

Gómez, A., Felizzola, H., Arrieta, N., Gómez, C., Sánchez, O. (2024). Factores de éxito en la construcción de vías rurales en Colombia: un análisis basado en datos públicos. En Herrera, R.F., Salazar, L.A., (Editores), *Actas del IX Congreso Iberoamericano de Gestión y tecnología de la Construcción* (IX ELAGEC2024).

FACTORES DE ÉXITO EN LA CONSTRUCCIÓN DE VÍAS RURALES EN COLOMBIA: UN ANÁLISIS BASADO EN DATOS PÚBLICOS

Adriana Gómez-Cabrera¹ – adrianagomez@javeriana.edu.co

Heriberto Felizzola² - ha.felizzola@uniandes.edu.co

Nicolás Arrieta³ - narrieta01@unisalle.edu.co

Camilo Gómez⁴ - gomez.ch@uniandes.edu.co

Omar Sánchez¹ - omar_sanchezr@javeriana.edu.co

¹ *Departamento de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá 110231, Colombia*

² *Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de la Salle, Bogotá 110231, Colombia -
Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de los Andes, Bogotá 110231, Colombia.*

³ *Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de la Salle, Bogotá 110231, Colombia.*

⁴ *Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de los Andes, Bogotá 110231, Colombia.*

RESUMEN

El desarrollo de proyectos de vías rurales es fundamental para el progreso económico y social de las comunidades que, por ser periféricas, presentan rezagos en términos de desarrollo. Por lo tanto, es crucial examinar los factores que influyen en el éxito de tales proyectos, especialmente en términos de cumplimiento de plazos y presupuestos. Este estudio analiza los factores asociados con el éxito de estos proyectos, investigando las características de los contratos, las entidades públicas que los gestionan y los proveedores encargados de su ejecución. Para llevar a cabo esta investigación, se utilizaron datos abiertos de 163 proyectos de vías rurales, adjudicados por licitación pública, disponibles en el Sistema Electrónico de Contratación Pública de Colombia. Los factores examinados incluyen aspectos como el valor del proyecto, duración, intensidad y el porcentaje de baja en la adjudicación. A través del uso de estadísticas descriptivas y pruebas de hipótesis, se evalúa el impacto de estos factores, llegando a la conclusión que los proyectos con presupuestos altos, duraciones más largas y mayor complejidad tienden a tener tasas de éxito más bajas. Asimismo, se evidencia que un valor contractual más cercano al precio estimado de la licitación aumenta la probabilidad de éxito del proyecto.

PALABRAS CLAVE

Vías rurales; factores de éxito; proyectos de construcción; desempeño de proyectos; contratación pública; ciencia de datos.

INTRODUCCIÓN

Las vías rurales son cruciales para el desarrollo de las comunidades, contribuyendo a alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible – ODS, al proporcionar acceso a mercados, servicios, empleo, salud y educación. También apoyan la producción agrícola, las cadenas de suministro, la preservación de alimentos y los esfuerzos para combatir el hambre y la pobreza (Cook et al., 2017). Los puntos clave que resaltan la importancia de las vías rurales incluyen la accesibilidad, el desarrollo económico, la inclusión social, la seguridad y la salud, y los beneficios ambientales (Muzira et al., 2015). En general, invertir en el desarrollo y mantenimiento de vías rurales es crucial para fomentar el crecimiento económico, mejorar la calidad de vida, fomentar la cohesión social y apoyar el desarrollo sostenible en las comunidades rurales (Suresha & Arun, 2021).

La importancia de los proyectos viales ha conllevado a que los gobiernos realicen esfuerzos significativos para mejorar la infraestructura rural a través de procesos de contratación pública (Alashwal & Alashwal, 2023). La contratación pública desempeña un papel crucial en el funcionamiento efectivo de las operaciones gubernamentales y la asignación de recursos públicos. Al garantizar la transparencia, equidad y competitividad en el proceso de compra, la contratación pública ayuda a optimizar el uso del dinero de los contribuyentes y previene la corrupción y el mal manejo (Domingo et al., 2018). Cuando los recursos públicos se utilizan de manera eficiente y efectiva a través de prácticas de contratación adecuadas, los gobiernos pueden brindar mejores servicios a los ciudadanos, promover el desarrollo económico y alcanzar sus objetivos de política. Las prácticas de contratación pública adecuadas mejoran la rendición de cuentas y la buena gobernanza al garantizar que los recursos se asignen a proyectos y servicios que benefician a toda la sociedad (Owusu et al., 2019).

Un proyecto exitoso es aquel que logra su rendimiento técnico al tiempo que cumple con su calendario y presupuesto original, cumpliendo requisitos de calidad (Frimpong et al., 2003). Considerando que los proyectos de infraestructura se llevan a cabo con recursos públicos limitados, se esperaría que estos sean exitosos y su rendimiento sea impecable, pues desviaciones de tiempo y costo pueden llevar incluso al fracaso del proyecto (Barajei et al., 2023). Estas desviaciones, tanto en tiempo como en costo, han sido un problema persistente a nivel global en todos los continentes durante los últimos 70 años y acaparan regularmente titulares de prensa, despertando el interés de la sociedad (Flyvbjerg et al., 2002, 2003). Investigadores de todo el mundo también han mostrado interés en estudiar este tema (Herrera et al., 2020). Muchos trabajos se han centrado en este tema basándose en la opinión de las partes interesadas, mientras que otros enfoques consisten en el análisis de datos obtenidos de proyectos ejecutados (Gómez-Cabrera et al., 2023).

Analizar información empírica es importante porque proporciona evidencias del mundo real que pueden respaldar la toma de decisiones, la prueba de hipótesis y la resolución de problemas con base en datos. La revolución digital permite acceder a datos públicos sobre proyectos de compra pública, lo que facilita el desarrollo de investigaciones destinadas a encontrar relaciones entre variables y la identificación de patrones y tendencias (World Bank, 2022). No obstante, tales esfuerzos requieren un arduo proceso de adquisición y

preparación de los datos, así como de conceptualización de las preguntas de análisis. Al examinar información empírica, investigadores de todo el mundo han analizado datos abiertos y han informado resultados interesantes. Sin embargo, el sector de la construcción se considera un ámbito basado en el conocimiento que trata con grandes volúmenes de datos. En la mayoría de los casos, las empresas de construcción no aprovechan la oportunidad que ofrece esta disponibilidad (Gondia et al., 2020). Tener acceso a datos públicos ha llevado al desarrollo de varios estudios de investigación relacionados con la ciencia de datos. Esto implica el uso de un conjunto de herramientas para modelar y comprender conjuntos de datos, lo cual se precede por comprender el negocio o sector a analizar y la formulación de preguntas relevantes (James et al., 2013; Perficient, 2021).

En enfoques anteriores, se aplicaron técnicas de ciencia de datos para analizar el desempeño de proyectos de construcción con diferentes enfoques. En Estados Unidos, investigadores utilizaron modelos de redes neuronales para seleccionar los licitadores más cercanos a los costos reales del proyecto. Normalmente, los procesos competitivos eligen la oferta más baja, pero el licitador más bajo puede enfrentar aumentos de costos a través de órdenes de cambio (Art Chaovalitwongse et al., 2012). Otra investigación en el Reino Unido predijo los costos finales del proyecto utilizando el remuestreo no paramétrico y la modelización de conjuntos en redes neuronales artificiales, encontrando que el 92% de las 100 predicciones de validación estaban dentro de $\pm 10\%$ del costo final real, y el 77% estaban dentro de $\pm 5\%$ del costo final real (Ahiaga-Dagbui & Smith, 2014).

Otros enfoques se centran en identificar factores que conducen a proyectos con desviaciones en tiempo y costo. En Hong Kong, investigadores analizaron proyectos de infraestructura y observaron que los proyectos ferroviarios son los más susceptibles a aumentos de costos. Si bien el tamaño del proyecto no se correlaciona significativamente con los excesos de costos en general, los proyectos de vías a menor escala tienden a enfrentar desviaciones de costos más significativas. También encontraron que la magnitud de los excesos de costos depende notablemente de la duración de implementación del proyecto (Huo et al., 2018). En áreas rurales, investigadores en India informaron que el 95% de los proyectos de vías rurales experimentaron excesos de costos. Finalmente, el análisis sugiere que la longitud de la carretera, el tipo de construcción y el clima no afectan los retrasos en la construcción (Suresha & Arun, 2021). En estudios previos realizados en proyectos de construcción de vías rurales en Colombia, se ha concluido que existe una correlación entre las desviaciones de tiempo y costos. Además, se ha identificado que variables como el costo estimado, la intensidad del proyecto, el año de realización, la ubicación geográfica y el método de adjudicación del contrato son significativas y afectan las desviaciones de tiempo y costos (Gómez-Cabrera et al., 2020).

A pesar de los estudios existentes sobre desviaciones de costos y tiempos en varios proyectos de infraestructura, se identifica una brecha en la investigación relacionada con la falta de estudios enfocados a los factores de éxito en proyectos de vías rurales, particularmente con una representación limitada de América Latina. Por lo tanto, este documento se propone analizar una base de datos pública de proyectos de construcción de vías rurales en Colombia, examinando los factores que contribuyen al éxito del proyecto en términos de evitar desviaciones en tiempo y costos mediante el uso de la ciencia de datos basada en datos públicos.

MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

En este trabajo se utilizó una metodología que consta de seis etapas principales: (1) selección de la muestra de proyectos de vías rurales, (2) procesamiento y limpieza de datos, (3) definición de las variables de estudio, (4) formulación de hipótesis, (5) análisis estadístico y (6) análisis de resultados.

SELECCIÓN DE LA MUESTRA DE PROYECTOS DE VÍAS RURALES

El proceso inició con la selección de la muestra de proyectos, extrayendo los datos de contratación pública desde el sistema electrónico de compras públicas en Colombia (SECOP). Para identificar los contratos objeto de estudio, se aplicaron criterios de búsqueda específicos. Estos criterios incluyeron la identificación de contratos de vías según el clasificador de bienes y servicios de la ONU; además, la búsqueda se refinó utilizando palabras clave en el objeto del contrato, tales como “vías rurales”, “vías terciarias”, y “camino veredales”. Adicionalmente, se excluyeron aquellos contratos que no se relacionan con la obra civil del proyecto, como son las actividades de diseño, planeación, contratación de personal y, en Colombia, la firma de convenios interadministrativos entre entidades públicas. La ventana temporal para la inclusión de contratos abarca desde el año 2014 hasta 2024. Se consideran únicamente proyectos contratados bajo la modalidad de licitación pública y que estén liquidados al momento de la búsqueda. Siguiendo estos criterios, se obtuvo una muestra de 163 proyectos de vías rurales.

PROCESAMIENTO Y LIMPIEZA DE DATOS

El procesamiento y limpieza de los datos se llevó a cabo a partir de los 163 proyectos de vías rurales seleccionados en la primera etapa. Para el procesamiento de los datos se llevó a cabo una serie de transformaciones que facilitaron el análisis posterior. Inicialmente, se transformaron los valores de los contratos a salarios mínimos legales mensuales, utilizando como referencia el valor del salario mínimo vigente en el año en que se firmó cada contrato. Esta conversión fue crucial para neutralizar el efecto de la inflación monetaria. Además, se estandarizó la duración de los contratos a días para homogeneizar la medida de tiempo. Finalmente, se efectuó una verificación manual de los valores y duraciones de los contratos que mostraron inconsistencias, aplicando un conjunto de reglas de validación preestablecidas para asegurar la precisión de los datos. Para esta etapa se utilizó el software R(R Core Team, 2024)

DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO

Se seleccionó un conjunto de variables que permitieran caracterizar los factores que influyen en el éxito de los proyectos de vías rurales. La selección se realizó a partir de la información disponible para los 163 proyectos analizados y el consenso entre los investigadores. Así, se consideraron las siguientes variables:

- **Valor de la licitación:** Corresponde al valor estimado del contrato y que se establece como precio base de la licitación en salarios mínimos legales vigentes (SMMLV).

- **Valor inicial del contrato:** Es el valor acordado en el contrato para el desarrollo de la obra en SMMLV.
- **Adición en valor:** Representa el valor total de las adiciones al contrato en SMMLV.
- **Duración estimada del proyecto:** Es la duración planeada del proyecto, expresada en días.
- **Adición en tiempo:** Corresponde al tiempo total de las adiciones al contrato en días.
- **Intensidad del proyecto:** Se define como la relación entre el valor inicial del contrato y el plazo original del proyecto (Federal Highway Administration, 2018). Se calcula mediante la Ecuación 1.

$$\text{Intensidad del Proyecto} = \frac{\text{Valor Inicial del Contrato}}{\text{Duración del Proyecto}} \quad \text{Fórmula 1}$$

- **Porcentaje de baja de la licitación:** Es el porcentaje de variación entre el precio base de la licitación y el valor inicial del contrato. Se obtiene a partir de la Ecuación 2 (Federal Highway Administration, 2018):

$$\begin{aligned} \text{Porcentaje de baja} \\ = \left(\frac{\text{Precio Base Licitación} - \text{Valor Inicial del Contrato}}{\text{Precio Base Licitación}} \right) \times 100 \end{aligned} \quad \text{Fórmula 2}$$

- **Éxito del proyecto:** Es una variable binaria que indica si el proyecto no presenta adiciones en tiempo ni en valor. Así, toma el valor de uno cuando tanto las adiciones en valor como en tiempo son iguales a cero, y cero en caso contrario. Se expresa como:

$$\text{Proyecto Exitoso} = \begin{cases} 1; \text{ adición en valor} = 0 \text{ y adición en tiempo} = 0 \\ 0; \text{ adición en valor} > 0 \text{ y adición en tiempo} > 0 \end{cases} \quad \text{Fórmula 3}$$

FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

El objetivo del análisis estadístico es determinar qué variables contractuales influyen en el éxito de los proyectos. Las variables seleccionadas para este análisis incluyen el valor del contrato, la duración estimada del proyecto, la intensidad del proyecto y el porcentaje de baja del contrato. En este contexto, se formulan las siguientes hipótesis:

- **Hipótesis 1:** La dimensión del proyecto, medida en términos de la duración estimada y el valor inicial del contrato, está fuertemente relacionada con el éxito del proyecto.
- **Hipótesis 2:** El equilibrio entre el valor del contrato y la duración estimada del mismo, expresado a través de la intensidad del proyecto, es un factor clave para el éxito del proyecto.
- **Hipótesis 3:** La diferencia entre el precio base de la licitación y el valor inicial del contrato tiene una relación directa con el éxito del proyecto.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico se desarrolla en dos etapas. Inicialmente, se lleva a cabo un análisis exploratorio mediante el uso de gráficos de intervalos de confianza (Dalgaard, 2008) para comparar los promedios de cada variable entre proyectos exitosos y no exitosos. Este enfoque proporcionó una primera aproximación sobre la relación de estas variables con el éxito del proyecto. Posteriormente, se realizó una prueba estadística confirmatoria con el objetivo de determinar el valor de probabilidad que permita evaluar la significancia de los resultados. Dado que las variables no satisfacen el supuesto de normalidad, se opta por la prueba no paramétrica de Mann–Whitney, también conocida como prueba de rango-suma de Wilcoxon (Goos & Meintrup, 2016). Para esta etapa se utilizó el software R (R Core Team, 2024)

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Junto con el análisis estadístico exploratorio y confirmatorio, se llevó a cabo una discusión detallada de los resultados, donde se interpreta y se ofrecen explicaciones sobre los hallazgos obtenidos. Este proceso fue esencial para comprender la relevancia de las variables estudiadas y su impacto en el éxito de los proyectos. A través de esta discusión, se examinaron las posibles causas que subyacen a las diferencias observadas entre proyectos exitosos y no exitosos.

RESULTADOS

Este capítulo se estructura en dos secciones. En la primera, se presenta el análisis exploratorio, que incluye un resumen estadístico de las variables seleccionadas para el estudio, así como una comparación entre los proyectos exitosos y no exitosos. En la segunda, se realiza un análisis confirmatorio, en el cual se examinan los resultados de las pruebas estadísticas elegidas, permitiendo así evaluar las hipótesis formuladas.

ANÁLISIS EXPLORATORIO

El análisis exploratorio se llevó a cabo a partir de 163 contratos de vías rurales en Colombia, de los cuales 96 son proyectos catalogados como exitosos, representando el 58.9% de la muestra, y 67 son contratos no exitosos, lo que constituye el 41.1% de la muestra. Esta distribución equilibrada entre contratos exitosos y no exitosos es crucial para evitar sesgos en los resultados del análisis. La **Tabla 1** presenta un resumen estadístico de las variables del estudio. Este resumen muestra que en los contratos analizados el valor promedio es de 1599.1 SMLV (salarios mínimos legales vigentes), con una elevada desviación estándar de 2766.2 SMLV, lo que refleja una considerable variabilidad en los costos de los proyectos. Los valores de los contratos oscilan entre un mínimo de 233.6 SMMLV y un máximo de 20264.7 SMMLV. Aunque los contratos muestran un amplio rango de valores, el 75% de estos no supera los 1536.5 SMMLV, y la mediana se sitúa en 713 SMMLV, indicando una concentración de contratos en valores más cercanos al mínimo que al máximo.

Tabla 1. Resumen estadístico de las variables de la muestra.

Estadístico	Valor Inicial del Contrato (SMMLV)	Duración del Contrato (Días)	Intensidad del Proyecto (SMMLV/Días)	Porcentaje de baja de la licitación (%)
Promedio	1599.0	111.2	13.0	1.09

Desv. estandar	2766.2	66.3	11.1	2.10
Mínimo	233.6	10.0	2.2	0.00
Q1 (25%)	458.8	60.0	5.5	0.00
Mediana	713.8	90.0	9.3	0.04
Q2 (75%)	1536.5	127.5	12.2	1.17
Máximo	20264.7	360	58.0	11.56

En cuanto a la duración, los contratos tienen un promedio de 111.2 días con una desviación estándar de 66.3 días, mostrando menos variabilidad en comparación con el valor de los contratos. La duración de los proyectos varía entre un mínimo de 10 días y un máximo de 360 días, señalando que la mayoría de los proyectos de vías rurales están diseñados para ser ejecutados en máximo un año. Aproximadamente, el 50% de los contratos se planean para una duración de hasta 90 días, y el 75% no excede los 127 días, revelando que generalmente estos proyectos se completan en períodos relativamente cortos.

La intensidad del proyecto, medida como la relación entre el valor inicial del contrato y su duración, promedia 13.0 con una desviación estándar de 11.1, mostrando variabilidad moderada. Esta intensidad oscila entre 2.2 y 58.0, lo que indica que algunos proyectos presentan diferencias significativas en términos de coste por día. No obstante, cerca del 75% de los proyectos mantienen una intensidad de hasta 12.2, sugiriendo una tendencia general hacia valores medios en comparación con los extremos más altos.

En relación con el porcentaje de baja, el promedio es de 1.09% con una desviación estándar de 2.10%, reflejando alta variabilidad. Cabe destacar que esta variabilidad proviene de un pequeño número de contratos donde la diferencia entre el precio base de la licitación y el valor inicial del contrato es significativamente mayor que el 1%, evidenciando que la mayoría de los contratos se adjudican por valores muy cercanos al estimado en la licitación, siendo pocos los casos en que los oferentes proponen un valor considerablemente inferior.

La Figura 1 muestra que los proyectos exitosos presentan un valor promedio de contrato considerablemente menor en comparación con los no exitosos, sugiriendo que un menor valor del contrato facilita el cumplimiento de tiempos y presupuestos establecidos. Esta tendencia se observa igualmente en las variables de duración e intensidad del proyecto, mostradas en las Figura 2 y Figura 3, respectivamente. En este caso los proyectos exitosos tienen una duración e intensidad menores. Dado que el valor, la duración y la intensidad pueden reflejar la dimensión y complejidad del proyecto, es posible inferir que proyectos de menor tamaño y complejidad están asociados con una mayor tasa de éxito, garantizando así un cumplimiento más eficiente de los plazos y presupuestos.

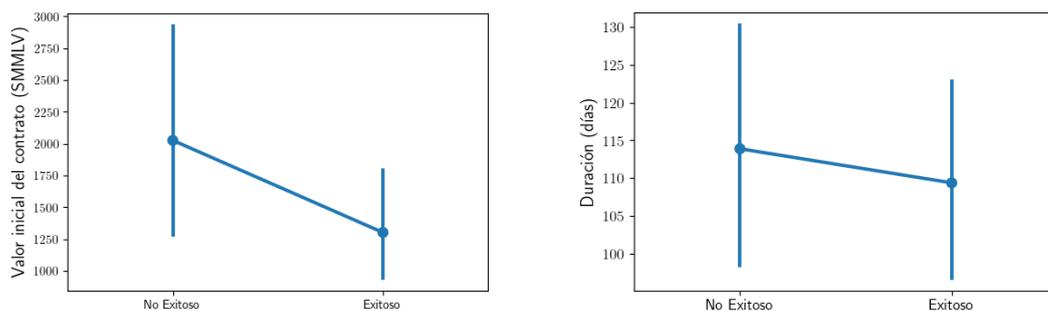


Figura 1. Comparación del valor promedio del contrato entre proyectos exitosos y no exitosos.

Figura 2. Comparación de la duración promedio del contrato entre proyectos exitosos y no exitosos.

La comparación del porcentaje de baja se muestra en la Figura 4, donde los proyectos exitosos exhiben un menor porcentaje de baja en comparación a los no exitosos. Esto podría señalar dos aspectos importantes sobre el comportamiento de los precios de licitación: primero, que un valor contractual más cercano al precio de licitación aumenta la probabilidad de éxito del proyecto; y segundo, que una reducción considerable del precio base para ganar la licitación puede llevar a una renegociación de valor y plazos durante la ejecución, resultando en sobrecostos y retrasos.

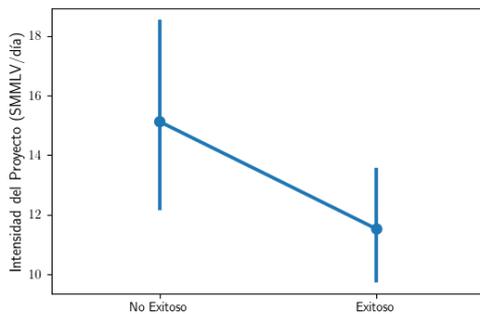


Figura 3. Comparación de la intensidad del proyecto entre exitosos y no exitosos.

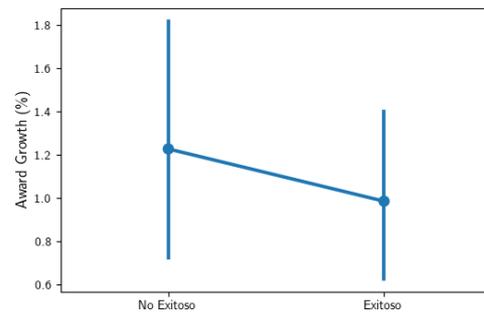


Figura 4. Comparación del porcentaje de baja del proyecto entre exitosos y no exitosos.

ANÁLISIS CONFIRMATORIO

La Tabla 2 proporciona un resumen de las pruebas de hipótesis para analizar la relación entre el éxito del proyecto y las variables del contrato a través de la aplicación de la prueba de Wilcoxon-Mann-Whitney. Esto con el objetivo de confirmar la significancia estadística de los resultados observados en el análisis exploratorio. Los proyectos exitosos tienen un valor promedio de contrato de 1301.5 SMMLV en comparación con 2025.4 SMMLV para los no exitosos, representando una diferencia de 723.9 SMMLC. El valor p de la prueba indica que el valor del contrato es una característica significativa en el éxito del proyecto ($p = 0.038, < 0.05$). En cuanto a la duración, los proyectos exitosos tienen una duración promedio de 109.3 días, en comparación con 113.9 para los no exitosos, con una diferencia de 4.6 días ($p = 0.267, > 0.1$), indicando que la duración no es un factor clave de éxito en esta muestra.

Respecto a la intensidad del proyecto, los proyectos exitosos registran un promedio de 11.5 SMMLV por día, en comparación con 15.1 SMMLV para los no exitosos, con una diferencia significativa de 3.6 ($p = 0.054, < 0.1$), lo que sugiere que una menor intensidad es crucial para el éxito del proyecto. Finalmente, el porcentaje de baja muestra un promedio de 0.98% en proyectos exitosos, en contraste con el 1.22% para los no exitosos ($p = 0.025, < 0.05$), corroborando que una mayor proximidad entre el precio base de la licitación y el valor inicial del contrato aumenta las probabilidades de éxito del proyecto.

Tabla 2. Prueba de significancia de las variables del estudio.

Variable	Promedio Exitosos vs No Exitoso	Hipótesis confirmatoria	Valor - U	Valor p
Valor inicial del contrato	No exitoso = 2025.4 Exitoso = 1301.5	El valor promedio de los contratos exitoso es menor al de los contratos no exitosos.	2692.0	0.038**
Duración Estimada	No exitoso = 113.9 Exitoso = 109.3	La duración media de los contratos exitoso es menor a la de los contratos no exitosos.	3034.0	0.267
Intensidad del Proyecto	No exitoso = 15.1 Exitoso = 11.5	La intensidad media de los contratos exitoso es menor a la de los contratos no exitosos.	2739.0	0.054*
Porcentaje de baja	No exitoso = 1.22% Exitoso = 0.98%	El porcentaje de baja promedio de los contratos exitoso es menor al de los contratos no exitosos.	2635.0	0.025**

CONCLUSIONES

Este estudio se propuso analizar una muestra de 163 contratos de licitación para obras de vías rurales a partir del Sistema Electrónico de Contratación Pública de Colombia (SECOPI) con el objetivo de identificar los factores relacionados con su éxito. La contribución práctica de este estudio permite a los gerentes de proyectos viales identificar algunos aspectos clave que deben tener los proyectos para minimizar el riesgo de desviaciones en cronograma y presupuesto. Se identifica que los proyectos con mayores presupuestos y complejidades tienden a tener menores tasas de éxito. Esto sugiere que, para incrementar la probabilidad de éxito, es crucial realizar una planificación y evaluación rigurosas de los proyectos antes de su inicio. Es esencial considerar el valor económico, la duración y la complejidad del proyecto. Los resultados muestran que proyectos de menor envergadura y con menor complejidad están asociados con mayores tasas de cumplimiento en tiempo y presupuesto. Por lo tanto, se recomienda descomponer grandes proyectos en fases más pequeñas y manejables, lo que permitirá un control más eficiente y mitigará riesgos de desviaciones significativas. Además, los resultados revelan que un valor contractual más cercano al precio estimado de la licitación aumenta la probabilidad de éxito del proyecto. Este hallazgo resalta la importancia de una estimación precisa y realista de los costos durante la fase de licitación. Las autoridades encargadas de la adjudicación de contratos deben implementar mecanismos de evaluación más rigurosos para asegurar que las ofertas se alineen con las estimaciones de costos basadas en datos reales y proyecciones razonables. Un enfoque en la transparencia y la precisión en esta etapa fomentará la competitividad y reducirá la necesidad de renegociaciones y adiciones de costos y tiempos, que son factores que comúnmente conducen al fracaso del proyecto.

La intensidad del proyecto, definida como la relación entre el valor inicial del contrato y el plazo original del proyecto, muestra una correlación significativa con el éxito. Proyectos con menor intensidad, es decir, aquellos que distribuyen el costo en un periodo adecuado, tienden a ser más exitosos. Esto subraya la necesidad de equilibrar el presupuesto del proyecto con un cronograma realista que permita una ejecución sin contratiempos. Los resultados muestran que el éxito en los proyectos de construcción de vías rurales en Colombia depende en gran medida de una combinación de factores económicos, de planificación y de gestión. Es esencial adoptar un enfoque integral que considere la precisión en las estimaciones de costos, la descomposición de proyectos complejos en fases manejables, la alineación del valor contractual con las estimaciones de licitación y el uso eficaz de datos abiertos para la toma de decisiones. Así, este estudio destaca la importancia de utilizar datos abiertos y herramientas de ciencia de datos para la planificación y gestión de proyectos de construcción de vías rurales. La disponibilidad de datos públicos proporciona un insumo vital para la toma de decisiones informadas, permitiendo identificar patrones y tendencias que pueden predecir el desempeño de los proyectos. Se recomienda que las entidades encargadas de la ejecución de estos proyectos deben invertir en capacidades analíticas y tecnológicas para aprovechar estos datos, optimizando así la gestión y supervisión de los proyectos.

El estudio tiene algunas limitaciones que abren oportunidades para futuras investigaciones. En primer lugar, la investigación se basa exclusivamente en datos de contratos públicos disponibles en el SECOP, lo que puede no reflejar completamente la realidad de todos los proyectos de vías rurales. Además, la definición de éxito del proyecto utilizada en el estudio se limita a la ausencia de adiciones en tiempo y valor, sin considerar otros indicadores de desempeño como la calidad de la obra o el impacto socioeconómico. Futuras investigaciones podrían ampliar el análisis incluyendo estas variables para obtener una visión más holística del éxito en proyectos de vías rurales. También sería beneficioso explorar la influencia de factores contextuales como las condiciones geográficas y climáticas, y la capacidad técnica de los contratistas. Asimismo, el estudio podría complementarse con enfoques cualitativos, como entrevistas con los stakeholders, para obtener una comprensión más profunda de las dinámicas que influyen en el éxito del proyecto. Replicar este estudio en diferentes regiones y países permitiría comparar los resultados y desarrollar mejores prácticas aplicables a diversas realidades. Finalmente, este estudio proporciona un punto de partida para futuras investigaciones, planteando la necesidad de analizar si el optimismo en las estimaciones es igualmente riesgoso para contratistas con diferente capacidad técnica y financiera, y su relación con otras variables de interés.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo financiero brindado por la Pontificia Universidad Javeriana, Colombia, a través del proyecto "propuesta de buenas prácticas para procesos de contratación de proyectos construcción de vías rurales en Colombia a partir de datos públicos (ID 20699)." De igual manera, apreciamos el apoyo brindado por el Departamento de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Javeriana.

REFERENCIAS

- Ahiaga-Dagbui, D. D., & Smith, S. D. (2014). Dealing with construction cost overruns using data mining. *Construction Management and Economics*, 32(7–8), 682–694. <https://doi.org/10.1080/01446193.2014.933854>
- Alashwal, N., & Alashwal, A. (2023). Rural access programs in Yemen: delay of international funded road projects. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 30(4), 1746–1767. <https://doi.org/10.1108/ECAM-09-2021-0818>
- Art Chaovalitwongse, W., Wang, W., Williams, T. P., & Chaovalitwongse, P. (2012). Data Mining Framework to Optimize the Bid Selection Policy for Competitively Bid Highway Construction Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(2), 277–286. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0000386](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0000386)
- Barajei, C., Appiah-Kubi, E., Kheni, N. A., Yalley, P. P. K., & Iddrisu, W. (2023). Success factors of pre-construction stages of Ghanaian public road construction project life cycle. *International Journal of Construction Management*. <https://doi.org/10.1080/15623599.2023.2219962>
- Cook, J., Petts, R., Visser, C., & Yiu, A. (2017). *The Contribution of Rural Transport to Achieve the Sustainable Development Goals for Access Partnership **Partnership on Sustainable, Low Carbon Transport*. www.research4cap.org
- Dalgaard, P. (2008). *Introductory Statistics with R*. Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-79054-1>
- Domingo, L. M., Segura, T. G., Sanz, A., & Pellicer, E. (2018). Social Sustainability in Delivery and Procurement of Public Construction Contracts. *Journal of Management in Engineering*, 35(2).
- Federal Highway Administration. (2018). *Alternative Contracting Method Performance in US Highway Construction*.
- Flyvbjerg, B., Holm, M. K. S., & Buhl, S. L. (2003). How common and how large are cost overruns in transport infrastructure projects? *Transport Reviews*, 23(1), 71–88. <https://doi.org/10.1080/01441640309904>
- Flyvbjerg, B., Holm, M. S., & Buhl, S. (2002). Underestimating costs in public works projects: Error or lie? *Journal of the American Planning Association*, 68(3), 279–295. <https://doi.org/10.1080/01944360208976273>
- Frimpong, Y., Oluwoye, J., & Crawford, L. (2003). Causes of delay and cost overruns in construction of groundwater projects in a developing countries; Ghana as a case study. *International Journal of Project Management*, 21(5), 321–326. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(02\)00055-8](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(02)00055-8)
- Gómez-Cabrera, A., Gutierrez-Bucheli, L., & Muñoz, S. (2023). Causes of time and cost overruns in construction projects: a scoping review. *International Journal of Construction Management*, 1–19. <https://doi.org/10.1080/15623599.2023.2252288>

- Gómez-Cabrera, A., Sanz-Benlloch, A., Montalban-Domingo, L., Ponz-Tienda, J. L., & Pellicer, E. (2020). Identification of factors affecting the performance of rural road projects in Colombia. *Sustainability (Switzerland)*, 12(18). <https://doi.org/10.3390/SU12187377>
- Gondia, A., Siam, A., El-Dakhkhni, W., & Nassar, A. H. (2020). Machine Learning Algorithms for Construction Projects Delay Risk Prediction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 146(1), 04019085. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001736](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001736)
- Goos, P., & Meintrup, D. (2016). *STATISTICS WITH JMP*. Wiley.
- Herrera, R. F., Sánchez, O., Castañeda, K., & Porras, H. (2020). Cost overrun causative factors in road infrastructure projects: A frequency and importance analysis. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(16). <https://doi.org/10.3390/app10165506>
- Huo, T., Ren, H., Cai, W., Shen, G. Q., Liu, B., Zhu, M., & Wu, H. (2018). Measurement and Dependence Analysis of Cost Overruns in Megatransport Infrastructure Projects: Case Study in Hong Kong. *Journal of Construction Engineering and Management*, 144(3). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001444](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001444)
- James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2013). *An Introduction to statistical learning*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7138-7_1
- Muzira, S., De Díaz, D. H., & Jiménez Mota, B. F. (2015). Rethinking Rural Road Infrastructure Delivery: Case Study of a Green, Inclusive, and Cost-Effective Road Program in Nicaragua. <https://doi.org/10.3141/2474-23>, 2474, 195–202.
- Owusu, E. K., Chan, A. P. C., & Darko, A. (2019). Thematic Overview of Corruption in Infrastructure Procurement Process. *Journal of Infrastructure Systems*, 25(2). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)is.1943-555x.0000484](https://doi.org/10.1061/(asce)is.1943-555x.0000484)
- Perficient. (2021). *Machine Learning Vs. Statistical Learning - Perficient Blogs*.
- R Core Team. (2024). *The R Project for Statistical Computing*. <https://www.R-Project.Org/>. <https://www.r-project.org/>
- Suresha, S. N., & Arun, V. (2021). Delay in Rural Road Construction: Evidence from Pradhan Mantri Gram Sadak Yojana in Shimoga District, Karnataka, India. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, 102(1), 121–135. <https://doi.org/10.1007/s40030-021-00509-0>
- World Bank. (2022). *Using Data Analytics in Public Procurement Operational Options and a Guiding Framework Equitable Growth, Finance & Institutions Insight*. World Bank. <https://doi.org/10.1596/37467>