importante tener en cuenta que, en la comunidad de ingenieros civiles del Perú es poco conocido el lenguaje de programación lo que limita automatizar tareas que consuman tiempo, reducir la probabilidad de errores y uso de metodologías de optimización; por ende, se debe proseguir con la investigación de nuevas metodologías y métodos referente a la optimización de rutas y de manera que sea más asequible al público en general.

El presente trabajo de investigación se puede generalizar para rutas de ciclovías u otros fines en distintas partes del Perú siempre y cuando se tenga los datos de

acuerdo a los lugares a los que más recurre la población, el tiempo que se moviliza con transporte no motorizado, los puntos de inicio y fin para encontrar la ruta óptima, las ciclovías que se aún se encuentran existentes, entre otros datos.

Los resultados que se obtuvieron de la optimización de rutas de ciclovías con el Algoritmo Ant Colony con aplicación de Librerías Python permite la continuidad de futuras investigaciones en este rama además de dejar fundamentos en el área de optimización de rutas; asimismo, el código propuesto será un recurso para futuros programadores que logren mejorar su funcionamiento con inteligencias artificiales.

El uso del algoritmo Ant Colony en la presente investigación con aplicación de Librerías Python se hizo con el fin de minimizar distancias, tiempo y costo para otorgar una opción de metodología o método de optimización de rutas que facilite a los ingenieros encontrar las rutas más adecuadas, además, de brindar a los usuarios una alternativa eficiente que permita moverse con transporte no motorizado.

En la presente investigación se ha realizado un prototipo de ciclovía con el fin de realizar la comparación de resultados obtenidos a través del método tradicional y el método de optimización de rutas mediante el algoritmo Ant Colony con aplicación de Librerías Python; por otra parte, el levantamiento topográfico para la elaboración del prototipo de ciclovía se ha realizado mediante el software Google Earth por motivo que no ha sido considerado en el presupuesto de la presente investigación.

V. CONCLUSIONES

- La optimización de las rutas de ciclovías de la ciudad de Trujillo mediante el algoritmo Ant Colony con aplicación de Librerías Python permite determinar el costo óptimo de la ruta de ciclovía que tiene como punto de inicio La Plaza de Armas de Trujillo (P1) a La Playa de Huanchaco (P10) dando como resultado una suma de S/. 5 051 932.00 a diferencia del presupuesto elaborado con el software S10, que obtuvo un costo directo un total de S/. 5,052,183.74, por ende, la programación del algoritmo para la elaboración de costo es eficiente.
- Se determinó la distancia óptima mediante el algoritmo Ant Colony con aplicación de Librerías Python para la ruta Plaza de Armas de Trujillo (P1) a Playa de Huanchaco (P10), obteniendo una distancia óptima de 10.9 km, a diferencia de 11.010 km proyectados en la planta de diseño.
- El algoritmo Ant Colony permite encontrar diferentes recorridos posibles de rutas de ciclovías de acuerdo a las consideraciones de los puntos de interés por parte de la población de Trujillo, lo cual ha permitido construir una propuesta de red de rutas de ciclovías.
- Los hiperparámetros propuestos para generar la solución mediante el algoritmo Ant Colony fueron seleccionados a través de la metodología de tuneo Bayesian Optimization.
- Los puntos propuestos, Plaza de Armas de Trujillo (P1) y Playa de Huanchaco (P10) se determinaron de acuerdo al análisis de datos obtenidos mediante el cuestionario aplicado a la población de Trujillo.
- Mediante el algoritmo Ant Colony con aplicación de Librerías Python, se logró disminuir la distancia de las rutas en un 7.52%, usando los hiperparámetros identificados a través de la metodología Bayesian Optimization ocupando un impacto en la minoración de las distancias de 145 km a 10.9 km.
- El tiempo a través del algoritmo Ant Colony con aplicación de Librerías Python, se alcanzó a reducir en un 9.05% consiguiendo lograr una reducción de 475 minutos a 41 minutos.
- En resumen, el algoritmo Ant Colony utiliza la inicialización de los hiperparámetros para la exploración de rutas, para que posteriormente a través de las iteraciones logre seleccionar la ruta óptima de acuerdo a los factores indicados para evaluar y actualizar mediante las feromonas la solución actual.

VI. RECOMENDACIONES

- Es importante realizar un estudio de movilidad urbana, para identificar el movimiento de la población; además de, investigar nuevas tecnologías que ofrezcan posibilidades de analizar brevemente y alcanzar a comprender el flujo de movilidad de las ciudades.
- Se recomienda realizar la búsqueda de otras metodologías que permitan encontrar el costo exacto para la construcción de rutas de ciclovías, adicionalmente, evaluar la implementación de nuevos separadores de vías; de modo que, se logre evitar la invasión de las ciclovías por parte de los vehículos motorizados.
- Tener en cuenta que si se desea emplear en otra ciudad se debe efectuar de nuevo la recolección de datos para lograr su respectiva aplicación.
- Se recomienda que para una futura investigación se tenga en consideración incluir la variable flujo de tráfico; de manera que, se generen nuevos hiperparámetros que ayuden a mejorar la optimización y por ende encontrar nuevas rutas.
- Tener en cuenta que en caso se desee efectuar la construcción de la ruta de ciclovía se deberá realizar el respectivo ajuste al análisis de precios unitarios presentado; de tal modo, permitirá tener el presupuesto real debido a que en la investigación no han sido asumidos algunos factores.
- Es conveniente actualizar la base de datos de la metodología Bayesian Optimization cada vez que se agregue una nueva ruta o punto para generar nuevos parámetros; dado que, los hiperparámetros utilizados en la investigación solo son referentes y aplicables a las rutas propuestas.
- Tener en cuenta la actualización de la lista de precios de acuerdo al año en que se desee implementar la optimización de rutas mediante el algoritmo Ant Colony con aplicación de Librerías Python, esto es de suma importancia para la optimización del costo de las rutas.
- Se recomienda tener en consideración una investigación que emplee otros algoritmos de optimización para analizar si se logra encontrar nuevas rutas, menor costo y mínimo tiempo en contraste a los resultados obtenidos mediante el algoritmo Ant Colony.

REFERENCIAS

- ALVARADO, Yankarlo Tadeo. 2020. *Caso práctico de optimización de ruta para empresa de sector alimenticio por medio de un método exacto con ajustes heurísticos utilizando distancias asimétricas*. 25 de Septiembre de 2023. <https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/641225/Tesis%20YAA_Final.pdf?sequence=5&isAllowed=y>.
- ARITO, Franco Luis. 2010. *Algoritmos de Optimización basados en Colonias de Hormigas aplicados al Problema de Asignación Cuadrática y otros problemas relacionados*. 23 de Septiembre de 2023. <<http://www0.unsl.edu.ar/~dmcc/files/tesis-f.pdf>>.
- AVALOS, Johanna. 2021. *Uso del algoritmo de colonia de hormigas para optimizar rutas de entrega o transporte mediante Python*. 27 de Setiembre de 2023. <http://38.43.142.130/bitstream/handle/20.500.12672/17708/Avalos_cj.pdf?sequence=3&isAllowed=y>.
- BARCOS, Lucía, Rodríguez, Victoria y Álvarez, Jesús. 2002. *Algoritmo basado en la optimización mediante colonias de hormigas para la resolución del problema del transporte de carga desde varios orígenes a varios destinos*. 26 de Septiembre de 2023. <https://www.researchgate.net/profile/Mj-Alvarez/publication/267418426_Algoritmo_basado_en_la_optimizacion_mediante_colonias_de_hormigas_para_la_resolucion_del_problema_del_transporte_de_carga_desde_varios_origenes_a_varios_destinos/links/54b3bba70cf28ebe9>
- BARO, Ignacio Martin. 1990. *La encuesta de opinión pública como instrumento desideologizador*. 23 de Septiembre de 2023. <https://uca.edu.sv/coleccion-digital-IMB/wp-content/uploads/2015/11/1990-La-encuesta-de-opini%C3%B3n-p%C3%BAblica-como-instrumento-de-desideologizador-RP1990-9-35-9_22.pdf>.
- BRAVO, Ana Paula, y otros. 2021. *Gestión de rutas a través del uso de modelos basados en algoritmos*. 26 de Septiembre de 2023. <https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/13293/Bravo_Gestion-rutas-traves.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- BRITO Santana, Julio Antonio. 2011. *Optimización de rutas de distribución con información y restricciones difusas*. 25 de Septiembre de 2023.

<<https://www.proquest.com/openview/94e018e7c6faf580601605b8a04aedd1/1?cbl=2026366&diss=y&pq-origsite=gscholar&parentSessionId=HFvnzS2sKjaVw7zyu0eDP7UR9UjP%2FkXLRsM67CObVKY%3D>>.

CONGRESO DE LA REPÚBLICA. 2019. *Ley de Movilidad urbana sostenible en el transporte*. 20 de Septiembre de 2023. <https://www.leyes.congreso.gob.pe/Documentos/2016_2021/Proyectos_de_Ley_y_de_Resoluciones_Legislativas/PL0440520190529.pdf>.

CRUZADO, Flor Fiorela y Pizan, Erika Loidi. 2022. *Optimización de rutas de distribución para reducir costos de transporte en la empresa Inversiones Generales 15 de diciembre E.I.R.L.* 26 de Septiembre de 2023. <<https://hdl.handle.net/20.500.12759/10226>>.

DAMIANI, Lucía. 2019. *Optimización Estocástica Acelerada con Aplicación a la Ingeniería de Procesos*. 27 de Septiembre de 2023. <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/handle/123456789/4664/TesisMI_PP_Luc%C3%ADa%20Damiani.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

DE SÁNCHEZ, Margarita Amestoy. 2002. *La investigación sobre el desarrollo y la enseñanza de las habilidades de pensamiento*. 28 de Septiembre de 2023. <https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1607-40412002000100010>.

DORIGO, Marco y Stützle, Thomas . 2004. *Ant Colony Optimization* . 26 de Septiembre de 2023. <<https://web2.qatar.cmu.edu/~gdicaro/15382/additional/aco-book.pdf>>.

DORIGO, Marco y Di Caro, Gianni. 1999. *Ant Algorithms for Discrete Optimization*. 23 de Septiembre de 2023. <https://people.idsia.ch/~luca/ij_23-alife99.pdf>.

GONZALES, Raúl. 2020. *Python para todos*. 25 de Septiembre de 2023. <https://persoal.citius.usc.es/eva.cernadas/informaticaparacientificos/material/libros/Python%20para%20todos.pdf>.

GUIRAO, Daniel Aparicio. 2012. *Aplicación de los algoritmos de hormigas para la resolución de un RALBP*. 26 de Septiembre de 2023.

<<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/17206/Memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.

HIDALGO, Ana. 2020. *Optimización de rutas de distribución de bicicletas entre las estaciones de BiciMAD aplicando el algoritmo de la colonia de hormigas*. 27 de Septiembre de 2023. <<https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/117786/7/ahboixTFG0620memoria.pdf>>.

HUGO, Tito y Silva, Carlos. 2015. *Aplicación Del Algoritmo De Colonia De Hormigas Al Problema Del Agente Viajero*. 26 de Septiembre de 2023. <https://www.academia.edu/56138428/Aplicaci%C3%B3n_Del_Algoritmo_De_Colonia_De_Hormigas_Al_Problema_Del_Agente_Viajero>.

LEWIS, Ted y Marsh, Leslie. 2015. *Human stigmergy: Theoretical developments and new applications*. 25 de Septiembre de 2023. <[https://pdf.sciencedirectassets.com/272183/1-s2.0-S1389041716X00022/1-s2.0-S1389041715000315/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEOv%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEaCXVzLWVhc3QtMSJGMEQCICfjPcli0liV1yYE82jRGaA1joTj6nJsii7gRd%2FWteXIAiBI6szUTgjprA](https://pdf.sciencedirectassets.com/272183/1-s2.0-S1389041716X00022/1-s2.0-S1389041715000315/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEOv%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEaCXVzLWVhc3QtMSJGMEQCICfjPcli0liV1yYE82jRGaA1joTj6nJsii7gRd%2FWteXIAiBI6szUTgjprA)>.

LÓPEZ, Irvin. 2023. *CiclovíasPe 2023*. 12 de Abril de 2024. <https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?mid=1LmtT5d4pnkExBAk7BZkMO8_igV37uHiS&hl=en_US&ll=-12.083713876698422%2C-77.0711514683864&z=10>.

LOPEZ, Javier. 2013. *Optimización Multi-objetivo Aplicaciones a problemas del mundo real*. 25 de Septiembre de 2023. <<https://core.ac.uk/download/pdf/15784587.pdf>>.

LÓPEZ, Juan Carlos. 2009. *Algoritmos y Programación (Guía para Docentes)*. 27 de Setiembre de 2023. <<https://libros.metabiblioteca.org/server/api/core/bitstreams/a567dd25-1e96-4c0f-9b6a-7a844d0eb577/content>>.

MCCAFFREY, James. 2012. *Test Run - Ant Colony Optimization*. 25 de Septiembre de 2023. <<https://learn.microsoft.com/it-it/archive/msdn-magazine/2012/february/test-run-ant-colony-optimization>>.

- MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. 2020. *Guía de Implementación de Sistemas de Transporte Sostenible no Motorizado*. 25 de Septiembre de 2023. <<https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/1266688-guia-de-implementacion-de-sistemas-de-transporte-sostenible-no-motorizado>>.
- MIÑO, Gloria Elizabeth, y otros. 2018. *Efecto de la aplicación del algoritmo de colonia de hormigas en un servicio logístico*. 27 de Septiembre de 2023. <<https://www.3ciencias.com/articulos/articulo/efecto-de-la-aplicacion-del-algoritmo-de-colonia-de-hormigas-en-un-servicio-logistico/>>.
- MTC. 2021. *Plataforma digital única del Estado Peruano*. 24 de Septiembre de 2023. <<https://www.gob.pe/institucion/mtc/noticias/487855-municipalidad-de-trujillo-avanza-en-implementacion-de-39-48-km-de-ciclovias>>.
- MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE TRUJILLO. 2020. *Plan de Movilidad Urbana Sostenible de la ciudad de Trujillo*. 25 de Septiembre de 2023. <<https://www.munitrujillo.gob.pe/Archivosvirtual/plandet/pmus.pdf>>.
- OLIVEIRA, Julio Jose. 2012. *El Google Earth como herramienta tecnológica para el aprendizaje significativo del espacio geográfico en los estudiantes del primer grado de secundaria de la institución educativa La Inmaculada 2010*. 26 de Septiembre de 2023. <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/2433>.
- PÉREZ, Fredy de Jesus . 2016. *Utilizacion de la hoja de calculo excel en el rendimiento academico del area de matematicas en estudiantes del grado noveno, institucion educativa juvenil nuevo futuro; Medellin 2024* . 28 de Septiembre de 2023. <<https://repositorio.uwiener.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13053/734/MAESTRO-Perez%20Carmona%20Fredy%20De%20Jesus.pdf?sequence=1>>.
- PRESIDENTE DE LA REPUBLICA. 2019. *Decreto Supremo N° 012-2019-MTC*. 26 de Septiembre de 2023. <<https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/1759117-2>>.
- QUISPE, Lisve Guiliana. 2022. *Optimización de combustible en el transporte de gas licuado de petróleo en la Empresa Servicentro Perú S.R.L. utilizando el algoritmo de colonia de hormigas*. 27 de Septiembre de 2023.

<https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/20196/Quispe_ml.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

RAMOS, Andres, y otros. 2010. *Modelos Matematicos de Optimizacion* . 23 de Septiembre de 2023. <https://www.researchgate.net/profile/Andres-Ramos-12/publication/237494291_MODELOS_MATEMATICOS_DE_OPTIMIZACION/links/0deec5267a6d11132e000000/MODELOS-MATEMATICOS-DE-OPTIMIZACION.pdf>.

REYES, Julián David. 2020. *Sistema Inteligente para la Optimizacion de Rutas de Vehiculos de Transporte Basado en Sistema de Inormacion Geográfica y Metahuristicas*. 26 de Septiembre de 2023. <https://oa.upm.es/63691/1/TFM_JULIAN_DAVID_REYES_RUEDA.pdf>.

STUCCH, Luciano, y otros. 2014. *Optimización de un problema de asignación generalizada a partir de un lagoritmo de colonia de hormigas que incorpora un mecanismo de difusión*. 25 de Septiembre de 2023. <[http://srvnetappseg.up.edu.pe/siswebciup/Files/DD1402%20-%20Optimizaci%C3%B3n%20de%20un%20problema%20de%20asignaci%C3%B3n%20generalizada%20a%20partir%20de%20un%20algoritmo%20de%20colonia%20de%20hormigas%20que%20incorpora%20un%20mecanismo%20de%20difusi%C3%](http://srvnetappseg.up.edu.pe/siswebciup/Files/DD1402%20-%20Optimizaci%C3%B3n%20de%20un%20problema%20de%20asignaci%C3%B3n%20generalizada%20a%20partir%20de%20un%20algoritmo%20de%20colonia%20de%20hormigas%20que%20incorpora%20un%20mecanismo%20de%20difusi%C3%>)>.

SUÁREZ, Heriberto, Verano, Domingo y García, Arminda . 2016. *La movilidad urbana sostenible y su incidencia en el desarrollo turístico*. 24 de Septiembre de 2023. <<https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/57205/56834>>.

TITO, Hugo , y otros. 2015. *Aplicación del algoritmo de colonia de hormigas al problema del agente viajero*. 27 de Septiembre de 2023. <<http://www.revistas.unjbg.edu.pe/index.php/cyd/article/view/521/516>>.

Trujillo, Municipalidad Provincial de 2012. *Sistema de Informacion de Recursos para la Atencion de desastres - SIRAD TRUJILLO*. 20 de Abril de 2024. <<https://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/INDECI/SIRAD%20Trujillo.pdf>>.

VARGAS, Zoila Rosa . 2009. *La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica*. 26 de Septiembre de 2023. <<https://www.redalyc.org/pdf/440/44015082010.pdf>>.

VARGAS, Mauricio Raul. 2018. *Sistema híbrido basado en el algoritmo de optimización de colonias de hormigas y la heurística 2-opt (swap/move) para la distribución de estados de cuenta*. 26 de Septiembre de 2023. <<https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/3169c243-70eb-46a6-a5b5-74ae23940ea6/content>>.

VAZQUEZ, Maria Guadalupe . 2017. *Muestreo Probabilístico y No Probabilístico*. 23 de Septiembre de 2023. <<https://www.gestiopolis.com/wp-content/uploads/2017/02/muestreo-probabilistico-no-probabilistico-guadalupe.pdf>>.

ANEXOS

Anexo 1. Tabla de Operacionalización de Variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Optimización de rutas	La optimización de rutas es un proceso estratégico que utiliza métodos matemáticos y algoritmos para encontrar la combinación más eficiente y efectiva de trayectorias entre múltiples puntos de interés. La optimización de rutas no solo tiene un impacto significativo en la reducción de costos y la mejora de la eficiencia, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental y mejorar la gestión de recursos. (Brito Santana, 2011)	La optimización de rutas es un proceso que se centra en encontrar la secuencia más eficiente y efectiva para visitar varios puntos de interés o ubicaciones, minimizando o maximizando algún criterio específico.	Nodos	Feromonas	Nominal
			$P_{ij}^k = \frac{(\tau_{ij})^{\alpha} * (n_{ij})^{\beta}}{\sum_{j \in N_i^k} (\tau_{ij})^{\alpha} * (n_{ij})^{\beta}}$	$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \rho)\tau_{ij} + \sum_k \Delta\tau_{ij}^k$	
			Probabilidad	0 a 1	Intervalo
			Distancia Tiempo Costo	Km Horas Soles	Razón

Anexo 2. Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Antecedentes	Metodología
<p>Problema general: ¿Cómo es la optimización de las rutas de ciclovías en la ciudad de Trujillo mediante el algoritmo heurístico Ant Colony con aplicación de librerías Python?</p> <p>Problemas específicos: ¿Cómo es la determinación de la distancia de rutas de ciclovías en la ciudad de Trujillo mediante el algoritmo heurístico Ant Colony con aplicación de librerías Python? ¿Cómo es la determinación el costo de las rutas de ciclovías en la ciudad de Trujillo mediante el algoritmo heurístico Ant Colony con aplicación de librerías Python?</p>	<p>Objetivo general: Realizar la optimización de las rutas de ciclovías en la ciudad de Trujillo mediante el algoritmo heurístico Ant Colony con aplicación de librerías Python.</p> <p>Objetivo específico: - Determinar la distancia de rutas de ciclovías en la ciudad de Trujillo mediante el algoritmo heurístico Ant Colony con aplicación de librerías Python. - Determinar el costo de las rutas de ciclovías en la ciudad de Trujillo mediante el algoritmo heurístico Ant Colony con aplicación de librerías Python.</p>	<p>Hipótesis general: mediante el Algoritmo Heurístico Ant Colony se podría optimizar las rutas de ciclovías en la ciudad de Trujillo.</p> <p>Hipótesis específicas: - El algoritmo heurístico Ant Colony podría determinar la distancia de rutas de ciclovías en la ciudad de Trujillo. - El algoritmo heurístico Ant Colony podría determinar el costo de las rutas de ciclovías en la ciudad de Trujillo - El algoritmo heurístico Ant Colony podría determinar el tiempo</p>	<p>Antecedentes locales: - “Guías de implementación de sistemas de transporte sostenible no motorizado” (MTC, 2020)</p> <p>Antecedentes locales: - “Algoritmos y programación” (López, 2009) - “Esecuzione di test ACO (Ant Colony Optimization)” (McCaffrey, 2012)</p> <p>Antecedentes Internacionales: - “Optimización de rutas de distribución de bicicletas entre las estaciones BiciMAD aplicando el</p>	<p>Tipo y diseño de la investigación: - Tipo: Cuantitativa - Aplicada: Aplicada - Por Diseño: Experimental - Diseño de investigación: No Experimental</p> <p>Unidad de análisis: Ciclovías en la ciudad de Trujillo</p> <p>Población: la población que se describe en la presente investigación son los usuarios de las ciclovías</p> <p>Muestra: 500 personas que serán entrevistadas mediante una encuesta.</p>

<p>¿Cómo es la determinación del tiempo más óptimo de las rutas de ciclovías en la ciudad de Trujillo mediante el algoritmo heurístico Ant Colony con aplicación de librerías Python?</p>	<p>- Determinar el tiempo más óptimo de las rutas de ciclovías en la ciudad de Trujillo mediante el algoritmo heurístico Ant Colony con aplicación de librerías Python.</p>	<p>más óptimo de las rutas de ciclovías en la ciudad de Trujillo</p>	<p>algoritmo de colonias de hormigas” (Hidalgo, 2020) - “Efecto de la aplicación del algoritmo de colonia de hormigas en un servicio logístico” (Miño, et al., 2018)</p>	<p>Técnica e instrumento de recolección de datos: Técnicas: un cuestionario de 10 preguntas, la observación y el análisis de los datos para la fijación de rutas.</p>
---	---	--	--	---

Anexo 3. Instrumento de recolección de datos



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Optimización de las rutas de ciclovías en la ciudad de Trujillo mediante el algoritmo heurístico Ant Colony con aplicación de Librerías Python

Cuestionario dirigido a la población en general, con el propósito de obtener información representativa, confiable y relevante sobre el uso de transporte no motorizado en la ciudad de Trujillo.

Indicaciones: Lea cuidadosamente cada pregunta y marque con una aspa (X) la respuesta(s) que considere correcta.

Sexo F ____ M ____ Edad ____

1. ¿Cuál es el distrito donde usted habita?
 - a. Trujillo
 - b. El Porvenir
 - c. La Esperanza
 - d. Huanchaco
 - e. Víctor Larco
 - k. Poroto
 - f. Florencia de Mora
 - g. Laredo
 - h. Moche
 - i. Salaverry
 - j. Simbal
2. ¿Cuál es el distrito de destino al que usted recurre con mayor frecuencia?
 - a. Trujillo
 - b. El Porvenir
 - c. La Esperanza
 - d. Huanchaco
 - e. Víctor Larco
 - k. Poroto
 - f. Florencia de Mora
 - g. Laredo
 - h. Moche
 - i. Salaverry
 - j. Simbal
3. ¿Por qué razón usted recurre con mayor frecuencia el distrito anterior?
 - a. Trabajo
 - b. Estudios
 - c. Salud
 - d. Recreación

4. ¿Cuáles son los lugares que acude o visita con mayor frecuencia, respecto a Plazas o Jardines?
- Plaza de Armas Trujillo
 - Plaza de Armas Moche
 - Parque de la Juventud la Poza
 - Plaza de Armas Huanchaco
 - Plaza de Armas el Milagro
 - Plaza Cívica Alto Trujillo
 - Jardines de la Paz
 - Plaza Principal Laredo
5. ¿Cuáles son los lugares que acude o visita con mayor frecuencia, respecto a Centros Comerciales?
- Real Plaza Trujillo
 - Mall Plaza Trujillo
 - Plaza Vea Chacarero
 - Metro Ovalo Papal
 - Open Plaza
6. ¿Cuáles son los lugares que acude o visita con mayor frecuencia, respecto a Instituciones Educativas?
- UCV
 - UNT
 - UPN
 - UPAO
 - UCT
7. ¿Cuáles son los lugares que acude o visita con mayor frecuencia, respecto a lugares Turísticos?
- Ciudadela de Chan Chan
 - Playa Acapulco
 - Huaca del Sol y La Luna
 - Playa Huanchaco
 - Playa Salaverry

8. ¿Cuáles son los lugares que acude o visita con mayor frecuencia, respecto a Mercados?
- Mercado Central
 - Mercado Mayorista
 - Mercado Hermelinda
9. ¿Cuáles son los lugares que acude o visita con mayor frecuencia, respecto a Espacios de Transporte?
- Terrapuerto de Trujillo
 - Aeropuerto de Trujillo
10. ¿Con qué transporte se moviliza usted principalmente para ir a su centro de trabajo, estudios, salud o fines recreativos?
- Transporte motorizado
 - Transporte no motorizado
11. ¿Cuánto tiempo demora usted en trasladarse al Centro Histórico?
- 5 min
 - 10 min
 - 20 min
 - 30 min
 - 45 min
 - Mayor tiempo
12. ¿Principalmente con qué transporte se moviliza usted para acceder al Centro Histórico?
- Transporte Motorizado
 - Transporte no Motorizado
13. ¿En su hogar usted cuenta con vehículos motorizados?
- Si
 - No
14. ¿En su hogar usted cuenta con vehículos no motorizados?
- Si
 - No
15. ¿Principalmente con qué fin usted hace uso del transporte no motorizado para moverse?
- Trabajo

Anexo 4. Fichas de validación de instrumentos para la recolección de datos



MATRIZ DE EVALUACIÓN DE EXPERTOS

Título de la investigación	Optimización de las rutas de ciclovías en la ciudad de Trujillo mediante el algoritmo heurístico Ant Colony con aplicación de Librerías Python
Línea de investigación	Infraestructura vial
Instrumento de evaluación	Cuestionario

ASPECTOS DE VALIDACIÓN

Muy deficiente (1) Deficiente (2) Aceptable (3) Buena (4) Excelente (5)

INDICADORES	CRITERIOS	1	2	3	4	5
CLARIDAD	Está formulado con lenguaje apropiado.					X
OBJETIVIDAD	Esta expresado en conductas observables.				X	
ACTUALIDAD	El instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento, científico y tecnológico.				X	
ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.				X	
SUFICIENCIA	Los ítems del instrumento comprende con suficientes aspectos en cantidad y claridad.				X	
INTENCIONALIDAD	Es coherente con el tipo de investigación.				X	
CONSISTENCIA	La información que se recoja a través del instrumento, permitirá analizar, describir y explicar la realidad, motivo de la investigación.				X	
COHERENCIA	Expresa relación con los indicadores de cada dimensión de la variable. Rutas de ciclovías					X
METODOLOGIA	La relación entre la técnica y el instrumento propuesto responden al propósito de la investigación					X

SUGERENCIAS:

de ser necesario transitar en las calles, es momento de apostar por la movilidad no motorizada. Hay que caminar distancias cortas. Para distancias medias, es preferible usar transportes que nos permitan tomar nuestras propias precauciones, como patineta o bicicleta.

Samy Jhonathan Azañero Delgado
DNI: 47123245
Ing. Civil – CIP.217430

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE EXPERTOS

Título de la investigación	Optimización de las rutas de ciclovías en la ciudad de Trujillo mediante el algoritmo heurístico Ant Colony con aplicación de Librerías Python
Línea de investigación	Infraestructura vial
Instrumento de evaluación	Cuestionario

ASPECTOS DE VALIDACIÓN

Muy deficiente (1) Deficiente (2) Aceptable (3) Buena (4) Excelente (5)


INDICADORES	CRITERIOS	1	2	3	4	5
CLARIDAD	Está formulado con lenguaje apropiado.					x
OBJETIVIDAD	Esta expresado en conductas observables.					x
ACTUALIDAD	El instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento, científico y tecnológico.					x
ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.					x
SUFICIENCIA	Los ítems del instrumento comprende con suficientes aspectos en cantidad y claridad.					x
INTENCIONALIDAD	Es coherente con el tipo de investigación.					x
CONSISTENCIA	La información que se recoja a través del instrumento, permitirá analizar, describir y explicar la realidad, motivo de la investigación.					x
COHERENCIA	Expresa relación con los indicadores de cada dimensión de la variable. Rutas de ciclovías					x
METODOLOGIA	La relación entre la técnica y el instrumento propuesto responden al propósito de la investigación					x

SUGERENCIAS

Nombre completo: ROBERTO C. SALAZAR ALCALDE

DNI: 41463122

Especialidad y Grado: ING. CIVIL - MAESTRO


 Roberto C. Salazar Alcalde
 ING. CIVIL
 R. CIP: 101231

Firma del experto

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE EXPERTOS

Título de la investigación	Optimización de las rutas de ciclovías en la ciudad de Trujillo mediante el algoritmo heurístico Ant Colony con aplicación de Librerías Python
Línea de investigación	Infraestructura vial
Instrumento de evaluación	Cuestionario

ASPECTOS DE VALIDACIÓN
Muy deficiente (1) Deficiente (2) Aceptable (3) Buena (4) Excelente (5)

INDICADORES	CRITERIOS	1	2	3	4	5
CLARIDAD	Está formulado con lenguaje apropiado.				X	
OBJETIVIDAD	Esta expresado en conductas observables.				X	
ACTUALIDAD	El instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento, científico y tecnológico.			X		
ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.				X	
SUFICIENCIA	Los items del instrumento comprende con suficientes aspectos en cantidad y claridad.			X		
INTENCIONALIDAD	Es coherente con el tipo de investigación.					X
CONSISTENCIA	La información que se recoja a través del instrumento, permitirá analizar, describir y explicar la realidad, motivo de la investigación.					X
COHERENCIA	Expresa relación con los indicadores de cada dimensión de la variable. Rutas de ciclovías				X	
METODOLOGIA	La relación entre la técnica y el instrumento propuesto responden al propósito de la investigación				X	

SUGERENCIAS

Nombre completo: *Lilbeth Paredes*
DNI: *73311169*
Especialidad y Grado: *Ingeniería Civil
Colegiada.*


**LILBETH JOSELYN
PAREDES BOCANEGRA
Firma del Experto
CIP N° 303695**

Anexo 5. Programación del Algoritmo Ant Colony en Librerías Python

```
import numpy as np
import networkx as nx

class MaxMinAntColony:
    def __init__(self, graph, n_ants=50, n_iterations=1000, alpha=1, beta=2, rho=0.02, q0=0.5, tau_min=0.01, tau_max=10):
        self.graph = graph
        self.n_ants = n_ants # Número de hormigas
        self.n_iterations = n_iterations # Número de iteraciones
        self.alpha = alpha
        self.beta = beta
        self.rho = rho # Tasa de evaporación
        self.q0 = q0 # Probabilidad de explotación
        self.tau_min = tau_min # Nivel mínimo de feromonas
        self.tau_max = tau_max # Nivel máximo de feromonas

        self.num_nodes = len(graph.nodes)
        self.reset_pheromones()

    def reset_pheromones(self):
        self.pheromone = np.ones((self.num_nodes, self.num_nodes)) * self.tau_max

    def run(self, source, destination):
        all_time_shortest_path = None
        all_time_shortest_length = np.inf
        all_ant_paths = [] # List to store paths of each ant
```

```
        for i in range(self.n_iterations):
            #print("\nIteration", i+1)
            iteration_paths = [] # List to store paths of ants in this iteration
            for ant in range(self.n_ants):
                #print("\nAnt", ant+1)
                ant_path, ant_length = self.gen_path(source, destination)
                iteration_paths.append((ant_path, ant_length)) # Save the path and its length
                if ant_length < all_time_shortest_length:
                    all_time_shortest_path = ant_path
                    all_time_shortest_length = ant_length
                self.update_pheromones(ant_path, ant_length)
                #print("Path:", ant_path)
            all_ant_paths.append(iteration_paths) # Save the paths of ants in this iteration
            #print("Pheromones:\n", self.pheromone)

        return all_time_shortest_path, all_time_shortest_length, all_ant_paths

    def update_pheromones(self, path, length):
        # Evaporation
        self.pheromone *= (1 - self.rho)

        # Deposit pheromone on the path
        for i in range(len(path) - 1):
            node1, node2 = path[i], path[i+1]
            self.pheromone[node1, node2] += 1.0 / length

        # Ensure pheromone limits
        self.pheromone = np.clip(self.pheromone, self.tau_min, self.tau_max)
```

```

def exploit(self, current, destination, unvisited):
    pheromone_values = [self.pheromone[current][neighbor] for neighbor in unvisited]
    probabilities = np.array([(pheromone ** self.alpha) * ((1.0 / self.graph[current][neighbor]['cost']) ** self.beta) for pheromone, neighbor in zip(
    probabilities /= np.sum(probabilities)
    return unvisited[np.argmax(probabilities)]

def explore(self, current, unvisited):
    if len(unvisited) == 0:
        return None
    return np.random.choice(unvisited)

def get_path_length(self, path):
    length = 0
    for i in range(len(path) - 1):
        node1, node2 = path[i], path[i+1]
        length += self.graph[node1][node2]['cost']
    return length

class App(ctk.CTk):
    def __init__(self):
        super().__init__()
        self.title("Ruta Óptima")
        # self.geometry("1200x700")
        # self.geometry(f"{1200}x{450}")
        # self.geometry(f"{800}x{400}")
        self.geometry(f"{1150}x{570}")

        style = ttk.Style()
        style.configure("Treeview.Heading", font=(None, 16))
        style.configure("Treeview", font=(None, 16))

```

```

# Crear dos marcos para las dos columnas
self.frame_left = ctk.CTkFrame(self, width=100)
self.frame_right = ctk.CTkFrame(self, width=100)
self.frame_left.grid(row=0, column=0, padx=10, pady=6, sticky="nsew")
self.frame_right.grid(row=0, column=1, padx=10, pady=6, sticky="nsew")

# Primera columna

#Primera fila
self.label_file = ctk.CTkLabel(self.frame_left, text="Importar Excel")
self.label_file.grid(row=0, column=0, padx=10, pady=6)

self.button_load = ctk.CTkButton(self.frame_left, text="Cargar datos ...", command=self.load_data)
self.button_load.grid(row=0, column=1, padx=10, pady=6)

#Segunda fila
self.label_ruta = ctk.CTkLabel(self.frame_left, text="Nº Ruta")
self.label_ruta.grid(row=1, column=0, padx=10, pady=6)
self.entry_ruta = ctk.CTkEntry(self.frame_left)
self.entry_ruta.insert(0, str(1))
self.entry_ruta.grid(row=1, column=1, padx=10, pady=6)

self.label_inicio = ctk.CTkLabel(self.frame_left, text="Camino Inicio")
self.label_inicio.grid(row=1, column=2, padx=10, pady=6)
self.entry_inicio = ctk.CTkEntry(self.frame_left)
self.entry_inicio.grid(row=1, column=3, padx=10, pady=6)

self.label_final = ctk.CTkLabel(self.frame_left, text="Camino Final")
self.label_final.grid(row=1, column=4, padx=10, pady=6)
self.entry_final = ctk.CTkEntry(self.frame_left)
self.entry_final.grid(row=1, column=5, padx=10, pady=6)

```

```

#tercera fila
self.label_distancia = ctk.CTkLabel(self.frame_left, text="Distancia (KM)")
self.label_distancia.grid(row=2, column=0, padx=10, pady=6)
self.entry_distancia = ctk.CTkEntry(self.frame_left)
self.entry_distancia.grid(row=2, column=1, padx=10, pady=6)

self.label_tiempo = ctk.CTkLabel(self.frame_left, text="Tiempo (Min)")
self.label_tiempo.grid(row=2, column=2, padx=10, pady=6)
self.entry_tiempo = ctk.CTkEntry(self.frame_left)
self.entry_tiempo.grid(row=2, column=3, padx=10, pady=6)

self.label_costo = ctk.CTkLabel(self.frame_left, text="Costo (Soles)")
self.label_costo.grid(row=2, column=4, padx=10, pady=6)
self.entry_costo = ctk.CTkEntry(self.frame_left)
self.entry_costo.grid(row=2, column=5, padx=10, pady=6)

# cuarta fila
self.button_add = ctk.CTkButton(self.frame_left, text="Registrar nueva ruta", command=self.add_route)
self.button_add.grid(row=3, column=0, columnspan=6, padx=10, pady=6)

# quinta fila
self.table = ttk.Treeview(self.frame_left)
self.tree_scroll_y = ttk.Scrollbar(self.frame_left, orient="vertical")
self.table.configure(yscrollcommand=self.tree_scroll_y.set)
self.tree_scroll_y.configure(command=self.table.yview)

self.table["columns"] = ("1", "2", "3", "4", "5", "6")
self.table.column("1", width=30, anchor="center")
self.table.column("2", width=30, anchor="center")
self.table.column("3", width=30, anchor="center")
self.table.column("4", width=30, anchor="center")
self.table.column("5", width=30, anchor="center")
self.table.column("6", width=30, anchor="center")
self.table.heading("1", text="N° Ruta")
self.table.heading("2", text="Camino Inicio")
self.table.heading("3", text="Camino Final")
self.table.heading("4", text="Distancia (KM)")
self.table.heading("5", text="Tiempo (Min)")
self.table.heading("6", text="Costo (Soles)")
self.table.grid(row=4, column=0, columnspan=6, padx=10, pady=6, sticky="nsew")
self.table["show"] = "headings"

self.tree_scroll_y.grid(row=4, column=6, sticky="ns", padx=(0, 2))

# octava fila
self.label_file = ctk.CTkLabel(self.frame_left, text="Ruta Inicio")
self.label_file.grid(row=7, column=0, padx=10, pady=6)
self.optionmenu_1 = ctk.CTkOptionMenu(master=self.frame_left, values=[])
self.optionmenu_1.grid(row=7, column=1, padx=10, pady=6)
self.label_file = ctk.CTkLabel(self.frame_left, text="Ruta destino")
self.label_file.grid(row=7, column=2, padx=10, pady=6)
self.optionmenu_2 = ctk.CTkOptionMenu(master=self.frame_left, values=[])
self.optionmenu_2.grid(row=7, column=3, padx=10, pady=6)

self.button_run = ctk.CTkButton(self.frame_left, text="Generar algoritmo", command=self.run_algorithm, state="disabled")
self.button_run.grid(row=7, column=4, columnspan=2, padx=10, pady=6)

```

```

# novena fila
self.textbox = ctk.CTkTextbox(self.frame_left, height=100)
self.textbox.configure(font=("Arial", 16))
self.textbox.grid(row=8, column=0, colspan=6, padx=10, pady=6, sticky="nsew")

# Segunda columna
self.frame_right.grid_rowconfigure(0, weight=1)
self.frame_right.grid_columnconfigure(0, weight=1)

self.tabview = ctk.CTkTabview(self.frame_right,width=600)
self.tabview.grid(row=0, column=0, sticky="nsew")
self.tabview.add("Distancia")
self.tabview.add("Costo")
self.tabview.add("Tiempo")

self.data = []

# ... (métodos) ...
def get_unique_routes(self):
    routes = []
    for row in self.table.get_children():
        route_start = str(self.table.item(row)['values'][1])
        route_end = str(self.table.item(row)['values'][2])
        if route_start not in routes:
            routes.append(route_start)
        if route_end not in routes:
            routes.append(route_end)
    return sorted(routes)

```

```

def load_data(self):
    # file_path = self.entry_file.get()
    file_path = filedialog.askopenfilename(title="Abrir fichero Excel")
    if file_path != "":
        resultado = messagebox.askquestion("Importando", "¿Seguro que quieres importar " + file_path + " ?")
        if resultado == "yes":
            try:
                wb = xls.open_workbook(file_path)
                sheet = wb.sheet_by_index(0)

                # Clean table
                self.table.delete(*self.table.get_children())

                # Loop
                for row in range(2, sheet.nrows, 1):
                    ruta = str(int(sheet.cell_value(row, 0)))
                    inicio = sheet.cell_value(row, 1)
                    final = sheet.cell_value(row, 2)
                    distancia = float(sheet.cell_value(row, 3))
                    tiempo = float(int(sheet.cell_value(row, 4)))
                    costo = round(float(sheet.cell_value(row, 5)),2)
                    self.table.insert("", "end", values=(ruta, inicio, final, distancia, tiempo, costo))

                # Print the Loaded data
                #print("Loaded data from Excel:")
                for row in self.table.get_children():
                    ruta, inicio, final, distancia, tiempo, costo = self.table.item(row)['values']
                    print(ruta, inicio, final, distancia, tiempo, costo)

```

```

        self.entry_ruta.delete(0, "end")
        self.entry_ruta.insert(0, str(int(ruta)+1))
    except Exception as e:
        print(f"Error al cargar los datos: {e}")

    if self.table.get_children():
        self.button_run.configure(state="normal")
    else:
        self.button_run.configure(state="disabled")
if self.table.get_children():
    self.button_run.configure(state="normal")
    self.update_route_options()

def add_route(self):
    ruta = self.entry_ruta.get()
    inicio = self.entry_inicio.get()
    final = self.entry_final.get()
    distancia = self.entry_distancia.get()
    tiempo = self.entry_tiempo.get()
    costo = self.entry_costo.get()

    self.table.insert("", "end", values=(ruta, inicio, final, distancia, tiempo, costo))
    self.entry_ruta.delete(0, "end")
    self.entry_inicio.delete(0, "end")
    self.entry_final.delete(0, "end")
    self.entry_distancia.delete(0, "end")
    self.entry_tiempo.delete(0, "end")
    self.entry_costo.delete(0, "end")

```

```

self.entry_ruta.insert(0, str(int(ruta)+1))

if self.table.get_children():
    self.button_run.configure(state="normal")
    self.update_route_options()

def update_route_options(self):
    routes = self.get_unique_routes()
    self.optionmenu_1.configure(values=routes)
    self.optionmenu_2.configure(values=routes)

def run_algorithm(self):
    self.textbox.delete("0.0", "end")
    self.data = []

    graph1 = nx.Graph()
    graph2 = nx.Graph()
    graph3 = nx.Graph()

    for row in self.table.get_children():
        ruta, inicio, final, distancia, tiempo, costo = self.table.item(row)['values']
        self.data.append((ruta, inicio, final, float(distancia), float(tiempo), float(costo)))

    for row in self.data:
        ruta, inicio, final, distancia, tiempo, costo = row
        graph1.add_edge(inicio, final, cost=distancia)
        graph2.add_edge(inicio, final, cost=costo)
        graph3.add_edge(inicio, final, cost=tiempo)

```

```

graph1_int_nodes = nx.convert_node_labels_to_integers(graph1)
mapping1 = {node: i for i, node in enumerate(graph1.nodes())}
graph1_int_nodes = nx.relabel_nodes(graph1, mapping1)
original_to_integer_mapping1 = {v: k for k, v in mapping1.items()}

n_ants = 100
n_iterations = 100
alpha = 1
beta = 2
rho = 0.02
q0 = 0.5
tau_min = 0.01
tau_max = 10

mmas = MaxMinAntColony(graph1_int_nodes, n_ants=n_ants, n_iterations=n_iterations, alpha=alpha, beta=beta, rho=rho, q0=q0, tau_min=tau_min, tau_m

source = int([key for key, value in original_to_integer_mapping1.items() if value == self.optionmenu_1.get()][0])
destination = int([key for key, value in original_to_integer_mapping1.items() if value == self.optionmenu_2.get()][0])

shortest_path, shortest_length, all_ant_paths = mmas.run(source, destination)
self.textbox.insert("end", "Ruta menor distancia:" + "\n")
self.textbox.insert("end", str(shortest_path) + "\n")
self.textbox.insert("end", "\nMenor distancia:" + "\n")
self.textbox.insert("end", str(shortest_length) + "\n")

# Remove old graphs before creating new ones
for tab in self.tabview.wininfo_children():
    for child in tab.wininfo_children():
        child.forget()

```

```

selected_rutas = all_ant_paths[0]
rutas = [item[0] for item in selected_rutas]
rutas_concatenadas = [' -> '.join(map(str, sublist)) for sublist in rutas]
distancias = [item[1] for item in selected_rutas]

grouped_values = defaultdict(list)
for group, value in zip(rutas_concatenadas, distancias):
    grouped_values[group].append(value)

# Calculate the average for each group
group_averages = {group: sum(values) / len(values) for group, values in grouped_values.items()}
labels = list(group_averages.keys())
index_labels = {index: key for index, key in enumerate(group_averages)}
labels_f = list(index_labels.keys())
values = list(group_averages.values())

value_to_find = ' -> '.join(map(str, shortest_path))
# Find item by value
found_item = None
for key, value in index_labels.items():
    if value == value_to_find:
        found_item = (key)
        break
repeated_found_item = [found_item for _ in range(len(labels_f))]
repeated_shortest_length = [shortest_length for _ in range(len(labels_f))]

```

```

fig_dist, ax_dist = plt.subplots()
puntos1_dist = ax_dist.scatter(labels_f, values, s=50, c='b', marker="o", label='Rutas Encontradas')
puntos2_dist = ax_dist.scatter(repeated_found_item,repeated_shortest_length, s=50, c='r', marker="o", label='Ruta Óptima')
ax_dist.set_xlabel('Rutas')
ax_dist.set_ylabel('Distancia (KM)')
ax_dist.set_title('Distancia')
ax_dist.legend()
plt.subplots_adjust(bottom=0.2)
canvas_dist = FigureCanvasTkAgg(fig_dist, master=self.tabview.tab('Distancia'))
canvas_dist.draw()
canvas_dist.get_tk_widget().pack(side='top', fill='both', expand=1)

plt.close(fig_dist) # Close the plot to prevent memory leaks
#self.tabview.select('Distancia') # Select the Distance tab

```

Ruta Óptima

Importar Excel

N° Ruta Camino Inicio Camino Final

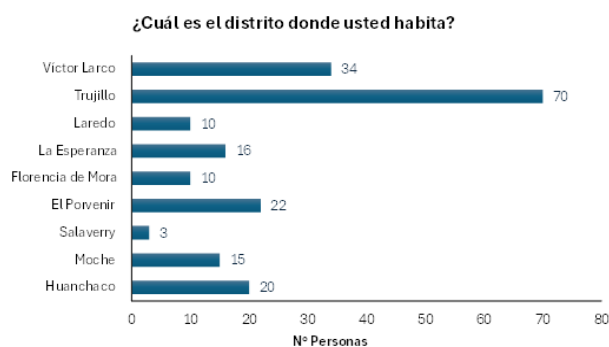
Distancia (KM) Tiempo (Min) Costo (Soles)

N° Ruta	Camino Inicio	Camino Final	Distancia (KM)	Tiempo (Min)	Costo (Soles)
5	P4	P1	50.0	200.0	9105662.0
6	P4	P5	2.1	8.0	382437.8
7	P5	P1	2.6	10.0	473494.42
8	P5	P6	2.0	8.0	364226.48
9	P6	P1	4.4	17.0	801298.26
10	P6	P7	3.4	13.0	619185.02
11	P7	P1	1.1	4.0	200324.56
12	P7	P8	4.2	16.0	764875.61
13	P8	P9	3.0	12.0	546339.72
14	P9	P1	2.5	10.0	455283.1

Ruta Inicio Ruta destino

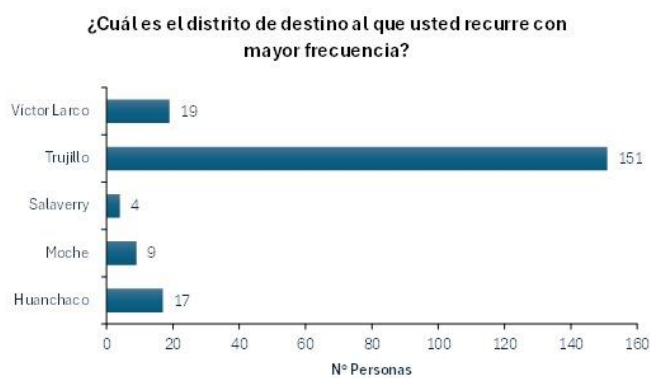
Anexo 6. Resultados del instrumento de recolección de datos (cuestionario)

DISTRITOS	Cuenta de P1
Huanchaco	20
Moche	15
Salaverry	3
El Porvenir	22
Florencia de Mora	10
La Esperanza	16
Laredo	10
Trujillo	70
Victor Larco	34



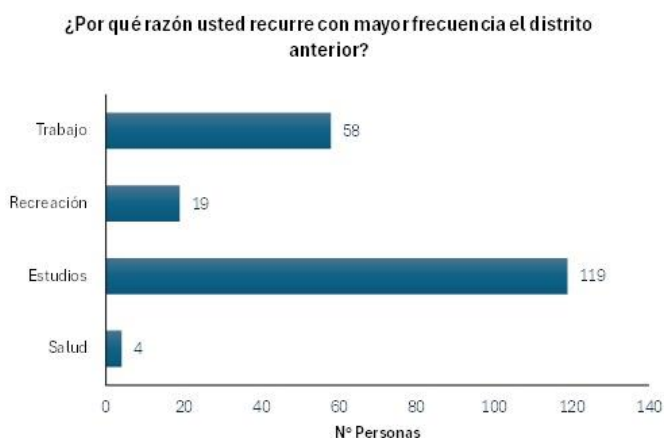
En la pregunta 1, respondieron un total de 200 personas

DISTRITOS	Cuenta de P2
Huanchaco	17
Moche	9
Salaverry	4
Trujillo	151
Victor Larco	19
Total general	200



En la pregunta 2, respondieron un total de 200 personas

MOTIVOS	Cuenta de P3
Salud	4
Estudios	119
Recreación	19
Trabajo	58
Total general	200



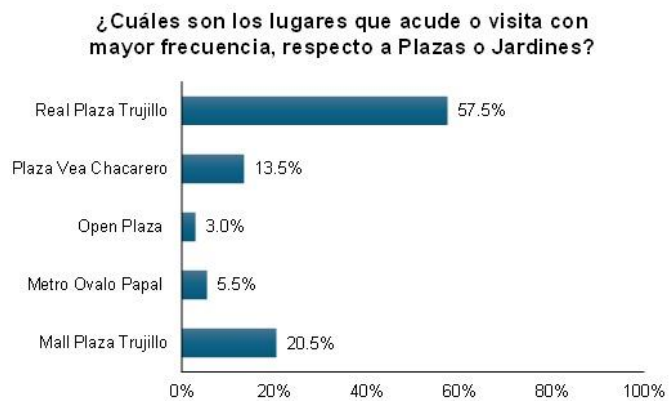
En la pregunta 3, respondieron un total de 200 personas

PLAZAS O JARDINES	Cuenta de P4
Jardines de la Paz	1.5%
Plaza Cívica Alto Trujillo	1.5%
Plaza de Armas Huanchaco	16.0%
Plaza de Armas Moche	17.5%
Plaza de Armas Trujillo	55.0%
Parque de la Juventud la Poza	0.5%
Plaza de Armas el Milagro	4.0%
Plaza Principal Laredo	4.0%
Total general	100.0%



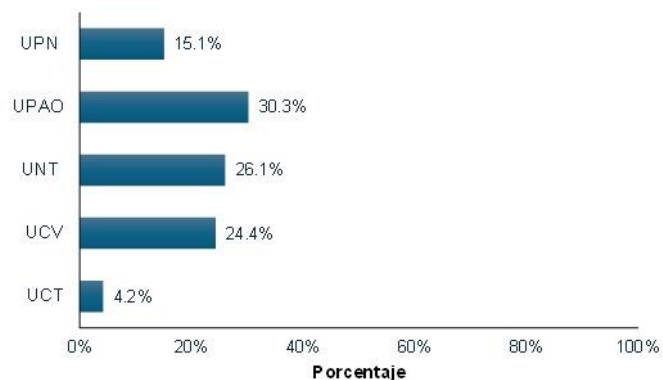
En la pregunta 4, respondieron un total de 200 personas

CENTROS COMERCIALES	Cuenta de P5
Mall Plaza Trujillo	20.5%
Metro Ovalo Papal	5.5%
Open Plaza	3.0%
Plaza Vea Chacarero	13.5%
Real Plaza Trujillo	57.5%
Total general	100.0%



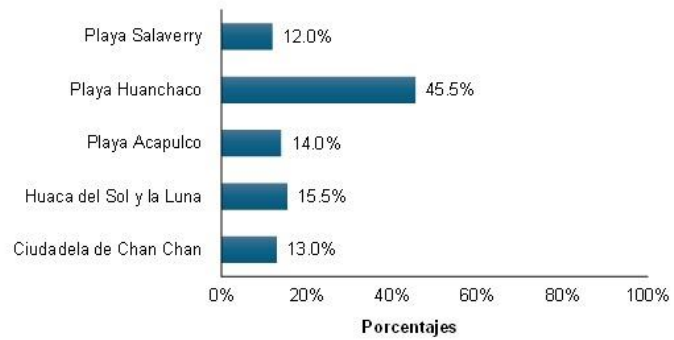
En la pregunta 5, respondieron un total de 200 personas

Etiquetas de fila	Cuenta de P6
UCT	4.2%
UCV	24.4%
UNT	26.1%
UPAO	30.3%
UPN	15.1%
Total general	100.0%



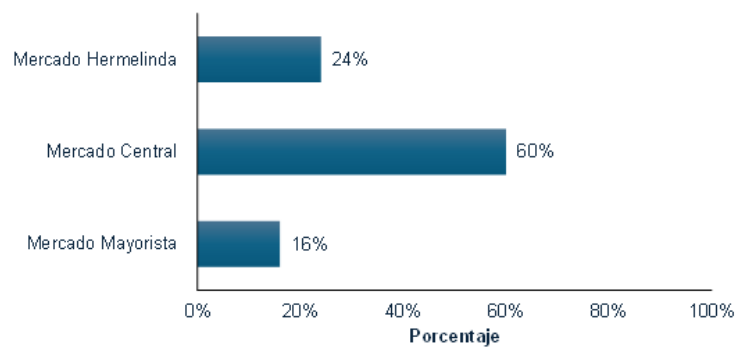
En la pregunta 6, respondieron un total de 200 personas

LUGARES TURISTICOS	Cuenta de P7
Ciudadela de Chan Chan	13.0%
Huaca del Sol y la Luna	15.5%
Playa Acapulco	14.0%
Playa Huanchaco	45.5%
Playa Salaverry	12.0%
Total general	100.0%



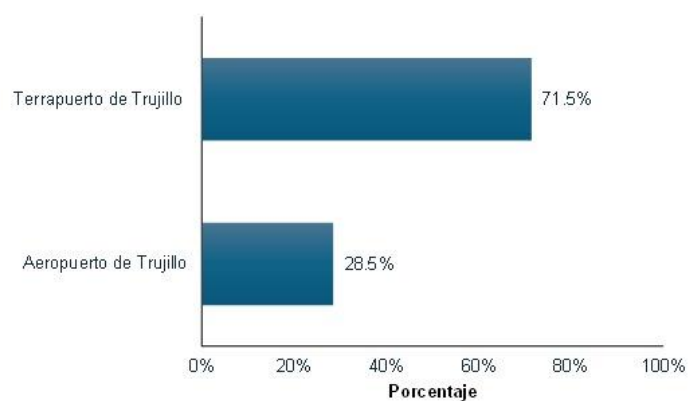
En la pregunta 7, respondieron un total de 200 personas

MERCADOS	Cuenta de P8
Mercado Mayorista	16%
Mercado Central	60%
Mercado Hermelinda	24%
Total general	100%



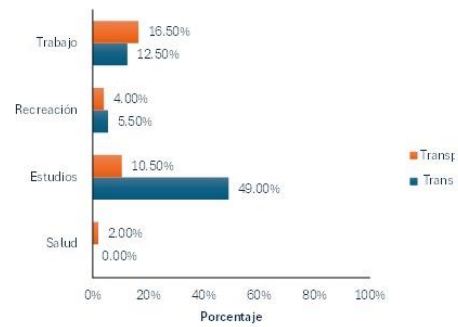
En la pregunta 8, respondieron un total de 200 personas

Etiquetas de fila	Cuenta de P9
Aeropuerto de Trujillo	28.5%
Terrapuerto de Trujillo	71.5%
Total general	100.0%



En la pregunta 9, respondieron un total de 200 personas

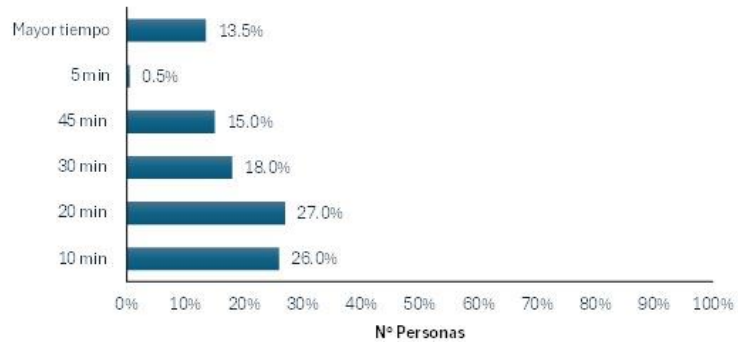
Cuenta de PERSONA P10			
MOTIVOS	Transporte no motorizado	Transporte motorizado	Total general
Salud	0.00%	2.00%	2.00%
Estudios	49.00%	10.50%	59.50%
Recreación	5.50%	4.00%	9.50%
Trabajo	12.50%	16.50%	29.00%
Total general	67.00%	33.00%	100.00%



En la pregunta 10, respondieron un total de 200 personas

TIEMPO	Cuenta de P11
10 min	26.0%
20 min	27.0%
30 min	18.0%
45 min	15.0%
5 min	0.5%
Mayor tiempo	13.5%
Total general	100.0%

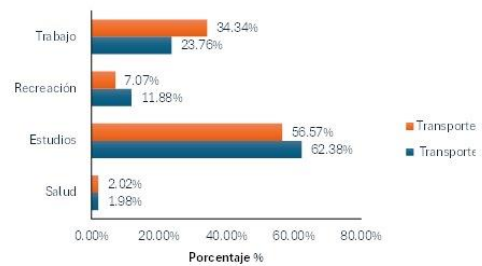
¿Cuánto tiempo demora usted en trasladarse al Centro Histórico?



En la pregunta 11, respondieron un total de 200 personas

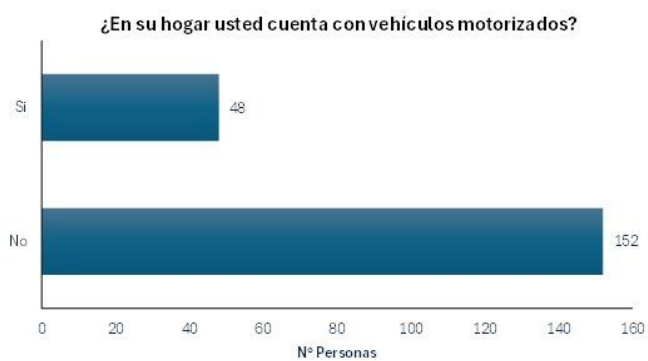
Cuenta de PERSONA P12			
MOTIVOS	Transporte no motorizado	Transporte motorizado	Total general
Salud	1.98%	2.02%	2.00%
Estudios	62.38%	56.57%	59.50%
Recreación	11.88%	7.07%	9.50%
Trabajo	23.76%	34.34%	29.00%
Total general	100.00%	100.00%	100.00%

¿Principalmente con qué transporte se moviliza usted acceder al Centro Histórico?



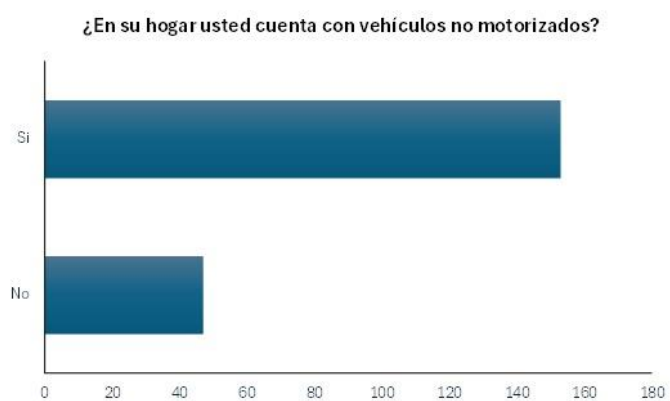
En la pregunta 12, respondieron un total de 200 personas

VEHICULOS MOTORIZADOS	Cuenta de P13
No	152
Si	48
Total general	200



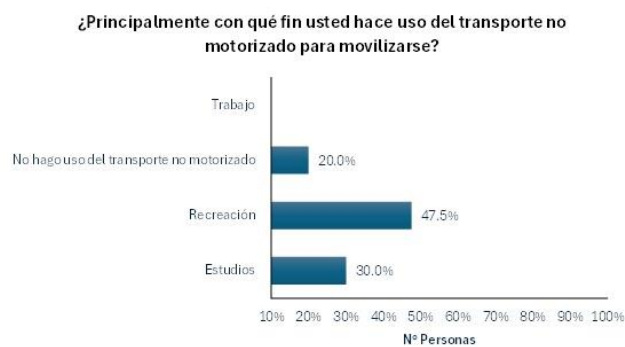
En la pregunta 13, respondieron un total de 200 personas

Etiquetas de fila	Cuenta de P14
No	47
Si	153
Total general	200



En la pregunta 14, respondieron un total de 200 personas

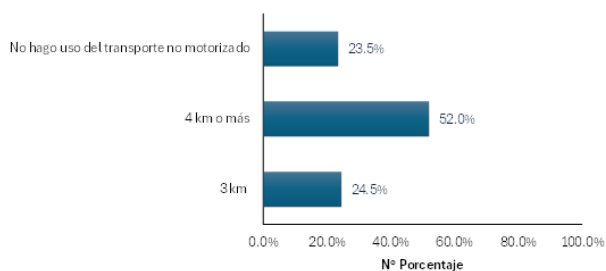
MOTIVO	Cuenta de P15
Estudios	30.0%
Recreación	47.5%
No hago uso del transporte no motorizado	20.0%
Trabajo	2.5%
Total general	100%



En la pregunta 15, respondieron un total de 200 personas

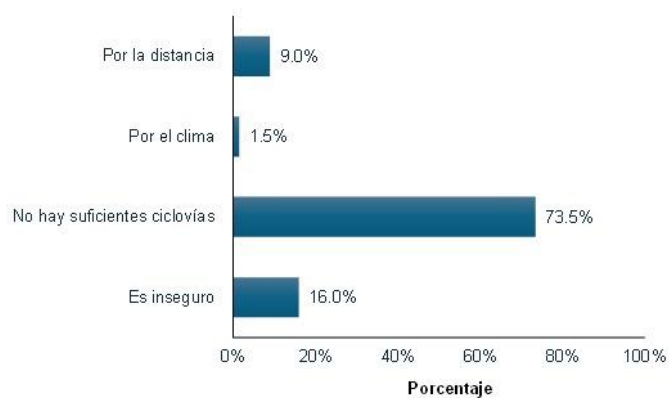
DISTANCIA	Cuenta de P16
3 km	24.5%
4 km o más	52.0%
No hago uso del transporte no motorizado	23.5%
Total general	100.0%

¿Cuántos kilómetros suele recorrer al día con el transporte no motorizado?



En la pregunta 16, respondieron un total de 200 personas

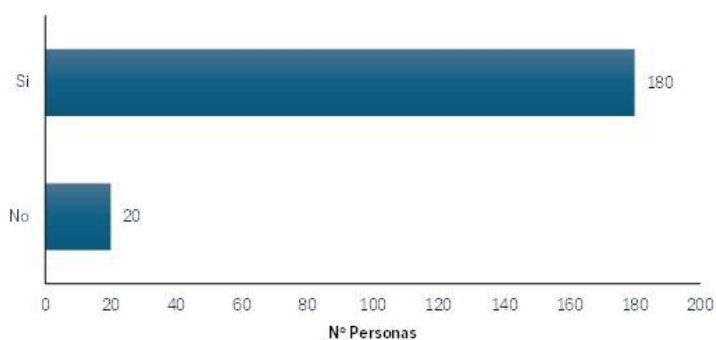
Etiquetas de fila	Cuenta de P17
Es inseguro	16.0%
No hay suficientes ciclovías	73.5%
Por el clima	1.5%
Por la distancia	9.0%
Total general	100.0%



En la pregunta 17, respondieron un total de 200 personas

Etiquetas de fila	Cuenta de P18
No	20
Si	180
Total general	200

¿Considera usted que una red de ciclovías mejoraría el tránsito en la ciudad de Trujillo?



En la pregunta 18, respondieron un total de 200 personas

Anexo 7. Análisis de precios unitarios

Análisis de precios unitarios

Presupuesto	1101001	CICLOVIA - RUTA OPTIMIZADA					Fecha presupuesto	05/06/2024
Subpresupuesto	001	DESCRIPCIONES						
Partida		PINTADO DE SARDINELES						
Rendimiento	m/DIA	MO. 1,000.0000	EQ. 1,000.0000	Costo unitario directo por : m				4.74
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.		
	Mano de Obra							
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.0080	24.23	0.19		
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	0.0080	19.13	0.15		
0101010005	PEON	hh	2.0000	0.0160	19.13	0.31		
						0.65		
	Materiales							
0240060001	PINTURA PARA TRAFICO	gal		0.0360	65.00	2.34		
0240060009	MICROESFERAS DE VIDRIO	kg		0.0350	14.36	0.50		
0240080017	DISOLVENTE XILOL	gal		0.0040	35.00	0.14		
						2.98		
	Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	0.65	0.02		
0301120002	EQUIPO DE PINTURA	hm	1.0000	0.0080	36.00	0.29		
0301220007	CAMION BARANDA	hm	1.0000	0.0080	100.00	0.80		
						1.11		
Partida	01.01	CASETA DE SEGURIDAD Y ALMACEN						
Rendimiento	glb/DIA	MO. 1.0000	EQ. 1.0000	Costo unitario directo por : glb				1,200.00
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.		
	Subcontratos							
0402020003	CASETA DE GUARDIAN Y ALMACEN	glb		1.0000	1,200.00	1,200.00	1,200.00	
Partida	01.02	CERCO DE OBRA CON POSTES Y MALLA RASCHEL						
Rendimiento	glb/DIA	MO.	EQ.	Costo unitario directo por : glb				2,000.00
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.		
	Materiales							
0210030001	MALLA CERCADORA NARANJA	rl		200.0000	10.00	2,000.00	2,000.00	
Partida	01.03	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS						
Rendimiento	glb/DIA	MO. 1.0000	EQ. 1.0000	Costo unitario directo por : glb				5,600.00
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.		
	Equipos							
0304010003	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	und		1.0000	5,600.00	5,600.00	5,600.00	
Partida	01.04	CARTEL DE OBRA 2.40 X 3.00						
Rendimiento	und/DIA	MO. 1.0000	EQ. 1.0000	Costo unitario directo por : und				1,000.00
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.		
	Subcontratos							
0402010001	SC MONTAJE DE CARTEL DE OBRA	und		1.0000	1,000.00	1,000.00	1,000.00	

Partida	02.01	LIMPIEZA DE TERRENO NATURAL						
Rendimiento	glb/DIA	MO. 40.0000	EQ. 40.0000			Costo unitario directo por : glb	5,000.00	
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
0401010004	Subcontratos LIMPIEZA DE TERRENO MANUAL		glb		1.0000	5,000.00	5,000.00 5,000.00	
Partida	02.02	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE DE LA OBRA						
Rendimiento	m3/DIA	MO. 200.0000	EQ. 200.0000			Costo unitario directo por : m3	24.70	
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
0101010004	Mano de Obra OFICIAL		hh	1.0000	0.0400	19.13	0.77	
0101010005	PEON		hh	4.0000	0.1600	19.13	3.06	
							3.83	
	Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES		%mo		3.0000	3.83	0.11	
03011600010003	CARGADOR SOBRE LLANTAS DE 125-135 HP 3 yd3		hm	1.0000	0.0400	172.36	6.89	
03012200040001	CAMION VOLQUETE DE 15 m3		hm	2.0000	0.0800	173.33	13.87	
							20.87	
Partida	02.03	TRAZO Y REPLANTEO						
Rendimiento	km/DIA	MO. 1.5000	EQ. 1.5000			Costo unitario directo por : km	393.04	
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
0101010004	Mano de Obra OFICIAL		hh	1.0000	5.3333	19.13	102.03	
0101010005	PEON		hh	2.0000	10.6667	19.13	204.05	
0101030000	TOPOGRAFO		hh	1.0000	5.3333	14.00	74.67	
							380.75	
	Materiales							
02130200020002	CAL HIDRATADA BOLSA 25 kg		bol		0.0500	8.00	0.40	
0231010001	MADERA TORNILLO		p2		0.0300	6.20	0.19	
0292010001	CORDEL		m		0.1600	1.10	0.18	
0292040001	CLAVOS PARA MADERA CON CABEZA 2 1/2, 3", 4"		kg		0.0115	3.20	0.04	
							0.81	
	Equipos							
0301000002	NIVEL TOPOGRAFICO		día	0.0011	0.0007	7.77	0.01	
0301000011	TEODOLITO		hm	0.0010	0.0053	9.62	0.05	
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES		%mo		3.0000	380.75	11.42	
							11.48	
Partida	02.04	CORTES HASTA ALCANZAR EL NIVEL DE LA RAZANTE						
Rendimiento	m3/DIA	MO. 800.0000	EQ. 800.0000			Costo unitario directo por : m3	2.09	
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
0101010003	Mano de Obra OPERARIO		hh	1.0000	0.0100	24.23	0.24	
0101010004	OFICIAL		hh	1.0000	0.0100	19.13	0.19	
0101010005	PEON		hh	2.0000	0.0200	19.13	0.38	
							0.81	
	Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES		%mo		3.0000	0.81	0.02	
03011600020005	MINI RETROEXCAVADORA		hm	1.0000	0.0100	126.26	1.26	
							1.28	

Partida	03.02	CONCRETO FC=175 KG/CM2						
Rendimiento	m3/DIA	MO. 60.0000	EQ. 60.0000	Costo unitario directo por : m3			221.97	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.		
Mano de Obra								
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.1333	24.23	3.23		
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	0.1333	19.13	2.55		
0101010005	PEON	hh	3.0000	0.4000	19.13	7.65		
							13.43	
Materiales								
02070200010002	ARENA GRUESA	m3		0.5000	46.61	23.31		
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		7.5000	24.00	180.00		
0290130021	AGUA	und		0.0250	6.00	0.15		
							203.46	
Equipos								
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	13.43	0.40		
03012900010002	VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 1.25"	hm	1.0000	0.1333	7.90	1.05		
03012900030001	MEZCLADORA DE CONCRETO 11 P3 (23 HP)	hm	1.0000	0.1333	27.21	3.63		
							5.08	
Partida	03.03	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO						
Rendimiento	m2/DIA	MO. 25.0000	EQ. 25.0000	Costo unitario directo por : m2			38.29	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.		
Mano de Obra								
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.3200	24.23	7.75		
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	0.3200	19.13	6.12		
0101010005	PEON	hh	1.0000	0.3200	19.13	6.12		
							19.99	
Materiales								
02040100010001	ALAMBRE NEGRO RECOCIDO N° 8	kg		0.1000	4.31	0.43		
02041200010003	CLAVOS PARA MADERA CON CABEZA DE 2"	kg		0.2000	6.69	1.34		
02041200010005	CLAVOS PARA MADERA CON CABEZA DE 3"	kg		0.2000	6.69	1.34		
0222140001	DESMOLDADOR PARA ENCOFRADO	gal		0.0650	110.00	7.15		
0231010001	MADERA TORNILLO	p2		1.2000	6.20	7.44		
							17.70	
Equipos								
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	19.99	0.60		
							0.60	
Partida	03.04	ACERO FY=4200KG/CM2						
Rendimiento	kg/DIA	MO. 200.0000	EQ. 200.0000	Costo unitario directo por : kg			4.64	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.		
Mano de Obra								
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.0400	24.23	0.97		
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	0.0400	19.13	0.77		
0101010005	PEON	hh	1.0000	0.0400	19.13	0.77		
							2.51	
Materiales								
02040100020001	ALAMBRE NEGRO N° 16	kg		0.0250	4.31	0.11		
0204030001	ACERO CORRUGADO fy = 4200 kg/cm2 GRADO 60	kg		1.0400	1.87	1.94		
							2.05	
Equipos								
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	2.51	0.08		
							0.08	

Partida	03.05	ELIMINACION D EMATERIAL EXCEDENTE EN OBRA						
Rendimiento	m3/DIA	MO. 200.0000	EQ. 200.0000			Costo unitario directo por : m3	16.19	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.		
	Mano de Obra							
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	0.0400	19.13	0.77		
0101010005	PEON	hh	2.0000	0.0800	19.13	1.53		
						2.30		
	Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	2.30	0.07		
03011600010003	CARGADOR SOBRE LLANTAS DE 125-135 HP 3 yd3	hm	1.0000	0.0400	172.36	6.89		
03012200040001	CAMION VOLQUETE DE 15 m3	hm	1.0000	0.0400	173.33	6.93		
						13.89		
Partida	03.06	EXCAVACION MANUAL DE MATERIAL SUELTO						
Rendimiento	m3/DIA	MO. 450.0000	EQ. 450.0000			Costo unitario directo por : m3	3.74	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.		
	Mano de Obra							
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.0178	24.23	0.43		
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	0.0178	19.13	0.34		
0101010005	PEON	hh	2.0000	0.0356	19.13	0.68		
						1.45		
	Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	1.45	0.04		
03011600020005	MINI RETROEXCAVADORA	hm	1.0000	0.0178	126.26	2.25		
						2.29		
Partida	04.01	SELLADO CON ARENA Y ASFALTO EN SUPERFICIE DE RODADURA						
Rendimiento	m2/DIA	MO. 2,000.0000	EQ. 2,000.0000			Costo unitario directo por : m2	13.79	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.		
	Mano de Obra							
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.0040	24.23	0.10		
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	0.0040	19.13	0.08		
0101010005	PEON	hh	4.0000	0.0160	19.13	0.31		
						0.49		
	Materiales							
0201050002	EMULSION ASFALTICA	gal		1.2000	9.70	11.64		
02070200010002	ARENA GRUESA	m3		0.0305	46.61	1.42		
						13.06		
	Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	0.49	0.01		
03011400060003	COMPRESORA NEUMATICA 250 - 330 PCM - 87 HP	hm	0.2438	0.0010	229.36	0.23		
						0.24		

Partida	04.02	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE e= 0.04(micropavimentado)						
Rendimiento	m2/DIA	MO. 2,500.0000	EQ. 2,500.0000	Costo unitario directo por : m2			17.86	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.		
Mano de Obra								
0101010003	OPERARIO	hh	3.0000	0.0096	24.23	0.23		
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	0.0032	19.13	0.06		
0101010005	PEON	hh	10.0000	0.0320	19.13	0.61		
0.90								
Materiales								
02010500050001	MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE INSTANTANEA	m3		0.0635	255.97	16.25		
16.25								
Equipos								
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	0.90	0.03		
0301100001	COMPACTADORA VIBRATORIA TIPO PLANCHA 7 HP	hm	1.0000	0.0032	39.50	0.13		
03011600020006	MINI RODILLO LISO VIBRATORIO	hm	1.0000	0.0032	170.63	0.55		
0.71								

Partida	04.03	IMPRIMACION ASFALTICA						
Rendimiento	m2/DIA	MO. 3,200.0000	EQ. 3,200.0000	Costo unitario directo por : m2			83.88	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.		
Mano de Obra								
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.0025	24.23	0.06		
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	0.0025	19.13	0.05		
0101010005	PEON	hh	3.0000	0.0075	19.13	0.14		
0.25								
Materiales								
02010500010003	ASFALTO LIQUIDO MC-30	gal		0.3200	255.97	81.91		
81.91								
Equipos								
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	0.25	0.01		
03011400060003	COMPRESORA NEUMATICA 250 - 330 PCM - 87 HP	hm	1.0000	0.0025	229.36	0.57		
03011800010001	TRACTOR DE TIRO DE 63 HP	hm	1.0000	0.0025	226.57	0.57		
03012200080002	CAMION IMPRIMADOR 6X2 178-210 HP 1,800 gl	hm	1.0000	0.0025	226.57	0.57		
1.72								

Partida	04.04	BASE GRANULAR CON AFIRMADO ESTABILIZADO e= 0.15						
Rendimiento	m2/DIA	MO. 2,500.0000	EQ. 2,500.0000	Costo unitario directo por : m2			4.18	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.		
Mano de Obra								
0101010003	OPERARIO	hh	2.0000	0.0064	24.23	0.16		
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	0.0032	19.13	0.06		
0101010005	PEON	hh	4.0000	0.0128	19.13	0.24		
0.46								
Materiales								
02070400010001	MATERIAL GRANULAR PARA SUB-BASE	m3		0.1800	16.26	2.93		
0290130021	AGUA	und		0.0165	6.00	0.10		
3.03								
Equipos								
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	0.46	0.01		
0301100001	COMPACTADORA VIBRATORIA TIPO PLANCHA 7 HP	hm	1.0000	0.0032	39.50	0.13		
03011600020006	MINI RODILLO LISO VIBRATORIO	hm	1.0000	0.0032	170.63	0.55		
0.69								

Partida	04.05	NIVELACION Y COMPACTACION DE RASANTE CON MINIRODILLO						
Rendimiento	m2/DIA	MO. 2,500.0000	EQ. 2,500.0000			Costo unitario directo por : m2	2.32	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.		
Mano de Obra								
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.0032	24.23	0.08		
0101010004	OFICIAL	hh	2.0000	0.0064	19.13	0.12		
0101010005	PEON	hh	4.0000	0.0128	19.13	0.24		
						0.44		
Equipos								
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	0.44	0.01		
03011600020006	MINI RODILLO LISO VIBRATORIO	hm	1.0000	0.0032	170.63	0.55		
0301200001	MOTONIVELADORA	hm	1.0000	0.0032	230.83	0.74		
0301220005	CAMION CISTERNA	hm	1.0000	0.0032	180.46	0.58		
						1.88		
Partida	05.01	PINTADO DE SIMBOLOS Y LETRAS						
Rendimiento	m/DIA	MO. 1,000.0000	EQ. 1,000.0000			Costo unitario directo por : m	11.83	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.		
Mano de Obra								
0101010004	OFICIAL	hh	6.0000	0.0480	19.13	0.92		
0101010005	PEON	hh	1.0000	0.0080	19.13	0.15		
						1.07		
Materiales								
0240060001	PINTURA PARA TRAFICO	gal		0.0670	65.00	4.36		
0240060009	MICROESFERAS DE VIDRIO	kg		0.3500	14.36	5.03		
0240080017	DISOLVENTE XILOL	gal		0.0300	35.00	1.05		
						10.44		
Equipos								
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	1.07	0.03		
0301120002	EQUIPO DE PINTURA	hm	1.0000	0.0080	36.00	0.29		
						0.32		
Partida	05.02	PINTADO DE LINEA						
Rendimiento	m/DIA	MO. 1,000.0000	EQ. 1,000.0000			Costo unitario directo por : m	4.49	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.		
Mano de Obra								
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.0080	24.23	0.19		
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	0.0080	19.13	0.15		
0101010005	PEON	hh	3.0000	0.0240	19.13	0.46		
						0.80		
Materiales								
0240060001	PINTURA PARA TRAFICO	gal		0.0360	65.00	2.34		
0240060009	MICROESFERAS DE VIDRIO	kg		0.0350	14.36	0.50		
0240080017	DISOLVENTE XILOL	gal		0.0040	35.00	0.14		
						2.98		
Equipos								
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	0.80	0.02		
0301120002	EQUIPO DE PINTURA	hm	1.0000	0.0080	36.00	0.29		
0301220007	CAMION BARANDA	hm	0.5000	0.0040	100.00	0.40		
						0.71		

Partida	05.03	SENALETICA REGLAMENTARIA					
Rendimiento	und/DIA	MO.	EQ.	Costo unitario directo por : und			339.71
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
	Materiales						
02671100040007	SEÑAL REGLAMENTARIA	und		1.0000	339.71	339.71	339.71
<hr/>							
Partida	06.01	SEGURIDAD EN OBRA					
Rendimiento	glb/DIA	MO.	EQ.	Costo unitario directo por : glb			3,500.00
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
	Mano de Obra						
0103030007	JEFE DE SEGURIDAD	sem		1.0000	3,500.00	3,500.00	3,500.00
<hr/>							
Partida	06.02	LIMPIEZA GENERAL DE LA OBRA					
Rendimiento	m2/DIA	MO. 3,500.0000	EQ. 3,500.0000	Costo unitario directo por : m2			0.13
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
	Mano de Obra						
0101010005	PEON	hh	3.0000	0.0069	19.13	0.13	0.13
	Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	0.13		0.00

Anexo 8. Resumen de metrados

RESUMEN DE METRADOS

PROYECTO: Optimización de las rutas de ciclovías en la ciudad de Trujillo mediante el algoritmo heurístico Ant Colony con aplicación de Librerías Python

AUTORES: García Mendoza, Jhonor Michel - Urcía Alvan, Georgia Anthuane

ITEM	DESCRIPCION	TOTAL	UND
01	OBRAS PROVISIONALES		
01.01	CASETA DE SEGURIDAD Y ALMACEN	1.00	glb
01.02	CERCO DE OBRA CON POSTES Y MALLA RASCHEL	1.00	glb
01.03	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	1.00	glb
01.04	CARTEL DE OBRA 2.40 x 3.00	1.00	und
02	OBRAS PRELIMINARES		
02.01	LIMPIEZA DE TERRENO NATURAL	1.00	glb
02.02	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE DE LA OBRA	12,400.00	m3
02.03	TRAZO Y REPLANTEO	20.14	km
02.04	CORTES HASTA ALCANZAR EL NIVEL DE LA RAZANTE	12,400.00	m3
03	SARDINELES		
03.01	PINTADO DE SARDINELES	12,400.00	m
03.02	CONCRETO FC'=175 KG/CM2	805.25	m3
03.03	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	4,027.00	m2
03.04	ACERO FY=4200 KG/CM2	600.32	kg
03.05	ELIMINACION D E MATERIAL EXCEDENTE EN OBRA	3,100.00	m3
03.06	EXCAVACION MANUAL DE MATERIAL SUELTO	1,652.00	m3
04	PAVIMENTOS		
04.01	SELLADO CON ARENA Y ASFALTO EN SUPERFICIE DE RODADURA	31,000.00	m2
04.02	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE e= 0.04(micropavimentado)	31,000.00	m2
04.03	IMPRIMACION ASFALTICA	31,000.00	m2
04.04	BASE GRANULAR CON AFIRMADO ESTABILIZADO e= 0.15	31,000.00	m2
04.05	NIVELACION Y COMPACTACION DE RASANTE CON MINIRODILLO	31,000.00	m2
05	SEÑALIZACION		
05.01	PINTADO DE SIMBOLOS Y LETRAS	12,400.00	m
05.02	PINTADO DE LINEA	12,400.00	m
05.03	SEÑALETICA REGLAMENTARIA	100.00	und
06	VARIOS		
06.01	SEGURIDAD EN OBRA	1.00	glb
06.02	LIMPIEZA GENERAL DE LA OBRA	5,000.00	m2

Anexo 9. Presupuesto

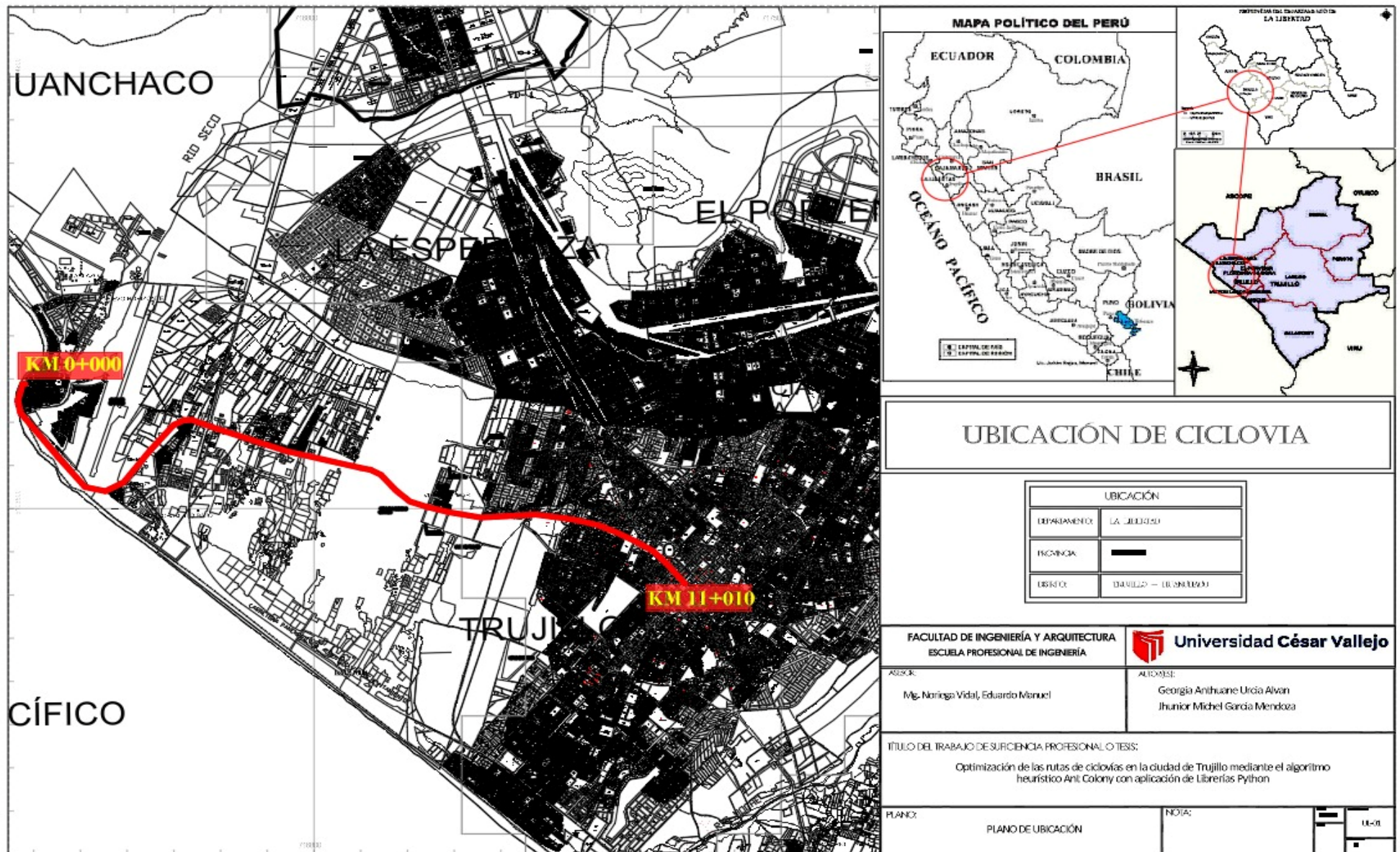
Presupuesto

Presupuesto 1101001 CICLOVIA - RUTA OPTIMIZADA
 Subpresupuesto 001 DESCRIPCIONES
 Cliente UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO Costo al 05/06/2024
 Lugar LA LIBERTAD - TRUJILLO - TRUJILLO

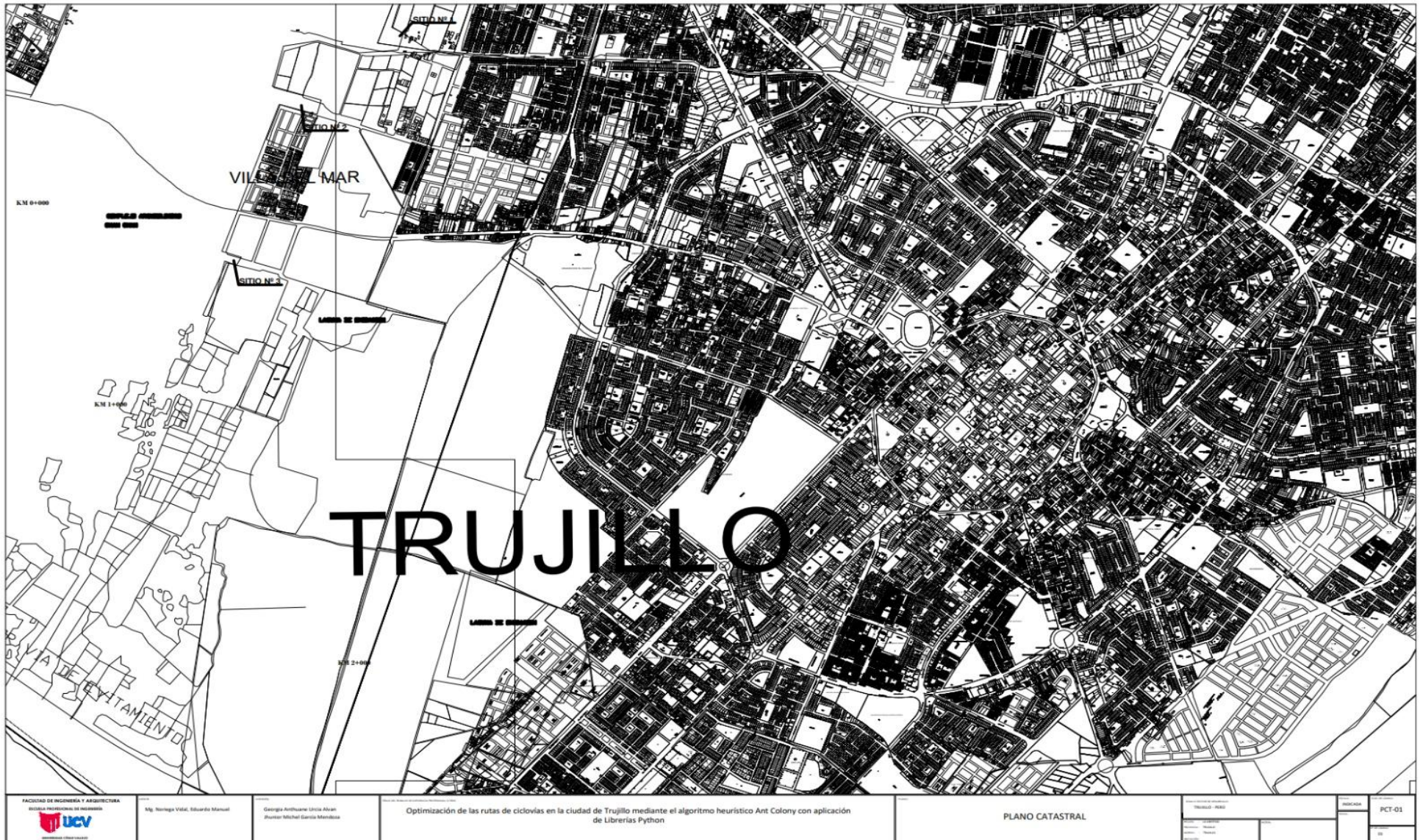
Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	OBRAS PROVISIONALES				9,800.00
01.01	CASETA DE SEGURIDAD Y ALMACEN	gib	1.00	1,200.00	1,200.00
01.02	CERCO DE OBRA CON POSTES Y MALLA RASCHEL	gib	1.00	2,000.00	2,000.00
01.03	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	gib	1.00	5,600.00	5,600.00
01.04	CARTEL DE OBRA 2.40 X 3.00	und	1.00	1,000.00	1,000.00
02	OBRAS PRELIMINARES				345,111.83
02.01	LIMPIEZA DE TERRENO NATURAL	gib	1.00	5,000.00	5,000.00
02.02	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE DE LA OBRA	m3	12,400.00	24.70	306,280.00
02.03	TRAZO Y REPLANTEO	km	20.14	393.04	7,915.83
02.04	CORTES HASTA ALCANZAR EL NIVEL DE LA RAZANTE	m3	12,400.00	2.09	25,916.00
03	SARDINELES				665,030.91
03.01	PINTADO DE SARDINELES	m	12,400.00	4.74	58,776.00
03.02	CONCRETO FC=175 KG/CM2	m3	805.48	221.97	178,792.40
03.03	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	4,027.00	38.29	154,193.83
03.04	ACERO FY=4200KG/CM2	kg	600.32	4.64	2,785.48
03.05	ELIMINACION D EMATERIAL EXCEDENTE EN OBRA	m3	3,100.00	16.19	50,189.00
03.06	EXCAVACION MANUAL DE MATERIAL SUELTO	m3	1,652.00	133.35	220,294.20
04	PAVIMENTOS				3,785,100.00
04.01	SELLADO CON ARENA Y ASFALTO EN SUPERFICIE DE RODADURA	m2	31,000.00	13.79	427,490.00
04.02	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE e= 0.04(micropavimentado)	m2	31,000.00	17.86	553,660.00
04.03	IMPRIMACION ASFALTICA	m2	31,000.00	83.88	2,600,280.00
04.04	BASE GRANULAR CON AFIRMADO ESTABILIZADO e= 0.15	m2	31,000.00	4.25	131,750.00
04.05	NIVELACION Y COMPACTACION DE RASANTE CON MINIRODILLO	m2	31,000.00	2.32	71,920.00
05	SEÑALIZACION				242,291.00
05.01	PINTADO DE SIMBOLOS Y LETRAS	m	12,400.00	12.15	150,660.00
05.02	PINTADO DE LINEA	m	12,400.00	4.65	57,660.00
05.03	SEÑALETICA REGLAMENTARIA	und	100.00	339.71	33,971.00
06	VARIOS				4,850.00
06.01	SEGURIDAD EN OBRA	gib	1.00	3,500.00	3,500.00
06.02	LIMPIEZA GENERAL DE LA OBRA	m2	5,000.00	0.27	1,350.00
	COSTO DIRECTO				5,052,183.74
	GASTOS GENERALES (10%)				505,218.37
	UTILIDAD (5%)				252,609.19
	SUBTOTAL				5,810,011.30
	IGV				1,045,802.03
	TOTAL PRESUPUESTO				6,855,813.33

SON : SEIS MILLONES OCHOCIENTOS CINCUENTICINCO MIL OCHOCIENTOS TRECE Y 33/100 NUEVOS SOLES

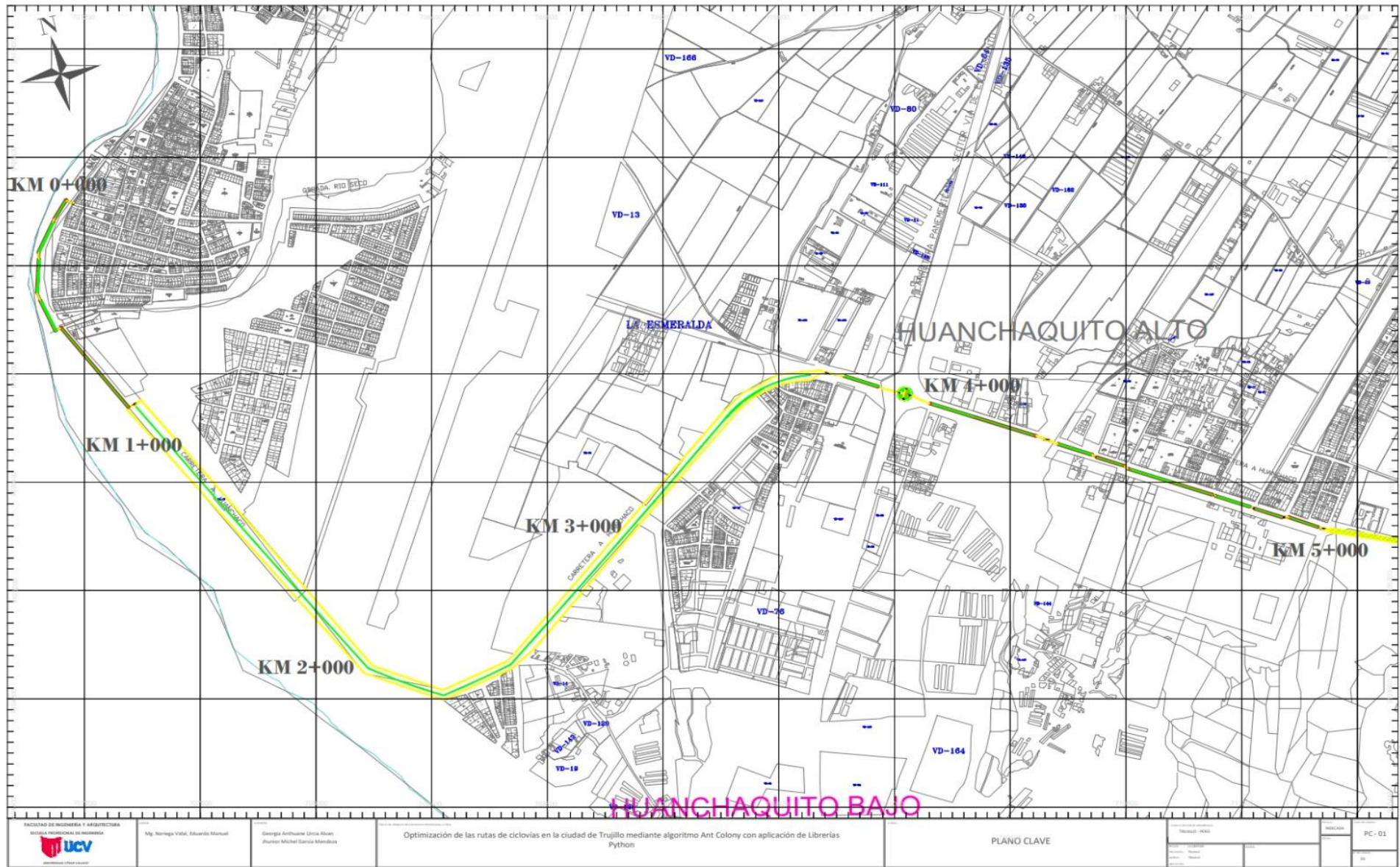
Anexo 10. Plano de Ubicación y Localización



Anexo 11. Plano catastral



Anexo 12. Plano propuesta (1/3)



Plano propuesta (2/3)



Plano propuesta (3/3)

