

GUÍA METODOLÓGICA REGIONALIZACIÓN AMAZÓNICA

Proyecto: "Urbanización residual de la Amazonía, nuevas periferias y contestaciones: aportes para repensar el modelo de ciudad-red amazónica en el Ecuador"

Por: Denise Albán

Contenido

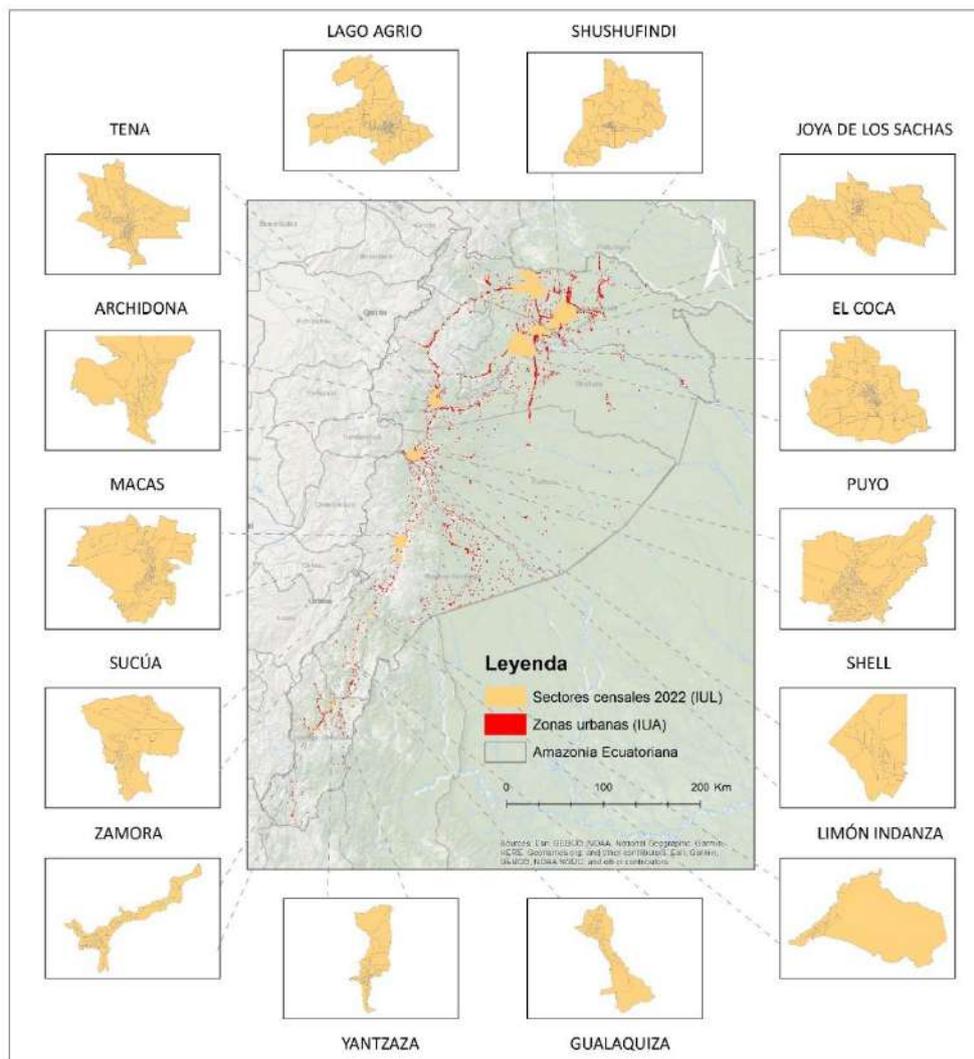
1. Metodología	3
1.1. Área de estudio	3
1.2. Generación del modelo	5
2. Resultados	6
3. Bibliografía	13

1. Metodología

1.1. Área de estudio

El área de estudio comprende la Amazonía ecuatoriana, específicamente las zonas de infraestructura urbana del Índice de Urbanización Amazónica (Cabrera-Barona et al., 2023) y los sectores censales de los Índices Locales en las ciudades de Lago Agrio, Shushufindi, Puerto Francisco de Orellana, Joya de los Sachas, Puyo, Shell, Tena, Archidona, Macas, Yantzaza, Sucúa, Gualaquiza, Limón Indanza y Zamora (Ver Figura 1). El Índice de Urbanización Amazónica se calculó utilizando las zonas de infraestructura urbana del mapa de uso y cobertura del suelo de MapBiomás Amazonia de su colección 4, mientras que los Índices Locales se obtuvieron a partir de los sectores censales del censo de población y vivienda del año 2022.

Figura 2. Área de estudio, zonas urbanas del Índice de Urbanización Amazónica y Sectores Censales 2020 de los Índices de Urbanización Locales



En el modelo 1 de regionalización se agruparon los 14 índices locales en una sola geodatabase tomando en cuenta los indicadores espaciales y socioeconómicos que se detallan a continuación:

Indicadores Espaciales: Media de la dimensión fractal, distancia más cercana a zonas deforestadas, distancia más cercana a fuentes de contaminación por hidrocarburos, distancia más cercana a fuentes de contaminación minera, distancia más cercana a ciudades importantes, luminosidad nocturna, densidad poblacional, número de vías pavimentadas y media del NDVI.

Indicadores Socioeconómicos: Porcentaje de viviendas con acceso a calle o carretera adoquinada, pavimentada o de concreto, porcentaje de viviendas con acceso a agua potable, porcentaje de viviendas con sistema de alcantarillado, porcentaje de viviendas con acceso a recolección de basura, porcentaje de viviendas con acceso a electricidad, porcentaje de personas con instrucción formal, porcentaje de personas con ocupación en actividades no rurales y porcentaje de personas con seguridad social.

Para el modelo 2 se realizó una intersección entre el índice de urbanización amazónica y los índices locales, recortando los parches urbanos que se encontraban dentro de dicha intersección.

En este caso los indicadores que se utilizaron fueron la dimensión fractal, distancia más cercana a zonas deforestadas, distancia más cercana a fuentes de contaminación por hidrocarburos, distancia más cercana a fuentes de contaminación minera, luminosidad nocturna y densidad poblacional.

1.2. Generación del modelo

El método de regionalización que se utilizó fue el algoritmo K-means, este método de aprendizaje no supervisado divide el conjunto de datos en clústeres encontrando el error cuadrático mínimo entre los puntos de datos y la media de un grupo, asignando cada punto al centroide más cercano (Ikotun et al., 2023).

Este método utiliza la siguiente ecuación matemática (Jain, 2010):

$$J(C_k) = \sum_{x_i \in C_k} \|x_i - \mu_k\|^2$$

Donde:

$X = \{x_i\}$ donde $i = 1,2,3 \dots n$ es el conjunto de datos con d dimensiones de tamaño n ,

X esta dividido en k clústeres $C = \{C_i\}$ donde $k = 1,2,3 \dots k$, con el objetivo de minimizar el error cuadrático entre la media μ_k de un clúster C_k y los puntos que pertenecen a ese clúster.

Para determinar el número óptimo de clústeres, se empleó el método del codo, el cual evalúa cómo la variación explicada se relaciona con la cantidad de clústeres. Este método utiliza una representación gráfica para ilustrar cómo la variabilidad atribuida a los clústeres varía con su número. Inicialmente, cada clúster añadido aporta información significativa; sin embargo, llega un punto donde la mejora adicional disminuye notablemente, evidenciado por un cambio en la pendiente del gráfico. Este cambio señala el número óptimo de clústeres donde el método del codo sugiere detenerse (Dick & Bery, 2024).

En el modelo 1, en cual se considera los indicadores espaciales y socioeconómicos, se determinó que el número óptimo de clústeres fue 2, mientras que para el Modelo 2, que considera indicadores espaciales, fue de 4 clústeres.

En el modelo 2 se realizó una modificación en los grupos, considerando que este modelo muestra las tres regiones principales de la Amazonía ecuatoriana. Cada región incluye las ciudades más representativas según los índices locales. Por este motivo, las ciudades se asignaron al clúster correspondiente a su ubicación, resultando en tres clústeres finales.

2. Resultados

Se presenta el análisis realizado mediante el modelo 1 de regionalización, cuyos resultados se muestra en la Figura 2 y se complementan con las estadísticas resumidas en las Tablas 1 y 2. La región 1 del modelo 1 se caracteriza por tener áreas semiurbanas o rurales que están relativamente alejadas de ciudades importantes. La dimensión fractal moderada y el NDVI sugieren una complejidad moderada en la estructura territorial y una vegetación baja a moderada. Aunque hay una buena cobertura de servicios básicos como electricidad y recolección de basura, la cobertura de agua potable y alcantarillado es limitada. El acceso a calles pavimentadas es moderado, y las actividades no rurales son menores en comparación con el clúster 2. La densidad poblacional es muy baja, lo que sugiere áreas con baja concentración de personas.

Por otro lado, la región 2 representa centralidades urbanas con buena infraestructura y servicios. La iluminación es sorprendentemente baja en comparación con la región 1 por ser áreas más pequeñas. La dimensión fractal alta sugiere una estructura territorial más compleja y desarrollada. Las coberturas de servicios básicos como electricidad, alcantarillado, agua potable y recolección de basura son muy altas, indicando un alto nivel de urbanización. El acceso a calles pavimentadas también es muy bueno. La densidad poblacional es alta, lo que confirma un entorno urbano. Las actividades no rurales predominan, reflejando una economía diversificada y desarrollada.

Figura 2. Índice de urbanización de Lago Agrio

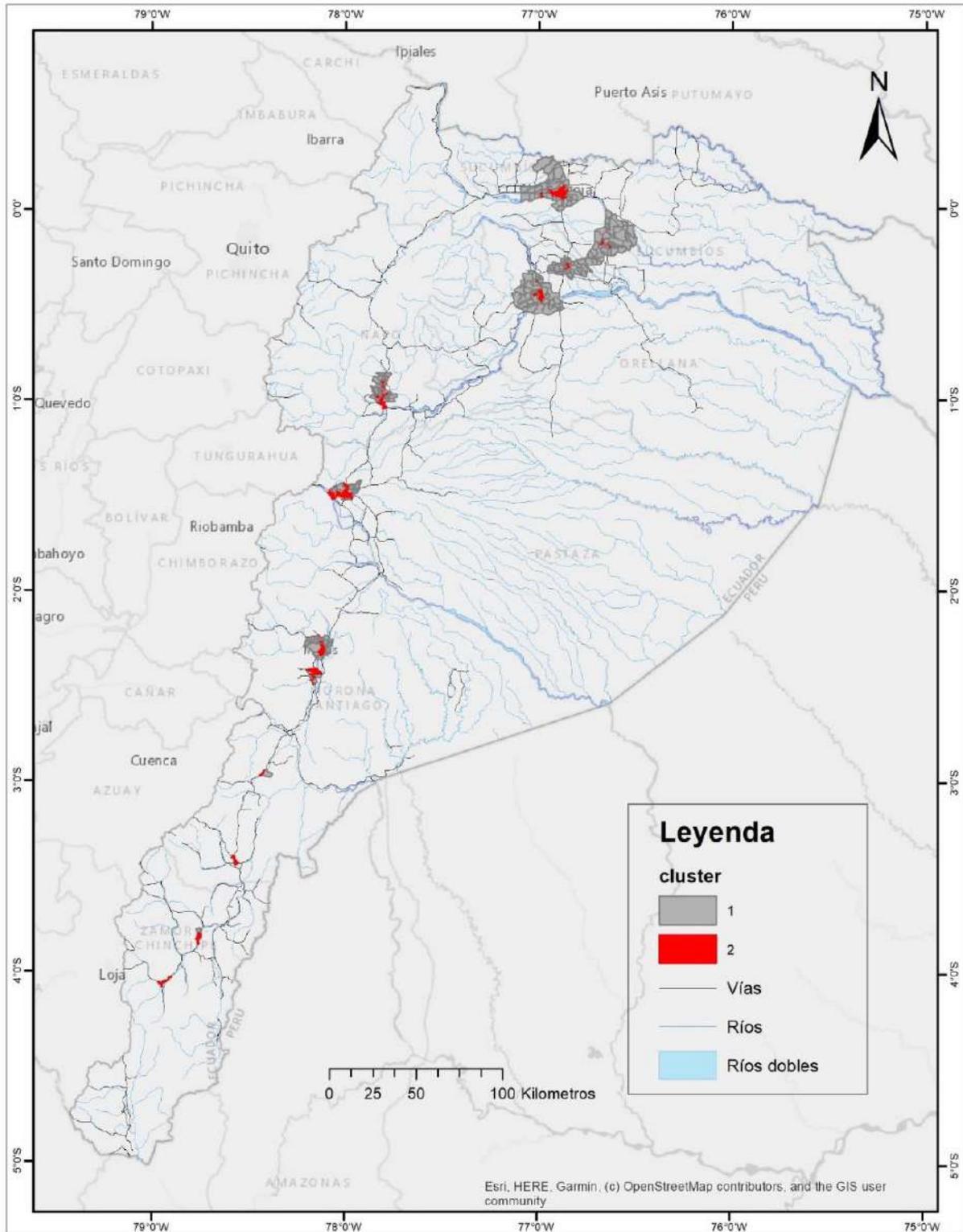


Tabla 1. Medias y desviaciones estándar de los indicadores espaciales utilizados para la regionalización con el modelo 1

Región	n	Distancia a ciudades importantes (m)	Iluminación (W/sr)	Dimensión Fractal	Media del NDVI	Distancia Hidrocarburos (m)	Distancia Minería (m)	Distancia Deforestación (m)
1	325	5935.21 ± 4499.65	126.82 ± 257.24	1.05 ± 0.23	0.68 ± 0.14	24600.32 ± 31998.63	9259.86 ± 6599.61	1128.23 ± 1003.68
2	1045	2897.92 ± 8993.28	18.45 ± 23.03	1.20 ± 0.06	0.32 ± 0.17	36840.95 ± 40126.01	6788.36 ± 5269.59	1681.25 ± 1088.99

Tabla 2. Medias y desviaciones estándar de los indicadores socioeconómicos utilizados para la regionalización con el modelo 1

Región	Energía Eléctrica (%)	Alcantaril lado (%)	Agua Potable (%)	Recolección de basura (%)	Acceso a calles pavimentadas (%)	Seguro Social (%)	Instrucción Formal (%)	Actividad es no rurales (%)	Densidad Poblacional (%)
1	89.01 ± 14.61	58.34 ± 31.93	18.55 ± 25.84	70.44 ± 25.15	59.00 ± 27.88	18.66 ± 7.86	9.05 ± 5.23	63.61 ± 21.65	3.90 ± 7.91
2	99.08 ± 1.55	97.11 ± 6.58	88.68 ± 18.99	98.47 ± 2.89	93.30 ± 12.45	28.18 ± 7.06	23.16 ± 8.85	88.72 ± 6.97	45.45 ± 33.73

En la Figura 3 se muestran las tres regiones obtenidas del modelo 2, mientras que en la Tabla 3 se presentan las medias de los indicadores espaciales para cada una de estas regiones. En la región 1, que incluye ciudades como Lago Agrio, Shushufindi, Puerto Francisco de Orellana y Joya de los Sachas, se observa una iluminación media de 16.30 ± 90.56 W/sr, indicativa de una intensa actividad comercial o residencial en comparación con otras regiones. La dimensión fractal de 1.07 ± 0.09 sugiere una estructura territorial de complejidad media. La distancia promedio de 4.5 km a zonas de contaminación por hidrocarburos y 1 km a áreas deforestadas refleja un impacto ambiental negativo debido a la urbanización o actividad industrial. La alta densidad poblacional confirma un entorno urbano denso con una concentración significativa de personas, sugiriendo una fuerte actividad económica e industrial.

Al analizar los índices locales de las ciudades en esta región, se observa una diversidad en los niveles de urbanización. Por ejemplo, Lago Agrio ha experimentado un crecimiento significativo debido a la industria petrolera, con buena cobertura de servicios básicos en las áreas altamente urbanizadas, aunque enfrenta bajos niveles de educación formal y seguridad

social en todos los estratos urbanos. En contraste, Shushufindi muestra una baja tasa de urbanización y una infraestructura limitada en áreas menos urbanizadas, dependiendo principalmente de actividades rurales para su economía. El Coca presenta disparidades significativas entre sus áreas urbanizadas y menos urbanizadas, con infraestructuras desarrolladas en las zonas más urbanizadas, pero desafíos en el acceso a servicios básicos y seguridad social en las menos urbanizadas. Joya de los Sachas, aunque en desarrollo urbano, enfrenta problemas ambientales y socioeconómicos debido a su proximidad a áreas contaminadas por hidrocarburos, así como bajos niveles de cobertura en seguridad social y educación formal.

En la región 2 se encuentran ciudades como Archidona, Tena, Puyo y Shell. Esta región muestra una iluminación baja de 3.65 ± 13.55 W/sr, indicando menor actividad nocturna o desarrollo urbano en comparación con la región 1. La dimensión fractal de 1.06 ± 0.07 sugiere una forma territorial de baja complejidad, similar a la de la región 1. Las largas distancias a zonas de contaminación por hidrocarburos y minería sugieren una menor influencia de estas actividades industriales. La distancia moderada a áreas deforestadas refleja un impacto ambiental potencial. La densidad poblacional moderada sugiere un entorno semiurbano o menos densamente poblado, indicando un desarrollo urbano moderado con menos actividad nocturna.

En esta región, Puyo destaca por su infraestructura en áreas altamente urbanizadas, pero experimenta una disminución significativa en la densidad de población y acceso a servicios básicos en áreas menos desarrolladas, con problemas persistentes en seguridad social y educación formal. Shell, impulsada por la industria petrolera, ha experimentado un crecimiento notable, pero enfrenta grandes disparidades en infraestructura y acceso a servicios básicos entre áreas urbanas y rurales, además de problemas graves de deforestación. Tena muestra una variedad en su nivel de urbanización, con alta densidad poblacional y buena infraestructura en áreas urbanizadas, pero limitado acceso a servicios básicos y proximidad a áreas contaminadas por minería en zonas menos urbanizadas. Por otro lado, Archidona exhibe marcadas diferencias entre áreas urbanizadas y menos desarrolladas en términos de densidad poblacional, infraestructura y servicios básicos, con una fuerte dependencia de actividades primarias en las zonas rurales y bajos niveles de seguridad social y educación formal.

Finalmente, en la región 3 se ubican ciudades como Macas, Yantzaza, Sucúa, Gualaquiza, Limón Indanza y Zamora. Esta región muestra una iluminación muy baja de 3.40 ± 12.47 W/sr, indicando una baja actividad nocturna y menor desarrollo urbano en comparación con las otras

regiones. La dimensión fractal de 1.06 ± 0.09 sugiere una forma territorial menos compleja, similar a las otras regiones. Las largas distancias a zonas de contaminación por hidrocarburos y minería indican una mayor lejanía de estas actividades industriales. La distancia elevada a áreas deforestadas refleja un menor impacto ambiental debido a la distancia de las áreas deforestadas. La baja densidad poblacional sugiere un entorno rural o menos densamente poblado, indicando áreas menos desarrolladas con menor impacto industrial y ambiental.

Macas destaca por su alta densidad poblacional en áreas urbanizadas y crecimiento económico, aunque persisten problemas en el acceso a servicios básicos y educación formal en zonas menos urbanizadas. Yantzaza presenta una alta densidad en áreas muy urbanizadas, pero enfrenta disparidades significativas en el acceso a agua potable y otros servicios básicos en áreas menos urbanizadas, con limitado acceso a seguridad social y educación formal. Sucúa muestra una alta densidad en zonas urbanizadas y acceso considerable a servicios básicos, pero en áreas menos urbanizadas estos disminuyen, al igual que la cobertura de seguridad social y educación formal. Gualaquiza exhibe variaciones demográficas con buen acceso general a servicios básicos, aunque enfrenta desafíos en seguridad social y educación formal en todas las categorías de urbanización. En Limón Indanza, la densidad es alta en áreas urbanizadas pero el acceso a agua potable es limitado, y la seguridad social junto con la educación formal son precarias en todas las áreas. Finalmente, Zamora presenta una distribución poblacional desigual y acceso variable a servicios básicos, con un problema crítico de contaminación minera que afecta todas las categorías de urbanización.

Figura 3. Índice de urbanización de Lago Agrio

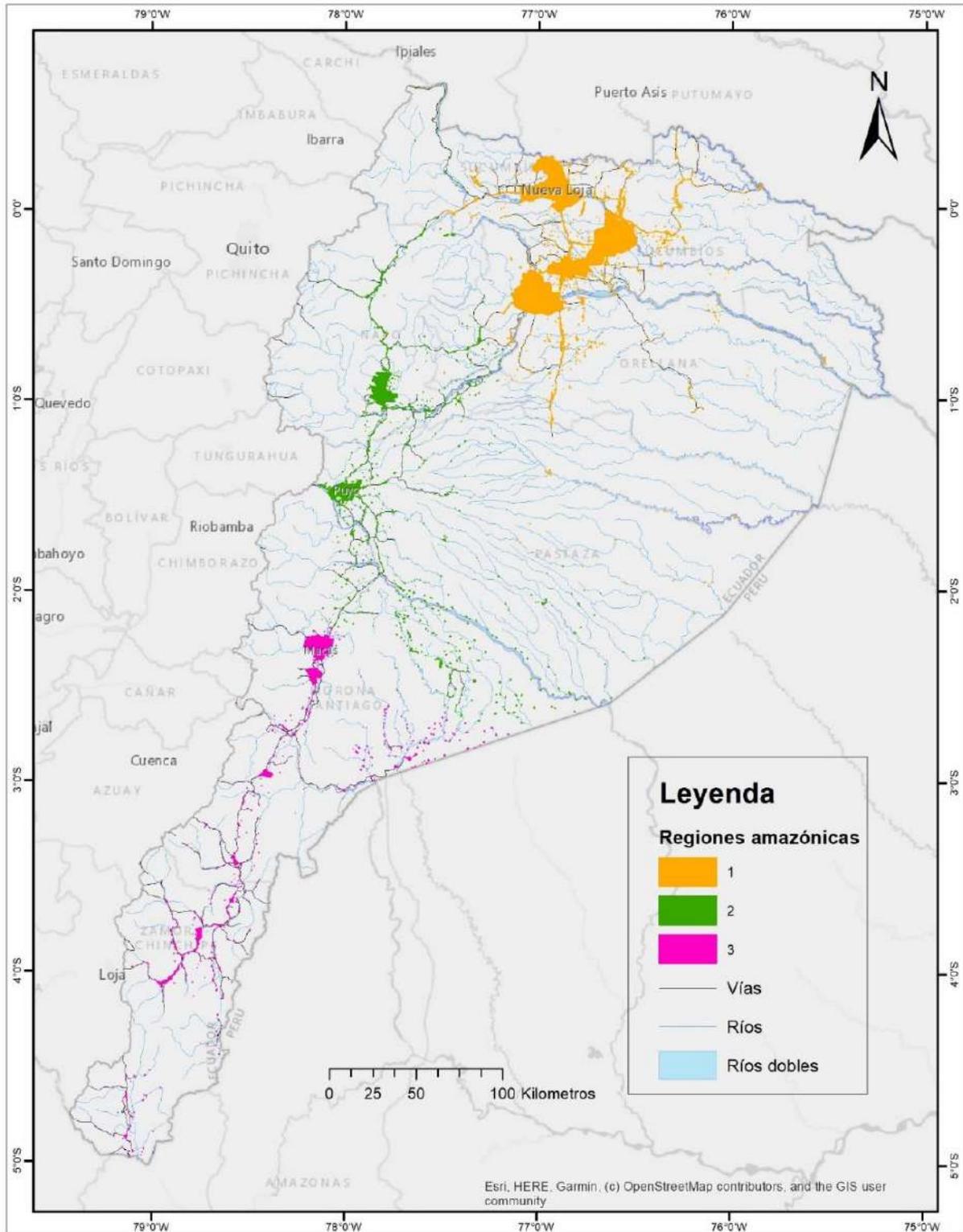


Tabla 3. Medias y desviaciones estándar de los indicadores espaciales utilizados para la regionalización con el modelo 2

Región	n	Iluminación (W/sr)	Dimensión fractal (m)	Distancia Hidrocarburos (m)	Distancia Minería (m)	Distancia Deforestación (m)	Densidad Poblacional (hab/ha)
1	3420	16.30 ± 90.56	1.07 ± 0.09	4533.68 ± 10895.32	182594.48 ± 92057.15	1001.33 ± 1134.13	11.25 ± 18.14
2	2734	3.65 ± 13.55	1.06 ± 0.07	41601.03 ± 33007.14	93843.22 ± 43059.04	895.98 ± 941.40	14.48 ± 22.94
3	1409	3.40 ± 12.47	1.06 ± 0.09	179248.18 ± 61785.59	19586.48 ± 23430.81	1207.77 ± 1148.39	19.43 ± 25.66

Se observa que el modelo 2 es un modelo ha generado tres regiones distintas en términos de desarrollo urbano, impacto ambiental y actividad económica dentro del área estudiada. La primera región muestra una intensa actividad comercial e industrial, caracterizada por una alta densidad poblacional y notables efectos ambientales. La segunda región, aunque menos desarrollada que la primera, exhibe un crecimiento urbano moderado y enfrenta desafíos similares en cuanto al acceso a servicios básicos y su impacto ambiental. Finalmente, la tercera región presenta un desarrollo urbano más limitado y una baja densidad poblacional, con necesidades significativas en términos de infraestructura y servicios esenciales.

Cada región presenta sus propios desafíos y oportunidades, recalcando la importancia de políticas públicas adaptadas a las realidades locales para fomentar un crecimiento equitativo. Este análisis proporciona una base sólida para futuras investigaciones y la planificación estratégica orientada a mejorar la calidad de vida y el bienestar en estas comunidades.

3. Bibliografía

- Cabrera-Barona, P., Albán, D., & Durán, G. (2023). Describing the Urban Jungle: A Multicriteria Urbanization Index for the Amazon. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 12(10), 430. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ijgi12100430>
- Dick, M., & Bery, A. (2024). Geophysical Data Optimization with Machine Learning for Lithological Characterization. *Researchgate*.
https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/379759625_Geophysical_Data_Optimization_with_Machine_Learning_for_Lithological_Characterization
- Ikotun, A., Ezugwu, A., Abualigah, L., Abuhaija, B., & Heming, J. (2023). K-means clustering algorithms: A comprehensive review, variants analysis, and advances in the era of big data. *Information Sciences*, 622, 178-210.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ins.2022.11.139>
- Jain, A. (2010). Data clustering: 50 years beyond K-means. *Pattern Recognition Letters*, 31(8), 651-666. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.patrec.2009.09.011>