

Cuatro métodos para la estimación de la densidad de población humana para el estado Zulia, República Bolivariana de Venezuela

JR Ferrer-Paris
Centro de Estudios Botánicos y Agroforestales
Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas

Reporte técnico
LEE.EPZ.2016.1
DOI: 10.6084/m9.figshare.2095720
Versión de 12 de febrero de 2016

A quien pueda interesar

Este documento es generado utilizando las funciones de **Sweave** desde una sesión de *R* (versión 3.2.3 (2015-12-10), R Development Core Team, 2015b), por tanto todas las tablas y figuras se generan y actualizan automáticamente a partir de los datos suministrados. Para acceso al código fuente en *R* y los archivos de datos contacte al autor. Dentro de *R* utilizamos los paquetes *spatstat* (Adrian Baddeley y Turner, 2005); *nlme* (Pinheiro y col., 2015); *gstat* (Pebesma, 2004); *RColorBrewer* (Neuwirth, 2007); *foreign* (R Development Core Team, 2015a); *raster* (Hijmans, 2015); *sp* (Bivand, Pebesma y Gomez-Rubio, 2008).

Los resultados presentados son preliminares y no han sido verificados o validados en campo, por lo que se deben utilizar con cautela. El autor no se hace responsable por errores u omisiones en la información presentada o por el uso que se haga de la misma.

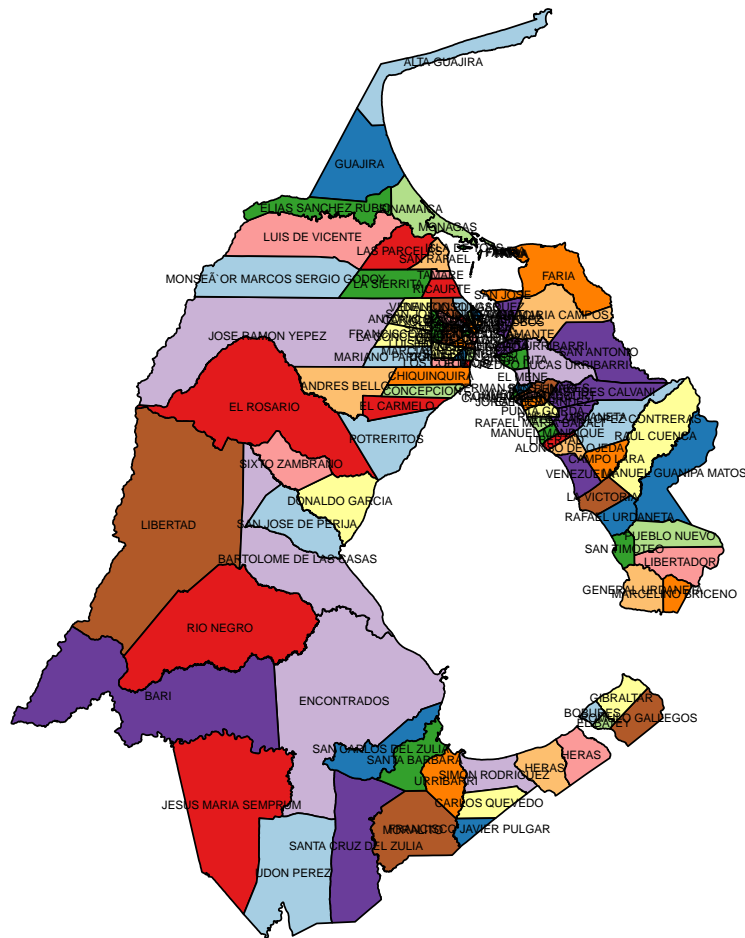
1. Introducción

La densidad poblacional o población relativa es una medida del número de habitantes por unidad de área y es un dato útil para la planificación y gestión de recursos, planes de inversión en áreas de salud, educación, conservación y manejo de recursos naturales, salud pública, etc. Es por tanto una variable valiosa para el sector público y privado (Balk, Deichmann y col., 2006).

Este documento considera cuatro métodos que pueden aplicarse para la estimación de la densidad poblacional a partir de datos disponibles en fuentes públicas y de acceso libre en una escala geográfica apropiada para la gestión regional. A manera de ejemplo aplicamos estos métodos para el estado Zulia de la República Bolivariana de Venezuela, y generamos cuatro estimados provisionales de densidad poblacional (número de habitantes por kilómetro cuadrado).

Los datos del censo nacional permiten estimar la densidad poblacional del estado Zulia, y de cada uno de sus municipios y parroquias (INE, 2013b), sin embargo estos datos no reflejan la variabilidad que existe entre zonas urbanas densamente pobladas, zonas rurales extensas y las zonas

Figura 1: Parroquias del estado Zulia según INE (2013a)



naturales protegidas con poca presencia humana. La densidad de zonas pobladas puede utilizarse como un indicador de la densidad poblacional dentro de una unidad territorial y de esta forma mejorar la comprensión de esta variabilidad. Adicionalmente, los métodos geoestadísticos de predicción espacial permiten estimar la densidad poblacional con mayor detalle al incorporar la dependencia o autocorrelación espacial en los estimados.

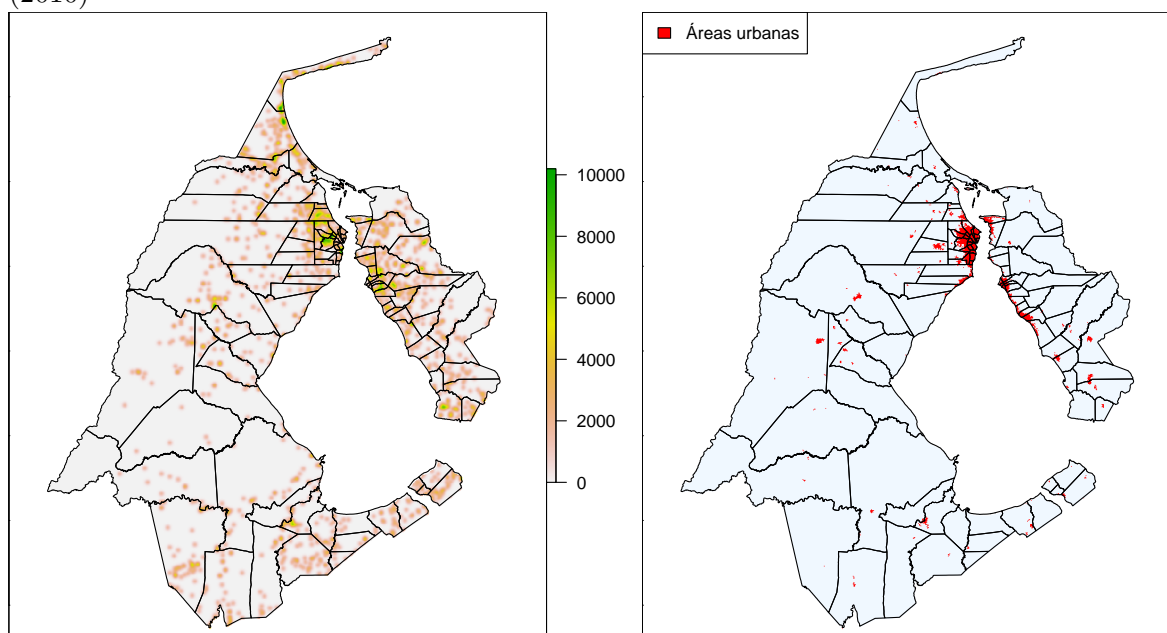
Para obtener mejores estimados de densidad poblacional es necesario combinar la información del censo nacional, la división política territorial, y la ubicación de centros poblados y áreas urbanas, tal y como se muestra en las siguientes secciones. La división política territorial de Venezuela utilizada con fines estadísticos por el Instituto Nacional de Estadística (INE) reconoce 21 municipios y 110 parroquias en el estado Zulia (INE, 2013a, figura 1).

Según el censo del 2011 la población del estado Zulia es de 3704404 habitantes (INE, 2013b), dividida de la siguiente manera entre población urbana y rural:

Población.urbana	Población.rural
3411606	292798

Los gaceteros o nomencladores geográficos permiten determinar la ubicación de los centros po-

Figura 2: Concentración de centros poblados del nomenclator NIMA (2010) en el estado Zulia y ubicación de áreas urbanas según el modelo de cobertura de la tierra del año 2011 de Friedl y col. (2010)



blados en un territorio. Según el nomenclator internacional del NIMA (2010) existen alrededor de 1577 centros poblados en el estado Zulia (figura 2).

En la figura 2 se observa también la delimitación de las áreas urbanas del estado Zulia según una capa de cobertura de la tierra del año 2011 basada en imágenes de sensores remotos de moderada resolución (*MODIS Land Cover Type Product, MCD12Q1*, Friedl y col., 2010, ver guía de usuario en http://www.bu.edu/lcsc/files/2012/08/MCD12Q1_user_guide.pdf).

Más adelante se ofrecen detalles sobre la incorporación de estas capas de información geográfica para obtener los resultados deseados.

2. Población censada por parroquias

El portal de datos del INE permite consultar la población total (rural y urbana) de cada parroquia (INE, 2013b). El estimado más sencillo de densidad población se obtiene al dividir este valor total entre el área de la parroquia (Balk, Deichmann y col., 2006).

En la figura 3 se observa que la mayor densidad poblacional se encuentra en las parroquias alrededor de la ciudad de Maracaibo, a lo largo de la costa oriental del Lago de Maracaibo y en algunas regiones del sur del lago (Fuenmayor y Strauss, 2011). La menor densidad poblacional se encuentra en las parroquias ubicadas en los extremos norte y sur de la sierra de Perijá, al oeste del estado. Este estimado asigna valores homogéneos a toda la parroquia, independientemente de la ubicación de los centros poblados y del uso de la tierra dentro de la parroquia, lo cual puede introducir errores, sobre todo en aquellas unidades territoriales extensas que abarcan zonas urbanas, agrícolas y áreas protegidas.

Figura 3: Estimado sencillo de densidad poblacional al dividir valores de (INE, 2013b) por el área de la parroquia

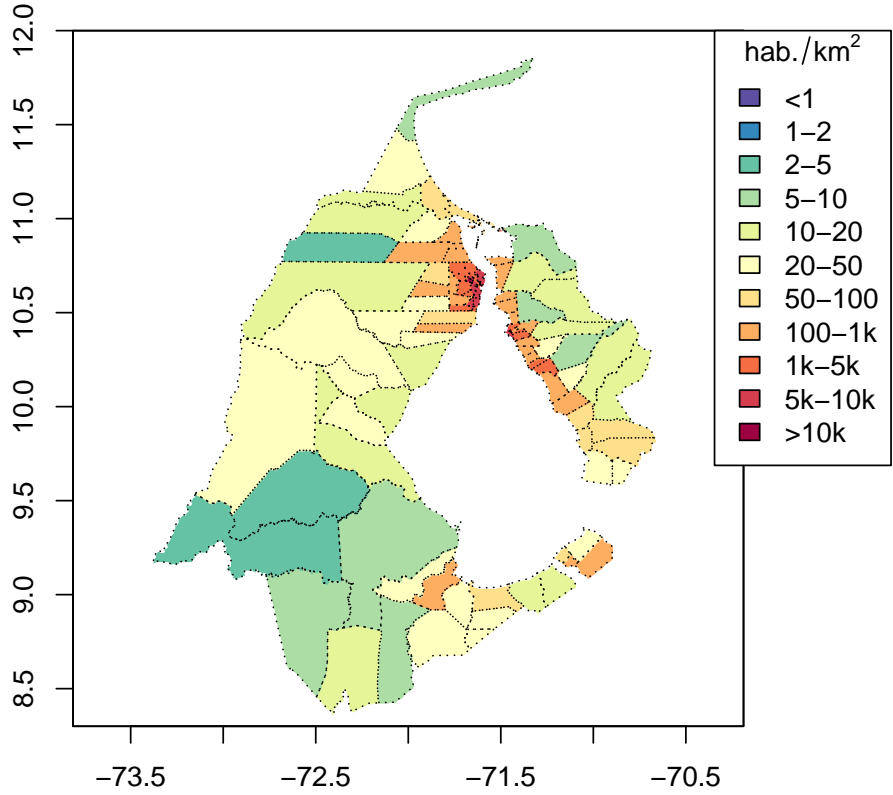
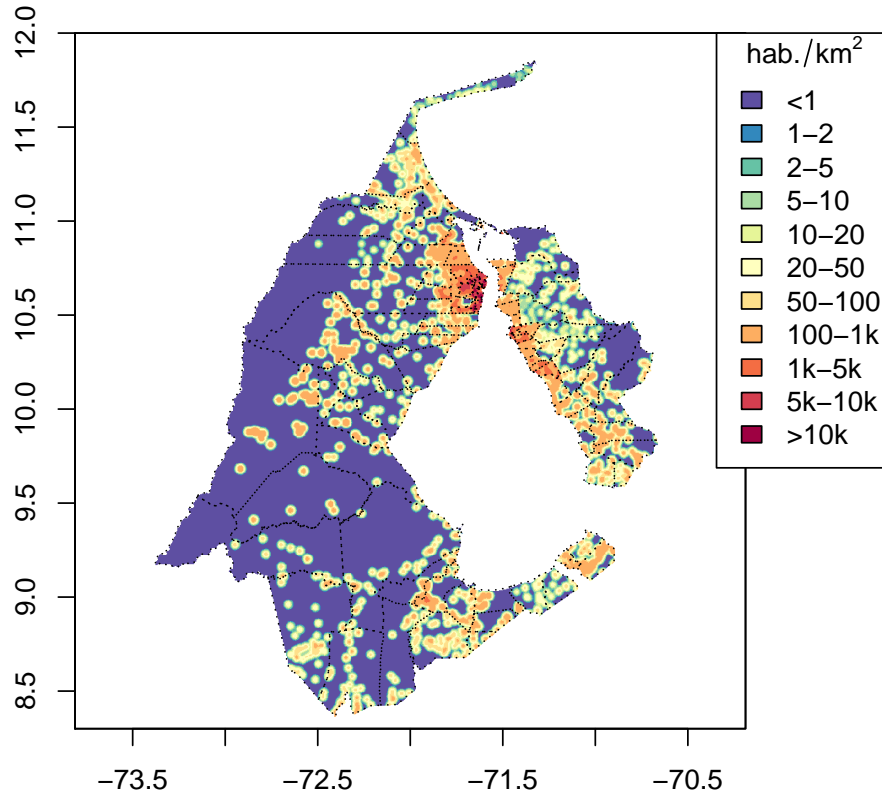


Figura 4: Estimado de densidad poblacional basado en el tamaño poblacional por parroquia y la concentración de centros poblados

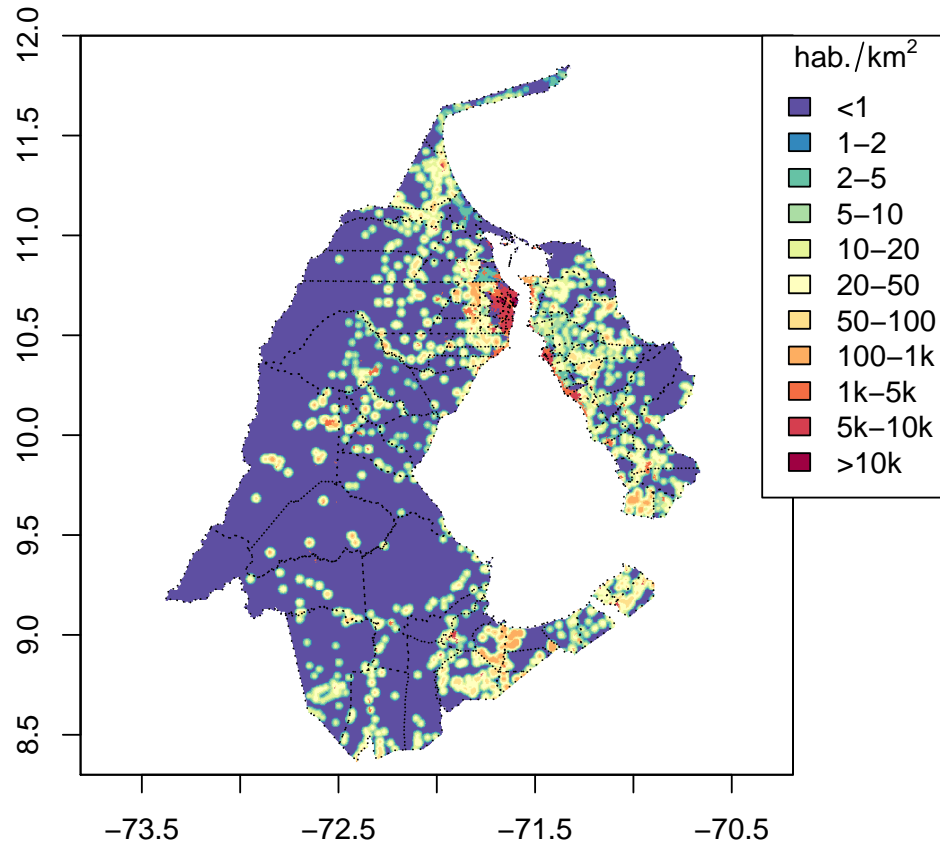


3. Densidad de centros poblados

La densidad de los centros poblados puede darnos una idea general sobre la distribución espacial de la población (A. Baddeley, 2010). Existen diferentes métodos para estimar la intensidad del patrón de puntos, en la figura 2 se observa el resultado obtenido con el método de Diggle (1985) basado en promedios locales ponderados. La intensidad es una medida relativa de la concentración de puntos por unidad de área. Sin embargo este estimado se basa en la ubicación de centros poblados sin considerar su tamaño poblacional.

Al combinar este mapa de intensidad con el estimado de densidad poblacional por parroquia, obtenido anteriormente (figura 3), se puede obtener un estimado corregido más detallado (figura 4). Este estimado permite discernir mejor la diferencia en densidad poblacional dentro de cada parroquia, pero asigna valores bajos a grandes extensiones territoriales.

Figura 5: Estimado de densidad poblacional que toma en cuenta la ubicación de áreas urbanas, la densidad de centros poblados y los tamaños poblacionales de los censos



4. Población urbana y rural

Existen grandes desigualdades en el poblamiento regional, producto de factores socioeconómicos que provocan una alta concentración poblacional en áreas urbanas, en contraste con las extensas áreas rurales de baja densidad poblacional (Fuenmayor y Strauss, 2011).

La información de los censos detalla la población rural y urbana de cada parroquia, mientras que las representaciones espaciales del uso de la tierra permiten diferenciar la extensión de territorios urbanos dentro de cada municipio (figura 2).

Al combinar la información de las áreas urbanas y la densidad de centros poblados (rurales) con los tamaños poblacionales diferenciados se aprecia mejor el contraste en la densidad de población dentro de una misma parroquia y entre parroquias (figura 5). Sin embargo persiste aún el problema de los espacios amplios con bajos estimados de densidad poblacional.

5. Estimados combinados de densidad poblacional

Los estimados más sencillos, presentados previamente, suponen que la población de una parroquia se distribuye homogéneamente en toda el área de la misma. Los estimados basados en densidad de centros poblados suponen que la población se concentra en estos y estima valores de densidad poblacional cercanos a cero en regiones extensas. Un estimado más realista debe considerar que la población humana se concentra en los centros poblados pero utiliza las regiones circundantes para diversas actividades económicas, culturales y sociales, por lo que la densidad poblacional debe disminuir gradualmente a medida que aumenta la distancia desde las concentraciones urbanas y de los centros poblados establecidos (Balk, Deichmann y col., 2006).

Los métodos de predicción espacial permiten combinar datos sobre ubicación de los centros poblados y número de habitantes para estimar superficies de densidad de población intermedias que reflejen la heterogeneidad local. Particularmente el método conocido como “*kriging* simple” es útil para realizar la predicción espacial (Pebesma, 2004).

Este método requiere tener estimados puntuales georeferenciados de una variable para estimar la autocorrelación o dependencia espacial en esta variable. La forma de esta autocorrelación se puede representar con un semi-variograma, que mide el incremento en la variabilidad (semi-varianza) entre dos puntos en función de la distancia que los separa (Pebesma, 2004). Para el presente caso de estudio se utilizaron diferentes puntos geográficos para determinar la ubicación de centros poblados y no poblados (NIMA, 2010). A los centros poblados se les asignó valores estimados del tamaño poblacional proporcionales a la población de la parroquia dividida por el número de centros poblados dentro de la parroquia, considerando la diferencia entre centros urbanos y rurales. A los centros no poblados (marcas geográficas de ríos y accidentes geográficos como cerros, montañas y picos) se les asignó valores de cero población. El semi-variograma indica una dependencia espacial marcada con un rango de influencia de unos 50 km, y la predicción espacial resultante muestra extensas áreas con aglomeración de altas densidades poblacionales que se extienden no sólo en las regiones costeras, sino también en algunas zonas del piedemonte de la Sierra de Perijá y el sur del lago (figura 6).

6. Comparación de resultados

Finalmente se comparan los cuatro métodos empleados observando la frecuencia relativa de los valores de densidad estimada en cada uno de los mapas generados (figura 7). El primer método, basado en la población censada por parroquia tiene una distribución de valores discontinua e irregular, concentrada en valores intermedios, especialmente entre 5 y 20 hab/km², pero sin valores extremos (menos de 2 o más de 10000 hab/km²). Este método se corresponde con el método aplicado en los productos ofrecidos por el proyecto *Gridded Population of the World* en su primera versión (GPW v1; Tobler y col., 1997)

El segundo método, ajustado por la densidad de centros poblados tiene una distribución homogénea y continua de valores, pero con una excesiva concentración de áreas con densidades menores a 1 hab/km², y ligero predominio de valores intermedios entre 20 y 100 hab/km². Este método considera la redistribución de los valores obtenidos con el método anterior según una variable indicadora de heterogeneidad espacial (en este caso la densidad de centros poblados) comparable con otros métodos de ponderación espacial (por ejemplo en GPW v2 y v3; Balk, Deichmann y col., 2006)

El tercer método ajusta los estimados entre las áreas urbanas y rurales, y la distribución de valores refleja la discontinuidad entre ambos tipos de áreas, en las zonas rurales la distribución de valores es muy homogénea y mantiene una excesiva concentración de áreas con densidades menores a 1 hab/km², mientras que en las zonas urbanas se observa una concentración de valores alrededor

Figura 6: Semivariograma del tamaño poblacional por distancia entre dos localidades y estimado de densidad poblacional basado en un modelo espacial de “*kriging simple*” para el estado Zulia

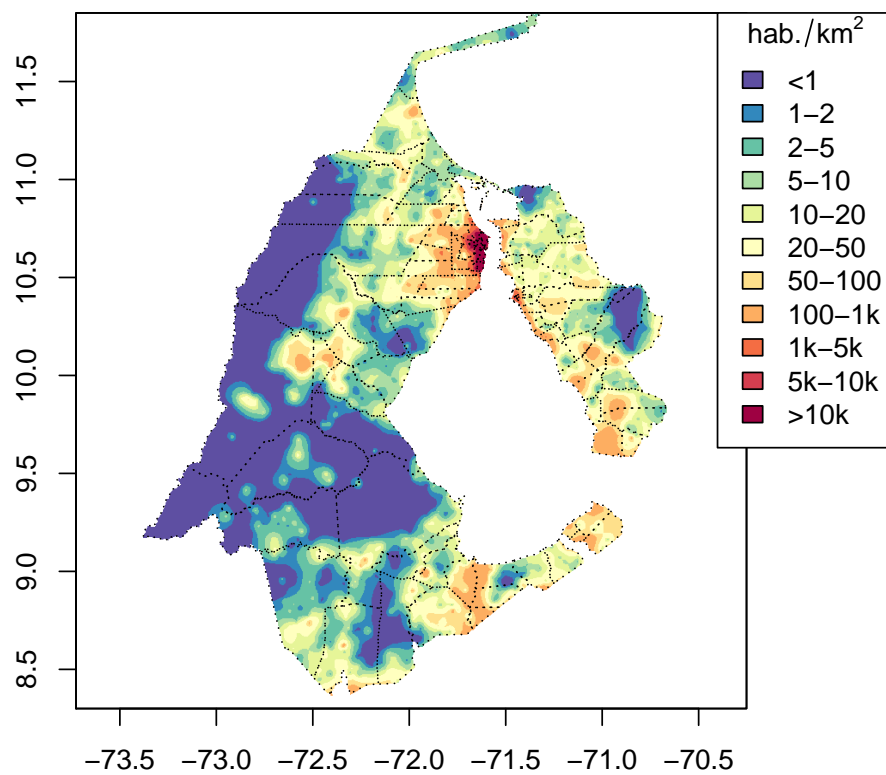
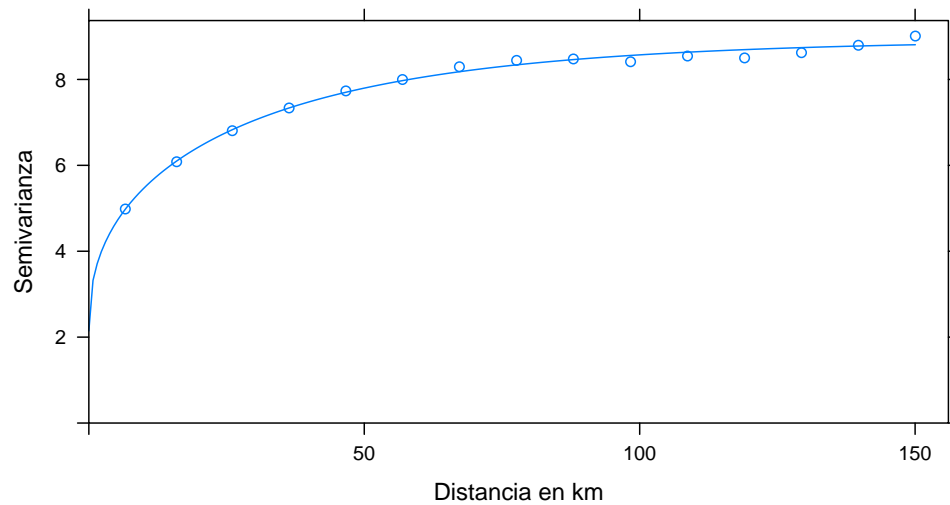
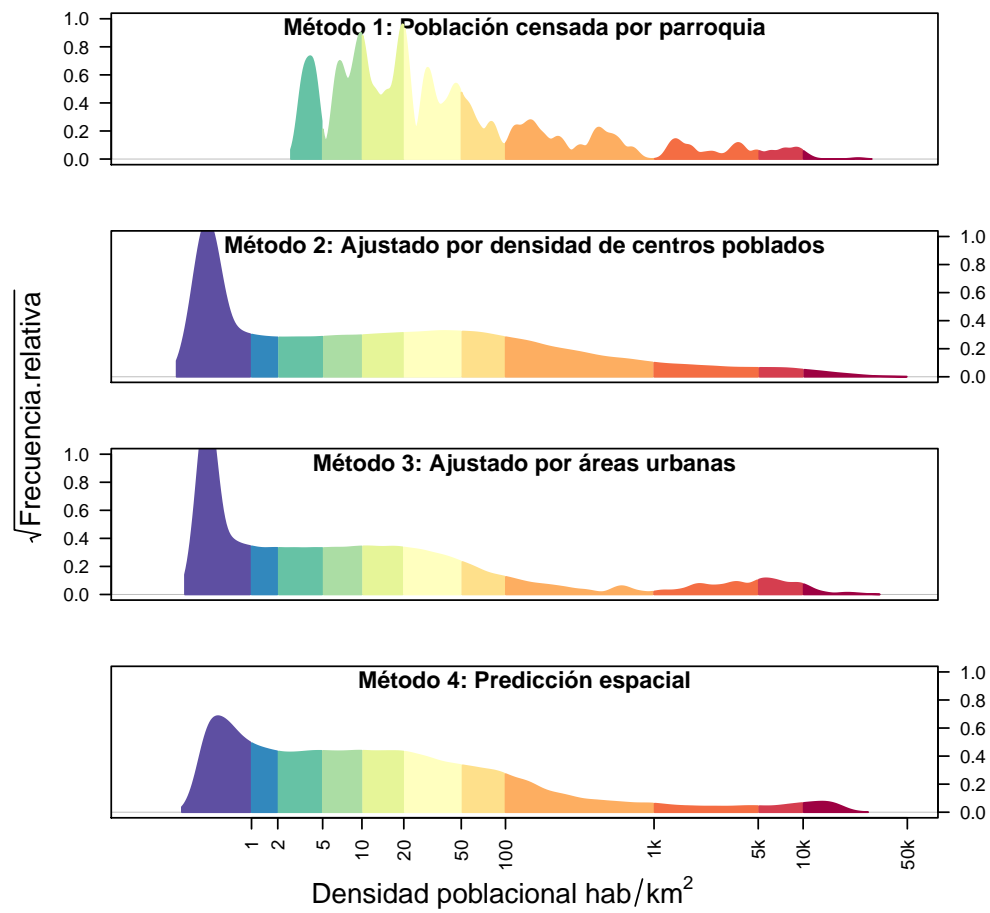


Figura 7: Comparación de la frecuencia relativa de valores de densidad poblacional en el estado Zulia según cuatro métodos de estimación



de los 5000 hab/km²). Esta estrategia es empleada por los mapas del proyecto *Global Rural Urban Mapping Project* a nivel global (GRUMP; Balk, Pozzi y col., 2005)

El cuarto método, que combina la información de los censos, centros poblados y áreas urbanas utilizando predicción espacial (*kriging*), resulta en un mapa con valores de densidad homogéneos y continuos, reduce considerablemente el exceso de densidades menores a 1 hab/km², y refleja la discontinuidad entre regiones rurales y urbanas, pero en este caso estima valores extremos mayores, con densidades de más de 10000 hab/km²). Este método se basa en un modelo estadístico para aproximar el efecto de la agregación espacial producto de procesos demográficos (Balk, Deichmann y col., 2006).

Los mapas de densidad poblacional obtenidos, y especialmente el último método (figura 6) permiten identificar cuatro grandes zonas de baja densidad poblacional en el estado Zulia. La sierra de Perijá, las ciénagas de Juan Manuel y el Río Zulia forman la unidad de mayor tamaño, que abarca varios municipios desde Rosario de Perijá hasta el municipio Colón. La ladera occidental de la Serranía de Ziruma hasta el embalse de Burro Negro constituyen la segunda unidad más importante, ubicada predominantemente entre los municipios Valmore Rodríguez y Baralt. La tercera en extensión está ubicada en el curso bajo del río Palmar, entre los municipios Rosario de Perijá y Cañada de Urdaneta. Por último, se observa la extensión de la Ciénaga de los Olivitos en el extremo norte del municipio Miranda. Estos resultados deben ser validados y revisados en campo para corregir posibles errores y omisiones.

Referencias

- Baddeley, A. (2010). *Analysing spatial point patterns in R. Workshop notes*. CSIRO online technical publication www.uwa.edu.au/resources/pf16h.html.
- Baddeley, Adrian y Rolf Turner (2005). "Spatstat: an R package for analyzing spatial point patterns". En: *Journal of Statistical Software* 12.6. ISSN 1548-7660, págs. 1-42. URL: www.jstatsoft.org.
- Balk, D. L., U. Deichmann y col. (2006). "Determining Global Population Distribution: Methods, Applications and Data". En: *Advances in parasitology* 62, págs. 119-156. DOI: doi:10.1016/S0065-308X(05)62004-0.
- Balk, D. L., F. Pozzi y col. (2005). "The distribution of people and the dimension of place: methodologies to improve the global estimation of urban extents". En: *Proceedings of the Urban Remote Sensing Conference*. Ed. por International Society for the Photogrammetry y Remote Sensing. Tempe, Arizona.
- Bivand, Roger S., Edzer J. Pebesma y Virgilio Gomez-Rubio (2008). *Applied spatial data analysis with R*. New York: Springer. URL: <http://www.asdar-book.org/>.
- Diggle, P.J. (1985). "A kernel method for smoothing point process data". En: *Applied Statistics (Journal of the Royal Statistical Society, Series C)* 34, págs. 138-147.
- Friedl, M. A. y col. (2010). "MODIS Collection 5 global land cover: Algorithm refinements and characterization of new datasets". En: *Remote Sensing of Environment* 114, págs. 168-182.
- Fuenmayor, William y Emilio Strauss (2011). *Atlas del Estado Zulia. Síntesis Socio Histórico Cultural y Geográfica*. 6.^a ed. Cooperativa Agustín Codazzi, 182 pp.
- Hijmans, Robert J. (2015). *raster: Geographic Data Analysis and Modeling*. R package version 2.5-2. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=raster>.
- INE (2013a). *División Político Territorial de la República Bolivariana de Venezuela con Fines Estadísticos*. Inf. téc. Caracas, Venezuela: Instituto Nacional de Estadística.

- INE (2013b). *XIV Censo Nacional de Población y Vivienda 2011*. Accesible a través del portal del Instituto Nacional de Estadística (INE), procesado con RedatamSP desarrollado por el Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía (CELADE), y la División de Población de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Neuwirth, Erich (2007). *RColorBrewer: ColorBrewer palettes*. R package version 1.0-2.
- NIMA (2010). *Database of foreign geographic feature names*. Elaborado por el U.S. National Imagery and Mapping Agency (NIMA), disponible en línea en <http://earth-info.nga.mil/gns/html/index.html>.
- Pebesma, Edzer J. (2004). “Multivariable geostatistics in S: the gstat package”. En: *Computers & Geosciences* 30, págs. 683-691.
- Pinheiro, Jose y col. (2015). *nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models*. R package version 3.1-122. URL: <http://CRAN.R-project.org/package=nlme>.
- R Development Core Team (2015a). *foreign: Read Data Stored by Minitab, S, SAS, SPSS, Stata, Systat, Weka, dBase, ...* R package version 0.8-66. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=foreign>.
- (2015b). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. ISBN 3-900051-07-0. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/>.
- Tobler, W. y col. (1997). “World population in a grid of spherical quadrilaterals”. En: *International Journal of Population Geography* 3.3, págs. 203-225.