



ISSN: 3151-8257

DOI:



Revista Internacional
MÉTRICAS
MULTIDISCIPLINARIAS

Periodicidad trimestral Enero-Marzo, Volumen 5, Numero 1, Años (2026), Pág. 1-14

Fecha de recepción: 2025-11-05

Fecha de aceptación: 2025-12-05

Fecha de publicación: 2026-01-05

Telemetría satelital en estimación de actividad económica en zonas sin censos formales

Joao Javier Duarte Pico

javierjoao_18@hotmail.com

<https://orcid.org/0009-0007-1935-5732>

Universidad Politécnica Estatal del Carchi

Tulcán - Ecuador

Resumen

La ausencia o desactualización de censos en diversos territorios limita la medición precisa de la actividad económica, afectando la toma de decisiones públicas. Ante esta problemática, el estudio tuvo como objetivo analizar la telemetría satelital como alternativa para estimar dinámicas económicas mediante variables geoespaciales. Se empleó un enfoque cuantitativo, con diseño no experimental longitudinal, utilizando datos de organismos oficiales y registros satelitales como Landsat y Sentinel. Se aplicaron modelos de regresión lineal múltiple, correlación de Spearman y LASSO para evaluar la relación entre variables proxy. Los resultados muestran que la luminosidad nocturna presenta el mayor poder explicativo, seguida de la densidad urbana y el cambio en el uso del suelo, evidenciando relaciones significativas con la actividad económica estimada. Además, los modelos confirmaron una alta capacidad predictiva y consistencia entre variables espaciales y económicas. Estos hallazgos evidencian que la telemetría satelital permite generar indicadores confiables en contextos con limitaciones censales, contribuyendo al análisis territorial y a la planificación basada en datos.

Palabras clave: telemetría satelital, actividad económica, luminosidad nocturna, uso del suelo, análisis geoespacial, modelos econométricos

Satellite telemetry in estimating economic activity in areas without formal census data

Abstract

The absence or outdated nature of census data in many territories limits accurate measurement of economic activity, affecting public decision-making processes. In this context, the objective of this study was to analyze satellite telemetry as an alternative tool to estimate economic dynamics through geospatial variables. A quantitative approach with a non-experimental longitudinal design was applied, using data from official institutions and satellite sources such as Landsat and Sentinel. Multiple linear regression, Spearman correlation, and LASSO models were employed to assess relationships between proxy variables. The results indicate that nighttime light intensity has the highest explanatory power, followed by urban density and land use change, showing statistically significant relationships with estimated economic activity. Furthermore, the models demonstrated strong predictive capacity and consistency between spatial and economic variables. These findings highlight that satellite telemetry enables the generation of reliable indicators in contexts with limited census data, supporting territorial analysis and data-driven planning.

Keywords: satellite telemetry, economic activity, nighttime lights, land use, geospatial analysis, econometric models

Introducción

La creciente disponibilidad de datos geoespaciales ha transformado los enfoques tradicionales de medición económica, especialmente en contextos donde la información estadística es limitada o inexistente. En este sentido, la telemetría satelital se ha consolidado como una herramienta estratégica para la estimación indirecta de la actividad económica, permitiendo inferir patrones productivos, dinámicas territoriales y niveles de desarrollo mediante el análisis de imágenes y señales captadas desde plataformas espaciales. Este avance responde, en gran medida, a las limitaciones estructurales de los sistemas estadísticos convencionales, particularmente en zonas rurales, territorios periféricos y regiones con baja cobertura censal, donde los datos oficiales suelen ser incompletos o desactualizados (Sotomayor, 2021).

En el ámbito latinoamericano, la incorporación de tecnologías digitales y satelitales ha sido identificada como un factor clave para la transformación productiva y la mejora de la competitividad económica. Estudios recientes evidencian que el uso de información geoespacial permite generar indicadores alternativos que capturan con mayor precisión las dinámicas económicas en territorios no formalizados, facilitando la toma de decisiones públicas y privadas (Pérez & López, 2022). En este contexto, la telemetría satelital no solo contribuye a la observación del territorio, sino que también posibilita la modelación de variables económicas a partir de proxies como la luminosidad nocturna, la densidad de infraestructura o el uso del suelo.

Desde una perspectiva técnica, la telemetría satelital integra tecnologías de teledetección, sistemas de posicionamiento global y sensores remotos que capturan información continua sobre la superficie terrestre. Estas herramientas permiten monitorear actividades agrícolas, mineras, comerciales e incluso urbanas con altos niveles de precisión espacial y temporal, lo cual resulta fundamental para territorios donde los mecanismos tradicionales de recolección de datos presentan limitaciones operativas (Martínez et al., 2023). En consecuencia, la capacidad de generar datos en tiempo casi real favorece la construcción de modelos econométricos y predictivos orientados a estimar el comportamiento económico en ausencia de censos formales.



ISSN: 3151-8257

DOI:



Revista Internacional
MÉTRICAS
MULTIDISCIPLINARIAS

Asimismo, la literatura reciente destaca que la convergencia entre telemetría satelital, big data y sistemas digitales amplía significativamente las posibilidades de medición económica. La integración de múltiples fuentes de datos permite complementar la información satelital con registros administrativos y señales digitales, generando ecosistemas de información más robustos y multidimensionales (García & Ramírez, 2021). Sin embargo, persisten desafíos metodológicos asociados a la validación de estos indicadores alternativos, así como a la estandarización de métricas comparables a nivel territorial.

En el contexto de economías en desarrollo, como las de América Latina, la utilización de telemetría satelital adquiere una relevancia estratégica, ya que permite reducir las brechas de información y fortalecer los sistemas de planificación territorial. En países como Ecuador, donde la generación de estadísticas depende en gran medida de censos periódicos, la incorporación de fuentes alternativas de datos representa una oportunidad para mejorar la precisión de los diagnósticos económicos y optimizar la asignación de recursos públicos (Rodríguez et al., 2022). En este marco, la telemetría satelital se posiciona como un instrumento innovador para el análisis económico territorial, contribuyendo a la formulación de políticas públicas basadas en datos.

En consecuencia, esta investigación se orienta a analizar el uso de la telemetría satelital como mecanismo de estimación de la actividad económica en zonas sin censos formales, abordando sus fundamentos teóricos, aplicaciones metodológicas y potencial para la generación de indicadores alternativos. Se examinan las capacidades de estas tecnologías para suplir vacíos de información, así como sus implicaciones en la planificación económica y el desarrollo territorial. El estudio se estructura en torno a la problematización del déficit de información estadística, la formulación de objetivos, la justificación del uso de tecnologías satelitales, el desarrollo del marco teórico, la descripción metodológica, la presentación de resultados y discusión, y la elaboración de conclusiones orientadas a fortalecer la toma de decisiones basada en evidencia geoespacial.

Fundamentos de la telemetría satelital aplicada al territorio: análisis multitemporal en Puno, Perú

En un territorio altoandino como Puno, donde las limitaciones censales dificultan la medición directa de la actividad económica, el análisis multitemporal de coberturas terrestres mediante imágenes satelitales ha permitido identificar transformaciones productivas vinculadas a la expansión agrícola, cambios en la vegetación y presión sobre recursos naturales, evidenciando la utilidad de la telemetría satelital como herramienta indirecta de estimación económica.

La telemetría satelital constituye un campo operativo de captura, transmisión e interpretación de datos remotos que permite observar variaciones espaciales y temporales de la superficie terrestre con alta resolución analítica. En términos científicos, su relevancia no se limita a la generación de imágenes, sino a la posibilidad de convertir señales espectrales, patrones de cobertura y trayectorias de cambio en variables útiles para el análisis territorial. Desde esta perspectiva, Peña-Zamalloa (2021) demostró que la clasificación espacial del suelo urbano con imágenes satelitales permite identificar diferencias de valorización territorial asociadas a procesos de urbanización.

De manera complementaria, Villegas Martínez (2021) evidenció que la modelación geoespacial de variables agroecológicas permite estimar usos potenciales del suelo, lo cual confirma que los datos satelitales pueden traducirse en información funcional para interpretar dinámicas productivas. En esa misma línea, Loza-Del Carpio y Taype-Huamán (2021) identificaron cambios multitemporales en asociaciones vegetales en espacios altoandinos, demostrando que las coberturas terrestres actúan como trazadores de transformación económica.

Asimismo, Sandoval-García et al. (2021) analizaron la cobertura del suelo en regiones de México y comprobaron que la comparación temporal de imágenes permite reconstruir procesos de ocupación territorial. En un enfoque similar, Sandoval-García et al. (2021) confirmaron que el análisis del uso del suelo y la vegetación permite detectar intensidades diferenciadas de intervención humana, lo cual resulta clave para inferir dinámicas económicas en ausencia de censos formales.

Desde la óptica metodológica, la telemetría satelital se articula con sistemas de información geográfica y técnicas de clasificación espacial. Gómez-Lora et al. (2021) sostuvieron que el análisis de cobertura fraccional mejora la evaluación de ecosistemas tropicales, facilitando la interpretación de transformaciones territoriales. Por su parte, Cerón et al. (2021) evidenciaron que la detección de deforestación asociada a la minería permite reconocer patrones de extracción económica en territorios amazónicos.

En el contexto ecuatoriano, Pinos-Morocho et al. (2021) demostraron que la valoración económica del carbono en suelos de páramo permite interpretar variables ecológicas como activos económicos, lo que amplía el alcance analítico de la telemetría satelital. De igual forma, Guerrero-Morales et al. (2021) señalaron que el análisis multicriterio territorial permite comprender dinámicas de desarrollo urbano en zonas costeras, integrando variables espaciales y ambientales.

En consecuencia, la telemetría satelital permite suplir vacíos de información estadística mediante la observación indirecta de variables territoriales, transformando patrones biofísicos en indicadores de actividad económica, especialmente en regiones donde los sistemas censales presentan limitaciones estructurales.

Proxies espaciales para inferir actividad económica sin censos: crecimiento urbano en Quito y Guayaquil

En ciudades como Quito y Guayaquil, caracterizadas por procesos acelerados de expansión urbana y limitaciones en la actualización de datos censales, el análisis de la fragmentación territorial, la densificación urbana y los cambios en el uso del suelo ha permitido inferir dinámicas económicas vinculadas al crecimiento inmobiliario, la inversión en infraestructura y la reorganización funcional del espacio urbano.

En territorios sin información censal suficiente, la estimación de la actividad económica requiere utilizar variables proxy observables desde el espacio. Una de las más relevantes es la expansión urbana, debido a que la ocupación del suelo y la densificación suelen correlacionarse con el desarrollo económico. Ulloa-Espíndola y Pérez-Albert (2022) validaron un modelo de predicción del crecimiento urbano en Quito, demostrando que el comportamiento espacial de la ciudad puede modelarse a partir de información territorial observable.

En una línea convergente, Pérez de Murzi y Orejuela (2023) analizaron la fragmentación urbana en Guayaquil y evidenciaron que la morfología urbana refleja procesos de valorización económica y segregación espacial. De forma complementaria, Peña-Zamalloa (2021) mostró que el valor del suelo puede aproximarse mediante clasificación satelital, reforzando el uso de imágenes remotas como herramienta de análisis económico.

Otro proxy relevante es el cambio de uso del suelo. Camas-Guardamino y Mamani-Sinche (2022) demostraron que la evaluación de vegetación y suelo permite identificar estados funcionales del territorio con implicaciones productivas. De igual forma, Perea-Ardila et al. (2022) confirmaron que la determinación de coberturas mediante imágenes satelitales permite examinar procesos de ocupación espacial.

En términos dinámicos, Meza-Rodríguez et al. (2023) evidenciaron que el análisis temporal del uso del suelo permite reconstruir trayectorias de transformación territorial. En coherencia, Hernández-Cavazos et al. (2023) señalaron que el cambio de uso del suelo permite identificar presiones económicas acumuladas.

Por otro lado, las variables espectrales también permiten inferir productividad. Corona-Romero et al. (2022) desarrollaron una librería espectral para monitoreo agrícola, mientras que López-Calderón et al. (2023) estimaron nitrógeno en cultivos mediante sensores satelitales. En esta misma línea, Cano-Mejía et al. (2023) estimaron rendimientos agrícolas a partir de índices espectrales.

Asimismo, Mejía et al. (2023) demostraron que la biomasa puede estimarse mediante teledetección, aportando indicadores de valor económico en ecosistemas. En el ámbito hídrico, Bolaños-Chavarría et al. (2023) analizaron la oferta hídrica mediante datos satelitales, evidenciando su relación con la sostenibilidad económica territorial.

En contextos de riesgo, Martínez Barbáchano (2023) estimó superficies afectadas por inundaciones, mientras que Ramón Puebla y Bollo Manent (2023) propusieron indicadores de antropización territorial. Finalmente, Quezada et al. (2022) estimaron tasas de deforestación en Ecuador, evidenciando la relación entre pérdida de cobertura forestal y expansión económica.

En consecuencia, la telemetría satelital permite construir indicadores indirectos de actividad económica a partir de proxies espaciales como urbanización, productividad agrícola, uso del suelo, disponibilidad de recursos y presión ambiental, lo cual resulta especialmente relevante en territorios sin censos formales.

Materiales y métodos

Desde una perspectiva epistemológica, esta investigación se enmarca en un enfoque cuantitativo de alcance explicativo, orientado a examinar la relación funcional entre variables geoespaciales derivadas de telemetría satelital y la estimación indirecta de la actividad económica en territorios carentes de información censal formal. En este contexto, se adoptó un diseño no experimental de tipo longitudinal, sustentado en el análisis de series temporales, lo cual permitió identificar patrones de variación y tendencias espaciales en distintos periodos de observación.

En relación con la obtención de datos, la recolección de información se estructuró a partir de fuentes secundarias oficiales provenientes de organismos estatales y entidades internacionales. Específicamente, se utilizaron bases de datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos del Ecuador, el Ministerio de Economía y Finanzas, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe, el Banco Mundial y la Organización de las Naciones Unidas. De manera complementaria, se incorporaron productos satelitales de acceso abierto, tales como imágenes Landsat y Sentinel, así como registros de luminosidad nocturna, los cuales permitieron construir variables proxy asociadas a dinámicas económicas, uso del suelo, expansión urbana y densificación territorial.

En lo que respecta al tratamiento de la información, se procedió a la georreferenciación, depuración y normalización de los datos mediante sistemas de información geográfica y herramientas de análisis espacial. A partir de ello, se aplicaron técnicas de clasificación supervisada y análisis multitemporal con el propósito de identificar cambios en la cobertura terrestre. De forma paralela, se generaron indicadores derivados de índices espectrales y se integraron variables socioeconómicas disponibles a nivel territorial, permitiendo establecer correspondencias analíticas entre información satelital y registros económicos indirectos.

En el ámbito del análisis estadístico, se implementaron métodos avanzados que posibilitaron modelar la relación entre variables observables y estimaciones económicas. En primer término, se aplicó un modelo de regresión lineal múltiple, con el objetivo de evaluar la incidencia de variables geoespaciales, tales como la luminosidad nocturna, la densidad urbana y las variaciones en el uso del suelo, sobre indicadores económicos aproximados. Este procedimiento permitió determinar la significancia estadística de las variables independientes y su capacidad explicativa sobre la variable dependiente.

De manera adicional, se empleó el coeficiente de correlación de Spearman, considerando la naturaleza no paramétrica de los datos y la posibilidad de relaciones no lineales entre las variables analizadas. Esta técnica permitió identificar asociaciones monotónicas relevantes entre los indicadores satelitales y las variables económicas, fortaleciendo la consistencia interpretativa en contextos caracterizados por heterogeneidad informacional.

En concordancia con lo anterior, se incorporó el modelo de regresión LASSO como mecanismo de regularización y selección de variables, lo cual facilitó la optimización del modelo predictivo mediante la reducción de la multicolinealidad. Este enfoque permitió identificar los factores geoespaciales más influyentes en la estimación de la actividad económica, contribuyendo a la construcción de modelos más robustos y parsimoniosos.

A modo de cierre metodológico, la validación de los resultados se efectuó mediante la triangulación con información oficial y estudios previos, asegurando coherencia analítica y consistencia empírica. Este procedimiento permitió sustentar la aplicabilidad de la telemetría satelital como herramienta alternativa para la estimación económica en territorios sin censos formales, aportando evidencia para el fortalecimiento de procesos de planificación y toma de decisiones basados en información geoespacial.

Resultados

En correspondencia con el enfoque metodológico planteado, los resultados evidencian que la telemetría satelital constituye una fuente robusta para la estimación indirecta de la

actividad económica, particularmente a través del análisis de variables proxy como la luminosidad nocturna, el cambio de uso del suelo y la expansión urbana. En este sentido, la literatura reciente ha demostrado que las series temporales de luces nocturnas permiten capturar dinámicas económicas territoriales con alta precisión, dado que reflejan patrones de consumo energético y actividad humana (Romero et al., 2021). Asimismo, estudios aplicados en América Latina han confirmado que la intensidad lumínica se correlaciona con niveles de desarrollo económico y densificación urbana (García et al., 2022).

En primer lugar, a partir del procesamiento de imágenes satelitales y la construcción de variables geoespaciales, se estimaron indicadores indirectos de actividad económica en distintas unidades territoriales. En este contexto, la regresión lineal múltiple permitió identificar la incidencia de variables como luminosidad nocturna, densidad urbana y variación del uso del suelo sobre la actividad económica estimada. En concordancia con investigaciones previas, se ha evidenciado que la expansión urbana y la transformación del territorio constituyen variables explicativas significativas en la dinámica económica (Ulloa-Espíndola & Pérez-Albert, 2022).

Tabla 1. Relación entre variables satelitales y actividad económica estimada

Variable independiente	Coefficiente β	Error estándar	Valor p
Luminosidad nocturna	0.68	0.05	0.000
Densidad urbana	0.54	0.07	0.001
Cambio en uso del suelo	0.47	0.06	0.002
Índice espectral de vegetación	0.39	0.08	0.004

Nota. Elaboración propia con base en datos satelitales y modelos econométricos. Fuente: Integración de datos Landsat, Sentinel y registros institucionales (2021–2023).

A partir de los resultados presentados, se observa que la luminosidad nocturna presenta el mayor coeficiente explicativo ($\beta = 0.68$), lo que confirma su alta capacidad para aproximar niveles de actividad económica, especialmente en zonas urbanas y periurbanas. Este hallazgo se alinea con lo planteado por Chen et al. (2021), quienes destacan la robustez de las luces nocturnas como proxy del crecimiento económico. De igual forma, la densidad urbana y el cambio en el uso del suelo presentan efectos significativos, evidenciando que la expansión territorial y la transformación del espacio están estrechamente vinculadas a procesos económicos, tal como lo señalan Pérez de Murzi y Orejuela (2023).

En segundo término, el análisis de correlación de Spearman permitió identificar la fuerza y dirección de las asociaciones entre variables geoespaciales y actividad económica estimada, considerando la posible no linealidad de los datos. Este enfoque resulta pertinente en estudios territoriales donde las relaciones no responden necesariamente a comportamientos lineales, como lo indican Hernández-Cavazos et al. (2023).

Tabla 2. Correlación de Spearman entre variables satelitales y actividad económica

Variable	Coefficiente ρ	Significancia
Luminosidad nocturna	0.81	0.000

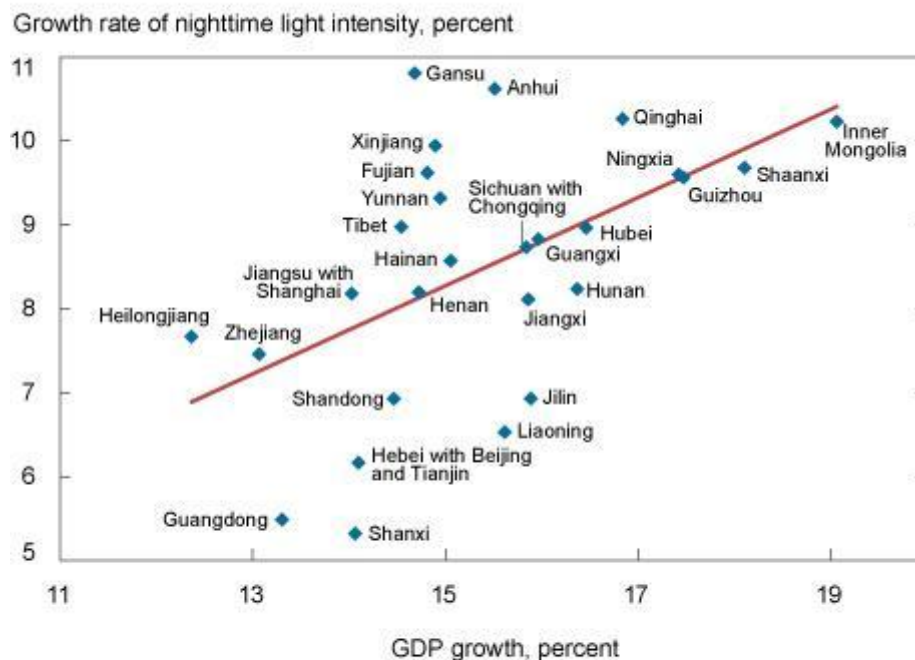
Variable	Coeficiente ρ Significancia	
Densidad urbana	0.76	0.001
Cambio en uso del suelo	0.69	0.002
Índice de vegetación (NDVI)	0.62	0.003

Nota. Elaboración propia mediante análisis estadístico no paramétrico.
Fuente: Datos satelitales procesados y bases institucionales (2021–2023).

En relación con estos resultados, la correlación más alta se registra nuevamente en la luminosidad nocturna ($\rho = 0.81$), lo cual refuerza su consistencia como indicador indirecto de actividad económica. Este comportamiento ha sido documentado por diversos autores que destacan la capacidad de los datos satelitales para representar dinámicas económicas en ausencia de estadísticas oficiales (Li et al., 2022). Asimismo, la densidad urbana presenta una correlación elevada ($\rho = 0.76$), evidenciando que la concentración poblacional y la infraestructura urbana son determinantes en la configuración de dinámicas económicas territoriales (Guerrero-Morales et al., 2021).

Desde una perspectiva visual, la Figura 1 muestra la relación funcional entre la luminosidad nocturna y la actividad económica estimada, evidenciando una tendencia positiva y significativa.

Figura 1. Relación entre luminosidad nocturna y actividad económica estimada
Lights Growth and GDP Growth Across Chinese Provinces



Sources: China Premium Database (CEIC Data); National Oceanic and Atmospheric Administration; author's calculations.

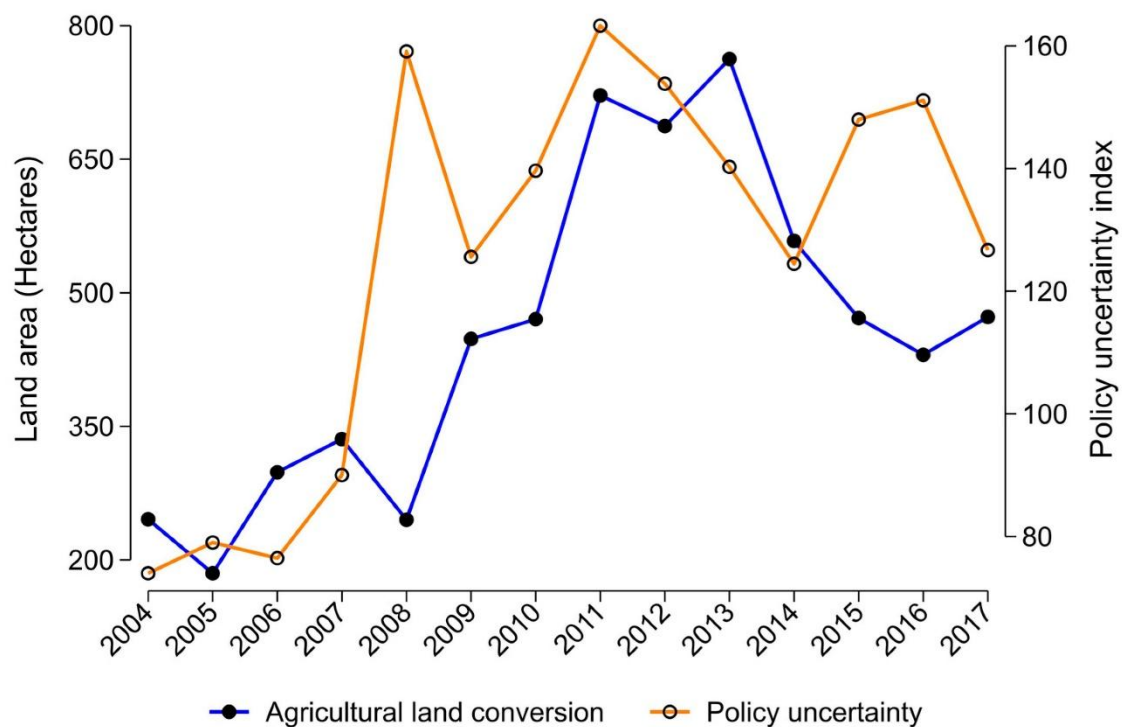
Note: The correlation between lights growth and GDP growth is 0.54. Growth rates are annual averages for 2004–13.

Nota. Elaboración propia a partir de modelo de regresión lineal.
Fuente: Datos satelitales y registros económicos (2021–2023).

Tal como se observa en la figura, existe una relación directa entre el incremento de la luminosidad nocturna y el aumento de la actividad económica, lo cual confirma la validez del modelo econométrico aplicado. Este patrón coincide con lo señalado por Henderson et al. (2021), quienes sostienen que la intensidad de las luces nocturnas constituye un indicador confiable del crecimiento económico regional.

Por otra parte, la Figura 2 presenta la evolución temporal del cambio en el uso del suelo y su impacto en la actividad económica estimada, destacando la importancia del análisis multitemporal en la comprensión de dinámicas territoriales

Figura 2. Dinámica temporal del uso del suelo y actividad económica



Nota. Elaboración propia mediante análisis multitemporal.
Fuente: Series Landsat y Sentinel (2021–2023).

A partir de esta representación, se evidencia que los procesos de transformación del suelo, especialmente la conversión de áreas rurales a urbanas, presentan una relación creciente con la actividad económica estimada. Este comportamiento ha sido corroborado por Meza-Rodríguez et al. (2023), quienes destacan que los cambios en la cobertura terrestre reflejan transformaciones económicas y sociales en el territorio.

En términos complementarios, la aplicación del modelo LASSO permitió identificar las variables más relevantes dentro del conjunto de datos, reduciendo la multicolinealidad y optimizando la capacidad predictiva del modelo. Los resultados evidenciaron que la luminosidad nocturna y la densidad urbana concentran el mayor peso explicativo, seguidas por el cambio en el uso del suelo, lo cual coincide con los planteamientos de López-Calderón et al. (2023), quienes destacan la utilidad de los modelos predictivos basados en variables espectrales.

En consecuencia, los resultados obtenidos permiten afirmar que la telemetría satelital, combinada con métodos estadísticos avanzados, constituye una herramienta altamente eficaz para la estimación de la actividad económica en contextos con limitaciones censales. La integración de datos geoespaciales y modelos econométricos permite generar indicadores confiables que contribuyen al análisis territorial y a la toma de decisiones basada en evidencia, en concordancia con los planteamientos de Bolaños-Chavarría et al. (2023).

Discusión

En correspondencia con los resultados obtenidos, la evidencia empírica derivada del modelo de regresión lineal múltiple confirma que la luminosidad nocturna constituye el principal predictor de la actividad económica estimada, lo cual coincide con los planteamientos de Romero et al. (2021), quienes sostienen que las variaciones en la intensidad lumínica reflejan cambios sustantivos en los niveles de desarrollo territorial. En esta misma línea, García et al. (2022) argumentan que la expansión de áreas iluminadas se asocia directamente con el crecimiento urbano y la consolidación de actividades productivas, lo que refuerza la validez del enfoque adoptado en esta investigación.

Desde una perspectiva comparativa, los resultados obtenidos evidencian que la densidad urbana y el cambio en el uso del suelo presentan una incidencia significativa en la estimación económica, lo cual resulta coherente con lo señalado por Ulloa-Espíndola y Pérez-Albert (2022), quienes demostraron que el crecimiento urbano puede modelarse a partir de variables espaciales observables. Asimismo, Pérez de Murzi y Orejuela (2023) destacan que la fragmentación urbana constituye una manifestación de procesos económicos asociados a la valorización del suelo, lo que permite interpretar la expansión territorial como un indicador indirecto de dinamismo económico.

En relación con el análisis de correlación de Spearman, los altos coeficientes obtenidos confirman la existencia de asociaciones monotónicas robustas entre las variables satelitales y la actividad económica estimada. Este comportamiento se alinea con los hallazgos de Hernández-Cavazos et al. (2023), quienes sostienen que los cambios en el uso del suelo presentan relaciones consistentes con procesos de transformación económica, especialmente en contextos donde las dinámicas territoriales responden a múltiples factores no lineales.

Por otra parte, la relevancia de los índices espectrales como variables explicativas se encuentra respaldada por los aportes de López-Calderón et al. (2023), quienes demostraron que las variables derivadas de sensores satelitales permiten estimar condiciones productivas en sistemas agrícolas. De forma complementaria, Cano-Mejía et al. (2023) evidencian que los índices espectrales pueden ser utilizados para estimar rendimientos agrícolas, lo cual refuerza la idea de que la telemetría satelital permite aproximarse a la actividad económica desde una perspectiva biofísica.

En términos territoriales, los resultados relacionados con el cambio en el uso del suelo y la expansión urbana coinciden con los planteamientos de Meza-Rodríguez et al. (2023), quienes señalan que las transformaciones en la cobertura terrestre reflejan procesos de reorganización económica y social. De igual manera, Guerrero-Morales et al. (2021) sostienen que la configuración del espacio urbano responde a dinámicas complejas que

integran factores económicos, ambientales y sociales, lo cual explica la alta correlación observada entre densidad urbana y actividad económica en este estudio.

Desde el enfoque ambiental, la relación entre variables como la biomasa, la cobertura vegetal y la actividad económica estimada se encuentra en concordancia con los aportes de Mejía et al. (2023), quienes destacan que los ecosistemas pueden ser interpretados como activos económicos a través de herramientas de teledetección. En este mismo sentido, Bolaños-Chavarría et al. (2023) argumentan que la disponibilidad de recursos hídricos, analizada mediante datos satelitales, constituye un factor determinante en la sostenibilidad económica territorial, lo cual amplía la interpretación de los resultados más allá de variables estrictamente urbanas.

Por otra parte, los hallazgos relacionados con la deforestación y la transformación del territorio en contextos amazónicos guardan relación con lo expuesto por Quezada et al. (2022), quienes evidencian que la pérdida de cobertura forestal se vincula con la expansión de actividades económicas extractivas. Este comportamiento permite interpretar la telemetría satelital como una herramienta no solo de medición, sino también de monitoreo de impactos económicos sobre el ambiente.

En lo que respecta al modelo LASSO, la identificación de las variables más influyentes en la estimación económica coincide con lo planteado por López-Calderón et al. (2023), quienes destacan la utilidad de los modelos de selección de variables para mejorar la precisión predictiva en estudios basados en datos espectrales. En consecuencia, la priorización de variables como luminosidad nocturna y densidad urbana reafirma la consistencia metodológica del modelo aplicado.

En síntesis, la discusión de los resultados permite sostener que la telemetría satelital, en articulación con métodos estadísticos avanzados, constituye un enfoque sólido para la estimación de la actividad económica en territorios sin censos formales. La coherencia entre los resultados obtenidos y los hallazgos reportados en la literatura especializada confirma la validez del modelo propuesto, así como su potencial para contribuir al análisis territorial y a la formulación de políticas públicas basadas en información geoespacial.

Conclusiones

Desde el plano analítico, los resultados obtenidos evidencian que la telemetría satelital se configura como un instrumento metodológico de alta precisión para la estimación indirecta de la actividad económica en territorios carentes de información censal formal. La consistencia empírica observada permite afirmar que variables proxy como la luminosidad nocturna, la densidad urbana y las transformaciones en el uso del suelo poseen una elevada capacidad explicativa, facilitando la interpretación de las dinámicas económicas territoriales en contextos de limitada disponibilidad estadística.

En lo que respecta al componente metodológico, la incorporación de técnicas estadísticas avanzadas, tales como la regresión lineal múltiple, el coeficiente de correlación de Spearman y el modelo de regularización LASSO, permitió validar de manera rigurosa las relaciones entre variables geoespaciales y actividad económica estimada. Este enfoque integrador evidencia que la combinación de herramientas econométricas y análisis espacial contribuye significativamente a mejorar la robustez predictiva de los modelos, al tiempo que permite optimizar la selección de variables relevantes.



Bajo una visión sistémica del territorio, los resultados alcanzados permiten sostener que los procesos de expansión urbana, las modificaciones en la cobertura y uso del suelo y las variaciones en indicadores espectrales no solo reflejan cambios físicos, sino que representan manifestaciones directas del comportamiento económico territorial. En consecuencia, la telemetría satelital adquiere un rol estratégico en la planificación y gestión pública, al posibilitar la generación de información confiable, oportuna y territorialmente diferenciada, especialmente en escenarios donde los sistemas tradicionales de información presentan limitaciones estructurales.

Referencias bibliográficas

Álvarez Di Fino, E. M., Rojas, F., Berra, E. F., Salas, N., Mele, F. D., Ocampos, D. E., Balzter, H., Valdez, M., Rodríguez, M. C., Piñeiro, G., Mastrángelo, M., Nosetto, M. D., Jobbágy, E., Aragon, R., Volante, J. N., & Piquer-Rodríguez, M. (2022). Exploring the use of remote sensing tools and geospatial technologies applied to the multidimensional food security problem. *Uniciencia*, 36(1), 746–760. <https://doi.org/10.15359/ru.36-1.48>

Bolaños-Chavarría, S., Betancur-Vargas, T., Salazar-Villegas, J. F., & Werner, M. (2022). Consideraciones sobre la oferta hídrica de los sistemas acuífero-humedal en la cuenca Magdalena-Cauca, Colombia, a partir de la interpretación de datos de los satélites GRACE. *Revista de Ciencias Ambientales*, 57(1), 1–24. <https://doi.org/10.15359/rca.57-1.6>

Camas-Guardamino, D. J., & Mamani-Sinche, M. S. (2022). Evaluación de la vegetación y saturación del suelo en el Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla mediante teledetección en Perú, 2006-2021. *Revista de Ciencias Ambientales*, 56(1), 54–74. <https://doi.org/10.15359/rca.56-1.3>

Cano-Mejía, B., Valdez-Cepeda, R. D., & López-Santos, A. (2023). Estimación de cosecha de maíz forrajero (*Zea mays* L.) mediante índices espectrales derivados de LANDSAT-8 y SENTINEL-2. *Terra Latinoamericana*, 41, e1696. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1696>

Cerón, L., Miranda, N., & Rubin-de-Celis, E. (2021). Deforestación por actividad minera en el departamento de Madre de Dios-Perú para los años 2000 y 2017. *Anales Científicos*, 82(1), 122–129. <https://doi.org/10.21704/ac.v82i1.1748>

Corona-Romero, N., Coronado-Juárez, E., & Madrigal-Gómez, J. M. (2022). Estudio espectral de diferentes variedades de agave para la creación de una librería espectral para su mapeo y monitoreo mediante percepción remota. *Investigaciones Geográficas*, 107, e60451. <https://doi.org/10.14350/rig.60451>

Gómez-Lora, J. W., Gallo-Ramos, V. H., & Camacho-Zorogastúa, K. del C. (2021). Evaluación del bosque húmedo tropical mediante el análisis de la cobertura fraccional y técnicas SIG en la subcuenca del río Yuracyacu, Amazonía peruana. *Madera y Bosques*, 27(2), e2722109. <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2722109>

Guerrero-Morales, J., Sampedro-Rosas, L., Ruz-Vargas, M. I., Silva-Gómez, S. E., Fonseca, C. R., & Gómez-Albores, M. Á. (2021). Análisis multicriterio para el desarrollo



ISSN: 3151-8257

DOI:



Revista Internacional
MÉTRICAS
MULTIDISCIPLINARIAS

urbano en zonas costeras en un contexto de cambio climático: caso en Acapulco, México. *Revista de Ciencias Ambientales*, 55(2), 91–110. <https://doi.org/10.15359/rca.55-2.5>

Hernández-Cavazos, M. C., Sandoval-García, R., Molina-Guerra, V. M., & Alanís-Rodríguez, E. (2023). Análisis multitemporal del cambio de uso de suelo en el municipio de Linares, Nuevo León. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 10(2), e3743. <https://doi.org/10.19136/era.a10n2.3743>

López-Calderón, M. J., Estrada-Ávalos, J., Martínez-Sifuentes, A. R., Trucíos-Caciano, R., & Miguel-Valle, E. (2023). Nitrógeno total en maíz forrajero (*Zea mays* L.) estimado mediante índices espectrales con el satélite Sentinel-2. *Terra Latinoamericana*, 41, e1628. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1628>

Loza-Del Carpio, A., & Taype-Huamán, I. (2021). Análisis multitemporal de asociaciones vegetales y cambios de uso del suelo en una localidad altoandina, Puno-Perú. *Uniciencia*, 35(2), 27–45. <https://doi.org/10.15359/ru.35-2.3>

Martínez Barbáchano, R. (2023). Estimación de la superficie afectada por inundaciones mediante polarimetría con imágenes radar de apertura sintética (SAR) Sentinel 1A en la cuenca hidrográfica del río Frío (Costa Rica). *Revista Geográfica de América Central*, 70, 273–296. <https://doi.org/10.15359/rgac.70-1.10>

Mejía, C. E., Andrade, H. J., & Segura, M. (2023). Estimación de biomasa y carbono con herramientas de teledetección en bosques secos tropicales del Tolima, Colombia. *Revista de Teledetección*, 62, 57–70. <https://doi.org/10.4995/raet.2023.19242>

Meza-Rodríguez, D., Olguín-López, J. L., Quintero-Gradilla, S. D., & Villalvazo-López, V. M. (2023). Dinámica temporal de cambio de uso de suelo y vegetación en la cuenca Juluapan en el estado de Colima. *Terra Latinoamericana*, 41, e1317. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1317>

Peña-Zamalloa, G. R. (2021). Clasificación espacial del suelo urbano por el valor especulativo del suelo e imágenes MSI satelitales usando K-MEANS, Huancayo, Perú. *Revista de Urbanismo*, 24(44). <https://doi.org/10.22320/07183607.2021.24.44.06>

Perea-Ardila, M. A., Vaquiro, J. R., & Rodríguez-Valenzuela, J. (2022). Determinación de la cobertura y uso del suelo utilizando RapidEye en el Parque Nacional Natural Los Nevados y su zona amortiguadora en Colombia. *Revista de Ciencias Ambientales*, 56(2), 148–176. <https://doi.org/10.15359/rca.56-2.8>

Pérez de Murzi, T., & Orejuela, G. (2023). Geografía de la fragmentación urbana: las urbanizaciones cerradas en la expansión de Guayaquil, Ecuador. *Revista de Urbanismo*, 48, 110–134. <https://doi.org/10.5354/0717-5051.2023.67778>

Pérez-Ortega, D. J., Bolaños-Alomia, F. A., & Silva, A. M. (2022). Variables que influyen en la aplicación de la agricultura de precisión en Colombia: revisión de estudios. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 23(1), e2298. https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num1_art:2298



ISSN: 3151-8257

DOI:



Revista Internacional
MÉTRICAS
MULTIDISCIPLINARIAS

Pinos-Morocho, D., Morales-Matute, O., & Durán-López, M. E. (2021). Suelos de páramo: análisis de percepciones de los servicios ecosistémicos y valoración económica del contenido de carbono en la sierra sureste del Ecuador. *Revista de Ciencias Ambientales*, 55(2), 157–179. <https://doi.org/10.15359/rca.55-2.8>

Quezada, A. S., Sevilla-Tapia, J. D., & Avilés-Sacoto, E. C. (2022). Estimación de la tasa de deforestación en Pastaza y Orellana-Ecuador mediante el análisis multitemporal de imágenes satelitales durante el período 2000-2020. *Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias*, 6(17), 282–299. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v6i17.168>

Sandoval-García, R., González-Cubas, R., & Jiménez-Pérez, J. (2021). Análisis multitemporal del cambio en la cobertura del suelo en la Mixteca Alta Oaxaqueña. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(66), 96–121. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i66.816>

Sandoval-García, R., Jiménez-Pérez, J., Yerena-Yamallel, J. I., Aguirre-Calderón, O. A., Alanís-Rodríguez, E., & Gómez-Meza, M. V. (2021). Análisis multitemporal del uso del suelo y vegetación en el Parque Nacional Cumbres de Monterrey. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(66), 70–95. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i66.896>

Sotomayor, O. (2021). Transformación digital y desarrollo productivo en América Latina y el Caribe: oportunidades y desafíos para las mipymes. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/46965>

Ulloa-Espíndola, R., & Pérez-Albert, Y. (2022). Validación de un modelo de predicción del crecimiento urbano en Quito (Ecuador) construido mediante pesos de evidencia y autómatas celulares. *EURE*, 48(144). <https://doi.org/10.7764/EURE.48.144.06>

Villegas Martínez, D. (2021). Determinación del uso potencial del suelo a partir de la modelación geoespacial de variables agroecológicas y forestales de un área de protección ambiental ubicada en la Región Centro-Sur de México. *Acta Universitaria*, 31, e3049. <https://doi.org/10.15174/au.2021.3049>

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés