

# Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica en la identificación de los territorios funcionales rural-urbanos de El Salvador

Andrew Cummings, Metzi Aguilar, Rafael E. Cartagena, Marielos García, Astrid González y César Sánchez.

*Departamento de Organización del Espacio, Maestría en Desarrollo Territorial (Departamento de Sociología y Ciencias Políticas), Departamento de Economía. Universidad Centroamericana José Simeón Cañas (UCA), El Salvador.*

acummings@uca.edu.sv, maguilar@uca.edu.sv, rcartagena@uca.edu.sv, magarcia@uca.edu.sv, 00037006@uca.edu.sv, csanchez@uca.edu.sv,

**Abstract—** Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) pueden ser utilizados para identificar territorios funcionales urbano-rurales a partir de fotografías satelitales de luces nocturnas, ya que dichas imágenes son un indicio de tejido urbano con alta densidad de población y/o de lugares con actividad económica intensa. La identificación de territorios funcionales urbano rurales como objeto de la investigación tomó como base la definición del Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural (RIMISP) y sus orientaciones metodológicas llevaron a considerar solamente aglomeraciones de municipios vinculados entre sí, alrededor de centros urbanos caracterizados por una densidad urbana y de actividades económicas significativas. La delimitación de los territorios funcionales urbano-rurales (zonas rurales que interactúan con una ciudad intermedia importante), siguió una secuencia de tres pasos. En primer lugar, la definición de los agrupamientos de municipios por el método de luces nocturnas, en segundo lugar, la definición de agrupamientos de municipios por el método de análisis de conglomerados, a partir de datos de conmutación laboral y, por último, la definición de territorios funcionales a través de la integración de los procedimientos anteriores. Como resultado se obtuvo mapas de delimitación de los territorios funcionales urbano - rurales de El Salvador en mapas.

## I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo muestra el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en una investigación interdisciplinaria sobre el desarrollo territorial en El Salvador. Dicho estudio ha sido realizado por varias unidades académicas de la UCA, y tiene por título *Crecimiento inclusivo en territorios funcionales rural-urbanos en El Salvador*. El mismo ha sido realizado en conjunto con el Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural (RIMISP) y el Centro de Estudios Económicos y Sociales de la Universidad Rafael Landívar (IDIES-URL).

La investigación indicada tiene como punto de partida la identificación de los territorios funcionales rural-urbanos del país, aplicando una metodología desarrollada por RIMISP, y que ha sido empleada en análisis similares realizados en México, Colombia, Chile, Guatemala y ahora en El Salvador.

El uso del SIG es una herramienta fundamental de estos estudios, especialmente en el procesamiento de fotografías satelitales de luces nocturnas, como parte del proceso de identificación de territorios con aglomeraciones urbanas de tamaño intermedio.

El objetivo de este ejercicio ha sido aplicar los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la identificación de territorios funcionales rural-urbanos en El Salvador. El uso de SIG resulta fundamental para identificar territorios con presencia de centros urbanos importantes. Sin embargo, la investigación no está enfocada en las grandes ciudades, tampoco en territorios que se podrían llamar metropolitanos. Aunque el estudio identifica una Región Metropolitana de San Salvador, así como municipios sin centros urbanos significativos, el análisis posterior se ha enfocado en territorios que combinan rasgos rurales y urbanos donde se puede verificar la presencia de ciudades de tamaño intermedio.

Tomando en cuenta estas definiciones, se plantearon dos preguntas esenciales: ¿Cuáles de las ciudades intermedias existentes en El Salvador deberían ser incluidas como núcleos de los territorios funcionales rural-urbanos y cuáles no? Y en segundo lugar, ¿cuáles de los municipios cercanos a estas ciudades intermedias serían incluidos en los territorios funcionales rural-urbanos?

Se sabe que en las últimas décadas El Salvador ha vivido procesos de mejora en la calidad de vida de una parte de su población, pero todavía se verifican condiciones de pobreza extrema, especialmente en zonas rurales del norte y oriente del país. El enfoque territorial del desarrollo busca precisamente reducir dichas brechas territoriales, procurando políticas públicas que consideren las especificidades de los territorios, y elevando el nivel de participación de la población local en las decisiones y procesos de desarrollo.

Los territorios rural-urbanos resultan de interés en el marco de los estudios sobre desarrollo territorial, pues algunos estudios recientes sugieren que las ciudades de tamaño pequeño y mediano pueden ser factores importantes en la reducción de brechas territoriales que afectan

principalmente a la población rural (Tacoli, 1998, Berdegué *et al.*, 2015). En esta línea, la investigación ha permitido generar conocimiento relevante para la creación de propuestas de políticas públicas que permitan aprovechar el potencial de los vínculos rural-urbanos para el desarrollo territorial.

En el año 2012, Amaya y Cabrera realizaron una primera delimitación de territorios funcionales en El Salvador para un estudio de RIMISP, con base en cálculos de conmutación laboral. A diferencia de dicho estudio, la presente investigación combina dicha metodología con el procesamiento de imágenes satelitales para identificar ciudades intermedias.

## II. MARCO CONCEPTUAL Y METODOLOGÍA

### A. Marco conceptual

Un repaso de los distintos usos y definiciones indica que en el concepto de territorio se conjugan los elementos físicos de un espacio y una colectividad humana (Giménez, 1996, Bran y Salamanca, 2005, Gonzales Fuenzalida, 2011, Berdegué y Meynard, 2012). Debe entenderse entonces el término territorio como una realidad socio-espacial, que conjuga procesos sociales (económicos, culturales, políticos, etc.) y su base material o física (Bozzano, 2000).

La noción de territorio hace referencia a una región o localidad de carácter subnacional. En este sentido, se identifica una clase de territorios subnacionales donde se presentan mejores condiciones para el desarrollo, partiendo de la categoría de “territorio funcional”. El adjetivo funcional hace referencia a que en ellos se presenta “una alta frecuencia de interacciones entre sus habitantes, sus organizaciones y sus empresas” (Berdegué y Meynard, 2012) y como resultado de estas interacciones, se trata de “espacios relativamente auto-contenidos donde las personas viven y trabajan” (Berdegué y Meynard, 2012). En otras palabras, los territorios funcionales “funcionan como una sola unidad funcional” desde múltiples perspectivas económicas, sociales y ambientales.

Se puede observar que estas características de los territorios funcionales se corresponden con la noción de territorio como “construcción social”, es decir, los espacios donde las personas viven sus relaciones sociales, desarrollan sus actividades económicas y realizan sus desplazamientos cotidianos (Berdegué y Meynard, 2012).

El presente artículo retoma una clasificación de territorios que toma en cuenta la presencia de ciudades grandes o medianas. Siguiendo a Berdegué *et al.* (2015), los espacios territoriales pueden ser de tres tipos: a) aquellos rurales o profundamente que carecen incluso de núcleos urbanos; b) territorios urbano-rurales, que se caracterizan por espacios rurales en interacción con una ciudad pequeña o mediana; y

c) territorios metropolitanos formados en torno a grandes ciudades.

### B. Metodología

La delimitación de los territorios funcionales urbano-rurales (zonas rurales que interactúan con una ciudad intermedia importante), siguió una secuencia de tres pasos. En primer lugar, la definición de los agrupamientos de municipios por el método de luces nocturnas, en segundo lugar, la definición de agrupamientos de municipios por el método de análisis de conglomerados, a partir de datos de conmutación laboral y, por último, la definición de territorios funcionales a través de la integración de los procedimientos anteriores. Los dos primeros pasos se realizaron utilizando ARCMAP, QGIS y STATA para procesar los datos. En el primer paso las bases de datos utilizadas fueron: 1) Fotografía satelital mundial de luces nocturnas del año 2013, obtenida con satélite del Programa Satelital meteorológico de defensa (DMSP, por sus siglas en inglés) administrado por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés) y 2) Límites político administrativos en formato *Shape* del Centro Nacional de Registros de El Salvador (CNR). En el segundo paso se usó una base de datos de conmutación laboral obtenida a partir del Censo de Población y Vivienda de 2007. Cada uno de los pasos se desarrolla a continuación.

#### 1) Definición de agrupamientos de municipios por el método de luces nocturnas

La intensidad de las luces nocturnas es un indicio de un tejido urbano con alta densidad de población y/o de lugares con actividad económica intensa (zonas francas, puertos y aeropuertos, etc.).

La fotografía satelital de luces nocturnas es en una imagen en formato ráster y cada píxel tiene un valor de número digital (DN) en un rango de 0-63, que es un número entero positivo asignado a la respuesta de un sensor en relación con la intensidad de la señal recibida por el sensor. El número 0 es el nivel más bajo de radiación y 63 el más alto. Para poder seleccionar el umbral de luces nocturnas a utilizar se requirió de un preprocesamiento con SIG que consistió en: 1) Reproyección de la imagen satelital del sistema universal WGS84 al sistema local Lambert Conforme Cónico NAD27 y obtención de la resolución de píxel que es de 1.4x1.4 km para el año seleccionado, 2) corte de país para delimitar los píxeles a nivel nacional, 3) conversión de imagen ráster a geometría vector punto con su respectivo DN, 4) conversión de imagen ráster a una malla con geometría de polígono y 5) *Join* espacial de la malla con los valores DN de la geometría punto. Este preprocesamiento SIG se ilustra en la figura 1. Posteriormente se definieron 5 clases de niveles de luz: 0; 1-12; 13-20; 21-30; 31-45 y 46-63.

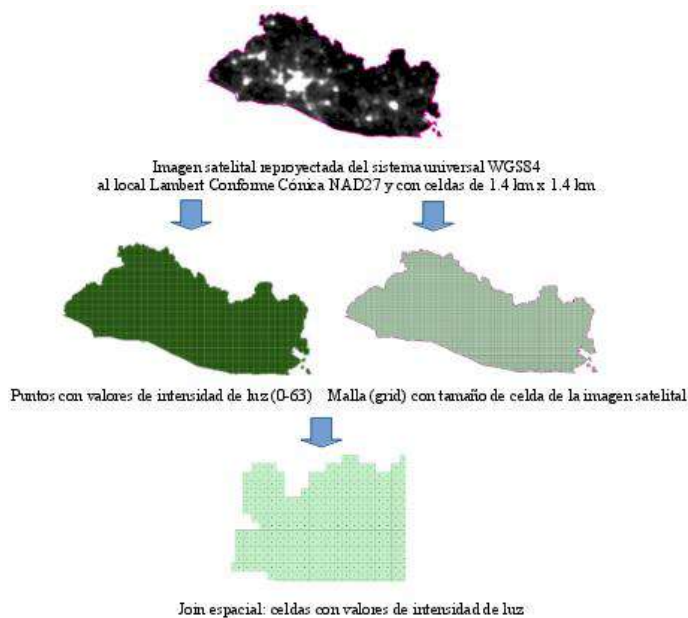


Fig. 1. Procesamiento SIG.

Para seleccionar el umbral de luces nocturnas a utilizar se excluyeron municipios rurales. Por definición todo municipio que tenga “0” en la escala de intensidad de luces nocturnas es muy rural o de una ruralidad muy profunda, y fue excluida del objeto del estudio. El nivel de intensidad calificada como “1” (1-12) es también predominantemente rural, aunque no tan profundo con algunas “luces” que señalan la existencia de cascos urbanos pequeños en estos municipios. Incluso los pequeños cascos urbanos de estos municipios que son predominantemente rurales. Las manchas de luces nocturnas de intensidad dos, en la realidad salvadoreña son de áreas urbanas más un poco más consolidadas, aunque siempre relativamente pequeñas. Las manchas de luces de niveles de intensidad 4 (31-45) y 5 (46-63) señalan áreas urbanas consolidadas y con luz intensa. Se determinó que los territorios funcionales deben tener luces de por lo menos niveles “4” y “5” de intensidad.

## 2) Agrupamiento de municipios por umbrales de intensidad de conmutación laboral

A partir de datos de conmutación laboral (metodología de Tolbert y Sizer, 1990, retomada por RIMISP). La conmutación laboral es un indicio de una fuerte interacción económica y social entre municipios

La conmutación laboral consiste en el flujo de trabajadores que viven en un municipio y se trasladan a trabajar a otro y viceversa. Lo que implica que hay una interacción en términos laborales entre los municipios.

Para determinar los territorios funcionales o áreas locales de trabajo a partir de la conmutación laboral, se utilizó el método de Tolbert & Sizer (1987) aplicado por RIMISP. En este método se utiliza una matriz de disimilaridades que se crea con base en la conmutación laboral, para realizar

aglomeraciones de municipios con interacciones más fuertes, a partir del método de clúster jerárquico (grupos disjuntos). (Berdegú y otros, 2011). En la matriz de disimilaridades, las magnitudes expresan una “distancia”, que implica que los valores que se acercan a cero significan un vínculo laboral mayor y valores más cerca de uno implican un vínculo más débil (Carriazo y Reyes, 2012).

A través del método de clúster jerárquico se genera el agrupamiento de enlace promedio entre los municipios y para mapear los resultados, la unión con geometrías de municipios. El Average-link clustering ayuda a tener en cada iteración las parejas de clúster con la mayor cohesión. El procedimiento seguido para verificar los resultados de la agrupación fue revisar aleatoriamente los ID de ciertos clústeres (que conforman territorios) y se identificó si el número correspondía con el número de municipios incorporados. Al aplicar este método se retomó el mismo umbral de la intensidad de conmutación laboral usado por Amaya y Cabrera.

## 3) Delimitación final de los territorios funcionales

La combinación de los dos métodos de agrupamientos (por luces y por conmutación) permitió definir grupos de municipios, que sirvieron de base para definir los territorios funcionales, aplicando reglas para eliminar o sumar municipios a los agrupamientos preliminares, o bien integrar agrupamientos preliminares en un solo territorio.

Una primera regla fue sumar o unir agrupamientos (definidos por el método de luces) formados por municipios adyacentes con alto nivel de conmutación laboral (distancia 0.94 en el análisis de clúster).

Una segunda regla se usó para eliminar de los agrupamientos previos aquellos municipios que no presentan un nivel alto de conmutación laboral (distancia 0.94). La excepción a esta regla fue mantener agrupados municipios que tienen luces de nivel 5 conectadas por corredores de luz de intensidad 4. Esto permite captar como territorios funcionales aquellos municipios unidos por un tejido urbano continuo

Finalmente, los agrupamientos adyacentes, definidos previamente por el método de luces nocturnas fueron combinados si compartían uno o más municipios según el criterio agrupamiento por conmutación laboral (corte 0.94). Esto permite captar en un mismo territorio funcional aquellos municipios adyacentes con alta interacción económica, aunque las luces nocturnas resultaran discontinuas.

## 4) Resultados y discusión

La metodología descrita permitió identificar 13 territorios funcionales urbano-rurales, compuestos por 37 municipios, de los cuales 14 corresponden a la zona occidental, 14 a la zona central y 9 a la zona oriental del país. La integración de estos territorios se puede apreciar en la siguiente tabla (tabla 1), así como en el mapa 1 (figura 2).

Id. TF	Municipios
1	Acajutla
2	Sonsonate, San Antonio del Monte, Nahuilingo y Sonzacate
3	Santa Ana, San Sebastián Salitrillo, El Porvenir, Chalchuapa y El Refugio
4	Metapán
5	Ahuachapán y Turín
6	Colón, Sacacoyo, Armenia, Tepecoyo y San Juan Opico
7	San Luis Talpa, Olocuilta y San Juan Talpa
8	Zacatecoluca y San Juan Nonualco
9	San Vicente y San Cayetano Istepeque
10	Cojutepeque, El Carmen y Monte San Juan
11	Usulután, Santa María y Ozatlán
12	San Miguel, Quelepa, Nueva Guadalupe y Moncagua
13	La Unión y Conchagua

Tabla. 1. Territorios funcionales rural-urbanos.

Aparte de los territorios urbano-rurales, la metodología llevó a la identificación de un territorio funcional metropolitano, conformado por 21 municipios de la zona central del país, la gran mayoría pertenecientes al Área Metropolitana de San Salvador.

Los territorios funcionales-urbano rurales se construyeron con base en el agrupamiento de municipios debido a que no existen datos para delimitación o caracterización a escalas menores de las divisiones político administrativos del país (los cantones). Los resultados finales de la delimitación de los territorios funcionales de ambos tipos, dependen mucho de la definición de los umbrales, tanto de luces como de la delimitación, así como de los criterios utilizados para su integración.

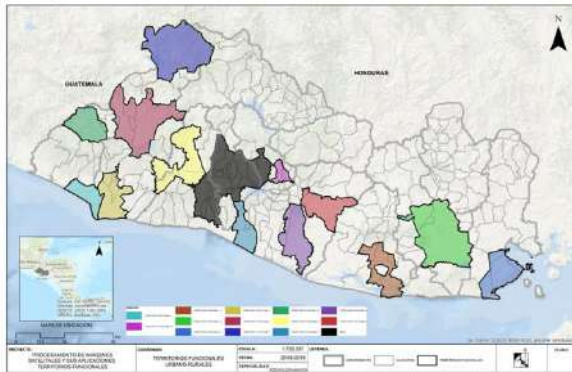


Fig. 2. Mapa territorios funcionales urbano rurales y del territorio funcional metropolitano.

## REFLEXIONES FINALES

El uso del Sistema de Información Geográfica (SIG) ha sido una herramienta de suma utilidad en la identificación de los territorios funcionales rural-urbanos y agrega valor al análisis de estos territorios, principalmente porque: a) facilita el manejo de la dimensión espacial territorial en las teorías y metodologías de análisis social y económico; b) permite análisis de datos capturados en imágenes satelitales —luces nocturnas y manchas urbanas, usos de suelos, etc.— integrado con análisis estadístico de datos a escala municipal

para revelar la configuración territorial de El Salvador en territorios funcionales; c) y no menos importante porque facilita la comunicación visual de fenómenos territoriales complejos. Finalmente, queda como trabajo futuro incorporar en el análisis la econometría espacial (ejemplo: Índice de Morán) para complementar otros análisis econométricos de indicadores para precisar aún mejor cómo el espacio tiene relevancia en la configuración de estos fenómenos complejos.

## REFERENCIAS

- [1] P. Amaya y O. Cabrera. Territorios funcionales en El Salvador. 2012.
- [2] J. Berdegú, Benjamín Jara; R. Fuentealba, J. Tohá, F. Modrego, A. Schejtman y N. Bro. "Territorios Funcionales en Chile". Documento de Trabajo N° 102. Programa Dinámicas Territoriales Rurales. Rimisp, Santiago, Chile, 2011.
- [3] F. Carriazo y M. J. Reyes, Territorios funcionales: un análisis del gradiente rural-urbano para Colombia. Univ. de los Andes. Bogotá, Colombia, 2012.
- [4] J. Soto. Procesamiento de imágenes satelitales nocturnas y sus aplicaciones. Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural (RIMISP). 2016.
- [5] M. L. Pinkovskiy. Economic Discontinuities at Borders: Evidence from Satellite Data on Lights at Night. March 2013.
- [6] J. Soto. *Procesamiento de imágenes satelitales nocturnas y sus aplicaciones*. Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural (RIMISP). 2016.