DOI: 10.25100/eg.v0i29.14686
Espacio y Territorios

Análisis multivariado de la densidad de luminarias en la sede Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica: Un enfoque integral estadístico y geoespacial integrando tecnologías SIG y métodos estadísticos para la optimización de infraestructuras universitarias

Multivariate Analysis of luminaire density at the Rodrigo Facio campus of the University of Costa Rica: An integral statistical and geospatial approach integrating GIS technologies and statistical methods for university infrastructure optimization

Análise multivariada da densidade de luminárias na sede Rodrigo Facio da Universidade da Costa Rica: Uma abordagem integral estatística e geoespacial integrando tecnologias SIG e métodos estatísticos para a otimização de infraestruturas universitárias

Melvin Arnoldo Lizano Araya[1]
Universidad de Costa Rica, Montes de Oca, Costa Rica. melvin.lizanoaraya@ucr.ac.cr | 0000-0003-3437-3502

Para citar este artículo: Lizano, M. (2025). Análisis multivariado de la densidad de luminarias en la sede Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica: Un enfoque integral estadístico y geoespacial integrando tecnologías SIG y métodos estadísticos para la optimización de infraestructuras universitarias. *Entorno Geográfico*, (29), e25214686. https://doi.org/10.25100/eg.v0i29.14686

Resumen

Este estudio analiza la densidad de luminarias en la Sede Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica, utilizando un enfoque multivariado para identificar patrones y tendencias en la distribución de luminarias. Se recopilaron datos geoespaciales mediante Sistemas

[1]Máster en Sistemas de Información Geográfica y Teledetección por la Universidad de Costa Rica y la Universidad Nacional de Costa Rica. Actualmente cursa el doctorado en Ingeniería, un programa conjunto del Instituto Tecnológico de Costa Rica y la Universidad de Costa Rica. Se desempeña como profesor e investigador en la Escuela de Geografía de la Universidad de Costa Rica.
Es miembro activo de diversas organizaciones, entre ellas la comunidad OSGeo, la Red Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica (REDISIG) y el Comité de Asistencia Técnica Marino-Costera de la Comisión Nacional de Emergencias de Costa Rica. Además, coordina la Red-Labot – Costa Rica.

Esta obra está bajo licencia internacional Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0.

Globales de Navegación Satelital y se aplicaron análisis estadísticos utilizando *software* de Sistemas de Información Geográfica y técnicas de ANOVA. Los resultados sugieren que no hay diferencias significativas en la densidad de luminarias en relación con las categorías de uso de la tierra, niveles de lúmenes, potencia de watts o fincas específicas que componen el campus. Este estudio destaca la importancia del uso de tecnologías SIG y métodos estadísticos en la planificación y gestión de la infraestructura universitaria.
Palabras clave: SIG, estadística, Anova, datos y GNSS

Abstract

This study analyzes the density of luminaires at the Rodrigo Facio Campus of the University of Costa Rica, using a multivariate approach to identify patterns and trends in the distribution of luminaires. Geospatial data were collected using Global Navigation Satellite System and statistical analyses were applied using Geographic Information System software and ANOVA techniques. The results suggest that there are no significant differences in luminaire density in relation to land use categories, lumen levels, wattage, or specific farms. This study highlights the importance of the use of GIS technologies and statistical methods in university infrastructure planning and management.
Keywords: GIS, statistics, Anova, data and GNSS

Resumo

Este estudo analisa a densidade de luminárias na Sede Rodrigo Facio da Universidade da Costa Rica, utilizando uma abordagem multivariada para identificar padrões e tendências na distribuição das luminárias. Dados geoespaciais foram coletados por meio de Sistemas Globais de Navegação por Satélite e análises estatísticas foram aplicadas utilizando softwares de Sistemas de Informação Geográfica e técnicas de ANOVA. Os resultados sugerem que não há diferenças significativas na densidade de luminárias em relação às categorias de uso do solo, níveis de lúmens, potência em watts ou às diferentes propriedades que compõem o campus. Este estudo destaca a importância do uso de tecnologias SIG e de métodos estatísticos no planejamento e na gestão da infraestrutura universitária.
Palavras-chave: SIG, estatística, ANOVA, dados e GNSS

Recibido: 16 de enero de 2025 **Aceptado:** 1 de abril de 2025

Publicado: 28 de abril de 2025

1. Introducción

La iluminación adecuada en los entornos educativos juega un papel crucial no solo en la mejora de la visibilidad y comodidad, sino también en la seguridad y rendimiento académico de los estudiantes como lo mencionan Burbano y Páramo (2021). La Sede Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica, como uno de los principales campus universitarios de Costa Rica, presenta una infraestructura diversa que incluye áreas funcionales, espacios verdes, edificaciones entre otros como lo consigna la Oficina Ejecutora del Programa de Inversiones (OEPI) (s.f.) en su Plan de Ordenamiento Territorial (POT). La variabilidad en la densidad de luminarias en estas distintas áreas puede tener implicaciones significativas en la percepción de seguridad y en la efectividad del entorno educativo. Este estudio se centra en analizar esta variabilidad y en entender cómo diferentes factores, como el uso del suelo y las características de las luminarias, influyen en la distribución de la iluminación en el campus.

El enfoque de este estudio se basa en la utilización de tecnologías avanzadas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los Sistemas Globales de Navegación Satelital (en inglés abreviado como *GNSS*). Estas tecnologías y herramientas permiten una recopilación y análisis preciso de datos geoespaciales, proporcionando una base sólida para la evaluación de la densidad de luminarias. Mediante el uso de *GNSS*, se obtuvieron datos detallados sobre la ubicación de cada luminaria, mientras que los SIG facilitaron el análisis de patrones espaciales y la identificación de áreas con diferentes densidades de iluminación. El trabajo se realizó en las tres fincas que componen el campus Rodrigo Facio, (ver figura 1).



Figura 1. Mapa de las tres fincas que componen el campus Rodrigo Facio

Fuente: Elaboración propia

Este enfoque metodológico no solo permite un análisis detallado de la situación actual, sino que también ofrece una base para futuras investigaciones y mejoras en la infraestructura del campus.

Además, este estudio aplica métodos estadísticos avanzados, como el análisis de varianza (ANOVA) multivariado, para evaluar la significancia de las diferencias en la densidad de luminarias con relación a diversas variables. El ANOVA es particularmente útil en este contexto, ya que permite comparar múltiples grupos y determinar si existen diferencias significativas entre ellos como lo mencionan Bertinetto et al. (2020). Al integrar técnicas estadísticas robustas con herramientas geoespaciales avanzadas, este estudio busca proporcionar una comprensión integral de la distribución de luminarias en la Sede Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica, ofreciendo recomendaciones prácticas para la optimización de la infraestructura de iluminación y contribuyendo al bienestar y seguridad de toda la comunidad universitaria.

2. Marco Teórico

2.1. Importancia de la iluminación en entornos educativos

La iluminación adecuada en entornos educativos no solo mejora la visibilidad y comodidad, sino que también tiene un impacto directo en la seguridad y el rendimiento académico de los estudiantes, (Mendez, 2023). Una iluminación deficiente puede llevar a problemas de salud visual y disminuir la capacidad de concentración y aprendizaje.

Investigaciones recientes resaltan la importancia de la adecuada densidad de luminarias en ambientes educativos. Potes (2021) menciona la importancia del diseño de la iluminación enfocado en la eficiencia energética por estructuras. Este hallazgo destaca la necesidad de un enfoque específico en instituciones educativas.

Muthukrishnan y Winiski (2016) presentaron en el Encuentro Anual de la *Association of American Geographers* su experiencia sobre las capacidades tecnológicas de los Sistemas Aéreos No Tripulados (RPAS) en iniciativas de sostenibilidad y seguridad en Furman University, Carolina del Sur. En su investigación, enfatizaron la importancia de mapear estratégicamente las luminarias del campus, junto con otros elementos, utilizando herramientas geoespaciales combinadas con sistemas de información geográfica. Este enfoque les permitió identificar con precisión las ubicaciones de los postes de luz, lo que es crucial para mejorar la iluminación y, por ende, la seguridad en el campus. Concluyeron que la información recopilada es fundamental para facilitar decisiones más informadas sobre la gestión y mantenimiento de estos espacios universitarios, destacando el papel vital que juegan las luminarias en la percepción de seguridad y el bienestar de los usuarios.

La estadística espacial hoy en día desempeña un papel fundamental para el análisis de patrones y tendencias en la distribución de cualquier elemento espacial. Diversas técnicas como; el análisis de autocorrelación espacial y el análisis de clústeres, permiten identificar agrupaciones significativas y evaluar la presencia de patrones no aleatorios en la distribución de elementos en la superficie terrestre. Anselin (1995) señala que la estadística espacial proporciona herramientas poderosas para descubrir patrones subyacentes en datos geoespaciales. Esto permite no solo identificar áreas con necesidades de mejora en términos de seguridad, sino que también permite evaluar la efectividad de las medidas que podrían ser implementadas.

Hay otras aplicaciones como la de Clemente (2014) que destaca cómo optimizar sistemas solares fotovoltaicos para viviendas en Perú. Donde hicieron uso de sistemas medibles a través de la aplicación de ANOVA y T-test para probar una mejora de la estructura del

grupo solar fotovoltaico, donde tomo en cuenta 3 factores el ascenso, el azimut de la placa y la situación del controlador de pilas.

El trabajo de Cuadros (2020) resalta el hecho de conocer el consumo y abono actual versus el sistema fotovoltaico para el Instituto Hellen Kelller en Arequipa, Perú. Donde el autor evaluó la equiparación y originó una evaluación económica de un sistema solar fotovoltaico a través de varias pruebas estadísticas como la de normalidad, ANOVA que le permitió concluir que la Institución Educativa "Helen Keller" presenta una demanda eléctrica máxima de 13.6805 kWh lo que ejemplifica el uso del análisis estadístico multivariado.

Un trabajo un poco diferente pero que demuestra el uso de las técnicas estadísticas como el ANOVA es el llevado a cabo por Cruz et al. (2022) donde trabajaron en evaluar el confort térmico y lumínico en las aulas universitarias en Tijuana, Baja California. En este caso se trabajó el tema de la sensación térmica en aulas universitarias por luminosidad, a partir de eso aplicaron el modelo y obtuvieron el coeficiente de Pearson para determinar las diferencias entre las medias de las variables utilizadas para obtener la transición entre frío-cálido en las aulas.

Dentro de esta propuesta, el uso de tecnologías en SIG se vuelve fundamental para poder realizar los procesos de análisis espacial de estos elementos, adicionalmente de conocer la ubicación de cada uno, es decir, su georreferenciación. Estudios como el de Vozmediano et al. (2006) resalta como las capacidades de los SIG para analizar aspectos espaciales relacionados con el delito y cómo estas herramientas facilitan la toma de decisiones informadas en la gestión de la seguridad pública.

Conocer la forma y distribución de elementos de seguridad en la sede Rodrigo Facio se vuelve fundamental para garantizar la seguridad y el bienestar de toda la comunidad universitaria. Investigaciones como la de Lizano y Masís (2022) destacan la importancia de considerar la ubicación estratégica de elementos dentro del campus como insumo para un correcto ordenamiento territorial y la toma de decisiones.

La tecnología SIG y la estadística son componentes esenciales en esta investigación. La aplicación de SIG permite el mapeo preciso de cualquier elemento de seguridad, mientras que la estadística espacial permite la identificación de patrones y tendencias. La combinación de ambas disciplinas proporciona una base sólida permitiendo la toma de

decisiones informadas para su uso en la planificación y el diseño del campus, esto influye directamente en la seguridad y la comodidad de toda la comunidad universitaria.

Con relación a la generación de experimentos y pruebas de hipótesis en el marco de este trabajo y el uso de la tecnología SIG la estadística espacial facilita la validación de afirmaciones sobre patrones de distribución y la toma de decisiones informadas para mejorar la seguridad y la eficiencia en el campus. Al combinar estas disciplinas se puede proporcionar una base sólida que permita la toma de decisiones basada en datos y una mejora continua y evaluación de los elementos de la seguridad en la ciudad universitaria.

2.2. Uso de Tecnologías SIG y GNSS

Los SIG y *GNSS* son herramientas fundamentales para el mapeo y análisis de datos espaciales. Según Alberdi y Erba (2022), los SIG permiten capturar, analizar, editar y almacenar la información geográfica por lo que la distribución de elementos como luminarias, calcular densidades y evaluar patrones espaciales entra dentro de lo que mencionan los anteriores autores, lo que facilita decisiones informadas sobre la ubicación y mantenimiento de estos elementos. Goodchild (2010) destaca cómo los SIG han revolucionado la gestión del espacio geográfico, permitiendo una planificación más precisa y eficiente. Asimismo, menciona como estos sistemas han revolucionado la forma en que entendemos y gestionamos el espacio geográfico.

Estudios como el de García (2023) resaltan cómo los SIG's permiten mapear la distribución de elementos, calcular densidades y evaluar patrones espaciales, lo que resulta en la obtención de decisiones más informadas en cuanto a la ubicación y el mantenimiento de los elementos de seguridad. Finalmente, Olaya (2020) menciona que los SIG han revolucionado la forma en que entendemos y gestionamos el espacio geográfico.

Por su parte, Hofmann-Wellenhof et al. (2008) explican como los *GNSS* proporcionan precisión submétrica en la captura de coordenadas, esencial para georreferenciar cualquier tipo de elementos urbanos. Kaplan y Hegarty (2017) amplían la anterior perspectiva, demostrando cómo la integración tecnológica entre los SIG-*GNSS* optimiza la planificación de infraestructuras mediante datos espaciales actualizados y a partir de fuentes conocidas y confiables. Esta sinergia tecnológica, como señala Goodchild (2010), ha revolucionado la gestión del espacio geográfico.

2.3. Estadística Espacial y Análisis Multivariado

El análisis estadístico es una parte fundamental de esta investigación, ya que permite entender cómo se distribuyen las luminarias en la Sede Rodrigo Facio y con ello analizar sus características cuantitativas. En una primera etapa, se realizó un análisis exploratorio de los datos utilizando herramientas de estadística descriptiva. Esto incluyó el cálculo de medidas como: la media y la mediana para identificar tendencias centrales, así como la desviación estándar e intervalos de confianza para evaluar la variabilidad y precisión de los datos utilizados.

Posteriormente se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) multivariado para examinar si existen diferencias significativas en la densidad de luminarias entre los distintos grupos o categorías. Este análisis permitió evaluar variaciones entre las diferentes áreas de uso de la tierra, como espacios funcionales, áreas verdes o edificios existentes, así como entre las tres fincas que conforman la sede. También se incorporaron variables como la potencia de las luminarias (medida en Watts) y los niveles de iluminación (medidos en Lúmenes) para explorar cómo estas características afectan la distribución espacial y si existen interacciones relevantes entre ellas. El análisis de varianza permite evaluar la significancia de las diferencias entre grupos múltiples, proporcionando una comprensión más profunda de las interacciones entre variables múltiples como lo indica Pereira (2023).

3. Metodología

En este estudio se realizó una revisión exhaustiva de la literatura existente, enfocada en investigaciones relacionadas con la densidad de luminarias y su impacto en la calidad lumínica y seguridad del campus. Además, se recopiló información espacial detallada sobre la ubicación, intensidad lumínica (lúmenes), potencia (watts) y tipo de iluminación de cada luminaria en la Sede Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica.

3.1. Revisión Bibliográfica

Se realizó una revisión exhaustiva de la literatura sobre la iluminación en entornos universitarios, enfocados en estudios sobre densidad de luminarias y su impacto en la calidad lumínica y seguridad del campus.

3.2. Recopilación de datos

Se utilizó un navegador GNSS CHNav modelo Lt700 y la aplicación Qfield (s.f.) para recopilar datos de ubicación de luminarias en la Sede Rodrigo Facio (ver Figura 2).



Figura 2. Diseño del diccionario de datos y uso en la aplicación Qfield

Fuente: Elaboración propia

Se recolectaron datos sobre la ubicación, intensidad lumínica (lúmenes), potencia (watts) y tipo de iluminación de cada luminaria como se muestra en la (ver Figura 3).

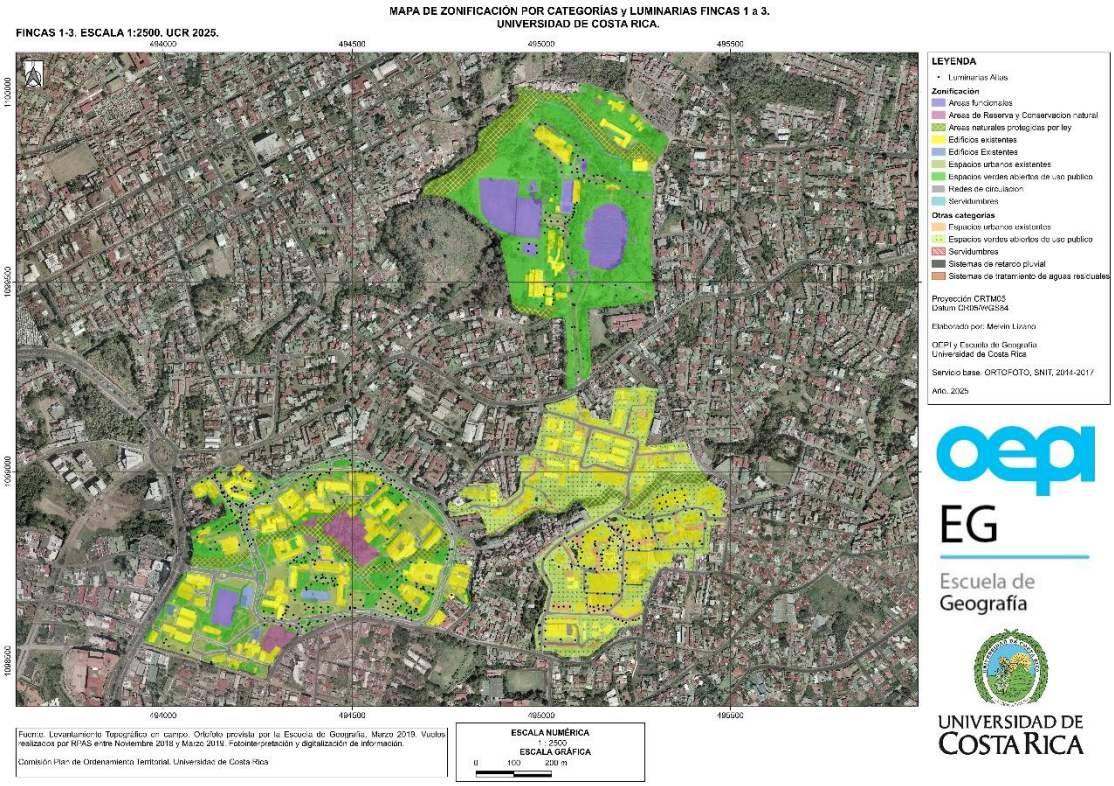


Figura 3. Ubicación de luminarias para las tres fincas de la Sede Rodrigo Facio, UCR

Fuente: Elaboración propia

Otras de las fuentes de información utilizadas fueron las categorías de uso de la tierra que se obtuvieron del Plan de Ordenamiento Territorial de la Universidad de Costa Rica a cargo de la Oficina Ejecutora del Programa de Inversiones (s.f.), e incluyen áreas funcionales, áreas institucionales de reserva y conservación natural, áreas protegidas por ley, edificios existentes, espacios urbanos, espacios verdes, redes de circulación y servidumbres, un ejemplo de esto se muestra en la Figura 4. Es importante mencionar que para el análisis de datos espaciales y estadísticos se utilizaron los softwares QGIS, ArcGIS Pro y Minitab.

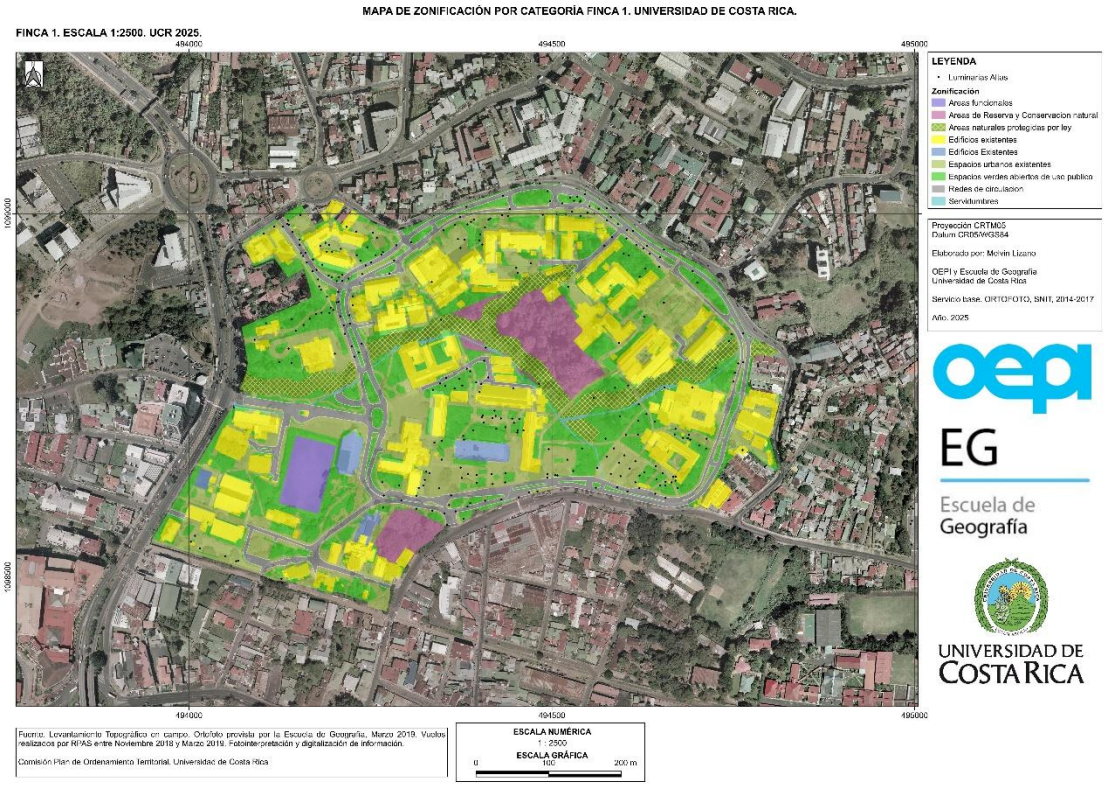


Figura 4. Usos de la tierra finca 1 y ubicación de luminarias. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

Fuente: Elaboración propia

3.3. Análisis de datos

Se realizaron análisis de estadística básica para entender el comportamiento de los datos de luminarias, incluyendo el cálculo de la media, mediana, desviación estándar, histogramas y gráficos de cajas. Finalmente se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de múltiples variables con el fin de evaluar la variabilidad en la densidad de luminarias en las tres fincas que corresponden al campus. Se investigaron las diferencias significativas entre categorías de uso de la tierra, niveles de lúmenes, potencia de watts y fincas específicas.

4. Resultados

Los datos se procesaron para determinar la densidad de luminarias por categorías de uso de la tierra, usando el Plan de Ordenamiento Territorial de la Universidad de Costa Rica. La herramienta *"Tabulate Intersection"* de ArcGIS Pro (s.f.), fue fundamental para asignar

un uso a cada una de las luminarias existentes para cada una de las fincas que componen la Sede Rodrigo Facio.

4.1. Caracterización estadística y análisis de varianza de la densidad de luminarias

Se contabilizaron 642 luminarias en las tres fincas de la Sede Rodrigo Facio. La media de la densidad de luminarias se encontró en áreas funcionales y espacios verdes abiertos al público. La desviación estándar indicó una variabilidad moderada en la distribución de las luminarias. A partir de lo anterior se realizó un ANOVA multifactorial de efectos fijos con el fin de determinar si existen diferencias significativas en la densidad de luminarias según los niveles de cada uno de los factores. El modelo consideró como variables independientes (factores) las categorías de uso del suelo (7 niveles: áreas funcionales, áreas naturales protegidas por ley, edificios existentes, espacios urbanos existentes, espacios verdes abiertos de uso público, redes de circulación y servidumbres), los niveles de lúmenes (2 niveles: 1110 y 3000 lúmenes), la potencia en watts (2 niveles: 50 y 75 watts) y la finca correspondiente (3 niveles: finca 1, finca 2 y finca 3).

Los resultados muestran que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la densidad de luminarias según el uso del suelo ($p = 0.255$), los niveles de lúmenes ($p = 0.420$), la potencia en watts ($p = 0.771$) ni entre las fincas ($p = 0.689$). Asimismo, la prueba de falta de ajuste no fue significativa ($p = 0.261$), lo que indica que el modelo se ajusta adecuadamente a los datos observados. Esto sugiere que la distribución de luminarias es relativamente homogénea entre las distintas categorías analizadas.

Para definir la potencia se consideraron dos niveles de potencia en watts: 50 W y 75 watts seleccionados con el fin de contrastar su influencia en la densidad de luminarias. Con respecto al factor de finca, se incluyen las tres fincas que conforman la Sede Rodrigo Facio: finca 1, finca 2 y finca 3.

Los resultados del ANOVA muestran que no hay diferencias significativas en la densidad de luminarias con relación a las categorías de uso de la tierra ($p = 0.255$), niveles de lúmenes ($p = 0.420$), potencia de watts ($p = 0.771$) o fincas específicas ($p = 0.689$). La falta de ajuste del modelo tampoco fue significativa ($p = 0.261$), sugiriendo que el modelo

utilizado es adecuado para explicar la variabilidad observada como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Categoría	6	0.002815	0.000469	1.31	0.255
Lúmenes	1	0.000234	0.000234	0.65	0.420
Watts	1	0.000030	0.000030	0.08	0.771
Finca	2	0.000267	0.000134	0.37	0.689
Error	197	0.070585	0.000358	—	—
Falta de ajuste	27	0.011124	0.000412	1.18	0.261
Error puro	170	0.059461	0.000350	—	—
Total	207	**0.074630**	—	—	—

Fuente: Elaboración propia

El resultado del ANOVA indicó que ninguno de los factores estudiados (categoría de uso de la tierra, lúmenes, watts, finca) tiene un impacto significativo en la densidad de luminarias. Los valores de R-cuadrado y R-cuadrado ajustado fueron bajos (5.42% y 0.62%, respectivamente como se muestra en la Tabla 2). Estos indicadores permiten conocer qué porcentaje de la variabilidad observada en la variable dependiente (en este caso, la densidad de luminarias) es explicado por el modelo. Un valor de R-cuadrado del 5.42% significa que el modelo solo explica esa fracción de la variabilidad total, mientras que el R-cuadrado ajustado corrige este valor teniendo en cuenta el número de variables en el modelo, resultando aún menor (0.62%). Estos valores se consideran bajos, ya que indican que el modelo explica solamente una pequeña proporción de la variabilidad observada en la densidad de luminarias (menor al 6% en el mejor de los casos). Esto sugiere que la mayor parte de la variabilidad de la densidad no está siendo explicada por las variables incluidas en el modelo (categoría de uso de suelo, lúmenes, potencia y finca). En consecuencia, es probable que puedan existir otros factores no considerados en este trabajo que influyen significativamente en la distribución de luminarias. Los resultados refuerzan la necesidad de incorporar otras variables o metodologías complementarias que permitan lograr una comprensión más integral de los elementos que determinan la densidad de luminarias en el campus.

Tabla 2. Resumen de indicadores del modelo ANOVA aplicado a la densidad de luminarias

Resumen del Modelo	Valor
S	0.0189288
R-cuadrado	5.42%
R-cuadrado ajustado	0.62%
R-cuadrado predicho	0.00%

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, en cuanto a las categorías de uso de la tierra, no se observan diferencias significativas en la densidad de luminarias entre las categorías ($p = 0.255$). En el caso de los niveles de lúmenes, no se encuentra una relación significativa entre los lúmenes y la densidad de luminarias ($p = 0.420$). A nivel de potencia (watts), la potencia no tiene un impacto significativo en la densidad de luminarias ($p = 0.771$). Con respecto a la ubicación (fincas), no se encuentran diferencias significativas en la densidad de luminarias entre las fincas ($p = 0.689$). Finalmente, la falta de ajuste del modelo no es significativa ($p = 0.261$).

5. Discusión

El estudio revela que no existen diferencias significativas en la densidad de luminarias respecto a las categorías de uso de la tierra, los niveles de lúmenes, la potencia de watts, y la ubicación específica dentro del campus de la Sede Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica. Estos hallazgos sugieren que factores como el uso de la tierra, la intensidad lumínica y la potencia no influyen de manera determinante en cómo se distribuyen las luminarias en el campus. Esta conclusión se apoya en los valores p obtenidos en el análisis de varianza ANOVA multivariado, donde ninguno de los factores mostró una relación significativa con la densidad de luminarias ($p > 0.05$).

La utilización de tecnologías y herramientas avanzadas como los SIG y los GNSS ha sido crucial en este estudio. Estas herramientas permitieron una recopilación y análisis detallado de datos geoespaciales, proporcionando una base sólida para evaluar la distribución de la iluminación. El enfoque metodológico adoptado, que integra estas tecnologías con técnicas estadísticas robustas como el ANOVA, ha permitido no solo un

análisis exhaustivo de la situación actual sino también la identificación de áreas donde se puede mejorar la infraestructura de iluminación.

A pesar de que el modelo de análisis no reveló una relación significativa entre los factores estudiados y la densidad de luminarias, los bajos valores de R-cuadrado y R-cuadrado ajustado (5.42% y 0.62%, respectivamente) sugieren que hay otros factores no considerados en este estudio que podrían influir en la distribución de luminarias. Esto implica la necesidad de explorar variables adicionales que podrían afectar la densidad de luminarias en el campus, como la presencia de obstáculos físicos, la edad de las luminarias, y las políticas de mantenimiento y renovación de infraestructura.

Finalmente, los resultados de este estudio subrayan la importancia de continuar investigando para identificar los factores que realmente afectan la distribución de luminarias en entornos educativos. Esta comprensión más profunda permitirá desarrollar estrategias más efectivas para optimizar la iluminación, mejorando así la seguridad y el rendimiento académico de los estudiantes. Además, la integración de tecnologías geoespaciales y métodos estadísticos avanzados seguirá siendo esencial para futuros estudios, proporcionando una base sólida para la planificación y gestión de la infraestructura de iluminación en campus universitarios y otros entornos educativos.

6. Conclusiones

La presente investigación ha permitido identificar varios aspectos clave relacionados con la densidad de luminarias en la Sede Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica. Uno de los hallazgos más relevantes es la asociación significativa entre la presencia de áreas naturales protegidas por ley y la densidad de luminarias. Esto sugiere que la protección legal de estas áreas puede influir positivamente en la densidad de luminarias, posiblemente debido a políticas específicas de conservación y gestión que priorizan una adecuada iluminación para proteger y realzar estas zonas.

Por otro lado, las áreas funcionales del campus no mostraron una asociación significativa con la densidad de luminarias. Este resultado indica que, dentro del contexto de este estudio, las áreas designadas para funciones específicas no influyen considerablemente en cómo se distribuyen las luminarias. Esto podría reflejar una uniformidad en las políticas de iluminación a través de diferentes tipos de áreas funcionales, o una falta de diferenciación en las necesidades de iluminación entre estas áreas.

En cuanto a los niveles de luminosidad, tanto los lúmenes como los watts no mostraron una influencia significativa en la densidad de luminarias. Este resultado, respaldado por los coeficientes y valores p obtenidos, sugiere que la intensidad de la luz emitida por las luminarias no es un factor determinante en su distribución. Esto podría implicar que otros factores, como el tipo de luminaria o su ubicación específica, juegan un papel más importante en la densidad observada.

Las variables relacionadas con las diferentes fincas dentro del campus tampoco mostraron un impacto claro en la densidad de luminarias. Los coeficientes resultantes no presentaron valores significativos, indicando que la ubicación dentro de las fincas no es un factor clave para explicar la variabilidad en la densidad de luminarias. Este hallazgo puede sugerir una homogeneidad en las políticas de iluminación a través de las distintas fincas, o que la variabilidad observada responde a factores no incluidos en este estudio.

A pesar de la significancia de algunas variables, el bajo valor de R-cuadrado sugiere que el modelo tiene una capacidad limitada para explicar la variabilidad observada en la densidad de luminarias. Esto implica que existen otros factores no considerados en este estudio como, por ejemplo: densidad poblacional, índices de criminalidad, tipos de uso del suelo, características topográficas, cobertura vegetal entre otros podrían estar influyendo en la densidad de luminarias. Por lo tanto, sería beneficioso explorar posibles interacciones entre variables para capturar relaciones más complejas y mejorar el poder explicativo del modelo.

La validación interna del modelo es esencial para asegurar la consistencia de los resultados. Sin embargo, la validación externa que utiliza conjuntos de datos independientes es igualmente crucial para evaluar la capacidad del modelo de generalizar sus hallazgos a otros contextos. Esto permitiría confirmar la robustez del modelo y su aplicabilidad en diferentes entornos geográficos.

Finalmente, los resultados obtenidos deben interpretarse en el contexto geográfico específico de la Sede Rodrigo Facio. La generalización de estos hallazgos a otras ubicaciones requerirá consideraciones adicionales, incluyendo la realización de nuevos análisis y ajustes del modelo para adaptarlo a las particularidades de cada nuevo entorno. Esto es fundamental para asegurar que las conclusiones y posibles recomendaciones derivadas de este estudio sean relevantes y aplicables en diferentes contextos.

7. Referencias Bibliográficas

Alberdi, R. y Erba, D. (2022). *Introducción a los Sistemas de Información Geográfica (SIG) aplicados al catastro*. Universidad Católica de Santa Fe.

Anselin, L. (1995). Local Indicators of Spatial Association-LISA [Indicadores locales de asociación espacial-LISA]. *Geographical Analysis*, *27*(2), 93-115. https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x

ARCGIS Pro. (s.f.). *Intersección tabular (Análisis)*. Esri. https://tinyurl.com/2cc6c38m

Bertinetto, C., Engel, J. y Jansen, J. (2020). ANOVA simultaneous component analysis: A tutorial review [Análisis de componentes simultáneos ANOVA: una revisión tutorial]. *Analytica Chimica Acta: X*, *6*. https://doi.org/10.1016/j.acax.2020.100061

Clemente, W. (2014). *Optimización del sistema solar fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en viviendas aisladas altoandinas* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional - Universidad Nacional del Centro del Perú.

Cuadros, P. (2020). *Propuesta de equipación y evaluación económica de un sistema solar fotovoltaico conectado a red para el Centro Educativo "Hellen Keller", Arequipa* [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. https://tinyurl.com/yyrnpuru

De la Cruz, M., Armendáriz, J., Martín del Campo, F., Sahagún, M., Castañón, M. y García, C. (2022). Thermal and luminic comfort assessment in university classrooms in Tijuana, Baja California: Case of study FCITEC, Valle de las Palmas [Evaluación del confort térmico y lumínico en aulas universitarias en Tijuana, Baja California: Caso de estudio FCITEC, Valle de las Palmas]. *Revista de Ciencias Tecnológicas (RECIT),* *5*(4), e233. https://doi.org/10.37636/recit.v5n4e233

García, G. (2023). *Efectividad de metodologías para evaluar accesibilidad en el espacio público* [Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional - Universidad Santo Tomás.

Goodchild, M. (2010). Twenty years of progress: GIScience in 2010 [Veinte años de progreso: La ciencia de los sistemas de información geográfica en 2010]. *Journal of Spatial Information Science,* (1), 3-20. https://doi.org/10.5311/JOSIS.2010.1.2

Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. y Wasle, E. (1997). Global Positioning System: Theory and Practice. Springer-Verlag Wien. https://doi.org/10.1007/978-3-7091-3297-5

Kaplan, E. y Hegarty, C. (2017). *Understanding GPS/GNSS: Principles and Applications*. Artech House.

Lizano, M. y Masís, R. (2022). Implementación de tecnologías geoespaciales en la ciudad universitaria Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica como insumos para el ordenamiento territorial del campus. *Entorno Geográfico*, (24), e20911905. https://doi.org/10.25100/eg.v0i24.11905

Mendez, J. (2023). Determinación de buenas prácticas en el diseño de sistemas de Iluminación para el ámbito educativo en la ciudad de Esmeraldas. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, *7*(1), 14274-14289. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.5847

Muthukrishnan, S. y Winiski, M. (2016). Drone Technology for Low-Cost Precision Mapping on Campus and in the Community [Poster]. Annual Meeting of the Association of American Geographers. San Francisco, United States. https://tinyurl.com/mwxzrxym

Oficina Ejecutora del Programa de Inversiones. (s.f.). *Plan de Ordenamiento Territorial (POT)*. https://tinyurl.com/59x5tmd7

Olaya, V. (2020). *Sistemas de Información Geográfica* . https://tinyurl.com/3cu9ewwx

Páramo, P. y Burbano, A. (2021). *El tercer maestro: La dimensión espacial del ambiente educativo y su influencia sobre en el aprendizaje*. Universidad Pedagógica Nacional. https://tinyurl.com/mczuttvr

Pereira, G. (2023). *Herramienta de análisis y representación gráfica para el estudio comparativo de variables socioeconómicas y de uso del tiempo entre países* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica de Madrid]. Repositorio Institucional - Universidad Politécnica de Madrid.

Potes, S. (2021). *Diseño de iluminación enfocado a la eficiencia energética de la biblioteca ACDA de la Universidad del Norte* [Tesis de pregrado, Universidad de La Salle]. https://tinyurl.com/yvpeh47d

Qfield. (s.f.). *The most powerful and efficient way to manage your data on-the-go* [*La forma más potente y eficiente de gestionar tus datos desde cualquier lugar*]. https://tinyurl.com/mv7nra3u

Vozmediano, L. y San Juan, C. (2006). Empleo de Sistemas de Información Geográfica en el estudio del Miedo al Delito. *Revista Española De Investigación Criminológica*, *4*, 1–11. https://doi.org/10.46381/reic.v4i0.27

Agradecimientos: A don Oscar López, tutor del trabajo doctoral (doctorado de Ingeniería TEC-UCR), por toda la colaboración, sugerencias y apoyo para la mejora del documento.