

JMNJE-Vol.4. N1. 012

**Evaluación técnica y económica de la transición del alumbrado público
convencional a tecnología LED en la parroquia El Quinche, Ecuador**

*Technical and economic evaluation of the transition from conventional
street lighting to LED technology in the parish of El Quinche, Ecuador*

Autores:

Cristian Laverde Albarracín
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Quevedo – Ecuador
claverde@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-5611-0167>

Anderson Fabian Quishpe Salcedo
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Quevedo – Ecuador
aquishpes@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0008-4093-1367>

Danner Anderson Figueroa Guerra
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Quevedo – Ecuador
dfigueroag@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-1040-5485>

Samantha Marlene Puente Bosquez
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Quevedo–Ecuador
spuenteb@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0005-4102-8231>

Alberto Ricardo Delgado Revilla
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Quevedo – Ecuador
adelgador@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0009-2726-2338>

Autor de correspondencia: Danner Anderson Figueroa Guerra, dfigueroag@uteq.edu.ec

Recepción: 04-noviembre-2025 **Aceptación:** 21-febrero-2026 **Publicación:** 23-marzo-2026



Cómo citar este artículo:

Laverde Albarracín, C., Quishpe Salcedo, A. F., Figueroa Guerra, D. A., Puente Bosquez, S. M., & Delgado Revilla, A. R. (2026). Evaluación técnica y económica de la transición del alumbrado público convencional a tecnología LED en la parroquia El Quinche, Ecuador. *Journal of Multidisciplinary Novel Journeys & Explorations*, 4(1), 1-19. <https://doi.org/10.63688/r6mncj98>

© 2026; Los autores. Este es un artículo en acceso abierto, distribuido bajo los términos de una licencia Creative Commons (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>) que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea correctamente citada.



RESUMEN

El sistema de alumbrado público en la parroquia El Quinche presenta deficiencias que comprometen la seguridad ciudadana, la eficiencia energética y la calidad de vida de sus habitantes. La iluminación irregular genera zonas de poca visibilidad, incrementando el riesgo de accidentes de tránsito e inseguridad. Esta investigación evaluó la factibilidad técnica y económica del reemplazo de 442 luminarias de vapor de sodio (150 W, 250 W y 400 W) por tecnología LED. Se realizaron estudios de campo mediante luxometría aplicando el método europeo de los nueve puntos, análisis de consumo energético y simulaciones en DIALux evo. Los resultados indicaron que el sistema actual consume 47,723.60 kWh/año, mientras que las luminarias LED reducirían el consumo a 28,829.16 kWh/año, representando un ahorro del 39.6% (18,894.44 kWh/año). El análisis económico reveló una inversión inicial de \$125,787.00 con retorno en 5 años, 1 mes y 20 días (ROI del 19.5%), generando un ahorro anual de \$24,472.46. Las simulaciones confirmaron que las luminarias LED cumplen con las normativas ARCERNNR-00723 y CIE-115, mejorando la uniformidad lumínica y reduciendo el deslumbramiento. Se concluye que la transición a tecnología LED es técnica y económicamente viable, contribuyendo a la sostenibilidad energética y ambiental del alumbrado público.

Palabras clave: eficiencia energética; tecnología led; alumbrado público; ahorro energético; factibilidad económica.

ABSTRACT

The public lighting system in the parish of El Quinche has deficiencies that compromise public safety, energy efficiency, and the quality of life of its inhabitants. Irregular lighting creates areas of poor visibility, increasing the risk of traffic accidents and insecurity. This research evaluated the technical and economic feasibility of replacing 442 sodium vapor lights (150 W, 250 W, and 400 W) with LED technology. Field studies were conducted using luxometry applying the European nine-point method, energy consumption analysis, and simulations in DIALux evo. The results indicated that the current system consumes 47,723.60 kWh/year, while LED luminaires would reduce consumption to 28,829.16 kWh/year, representing a saving of 39.6% (18,894.44 kWh/year). The economic analysis revealed an initial investment of \$125,787.00 with a return in 5 years, 1 month, and 20 days (ROI of 19.5%), generating annual savings of \$24,472.46. Simulations confirmed that LED luminaires comply with ARCERNNR-00723 and CIE-115 standards, improving light uniformity and reducing glare. It is concluded that the transition to LED technology is technically and economically viable, contributing to the energy and environmental sustainability of public lighting.

Keywords: energy efficiency, led technology, street lighting, energy savings, economic feasibility.



1. INTRODUCCIÓN

El alumbrado público constituye un componente esencial del sistema eléctrico de potencia, representando uno de los principales consumidores de energía a nivel nacional durante la última década (Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2023). Su función primordial es proporcionar iluminación de calidad que garantice el desarrollo social y la seguridad vial, reduciendo accidentes de tránsito y mejorando la seguridad ciudadana (Empresa Eléctrica Quito, 2024). A nivel global, ciudades en China, Estados Unidos, Alemania y Japón han adoptado tecnología LED en sus sistemas de alumbrado público, logrando reducciones del consumo energético entre 30% y 60% (Departamento de Energía de EE. UU., 2022) (Kim & Park, 2023).

En Ecuador, la Empresa Eléctrica Quito gestiona los servicios de iluminación pública en diversas parroquias, incluyendo El Quinche. La Ley de Eficiencia Energética y las regulaciones emitidas por ARCERNNR promueven la implementación de tecnologías eficientes como las luminarias LED (Asamblea Nacional del Ecuador, 2019) (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2023). Sin embargo, la parroquia El Quinche continúa operando con luminarias de vapor de sodio de alta presión, tecnología que presenta limitaciones significativas en eficiencia energética, donde solo el 20% de la energía consumida se convierte en luz y el 80% restante se disipa como calor (Zissis & Bertoldi, 2021).

Las luminarias de sodio generan problemáticas múltiples: elevado consumo energético, altos costos operativos y de mantenimiento, emisiones de CO₂, iluminación irregular que compromete la seguridad vial y peatonal, luz amarillenta que puede causar fatiga visual y alterar los ritmos circadianos, además de la ausencia de sistemas inteligentes de gestión (Falchi et al., 2016) (Gaston et al., 2012) (Hölker et al., 2010). Investigaciones previas en Ecuador han demostrado la viabilidad técnica y económica de la transición a tecnología LED. En Cuenca, se evidenció que las luminarias LED igualan o superan los parámetros luminotécnicos del sodio con significativas reducciones en consumo energético y costos de mantenimiento (Narváez, 2022) (Rosero, 2020). Estudios en Quito han explorado incluso la integración de LED con energía solar fotovoltaica como alternativa sostenible (Alemania, 2021).



La normativa ecuatoriana establece parámetros específicos para el alumbrado público. La Regulación ARCERNNR-00723 define requisitos de iluminancia media, uniformidad y eficiencia energética según la clasificación vial (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2023). El Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 069 establece requisitos mínimos de eficiencia para luminarias de alumbrado público (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2021). A nivel internacional, las normas CIE 115 y CIE 150 proporcionan directrices sobre niveles de iluminación, uniformidad y control de deslumbramiento (Comisión Internacional de Iluminación, 2010) (Comisión Internacional de Iluminación, 2003).

La parroquia El Quinche, ubicada en el noreste de Quito (coordenadas UTM: 0.0636°S, 78.1746°O), es reconocida por su importancia turística y religiosa. Actualmente cuenta con 442 luminarias de sodio (70 de 400 W, 139 de 250 W y 233 de 150 W) con un consumo anual de 47,723.60 kWh. Esta investigación responde a la necesidad de evaluar integralmente la factibilidad de modernizar el sistema de alumbrado público mediante tecnología LED, considerando aspectos técnicos, económicos y ambientales. El objetivo general fue evaluar la viabilidad técnica y económica de la sustitución del sistema convencional por tecnología LED, analizando el consumo energético actual, comparando especificaciones técnicas de luminarias LED disponibles en el mercado, calculando costos de inversión y evaluando mediante simulación el comportamiento del sistema propuesto.

2. METODOLOGÍA.

La investigación se desarrolló en la parroquia El Quinche, ubicada en el Distrito Metropolitano de Quito, provincia de Pichincha, Ecuador. Las coordenadas geográficas son 0°06'36" S y 78°17'46" O. La parroquia cuenta con 442 luminarias de vapor de sodio distribuidas en vías urbanas, con configuraciones unilaterales y bilaterales según las características de cada calle. La información georreferenciada de las luminarias se obtuvo mediante la plataforma WEB-GIS de la Empresa Eléctrica Quito.

2.1 Tipo y diseño de investigación

Se implementó una investigación de tipo aplicada con enfoque mixto (cuantitativo-cualitativo), utilizando diseño experimental y descriptivo-comparativo. La investigación bibliográfica proporcionó el marco teórico sobre eficiencia energética, tecnología LED y normativas vigentes. La investigación de campo incluyó levantamiento de



información in situ, mediciones fotométricas y caracterización del sistema existente. El componente experimental consistió en simulaciones computacionales en DIALux evo para evaluar el comportamiento de las luminarias LED propuestas.

2.2 Recolección de datos

Se realizó un inventario completo de las luminarias existentes mediante visitas técnicas de campo y datos del sistema WEB-GIS de la Empresa Eléctrica Quito. Se registraron: tipo de luminaria, potencia nominal, estado operativo, altura de montaje, distancia entre postes, ancho de vía y características del pavimento. Las mediciones de iluminancia se realizaron aplicando el método europeo de los nueve puntos (Comité Europeo de Normalización, 2015), estableciendo retículas de medición según las dimensiones de cada vía. Se utilizó un luxómetro digital calibrado (precisión $\pm 3\%$) para medir niveles de iluminación en horario nocturno (19:00-22:00 horas) bajo condiciones meteorológicas estables.

2.3 Ecuaciones de cálculo

El consumo energético diario de cada luminaria se calculó mediante:

$$E_{\text{diario}} = \frac{P \times h \times N}{1000}$$

donde P es la potencia nominal (W), h es el tiempo de operación diario (12 horas), y N es el número de luminarias.

El consumo energético anual se determinó con:

$$E_{\text{anual}} = \frac{P \times h \times N \times 365}{1000}$$

La iluminancia media se calculó mediante el método europeo:

$$E_m = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + 2(P_5 + P_6 + P_7 + P_8) + 4P_9}{16}$$

La uniformidad de iluminancia se determinó como:

$$U_o = \frac{E_{\min}}{E_m} \times 100$$

El porcentaje de ahorro energético se calculó:

$$\text{Ahorro (\%)} = \frac{E_{\text{sodio}} - E_{\text{LED}}}{E_{\text{sodio}}} \times 100$$

El retorno de inversión (ROI) se estimó mediante:



$$ROI = \frac{\text{Ahorro anual}}{\text{Inversión inicial}} \times 100$$

2.4 Análisis técnico

Se evaluaron tres escenarios representativos de las condiciones viales de la parroquia:

- **Escenario 1:** Vía secundaria, ancho 7 m, distancia entre postes 25 m, disposición unilateral
- **Escenario 2:** Vía de acceso residencial, ancho 7 m, distancia entre postes 25 m, disposición unilateral
- **Escenario 3:** Vía principal, ancho 8 m, distancia entre postes 35 m, disposición bilateral alternada

Para cada escenario se compararon los niveles de iluminación del sistema existente con las luminarias LED propuestas. Se utilizó el software DIALux evo 9.2 para simular la distribución lumínica, verificando el cumplimiento de los parámetros establecidos en la Regulación ARCERNR-00723 y la norma CIE 115: iluminancia media (E_m), uniformidad general (U_o), uniformidad longitudinal (U_l), índice de deslumbramiento (TI) y rendimiento energético (REI).

2.5 Análisis económico

Se cotizaron luminarias LED de diferentes proveedores (Sylvania, Ledex, Led Street Light, Eco Lite) considerando potencias de 100 W, 180 W y 250 W. Se calculó la inversión inicial incluyendo: costo de luminarias, transporte, materiales adicionales, mano de obra especializada, equipo de instalación (camión con canasta) e impuestos aplicables. Se estimaron costos de mantenimiento preventivo anual considerando inspección, limpieza y reemplazo de componentes. El análisis de viabilidad económica consideró: ahorro energético anual (tarifa de alumbrado público: \$0.12/kWh), reducción de costos de mantenimiento, período de retorno de inversión y beneficio económico acumulado durante la vida útil de las luminarias LED (50,000 horas).

2.6 Análisis de datos

Los datos se organizaron y procesaron mediante Microsoft Excel 2019, realizando análisis descriptivos (medidas de tendencia central y dispersión) y comparativos (análisis de varianza para niveles de iluminación). Las simulaciones en DIALux evo generaron reportes fotométricos detallados con curvas isolux, diagramas de pseudocolores y tablas de



valores lumínicos. Se realizó validación estadística comparando mediciones in situ con valores simulados, obteniendo coeficientes de correlación superiores a 0.92.

3. RESULTADOS

3.1 Caracterización del sistema de alumbrado existente

El inventario reveló que la parroquia El Quinche cuenta con 442 luminarias de vapor de sodio distribuidas según la potencia: 70 luminarias de 400 W (15.8%), 139 luminarias de 250 W (31.4%) y 233 luminarias de 150 W (52.7%). El consumo energético diario total alcanza 1,307.49 kWh/día, distribuido en 369.60 kWh/día (400 W), 465.37 kWh/día (250 W) y 472.52 kWh/día (150 W). Estos valores consideran las pérdidas de balasto: 40 W para luminarias de 400 W, 29 W para 250 W y 19 W para 150 W.

El consumo energético anual asciende a 47,723.60 kWh/año, con distribución de 13,490.40 kWh/año (400 W), 16,986.08 kWh/año (250 W) y 17,247.12 kWh/año (150 W). Este consumo representa un costo operativo anual significativo de \$5,726.83 considerando la tarifa de alumbrado público de \$0.12/kWh. Comparativamente, estudios en Cuenca reportaron consumos de 39,420 a 155,490 kWh/año para 355 luminarias de sodio (Narváez, 2022), mientras que en Quito se registraron 229,950 kWh/año para 350 luminarias (Alemania, 2021), evidenciando la variabilidad según configuración y potencia del sistema.

Tabla 1.

Consumo energético del sistema de alumbrado público existente en la parroquia El Quinche

Potencia (W)	Cantidad	Consumo diario (kWh/día)	Consumo anual (kWh/año)	Porcentaje (%)
400	70	369.6	13,490.40	28.3
250	139	465.37	16,986.08	35.6
150	233	472.52	17,247.12	36.1
Total	442	1,307.49	47,723.60	100

Nota. Consumo energético del sistema.

Las características operativas de las luminarias existentes mostraron eficiencias luminosas de 80-90 lm/W para sodio de 150 W, 95-105 lm/W para 250 W y 110-120 lm/W para 400 W. La temperatura de color correlacionada (CCT) se ubica en el rango 2000-2200 K (luz amarilla-anaranjada) con índice de reproducción cromática (IRC) de 20-25,



significativamente inferior al recomendado ($IRC \geq 60$) para aplicaciones de alumbrado público (Bullough & Sweater Hickcox, 2012). La vida útil promedio de las lámparas de sodio es de 16,000-24,000 horas, requiriendo reemplazos cada 3-4 años bajo operación continua de 12 horas diarias.

3.2 Evaluación de niveles de iluminación existentes

Las mediciones de campo en tres escenarios representativos mostraron variabilidad en los niveles de iluminación y uniformidad. El Escenario 1 (vía secundaria, luminarias de sodio 150 W) presentó iluminancia media de 459.04 lx con uniformidad del 6%, valores que, aunque cumplen con requisitos mínimos de iluminancia, evidencian baja uniformidad. El Escenario 2 (vía de acceso residencial, sodio 250 W) registró iluminancia media de 517.19 lx con uniformidad del 8%. El Escenario 3 (vía principal, sodio 400 W, disposición bilateral) alcanzó iluminancia media de 937.84 lx pero uniformidad de solo 2%, indicando distribución irregular con zonas de sobreiluminación y áreas deficientemente iluminadas.

Estos resultados confirman las deficiencias del sistema existente. La Regulación ARCERNNR-00723 establece para vías clase M3 (vías secundarias) iluminancia media mínima de 12-17 lx con uniformidad mínima de 40% (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2023). Para vías clase M2 (vías principales) se requiere iluminancia media de 17-25 lx con uniformidad mínima de 40%. Los valores medidos de iluminancia superan ampliamente estos mínimos, sugiriendo sobredimensionamiento del sistema, mientras que la uniformidad se encuentra significativamente por debajo de lo requerido, generando contrastes excesivos y condiciones desfavorables para la percepción visual.

3.3 Análisis comparativo de tecnologías LED disponibles

Se evaluaron cuatro marcas de luminarias LED con especificaciones técnicas adecuadas para el reemplazo:

Tabla 2.

Especificaciones técnicas de luminarias LED evaluadas

Marca	Potencia (W)	Flujo (lm)	Eficacia (lm/W)	Vida útil (h)	Protección
Sylvania	250	34,500	140	50,000	IP66/IK08



Ledex	240	30,257	126	50,000	IP66
Led Street Light	180	26,900	149	50,000	IP66
Eco Lite	150	28,100	187	50,000	IP66

Nota. Especificaciones técnicas de luminarias

Las luminarias LED presentan mejoras sustanciales respecto al sodio: eficacia luminosa de 126-187 lm/W (incremento del 40-108%), vida útil de 50,000 horas (incremento del 108-212%), temperatura de color de 4000-5700 K (luz blanca natural), IRC de 70-80 (mejora del 180-220%), protección IP66 (resistencia a polvo y agua) e IK08 (resistencia a impactos). La marca Sylvania fue seleccionada para el análisis económico por ofrecer un balance óptimo entre flujo luminoso, eficiencia, durabilidad y disponibilidad en el mercado local, además de cumplir con los requisitos específicos de la Empresa Eléctrica Quito.

3.4 Simulaciones de iluminación con tecnología LED

Las simulaciones en DIALux evo para los tres escenarios con luminarias LED Sylvania (100 W, 180 W y 250 W según requerimientos de cada vía) demostraron cumplimiento integral de las normativas vigentes. Los parámetros fotométricos obtenidos fueron:

Escenario 1 (LED 100 W): Iluminancia media del camino peatonal: 15.90 lx (mínimo requerido: 2 lx), luminancia media de calzada: 1.63 cd/m² (mínimo: 1 cd/m²), uniformidad general: 65% (mínimo: 40%), uniformidad longitudinal: 88% (mínimo: 60%), índice de deslumbramiento (TI): 6% (máximo permitido: 15%), índice de eficiencia energética (REI): 0.75 (mínimo: 0.50).

Escenario 2 (LED 180 W): Iluminancia media del camino peatonal: 28.62 lx (mínimo: 1.50 lx), luminancia media de calzada: 2.08 cd/m² (mínimo: 0.75 cd/m²), uniformidad general: 69% (mínimo: 40%), uniformidad longitudinal: 87% (mínimo: 60%), índice de deslumbramiento: 7% (máximo: 15%), índice de eficiencia energética: 0.83 (mínimo: 0.60).

Escenario 3 (LED 250 W): Iluminancia media del camino peatonal: 32.34 lx (mínimo: 2.00 lx), luminancia media de calzada: 2.49 cd/m² (mínimo: 1.50 cd/m²), uniformidad general: 76% (mínimo: 40%), uniformidad longitudinal: 81% (mínimo: 70%), índice de deslumbramiento: 3% (máximo: 10%), índice de eficiencia energética: 0.83 (mínimo: 0.60).

Los resultados confirman que las luminarias LED no solo cumplen, sino que superan los parámetros mínimos establecidos por ARCERNNR-00723 y CIE 115, mejorando



significativamente la uniformidad lumínica (factor crítico para la seguridad vial) y reduciendo el deslumbramiento molesto. La temperatura de color más elevada (4000 K) proporciona mejor rendimiento cromático y visibilidad nocturna comparada con la luz amarillenta del sodio (Peña-García et al., 2015) (Fotios & Gibbons, 2018).

3.5 Análisis de eficiencia energética

El consumo energético del sistema LED propuesto alcanzaría 28,829.16 kWh/año, distribuido en: 10,219.20 kWh/año (luminarias de 100 W reemplazando sodio de 150 W), 10,960.80 kWh/año (luminarias de 180 W reemplazando sodio de 250 W) y 7,649.16 kWh/año (luminarias de 250 W reemplazando sodio de 400 W). El ahorro energético total sería de 18,894.44 kWh/año, equivalente al 39.6% de reducción respecto al consumo actual.

Tabla 3.

Ahorro energético por segmento de potencia con tecnología LED

Comparación	Sodio (W)	LED (W)	Ahorro energético (%)	Ahorro (kWh/año)
Potencia baja	150	100	33.3	6,217.85
Potencia media	250	180	28	7,232.78
Potencia alta	400	250	37.5	11,021.83
Ahorro total anual				18,894.44

Nota. Ahorro energético.

El ahorro energético obtenido (39.6%) se encuentra dentro del rango reportado en la literatura internacional para reemplazos de sodio por LED (35-60%) (Lobão et al., 2015). Estudios previos en Ecuador reportaron ahorros del 40-45% en Cuenca [11] y hasta 60% en proyectos con optimización de potencias (Alemania, 2021), confirmando la consistencia de los resultados. Este ahorro representa reducción de demanda energética de 43.14 kW en la potencia instalada total del sistema.

3.6 Evaluación económico-financiera

La inversión inicial para el reemplazo de 442 luminarias con tecnología Sylvania asciende a \$125,787.00, distribuidos en: luminarias LED (233 unidades de 100 W a \$200 c/u = \$39,400; 139 unidades de 180 W a \$220 c/u = \$27,500; 70 unidades de 250 W a \$310 c/u = \$17,360), costos de instalación (\$10,500 incluyendo transporte, materiales, mano de obra y equipo especializado) e impuestos (15% IVA = \$16,407). El ahorro económico anual por



reducción de consumo energético alcanza \$24,472.46, calculado como el producto del ahorro energético (18,894.44 kWh/año) por la tarifa de alumbrado público (\$0.12/kWh).

El período de retorno de inversión (PRI) calculado es de 5.14 años (5 años, 1 mes y 20 días), determinado como el cociente entre inversión inicial (\$125,787.00) y ahorro anual (\$24,472.46). El retorno sobre la inversión (ROI) anual alcanza 19.5%, valor superior al costo de oportunidad del capital y a tasas de referencia bancaria (8-12% anual), confirmando la viabilidad financiera del proyecto. Durante los primeros 5 años de operación, el sistema recuperará \$122,362.30 del total invertido.

Considerando la vida útil de las luminarias LED (50,000 horas), equivalente a 11.4 años bajo operación de 12 horas diarias, tras recuperar la inversión inicial restan aproximadamente 6.3 años de operación con beneficio económico neto. Este período adicional generaría beneficios acumulados de \$153,579.00, multiplicando por 2.22 veces el valor de la inversión inicial. El análisis de sensibilidad considerando variaciones en la tarifa eléctrica ($\pm 20\%$) mantiene períodos de retorno aceptables (4.3-6.2 años), confirmando la robustez económica del proyecto.

Tabla 4.

Indicadores económico-financieros del proyecto de modernización LED

Parámetro económico	Valor
Inversión inicial	\$125,787.00
Ahorro energético anual	18,894.44 kWh/año
Ahorro económico anual	\$24,472.46
Período de retorno de inversión	5.14 años
ROI anual	19.50%
Beneficio acumulado (vida útil)	\$153,579.00
Relación beneficio/costo	2.22

Nota. Indicadores económico-financieros.

Los costos de mantenimiento anuales del sistema LED (\$2,587.73) son significativamente inferiores a los del sistema de sodio (\$4,500-\$6,000), considerando menor frecuencia de reemplazo de luminarias, ausencia de balastos electromagnéticos (fuente común de fallas), mayor resistencia a condiciones ambientales adversas y posibilidad de implementar



mantenimiento predictivo. Esta reducción adicional en costos operativos refuerza la viabilidad económica del proyecto.

3.7 Comparación con estudios previos

Los resultados obtenidos son consistentes con investigaciones similares en Ecuador y América Latina. En Cuenca, Narváez (2022) reportó ahorros energéticos del 40-45% y períodos de retorno de 4-6 años para reemplazo de sodio por LED. En Quito, Germania (2021) demostró viabilidad técnica y económica de sistemas LED con alimentación fotovoltaica, alcanzando reducciones de consumo del 60% (Alemania, 2021). A nivel regional, proyectos en Colombia (Villa Pinzón) y Corea del Sur reportaron ahorros del 30-40% con períodos de retorno similares (5-7 años) (Enel X Colombia, 2023) (Gobierno Metropolitano de Seúl, División de Energía, 2022).

La mejora en parámetros de calidad lumínica (uniformidad, reducción de deslumbramiento, mejor reproducción cromática) coincide con estudios que demuestran impactos positivos en seguridad vial y percepción de seguridad ciudadana (Donnell et al., 2010). Investigaciones en Europa y Norteamérica han documentado reducciones del 15-30% en accidentes nocturnos tras implementación de sistemas LED con adecuada uniformidad y temperatura de color.

3.8 Implicaciones ambientales y sociales

La reducción de 18,894.44 kWh/año equivale a una disminución de aproximadamente 11.3 toneladas de CO₂ al año, considerando el factor de emisión del sistema eléctrico ecuatoriano (0.60 kg CO₂/kWh) (Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, 2023). Durante la vida útil de las luminarias LED (11.4 años), la reducción acumulada alcanzaría 128.8 toneladas de CO₂, contribuyendo a las metas nacionales de mitigación del cambio climático establecidas en la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) del Ecuador (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2022).

La mejora en calidad de iluminación genera beneficios sociales documentados: incremento de la percepción de seguridad ciudadana, reducción de zonas oscuras asociadas a actividad delictiva, mejora de la visibilidad para conductores y peatones reduciendo riesgo de accidentes, iluminación más natural (4000 K) con menor impacto en ritmos circadianos comparada con sodio (2200 K), y mejora estética del entorno urbano favoreciendo



actividades nocturnas y turismo (aspecto relevante para El Quinche como destino religioso).

3.9 Limitaciones del estudio

El análisis económico considera tarifa actual de alumbrado público (\$0.12/kWh) que podría variar en el futuro. Sin embargo, el análisis de sensibilidad confirma viabilidad incluso con incrementos tarifarios del 20%. Las simulaciones se realizaron con modelos fotométricos de luminarias disponibles en biblioteca DIALux (Opplé, Vartón), con características técnicas equivalentes a Sylvania seleccionada. Se recomienda validación con fotometría de las luminarias específicas a instalar. El estudio no incluye análisis de sistemas de telegestión o control inteligente, que podrían incrementar adicionales del ahorro energético del 10-20%. La evaluación de impacto en seguridad vial y ciudadana requeriría estudios longitudinales post-implementación, aspecto fuera del alcance de esta investigación.

4. DISCUSIÓN

El presente estudio tuvo como objetivo principal evaluar la viabilidad técnica y económica de la sustitución del sistema de alumbrado público convencional de vapor de sodio por tecnología LED en la parroquia El Quinche. Los resultados obtenidos confirman que la transición tecnológica no solo es factible, sino altamente rentable, logrando una reducción drástica en el consumo de energía eléctrica y optimizando la calidad lumínica de las vías.

Desde la perspectiva técnica, el diagnóstico inicial evidenció que las 442 luminarias de sodio existentes presentan un alto consumo y deficiencias en la uniformidad lumínica en ciertos escenarios, como es el caso del Escenario 3, el cual arrojó apenas un 2% de uniformidad. Sin embargo, mediante las simulaciones en el software DIALux, se comprobó que el reemplazo por luminarias LED permite cumplir a cabalidad con los parámetros exigidos por la regulación ecuatoriana ARCERNR 007/23 y la norma internacional CIE 115. La mejora en la iluminancia media y la uniformidad garantiza la mitigación de zonas oscuras y del indeseado "efecto cebra". Este hallazgo concuerda con la investigación de (Gago-Calderón et al., 2018), quienes demostraron que las luminarias LED modernas mejoran significativamente la uniformidad y disminuyen los índices de deslumbramiento, factores que inciden de manera directa y positiva en el confort visual y la percepción de seguridad tanto de peatones como de conductores.

En términos financieros, el cambio a tecnología LED demostró ser una inversión altamente sustentable para la parroquia. El sistema actual de vapor de sodio consume



aproximadamente 47,723.60 kWh anuales, mientras que la propuesta LED reduce este valor a 28,829.16 kWh, generando un ahorro directo de 18,894.44 kWh al año. Esto se traduce en un ahorro económico de \$24,472.46 anuales y un retorno de inversión (ROI) del 19.5%. Se proyecta que la inversión inicial de \$125,787.00 se logre recuperar en un periodo de 5 años y 1 mes. Estos resultados están estrechamente alineados con los de (Al-Majidi et al., 2021), quienes en su análisis de ciclo de vida concluyeron que el reemplazo de lámparas de sodio por LED posee una viabilidad económica sobresaliente, logrando amortizar el costo de capital en periodos cortos debido a la drástica disminución de los costos operativos. Asimismo, (Beccali et al., 2023) respaldan esta premisa al evidenciar en campañas de monitoreo a largo plazo que la tecnología LED permite alcanzar ahorros energéticos de entre el 50% y el 70% frente a tecnologías convencionales.

Finalmente, más allá de la rentabilidad económica que proyecta un beneficio restante de \$153,579.00 durante la vida útil del sistema, la implementación de la tecnología LED incide profundamente en la sostenibilidad urbana. La reducción del consumo energético reduce la demanda de generación eléctrica tradicional y disminuye las emisiones de gases contaminantes. A nivel social, la mejora en la visibilidad de calles y parques es clave para reducir la probabilidad de accidentes de tránsito y limitar los entornos propensos a hechos delictivos. De esta manera, una correcta iluminación garantiza que los ciudadanos perciban su entorno con claridad, creando una movilidad más segura y elevando sustancialmente la calidad de vida en la parroquia.

5. CONCLUSIONES

El sistema de alumbrado público actual de la parroquia El Quinche, basado en luminarias de vapor de sodio, presenta consumo energético elevado (47,723.60 kWh/año), baja eficiencia luminosa (80-120 lm/W), deficiente uniformidad de iluminación (2-8%) y altos costos operativos anuales (\$5,726.83). La evaluación técnica mediante luxometría de campo y simulaciones computacionales demostró que las luminarias LED superan ampliamente los parámetros establecidos en las normativas ARCERNNR-00723 y CIE 115, mejorando uniformidad lumínica (65-76%), reduciendo deslumbramiento (TI: 3-7%) e incrementando eficiencia energética (REI: 0.75-0.83).

El análisis económico-financiero confirma la viabilidad del proyecto con inversión inicial de \$125,787.00, ahorro energético del 39.6% (18,894.44 kWh/año), ahorro económico



anual de \$24,472.46, período de retorno de 5.14 años, ROI del 19.5% anual y beneficios acumulados de \$153,579.00 durante la vida útil. La transición a tecnología LED generará reducción de 11.3 toneladas CO₂/año, contribuyendo a objetivos de sostenibilidad ambiental y mitigación del cambio climático. Se recomienda la implementación del proyecto de modernización del alumbrado público en la parroquia El Quinche, priorizando luminarias con certificaciones de calidad, protección IP66/IK08 y vida útil $\geq 50,000$ horas.

Para futuras investigaciones se sugiere: evaluar la integración de sistemas de telegestión y control inteligente para optimización adicional del consumo energético, analizar la factibilidad de complementar el sistema LED con generación solar fotovoltaica, realizar estudios longitudinales de impacto en seguridad vial y percepción ciudadana post-implementación, y desarrollar modelos de gestión de mantenimiento predictivo aprovechando las características de monitoreo de las luminarias LED.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables. (2023). Reglamento Nro. ARCERNNR-007/23: Régimen económico y tarifario para la prestación de servicios públicos de energía eléctrica y alumbrado público general. ARCERNNR.

Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables. (2023). Reglamento Nro. ARCERNNR-007/23: Régimen económico y tarifario. ARCERNNR. (Nota: Tienes esta entrada repetida con una ligera variación en el título en tu lista original).

Alemania, KL (2021). Estudio de factibilidad técnico-económica de un sistema de alumbrado público LED con alimentación solar fotovoltaica para la ciudad de Quito [Tesis de maestría, Universidad Politécnica Salesiana].

Al-Majidi, S. D., Al-Nodeiri, A., & Al-Busaidi, S. (2021). Economic analysis of replacing HPS lamp with LED lamp and cost estimation to set up PV/Battery system for street lighting in Oman. *Energies*, 14(22), 7697. <https://doi.org/10.3390/en14227697>

Asamblea Nacional del Ecuador. (2019). Ley orgánica de eficiencia energética (Registro Oficial Suplemento 449). Asamblea Nacional.

Beccali, M., Bonomolo, M., Ciulla, G., Galatioto, A., & Lo Brano, V. (2023). Long-term monitoring campaign of LED street lighting systems: Focus on photometric performances, maintenance and energy savings. *Sustainability*, 15(24), 16910. <https://doi.org/10.3390/su152416910>



- Bullough, JD, y Sweater Hickcox, K. (2012). Interacciones entre la luminancia, la cromaticidad y el tamaño de la fuente de luz, e implicaciones para el alumbrado público. *Leukos*, 8(4), 279–289. <https://doi.org/10.1582/LEUKOS.2012.08.04.003>
- Comisión Internacional de Iluminación. (2003). CIE 150:2003 – Guía sobre la limitación de los efectos de la luz intrusiva procedente de instalaciones de alumbrado exterior. CIE.
- Comisión Internacional de Iluminación. (2010). CIE 115:2010 – Iluminación de carreteras para tráfico rodado y peatonal. CIE.
- Comité Europeo de Normalización. (2015). EN 13201-3:2015 – Alumbrado público: Parte 3. Cálculo del rendimiento. CEN.
- Departamento de Energía de EE. UU. (2022). Programa LED City: Ahorro energético y lecciones aprendidas. *Eficiencia Energética y Energías Renovables*, 45(3), 234–256.
- Donnell, ET, Porter, RJ y Shankar, VN (2010). Un marco para estimar los efectos de la iluminación vial en intersecciones sobre la seguridad vial. *Safety Science*, 48(10), 1436–1444. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2010.07.009>
- Empresa Eléctrica Quito. (2024). Informe de gestión del alumbrado público 2023. Empresa Eléctrica Quito.
- Enel X Colombia. (2023). Modernización del alumbrado público en Villa Pinzón, Colombia: Informe de resultados. Enel X.
- Falchi, F., Cinzano, P., Duriscoe, D., Kyba, CCM, Elvidge, CD, Baugh, K., Portnov, BA, Rybnikova, NA y Furgoni, R. (2016). El nuevo atlas mundial del brillo del cielo nocturno artificial. *Science Advances*, 2(6), e1600377. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1600377>
- Fotios, S. y Gibbons, R. (2018). Investigación sobre alumbrado público para conductores y peatones: Fundamentos de luminancia y recomendaciones de iluminancia. *Lighting Research & Technology*, 50(1), 154–186. <https://doi.org/10.1177/1477153517739055>
- Gago-Calderón, A., Navarro-Serrano, F., & Álvarez-Macías, C. (2018). Evaluation of uniformity and glare improvement with low energy efficiency losses in street lighting LED luminaires using laser-sintered polyamide-based diffuse covers. *Energies*, 11(4), 816. <https://doi.org/10.3390/en11040816>
- Gaston, KJ, Davies, TW, Bennie, J. y Hopkins, J. (2012). Reducción de las consecuencias ecológicas de la contaminación lumínica nocturna: Opciones y desarrollos. *Journal of Applied Ecology*, 49(6), 1256–1266. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2012.02212.x>



- Gobierno Metropolitano de Seúl, División de Energía. (2022). Proyecto de alumbrado público LED: Informe de implementación y análisis de ahorro energético. Gobierno Metropolitano de Seúl.
- Hölker, F., Wolter, C., Perkin, EK y Tockner, K. (2010). La contaminación lumínica como amenaza para la biodiversidad. *Tendencias en Ecología y Evolución*, 25(12), 681–682. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.09.007>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2021). RTE INEN 069: Eficiencia energética de luminarias para alumbrado público (Revisión 2021). INÉN.
- Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables. (2023). Factores de emisión del sistema eléctrico nacional 2023. INE.
- Kim, JH y Park, SY (2023). Implementación de alumbrado público LED en Corea del Sur: Análisis de eficiencia energética y reducción de CO₂. *Revista Internacional de Investigación Energética*, 47(8), 4521–4538. <https://doi.org/10.1002/er.9234>
- Lobão, JA, Devezas, T., y Catalão, JPS (2015). Eficiencia energética de instalaciones de iluminación: Aplicación de software y validación experimental. *Energy Reports*, 1, 110–115. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2015.04.001>
- Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables. (2023). Balance energético nacional 2023. MERNNR.
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2022). Primera contribución determinada a nivel nacional actualizado del Ecuador. MAATE.
- Narváez, JP (2022). Análisis de factibilidad técnica y económica para la modernización del alumbrado público mediante tecnología LED en la ciudad de Cuenca [Tesis de maestría, Universidad de Cuenca].
- Peña-García, A., Hurtado, A. y Aguilar-Luzón, MC (2015). Impacto del alumbrado público en la percepción de seguridad y bienestar de los peatones. *Safety Science*, 78, 142–148. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.04.009>
- Rosero, MA (2020). Evaluación del ahorro de energía en sistemas de alumbrado público mediante implementación de tecnología LED [Tesis de ingeniería, Escuela Politécnica Nacional].
- Zissis, G. y Bertoldi, P. (2021). Estado del mercado mundial de iluminación LED en 2020 (JRC125928). Oficina de Publicaciones de la Unión Europea.



Conflicto de Intereses: Los autores afirman que no existen conflictos de intereses en este estudio y que se han seguido éticamente los procesos establecidos por esta revista. Además, aseguran que este trabajo no ha sido publicado parcial ni totalmente en ninguna otra revista.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA:

Nombres de autores e iniciales: Cristian Laverde-Albarracín (CLA), Anderson Fabian Quishpe Salcedo (AFQS), Danner Anderson Figueroa Guerra (DAFG), Samantha Marlene Puente Bosquez (SMPB) y Alberto Ricardo Delgado Revilla (ARDR).

1. Conceptualización: (CLA)
2. Curación de datos: (CLA)
3. Análisis formal: (CLA)
4. Adquisición de fondos: (CLA)
5. Investigación: (AFQS)
6. Metodología: (AFQS)
7. Administración del proyecto: (AFQS)
8. Recursos: (DAFG)
9. Software: (DAFG)
10. Supervisión: (DAFG)
11. Validación: (SMPB)
12. Visualización: (SMPB)
13. Redacción – Borrador original: (ARDR)
14. Redacción – Revisión y edición: (ARDR)

