

# EVALUACIÓN DE IMPACTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL EN EL CRECIMIENTO ECONÓMICO: UNA APROXIMACIÓN CON BASE EN INFORMACIÓN SATELITAL DE LUMINOSIDAD PARA BOLIVIA

Osmar Bolívar Rosales\*

Octubre, 2020

## RESUMEN

El objetivo de la investigación es evaluar el impacto de la construcción de carreteras sobre el crecimiento económico en comunidades de Bolivia. Sin embargo, la información sobre la actividad económica y sus determinantes a nivel comunal es muy limitada. Por lo tanto, para caracterizar a las comunidades, se recurre a fuentes de información no-convencionales como las imágenes satelitales. Principalmente, como proxy del crecimiento económico se utiliza la variación en los niveles de luminosidad captados por satélites; metodología validada en la literatura. Con estos datos, se aplican técnicas de la evaluación impacto que aprovechan la variabilidad temporal y espacial en una muestra de comunidades de Bolivia que se beneficiaron con carreteras asfaltadas, entre los años 2000 y 2013. Bajo este esquema, se estiman los efectos de estas carreteras en la expansión de la actividad económica, pero también, sobre otros factores como la pobreza, la producción agrícola y la conformación o expansión de manchas urbanas.

**Clasificación JEL:** O1; O47; R1; R42; H54

**Palabras clave:** Luminosidad, Infraestructura vial, Crecimiento Económico

---

\* El contenido del presente documento es de responsabilidad del autor y no compromete la opinión del Banco de Desarrollo de América Latina (CAF), así como de la Unidad de Análisis de Políticas Sociales y Económicas (UDAPE) a la que pertenece el autor. Contacto: [osmar.jsmpf@gmail.com](mailto:osmar.jsmpf@gmail.com).

## 1. INTRODUCCIÓN

El transporte carretero se constituye en un eje transversal de relevancia para el crecimiento y desarrollo económico de los países. Por lo tanto, el Estado tiene como reto la construcción, el mejoramiento y mantenimiento de la infraestructura de transporte, con énfasis en aquellos proyectos de carácter estratégico para la integración (Banister y Berechman, 2000; Banister, 2012).

En el caso de Bolivia, se debe priorizar el desarrollo de la Red Vial Fundamental (RVF)<sup>1</sup>, con el objetivo de mejorar la integración de las carreteras del país para optimizar las potencialidades productivas de cada región y el crecimiento económico a nivel local y agregado.

En el análisis comparativo, Bolivia es uno de los países de Latinoamérica con mayor rezago en stock y calidad de infraestructura de transporte. Según el Informe Anual de Competitividad para el año 2001-2002, elaborado por el Banco Mundial, Bolivia ocupaba el último puesto entre todos los países considerados en el informe sobre la “*Calidad General de la Infraestructura*”. Asimismo, a inicios de los años 2000, la proporción de carreteras pavimentadas respecto a la red total de Bolivia era una de las más bajas en la región (Vial, Schwab, Cornelius y Cornelius, 2002).

No obstante, como resultado de un mayor flujo de ingresos fiscales asociado al dinamismo de la economía boliviana, impulsada por diferentes factores internos y externos, desde el segundo quinquenio de los años 2000, en Bolivia se asignaron importantes recursos financieros para la construcción de caminos, con el objetivo de generar las condiciones necesarias para el desarrollo del país. Por ejemplo, en la gestión 2018, se registró que el 64% de las carreteras de la RVF estaban asfaltadas o en construcción; en cambio, el año 2005 se contaba con solo el 27% de la RVF asfaltada. En términos monetarios, entre los años

<sup>1</sup> En Bolivia, el sistema nacional de carreteras está definido legalmente mediante el Decreto Supremo N° 25134 del 21 de agosto de 1998. En este marco, se define que la Red Vial Fundamental es responsabilidad del Nivel Central del Estado y las carreteras que pertenecen a esta red tienen las siguientes características:

- i. Vinculan las capitales políticas de los departamentos de Bolivia.
- ii. Permiten la vinculación de carácter internacional conectándose con las carreteras principales existentes de los países limítrofes.
- iii. Conectan en los puntos adecuados dos o más carreteras de la Red Fundamental.
- iv. Cumplen con las condiciones de protección ambiental.

2000 y 2018, se invirtieron más de 8 mil millones de dólares en proyectos carreteros de la RVF<sup>2</sup>.

En el marco de la planificación de mediano plazo, se tiene previsto dar continuidad a la priorización de acciones y recursos para la construcción a pavimento de tramos carreteros que permitan en un futuro la consolidación vial de la totalidad de la RVF.

Por otra parte, el Banco de Desarrollo de América Latina (CAF) juega un rol preponderante en el avance de la integración vial en Bolivia. Durante el periodo 2000-2018, este organismo financió –total o parcialmente– la construcción y/o rehabilitación de más de 4 mil kilómetros de carreteras de la RVF. Además, CAF mantienen en su agenda el financiamiento futuro de otros tramos estratégicos en la RVF<sup>3</sup>.

Como se describe en los párrafos anteriores, se realizaron esfuerzos significativos para potenciar la integración vial del país. Sin embargo, en la literatura muy pocos trabajos estudian los impactos que generó dicha inversión en esa infraestructura para el caso boliviano, sobre todo con relación al efecto en el crecimiento económico a nivel local.

De esta manera, el objetivo de la presente investigación es estimar el impacto de la inversión en infraestructura vial sobre el crecimiento económico, para el caso de Bolivia. Concretamente, en base a técnicas de evaluación de impacto se estima la expansión de la actividad económica en comunidades que fueron beneficiadas con carreteras asfaltadas.

Así, el estudio aporta evidencia empírica a la literatura sobre evaluación de impacto de la infraestructura de transporte en Bolivia. Aparte de ello, la investigación contempla un desarrollo metodológico innovador para la generación de información, toda vez que, determinadas variables de la base de datos son construidas a partir del procesamiento de información de imágenes satelitales.

Específicamente, al carecer de datos oficiales sobre la actividad económica para niveles geográficos inferiores al nacional y departamental, se opta por emplear como proxy de dicha variable a los niveles de luminosidad capturados en imágenes satelitales. En los últimos años, esta aproximación metodológica se consolidó y su validez fue demostrada en la literatura. Así también, se procesa

---

<sup>2</sup> Datos según el Ministerio de Obras Públicas, Servicios y Vivienda.

<sup>3</sup> Estos datos fueron proporcionados por CAF.

información de imágenes satelitales y Sistemas de Información Geográfica (SIG) para caracterizar a las comunidades estudiadas.

## 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

En la literatura, existen diferentes estudios sobre los efectos de la infraestructura de transporte (Redding, 2010; Breinlich, Ottaviano y Temple, 2014; Redding y Turner, 2015). Entre los efectos más relevantes, se observa evidencia empírica que sustenta la contribución en el crecimiento económico y la reducción de la pobreza resultante del mejoramiento de los caminos (Lokshin y Yemtsov, 2005; Walle, 1999).

Asimismo, el acceso a caminos reduce los costos de transporte y de consumo, lo que incentiva la producción de bienes y servicios. También, el desarrollo de caminos repercute en una expansión de la producción agrícola y no agrícola debido a la mayor disponibilidad de insumos de mejor calidad, a un menor costo (Khandker, Bakht y Koolwal, 2009; Khandker y Koolwal, 2010; Binswanger, Khandker y Rosenzweig, 1993), al igual que el crecimiento de las empresas rurales (Lokshin y Yemtsov, 2005). Del mismo modo, la mejora de caminos promueve el incremento de la productividad y demanda de trabajo (Leinbach y Cromley, 1983; Fernald, 1999), así como, la mejora en la educación y salud (Bryceson y Howe, 1993; Levy, 1996; Egan, Petticrew, Ogilvie y Hamilton, 2003; Bell, 2012; Ghebreyesus, 2017).

Por otra parte, en la presente investigación se asume una aproximación innovadora para analizar el efecto en el crecimiento económico, que implica el uso de información sobre los niveles de luminosidad nocturna captados por satélites. En la literatura, la principal referencia en este tema es el estudio de Henderson, Storeygard y Weil (2012)<sup>4</sup>. Estos autores demuestran que la luminosidad es un proxy válido de la actividad económica, tanto a nivel temporal como a escala geográfica<sup>5</sup>. Para esto, construyen una base de datos de panel con información para varios países sobre el Producto Interno Bruto (PIB) y la luminosidad nocturna captada por satélites. Entre sus hallazgos, cabe señalar

<sup>4</sup> Existen otros trabajos en los cuales también se presenta evidencia de que los niveles de luminosidad están correlacionados con la actividad económica, por ejemplo, Elvidge, Baugh, Anderson, Sutton y Ghosh (1997), Ghosh et al. (2010) y, Chen y Nordhaus (2011).

<sup>5</sup> Existen otros trabajos que, aplicando distintas metodologías, estudian la relación entre los niveles de luminosidad y el desarrollo humano, la desigualdad, la salud, población, consumo de energía, entre otros (Amaral, Câmara, Monteiro, Quintanilha y Elvidge, 2005; Elvidge et al., 2012; Xu, Yang, Li, Jin y Li, 2015; Xu y Gao, 2017; Proville, Zavala-Araiza y Wagner, 2017; Ivan, Holobáca, Benedek y Török, 2020).

que, para países de ingreso medio y bajo, encuentran una elasticidad entre PIB real-Luminosidad de 0,30%; es decir que, en promedio, una expansión del 1% en los niveles de luminosidad estaría asociado a un crecimiento del 0,30% del PIB.

La aplicación de información satelital sobre luminosidad en el análisis específico de evaluación de impacto de la infraestructura es relativamente nueva en la literatura. Un ejemplo es Khanna (2016), que utiliza la luminosidad nocturna registrada en imágenes satelitales para evaluar el impacto en la actividad económica de las regiones conectadas mediante redes de transporte a las cuatro principales ciudades de India. Entre sus resultados, se observa que las regiones más cercanas a estas cuatro ciudades habrían experimentado una mayor expansión de la actividad económica, sobre todo hasta inicios de la década de los 90, en comparación a las regiones más alejadas.

Alder (2016) analiza los proyectos carreteros más recientes en India que mejoraron la conexión entre los principales cuatro centros económicos. De esta manera, estima el efecto de esta infraestructura sobre los ingresos de los distritos beneficiados, utilizando información de imágenes de luminosidad. Sus resultados sugieren una ganancia agregada en la actividad económica como resultado de la construcción de estas carreteras; sin embargo, encuentra efectos diferenciados a nivel regional.

De manera análoga, ante la carencia de información de datos de panel sobre la actividad económica para las ciudades de África subsahariana, Storeygard (2016) investiga el rol de los costos de transporte inter-ciudad en los ingresos a nivel local, a través de los cambios en los niveles de luminosidad de imágenes satelitales. Entre sus resultados se observa que los ingresos de las ciudades cercanas a los principales puertos serían 6% mayores, en comparación a ciudades más alejadas.

Gonzalez-Navarro y Turner (2018), para una muestra de las 632 ciudades más grandes del mundo, muestran que hay una distribución más dispersa de la luminosidad en ciudades que implementaron sistemas de transporte como el metro, lo que sugiere una descentralización de la actividad económica.

El primer estudio en Latinoamérica en el que se evalúan los efectos sobre el crecimiento económico de la inversión en infraestructura, aplicando la luminosidad nocturna como proxy de la actividad económica, es el trabajo de Corral y Schling (2017). Concretamente, con base en el Método de Control

Sintético<sup>6</sup>, encuentran evidencia de que en el mediano plazo el PIB per cápita sería mayor en áreas costeras de Barbados que se beneficiaron con la construcción de infraestructura de estabilización, en comparación a las no beneficiadas.

Finalmente, uno de los trabajos de mayor semejanza a lo desarrollado en el presente estudio es el elaborado por Mitnik, Yañez-Pagans y Sanchez (2018), para el caso de Haití. Los autores cuantifican los impactos de la inversión en infraestructura de transporte sobre el crecimiento económico, utilizando información satelital de luminosidad como proxy de esta última medida. Su estrategia de identificación explota la variabilidad temporal en la rehabilitación de proyectos carreteros de la red primaria de Haití. En diferentes especificaciones, sus resultados indican consistentemente que recibir un proyecto de rehabilitación de una carretera incrementaría los valores de luminosidad en un rango de 6% a 26% a nivel comunal. Asimismo, estiman la elasticidad PIB-Luminosidad para Haití, lo que les permite vincular el efecto tratamiento obtenido para la luminosidad con el cambio porcentual en el PIB. En este marco, encuentran que, en promedio, para las comunidades beneficiadas con las inversiones en infraestructura de transporte se tendría una expansión del PIB entre 0,5% y 2,1%, en comparación a las comunidades no beneficiadas.

### **3. DATOS<sup>7</sup>**

Al igual que en otros países de la región, en el caso de Bolivia existen limitantes en la generación y acceso a información. Los problemas típicos son la carencia de indicadores a nivel subnacional (e.g. municipal o comunal) y, series de tiempo cortas o de frecuencia baja.

En el caso específico de indicadores asociados a la actividad económica, en Bolivia, se cuenta con la métrica del Producto Interno Bruto (PIB) a nivel nacional y departamental, con una frecuencia anual y trimestral; sin embargo,

---

<sup>6</sup> El Método de Control Sintético es una técnica para estimar los efectos de tratamiento a través de datos para muestras pequeñas de estudios de casos comparativos (Abadie y Gardeazabal, 2003; Abadie, Diamond y Hainmueller, 2010).

<sup>7</sup> Los datos resultantes del procesamiento de imágenes satelitales fueron trabajados en coordinación con la Agencia Boliviana Espacial (ABE).

este indicador no puede ser desagregado en un nivel geográfico menor, como es el caso de municipios o comunidades<sup>8</sup>.

Considerando que el objetivo de esta investigación es analizar el efecto en el crecimiento económico de la inversión en infraestructura vial, es imperante contar con datos sobre la evolución de la actividad económica, con la mayor desagregación posible tanto en la dimensión temporal como espacial. Además, es necesario tener información sobre la construcción de proyectos carreteros y características de los lugares beneficiados con esta infraestructura.

Para lidiar con los aspectos señalados anteriormente, se asume un enfoque no convencional que subyace en las técnicas de teledetección para la construcción de diversas variables que caracterizan a las unidades de estudio. La teledetección espacial permite obtener información sobre objetos o fenómenos del sistema terrestre a partir de imágenes adquiridas a distancia, mediante mediciones de energía electromagnética reflejada o emitida por esos objetos o fenómenos de interés, desde plataformas espaciales (Campbell y Wynne, 2011). Las imágenes satelitales son imágenes digitales<sup>9</sup>, que están compuestas por una matriz de puntos elementales –pixeles–, generados por los sensores de teledetección que miden la radiación electromagnética reflejada por unidad de superficie para unas longitudes de onda determinadas –bandas del espectro electromagnético<sup>10</sup>.

Combinando la información procesada de imágenes satelitales con datos de fuentes de información convencionales como registros administrativos, se construye una base de datos de panel a nivel de comunidad, con frecuencia anual en el periodo 2000-2013<sup>11</sup>. En los siguientes acápite se explica con mayor detalle la muestra, el tratamiento y variables que integran el estudio.

---

<sup>8</sup> Otro indicador sobre el nivel de actividad económica en Bolivia es el “Índice Global de Actividad Económica (IGAE)”. Este indicador muestra la evolución de la actividad económica del país, con periodicidad mensual, y se expresa mediante un índice de volumen físico con base 1990=100. No obstante, también es limitado porque no puede ser desagregado a nivel subnacional de municipios o comunidades.

<sup>9</sup> Las imágenes digitales son generadas a partir de un captador electrónico y este carácter digital nos permite su procesamiento informático, lo que abre un gran abanico de posibilidades de análisis y tratamiento. En cambio, una fotografía no es susceptible de tratamiento informático, siendo necesario un paso previo de transformación en imagen digital.

<sup>10</sup> El Espectro Electromagnético está compuesto por siete diferentes regiones. Éstas son (de menor a mayor longitud de onda y/o de mayor a menor energía): los rayos gamma, los rayos-X, el ultravioleta, la luz visible, el infrarrojo, las microondas y las ondas de radio (Lyne y Graham-Smith, 2012).

<sup>11</sup> Se restringe el análisis hasta el año 2013 porque las imágenes de luminosidad con las que se trabaja en este estudio están disponibles solo hasta ese año.

### **3.1. Muestra de estudio**

Como se mencionó en párrafos anteriores, algunos de los indicadores de la base de datos se obtienen del procesamiento de información de imágenes satelitales y, para este propósito, cada píxel en el área de estudio debe contar con un valor. Por lo cual, el primer paso es dividir el área de estudio en una grilla de píxeles de 0,86Km<sup>2</sup>. Bajo esta configuración, esta área está conformada por 30.993 píxeles<sup>12</sup>.

Al mismo tiempo, dado que el procesamiento de información contenida en imágenes satelitales implica una carga computacional alta, que demanda no sólo equipos especializados, sino sobre todo tiempo, se optó por restringir el análisis a una región específica de Bolivia.

En consecuencia, para establecer el área de estudio se buscó una región donde exista un grupo de tramos carreteros en los que:

- i. La construcción a asfalto se haya realizado en diferentes años y que algunos tramos permanezcan sin esa mejora hasta el último año del periodo de análisis. Esto asegura la variabilidad temporal en el tratamiento, que es fundamental para la aplicación de técnicas de evaluación de impacto.
- ii. Los tramos deben estar interconectados.
- iii. La mayoría de los tramos carreteros deben contar con financiamiento total o parcial de CAF<sup>13</sup>.

Bajo estas condiciones, se identificó en la región oeste-sur de Bolivia un grupo de tramos que cumple con estas características. Concretamente, son los siguientes tramos de la RVF que atraviesan los departamentos de Oruro, Potosí, Chuquisaca y Tarija:

- i. Potosí – Tarija.
- ii. Potosí – Uyuni.
- iii. Uyuni – Tupiza.
- iv. Uyuni – Hito LX.
- v. Uyuni – Challapata.

<sup>12</sup> La dimensión de 0,86Km<sup>2</sup> para los píxeles coincide con la resolución espacial de las imágenes de luminosidad, cuyo detalle es profundizado en el acápite 3.4.

<sup>13</sup> Este criterio se incluye porque la investigación está en el marco de una Cooperación Técnica entre CAF y UDAPE, cuyo objetivo es evaluar el impacto de la inversión en infraestructura vial, con énfasis en las carreteras financiadas por CAF.

- vi.** Khuchu Ingenio – Tupiza.
- vii.** Tupiza – Villazón.
- viii.** Hornillos – El Puente.
- ix.** Villazón – Padcaya.

En este marco, se asume como área de estudio *–buffer–* a las zonas en un radio de 10Km de estas carreteras<sup>14</sup>. En el Anexo 1 se incluye un mapa que ilustra el área de estudio y los tramos de la RVF que son utilizados para definir el *buffer*.

Una vez definida el área de estudio, en base a información geo-referenciada de las comunidades de Bolivia a nivel de punto, se identificaron las comunidades ubicadas en esta superficie<sup>15</sup>. Luego, se restringió la muestra de comunidades a sólo aquellas que cuentan con información de los censos nacionales de población y vivienda tanto de 2001 como de 2012, toda vez que eso garantiza la existencia de las comunidades seleccionadas durante el periodo de análisis, y también, facilita el uso de información de los censos para alcanzar determinados objetivos específicos en la presente investigación. De esta manera, se identificaron 260 comunidades que conforman la muestra de estudio; en este entendido, la unidad de observación es la “Comunidad”<sup>16</sup>.

Tomando en cuenta que los tramos de la RVF, listados anteriormente, no necesariamente son las rutas de acceso directo a la mayoría de las 260 comunidades de la muestra, se delimitaron las vías de acceso a cada una estas comunidades. Para los propósitos de la presente investigación, estas vías de acceso son denominadas como “Carreteras de Acceso a las Comunidades” y son tramos carreteros que cumplen con las siguientes características:

- i.** Permiten conectar dos o más comunidades.
- ii.** Pertenece a la RVF o derivan de dicha red.

Para la demarcación de las Carreteras de Acceso a las Comunidades se aplicaron técnicas de teledetección sobre imágenes satelitales de alta resolución y

---

<sup>14</sup> Se optó por definir como área de influencia a un radio de 10Km alrededor de las carreteras porque es una distancia convencional en trabajos sobre los efectos de las carreteras y además permite realizar un análisis de efectos heterogéneos según la distancia a la carretera (Mitnik et al., 2018).

<sup>15</sup> Se utilizó una capa vectorial a nivel de punto que contiene las coordenadas geográficas de las comunidades en Bolivia, que fue elaborada por el Instituto Nacional de Estadística y consensuado con la sección de cartografía del Instituto Geográfico Militar – IGM Bolivia. Este archivo puede ser descargado de la plataforma GeoBolivia.

<sup>16</sup> En el Anexo 2 se presenta el listado de las 260 comunidades de la muestra de estudio.

Sistemas de Información Geográfica (SIG) generados por la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC)<sup>17</sup>.

En el Gráfico 1 se observa el área de estudio, las comunidades de la muestra geo-referenciadas a nivel de punto y las Carreteras de Acceso a las Comunidades.

### **3.2. Superficie de comunidades**

Se menciona en el acápite 3.1. que se cuenta con la geo-referenciación de las comunidades de Bolivia a nivel de punto; sin embargo, para los propósitos de la investigación, esta información es útil únicamente para identificar a las comunidades dentro del área de estudio. Además, en Bolivia, no se cuenta con una delimitación actual sobre las áreas asignadas a las comunidades, que tenga como fuente una institución oficial<sup>18</sup>.

En este contexto, identificar la superficie de las comunidades es un aspecto fundamental para determinar los píxeles, en las imágenes satelitales utilizadas, que están dentro o se sobreponen a los límites<sup>19</sup> de cada comunidad, para así, construir variables de caracterización de estas unidades geográficas.

Para demarcar las superficies de las comunidades de la muestra, se utilizaron imágenes satelitales Sentinel 2 con 10 metros de resolución<sup>20</sup>, obtenidas para los años 2015 y 2016. Si bien el periodo de análisis termina el 2013, se optó por realizar la delimitación de la superficie de comunidades con imágenes para los años señalados porque son de acceso público, tienen una resolución espacial

<sup>17</sup> Las imágenes satelitales utilizadas corresponden al satélite Sentinel 2, de la misión de observación terrestre desarrollada por la Agencia Espacial Europea dentro del programa Copérnico para la observación del planeta Tierra. La resolución espacial de estas imágenes es de 10m, 20m y 60m, con una imagen multiespectral de datos en 13 bandas en el espectro visible, en el infrarrojo cercano e infrarrojos de onda corta además del espectro electromagnético.

<sup>18</sup> En Geo-Bolivia se pueden encontrar capas vectoriales de polígonos con la superficie asignada a las Comunidades de Bolivia en 2001. Sin embargo, no se puede utilizar dicha información porque, por una parte, no es oficial, y por otra, dejó de ser representativa dado que en 2001 existían alrededor de 14 mil comunidades, en cambio, según el Censo de Población y Vivienda de 2012, se habrían registrado ese año casi 20 mil comunidades.

<sup>19</sup> En la investigación, los límites comunales no hacen referencia a divisiones políticas o administrativas, toda vez que, en el caso boliviano no existe una división de límites oficiales para las comunidades. En este entendido, los límites se comprenden como los bordes del área en la cual existe concentración de superficie construida y asentamientos de las comunidades, a partir de su geo-referenciación a nivel de puntos.

<sup>20</sup> Sentinel 2 corresponde a una misión de observación terrestre constituida por el instrumento MSI (MultiSpectral Instrument) que toma datos de alta resolución espacial con el fin de monitorear la superficie terrestre. Sentinel 2 consta de 13 bandas con distintas resoluciones espaciales (10m, 20m o 60m). Para el presente estudio, se utilizaron 4 bandas espectrales de resolución de 10 m por pixel, tres bandas visibles (azul, verde y rojo) y una banda infrarroja (con valores entre 665– 842 nm).

alta que facilita la detección de coberturas terrestres y están disponibles desde 2015<sup>21</sup>.

Concretamente, para delimitar la superficie de las comunidades se identificó el recubrimiento de la superficie del suelo con infraestructura de viviendas o casas, centros de recreación, como canchas, edificaciones de escuelas o iglesias, etc. En la determinación de esta infraestructura se pudo constatar que, en algunos casos, ésta se encontraba dispersa, por lo que se identificaron edificaciones aglomeradas en una unidad mínima de 600 m<sup>2</sup>; infraestructura menor a esta superficie no fue considerada o dependiendo de su ubicación se las agrupo a las comunidades más próximas.

Cabe señalar que en este estudio el objetivo de la demarcación de superficies de comunidades no es establecer límites territoriales. En este caso, la definición de superficie de comunidades se limita a establecer las áreas dentro las comunidades donde se aglomera la infraestructura, toda vez que, en esos lugares se concentra la población y las actividades económicas.

En el Gráfico 2 se muestra un mapa con las superficies delimitadas para las comunidades dentro del área de estudio y las Carreteras de Acceso a las Comunidades.

### **3.3. Tratamiento**

Previo a la descripción de los datos utilizados para la generación de las variables de resultado y covariantes, es importante definir el tratamiento. Para los propósitos de esta investigación se define como tratamiento a:

*“Beneficiarse con una carretera asfaltada de acceso a la comunidad, durante alguno de los años del periodo de análisis”.*

Para esto, se identificaron las fechas de conclusión a asfalto de las carreteras de la muestra en base a técnicas de teledetección aplicadas a imágenes Sentinel 2 e información proporcionada por la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC).

En la Tabla 1 se detalla la estructura del grupo de tratamiento y control, en el transcurso del periodo de estudio. Es decir, de las 260 comunidades de la

---

<sup>21</sup> Existen imágenes de acceso público provenientes de otros satélites para años anteriores a 2015, pero su resolución espacial es menor en comparación a las imágenes Sentinel 2. Por ejemplo, las imágenes del satélite Landsat 7 proporcionan información para el periodo 1999-Actualidad, pero su resolución espacial es de 30 metros.

muestra, se tiene el detalle sobre el número de comunidades que se beneficiaron con carreteras de acceso asfaltadas –Unidades de Tratamiento– y cuantas no se beneficiaron –Unidades de Control–, para cada año entre 2000 y 2013.

En los Gráficos 3 al 10 se presentan mapas que proyectan la evolución a asfalto de las Carreteras de Acceso a las Comunidades de la muestra, en el periodo de estudio<sup>22</sup>.

### **3.4. Variable de resultado: Luminosidad en imágenes satelitales**

Considerando que el objetivo del estudio es estimar el impacto de la infraestructura vial en el crecimiento económico, se utiliza como proxy de los cambios en la actividad económica a la variación en los niveles de luminosidad registrados en imágenes satelitales (Elvidge et al., 1997; Sutton y Costanza, 2002; Doll, Muller y Morley, 2006; Ghosh et al., 2010; Henderson et al., 2011, 2012)<sup>23</sup>. De esta manera, para el periodo de análisis, se descargaron imágenes de luminosidad nocturna proporcionadas como productos del satélite NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), del Sistema Operativo de Escaneo de Líneas (OLS) del Programa Meteorológico de Defensa (DMSP) de Estados Unidos, que detecta fuentes de emisión visible por la noche.

La información disponible de luminosidad tiene frecuencia anual desde 1992 hasta 2013 y cuenta con una resolución espacial –píxel– de 0,86Km<sup>2</sup>. La luminosidad es representada en cada píxel como un índice en el rango de 0 a 63, donde 0 significa ausencia de luminosidad y 63 la mayor intensidad. Cada uno de estos valores anuales es construido en base al promedio de los niveles de luminosidad registrados durante el año, en imágenes satelitales libres de nubosidad.

No obstante, la literatura de teledetección sugiere que los datos en bruto de luminosidad sufren de “*Efecto Reflejo*”. Es decir, que la luz emitida por algunas áreas, como ciudades, usualmente excede sus respectivos límites espaciales, lo que sobreestima la verdadera magnitud de los niveles de luminosidad, sobre todo en píxeles que rodean el epicentro de las emisiones de luz (Lawrence, 1997; Abrahams, Oram y Lozano-Garcia, 2016, 2018).

<sup>22</sup> En los Gráficos 3 al 10 no se incluyen mapas de todos años del periodo de estudio, sólo se incluyen aquellos en los que se incorporan nuevas carreteras asfaltadas de la muestra.

<sup>23</sup> En la sección 5.1. se explica con mayor detalle la relación entre la luminosidad y el PIB para el caso de Bolivia.

Asimismo, otro problema en el uso de los datos en bruto de luminosidad es la “*Sobresaturación*”, dado que sus valores están acotados a un nivel máximo de 63. Esta limitante restringe el análisis temporal de los datos de píxeles que al inicio del periodo de estudio registran el valor más alto del índice de luminosidad.

Para lidiar con los problemas señalados anteriormente, la convencionalidad en la literatura es aplicar técnicas de inter-calibración de los niveles de luminosidad en bruto. Para esto, se sigue a Wu, He, Peng, Li y Zhong (2013) y se inter-calibran los valores de todos los píxeles que conforman el área de estudio, de las imágenes satelitales descargadas para el periodo de análisis. En el Gráfico 11, se visualiza un diagrama de exemplificación sobre los resultados de la inter-calibración en los niveles de luminosidad.

Por otra parte, las imágenes satelitales de luminosidad proporcionan valores a nivel de píxel; no obstante, dado que la unidad de observación es la comunidad, se requiere agregar dicha información a nivel comunal. Por lo tanto, para asignar los datos de luminosidad a las comunidades de la muestra, siguiendo a Mitnik et al. (2018) se suman los valores de cada píxel  $p$  que se sobreponen o está dentro de la delimitación de las comunidades ( $P$  es el total de píxeles sobrepuestos y dentro los límites) para cada comunidad  $i$ .

$$\text{Luminosidad}_i = \sum_{p=1}^P \text{índice de luminosidad}_p$$

En términos de interpretación, se busca estimar el incremento porcentual de los niveles de luminosidad cuando las comunidades se benefician con carreteras de acceso asfaltadas. Para esto, se podría aplicar logaritmos a los valores de luminosidad; sin embargo, algunos píxeles de las imágenes de luminosidad contienen valores de cero, lo que imposibilita la aplicación de dicha transformación. Por ende, para mantener una especificación equivalente a la de logaritmos, se construye la variable de resultado como la Función Inversa Hiperbólica del Seno,  $Y_i = \log \left( y_i + \sqrt{y_i^2 + 1} \right)$ , donde  $Y_i$  es el valor de luminosidad de la comunidad  $i^{24}$ .

<sup>24</sup> Similar transformación se aplica en Pence (2006) y Mitnik et al. (2018).

### 3.5. Covariantes

En el marco de la metodología aplicada en esta investigación, para aislar apropiadamente el efecto causal se debe controlar por covariantes no constantes en el tiempo y por variables que potencialmente explican los cambios en la luminosidad<sup>25</sup>.

La mayoría de las comunidades estudiadas son rurales y su principal medio de vida es la agricultura. Consecuentemente, las condiciones climatológicas y el uso de suelo son determinantes del desempeño de la actividad económica en estas comunidades, luego, esas variaciones se traducen en cambios en los niveles de luminosidad. Así, es importante incluir covariantes que capturen estos factores.

El primer covariante que se construye es el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés), que es una medida sobre la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación. La utilidad de este índice es que captura los cambios espaciales y temporales en la vegetación, aspecto que puede ser asociado al uso de la tierra en las comunidades de la muestra. Para el cálculo del NDVI<sup>26</sup>, se utilizaron imágenes del programa Landsat; específicamente, de los sensores: OLI de Landsat 8, TM para el Landsat 5 y ETM para el Landsat 7<sup>27</sup>.

Asimismo, se generan las variables de precipitación y ocurrencia de fenómenos climatológicos adversos. Con relación a la primera, la fuente es el Grupo de Detección de Amenazas Climáticas Mediante el Monitoreo de Precipitación

<sup>25</sup> En el acápite 4 se explica cómo se controlan otras diferencias entre el grupo tratamiento y control.

<sup>26</sup> Para el cálculo del NDVI se utiliza información que se encuentra en las bandas roja e infrarroja del espectro electromagnético. Específicamente, se calcula en base a la siguiente formula:

$$NDVI = \frac{(NIR - VIS)}{(NIR + VIS)}$$

Donde *NIR* es la banda del infrarrojo cercano y *VIS* es la banda visible roja.

<sup>27</sup> Los Landsat son una serie de satélites construidos y puestos en órbita por EE. UU. para la observación en alta resolución de la superficie terrestre. El satélite Landsat 8, que está en órbita desde el 2013, transporta dos instrumentos OLI (Operational Land Imager) y TIRS (Thermal Infrared Sensor). El sensor OLI provee acceso a nueve bandas espectrales, con 30 mts de resolución y solo la banda 8 con 15 m en pancromático, estas cubren el espectro desde los 0.433 μm a los 1.390 μm; mientras que TIRS registra dos bandas de 100 m de resolución en el espectro de 10.30μm a 12.50μm. (μm = longitud de onda). El Satélite Landsat 7, activo desde 1999, tiene una resolución multiespectral de 30 mts y una resolución pancromática de 15 mts; dispone de 8 bandas: azul-verde, azul, rojo, verde, infrarrojo cercano (IRC), SWIR1, IRT, SWIR2 y PAN. El instrumento esencial a bordo del satélite es el Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+). Las imágenes obtenidas por el satélite, a partir del año 2002, tienen una resolución espacial de 15 mts por píxel. El satélite Landsat 5 TM (Thematic Mapper), activo desde 1984 y desactivado el 2013, el sensor TM provee acceso a siete bandas espectrales, 6 de las mismas con 30 mts de resolución y solo la banda 6 con 120 mts en el infrarrojo térmico.

Satelital (CHIRPS, por sus siglas en inglés), que es un conjunto de datos desarrollado por el Servicio Geológico de EE. UU. y la Universidad de California, Santa Bárbara. Para la segunda variable, se tomó como base el registro de datos de DesInventar<sup>28</sup>.

Por otra parte, tanto los niveles de luminosidad como la actividad económica están altamente correlacionados con la población. Consiguientemente, se realizaron proyecciones de crecimiento poblacional, en base a los censos nacionales de población y vivienda de 2001 y 2012, para contar con datos de la población en las 260 comunidades de la muestra, en los años del periodo de análisis<sup>29</sup>.

Otro factor que puede explicar los niveles de luminosidad es la inversión pública en infraestructura de urbanismo, productiva y de electrificación. En Bolivia, las unidades subnacionales que pueden gestionar y ejecutar recursos públicos son los Departamentos y Municipios; las Comunidades no tienen esta facultad, por lo que no existen registros de inversión pública a nivel comunal. No obstante, para no omitir este tipo de información, se calculó la inversión pública per cápita de los Gobiernos Municipales a los que pertenecen las comunidades de la muestra y se asignó a cada comunidad los montos per cápita de inversión en infraestructura de urbanismo, productivo y electrificación.

Finalmente, en estricta relación con la luminosidad, se crea una variable para identificar a las comunidades que se beneficiaron con el Programa de Electrificación para Vivir con Dignidad<sup>30</sup>. Considerando que gran parte de las comunidades de la muestra son pequeñas, algunos proyectos implementados en el marco de este programa podrían generar cambios en la luz visible desde los sensores satelitales.

---

<sup>28</sup> DesInventar es un sistema que permite ver a los desastres desde una escala espacial local (municipio o equivalente). DesInventar es una herramienta conceptual y metodológica para la construcción de bases de datos de pérdidas, daños o efectos ocasionados por emergencias o desastres. Debido a la no existencia de información sobre la ocurrencia de fenómenos climatológicos adversos a nivel de comunidad, se asigna a las comunidades de la muestra el dato de ocurrencia del municipio al que pertenecen.

<sup>29</sup> Las proyecciones de población se realizaron a partir de la tasa anual de crecimiento intercensal de las comunidades de estudio.

<sup>30</sup> En el Decreto Supremo N° 29635 del 9 de Julio de 2008, se crea el Programa Electricidad para Vivir con Dignidad (PEVD), para contribuir al incremento de la cobertura del servicio eléctrico.

## 4. ESTRATEGIA EMPÍRICA

Para el desarrollo del estudio, se cuenta con una base de datos de panel a nivel de comunidad, con frecuencia anual desde el año 2000 hasta el 2013. Sobre esta base y para explotar la variación temporal y espacial en el tratamiento, se estiman modelos de datos de panel con efectos fijos múltiples de Diferencia-en-Diferencias (DD). Donde, la unidad de observación es la “Comunidad”.

Esta técnica subyace en el uso de las dimensiones temporal y espacial. También, esta metodología es flexible a que existan diferencias entre los tratados y no tratados, cuando estas diferencias son constantes en el tiempo o cuando las diferencias en el tiempo son comunes entre ambos grupos.

De esta forma, siguiendo a Mitnik et al. (2018) la especificación econométrica para estimar el efecto causal de la infraestructura vial asfaltada sobre la luminosidad es:

$$Y_{its} = \beta_0 + \beta_1 T_{it} + \beta_2 X_{it} + \beta_3 Z_{it-j} + \lambda_i + \alpha_t + \eta_s + \varepsilon_{its} \quad (1)$$

Donde  $Y_{its}$  es el valor de luminosidad, con las transformaciones señaladas en 3.4, para la comunidad  $i$ , el año  $t$  y capturado por el satélite  $s$ .  $T_{it}$  es la variable de tratamiento que toma el valor de 1 desde el año  $t$  en que se concluye una carretera asfaltada de acceso a la comunidad  $i$ ; 0 de otra manera.  $X_{it}$  es un grupo de covariantes contemporáneas que no son constantes en el tiempo y pueden explicar a la variable de resultado: Población, NDVI, precipitación, ocurrencia de eventos climatológicos adversos, inversión per cápita del Gobierno Municipal en urbanismo, productivo y electrificación, y participación en el Programa de Electrificación para Vivir con Dignidad.  $Z_{it-j}$  agrega rezagos 1, ... $j$  de las variables NDVI, precipitación y eventos climatológicos adversos, toda vez que los efectos de estas variables no necesariamente son sólo contemporáneos<sup>31</sup>.  $\lambda_i$  son efectos fijos de comunidad, que permiten controlar por posibles características no-observables que generan diferencias entre las comunidades, pero son constantes en el tiempo.  $\alpha_t$  son efectos fijos de tiempo, para controlar por shocks con efectos comunes en las comunidades. Con relación a los satélites que capturan los datos de luminosidad, en el transcurso del tiempo se fueron incorporando nuevos, con mejoras tecnológicas para la captura de información. Por esta razón, en algunos casos, existen dos satélites que capturan los niveles

<sup>31</sup> Para la determinación del número óptimo de rezagos en el modelo, se aplica el criterio de información de Akaike (AIC, por sus siglas en inglés). Los resultados sugieren que la inclusión de dos rezagos es lo apropiado (i.e.  $j = 2$ ).

de luminosidad para el mismo año o, para algunos años, no existen reportes para los satélites antiguos. En este contexto, similar a los trabajos de Gendron-Carrier, Gonzales-Navarro, Polloni y Turner (2018) y Mitnik et al. (2018), se aprovecha toda la información disponible de los reportes satelitales de luminosidad, y se trabaja con un pool de los datos que contiene la información de todos los satélites. Así, se incluye el efecto fijo de satélite,  $\eta_s$ , para controlar por diferencias tecnológicas que puedan influenciar los valores de luminosidad<sup>32</sup>. Por último,  $\varepsilon_{its}$  es el término de error. Los errores estándar son ajustados por clúster a nivel de comunidad, para corregir la potencial correlación contemporánea –dentro la comunidad– y serial<sup>33</sup>.

Bajo este esquema, el efecto causal es aproximado por el coeficiente  $\beta_1$ . *Ceteris paribus*, un valor estimado positivo en este parámetro implicaría que las comunidades con carreteras de acceso asfaltadas exhibirían mayores incrementos en los niveles de luminosidad en el tiempo, en comparación a las comunidades no beneficiadas. Considerando que la especificación econométrica sigue la lógica de una especificación logaritmo-niveles, la interpretación del resultado es en términos de cambio porcentual en la luminosidad, es decir, en promedio, el incremento porcentual en la luminosidad atribuible al tratamiento es  $(100 \times \beta_1)\%$ .

En el acápite 5.1. se ilustra la metodología y resultados de la estimación de la elasticidad PIB-Luminosidad, para el caso de Bolivia. Esta estimación permitirá aproximar el crecimiento porcentual en el PIB ante un incremento de 1% de la luminosidad. Este resultado es fundamental porque permitirá vincular el impacto estimado en la luminosidad con el crecimiento económico. Para esto, se aplica la siguiente relación.

$$\Delta\%PIB|_{T=1} = \beta_1 \times \xi_{PIB-Luminosidad} \quad (2)$$

Donde  $\xi_{PIB-Luminosidad}$  es la elasticidad PIB-Luminosidad.  $\beta_1$  es el incremento porcentual en la luminosidad atribuible al tratamiento. Y  $\Delta\%PIB|_{T=1}$  sería el crecimiento porcentual en el PIB vinculado al tratamiento.

Finalmente, bajo el esquema de DD, se puede estimar el efecto causal de manera rigurosa a pesar de que los grupos de tratamiento y control presentan

<sup>32</sup> Los satélites y años en los que se captura la información de luminosidad son: F12 (1994-1999), F14 (1997-2003), F15 (2000-2007), F16 (2004-2009) y F18 (2010-2013).

<sup>33</sup> Regresiones con variables instrumentales para lidiar con el problema de endogeneidad se incorporarán en investigaciones futuras, que asumirán como referencia la estructura metodológica desarrollada en este documento.

diferencias pretratamiento en la variable de resultado, si y sólo si, éstos no difieren en la tendencia pretratamiento en dicha variable. Este supuesto puede ser verificado con una prueba de tendencias paralelas.

Para testear el supuesto de tendencias paralelas, primero, se construyen las siguientes bases de datos:

- i. Una base de datos de panel balanceado, en la que se eliminan todas las observaciones después de 2002, ya que entre 2000 y 2002 ninguna comunidad se benefició con una carretera asfaltada de la muestra.
- ii. Una base de datos de panel no balanceado, en la que se eliminan todas las observaciones desde el año en que empieza el tratamiento para cada comunidad.

Posteriormente, para ambas bases, se aplica la siguiente regresión:

$$Y_{its} = \delta_0 + \delta_1(Tratados_i * t_t) + \delta_2 t_t + \delta_3 X_{it} + \delta_4 Z_{it-j} + \lambda_i + \alpha_t + \eta_s + \varepsilon_{its}$$

Donde  $Tratados_i$  es una variable dicotómica que toma el valor de 1 si la comunidad  $i$  se beneficiará con una carretera de acceso asfaltada durante el periodo de análisis; 0 de otra manera.  $t_t$  es una variable que captura la tendencia. Por ende, el parámetro asociado a la interacción ( $Tratados_i * t_t$ ) reflejaría la diferencia entre las tendencias de los grupos de tratamiento y control. Para que el supuesto de tendencias paralelas se cumpla, el coeficiente  $\delta_1$  debe ser estadísticamente no distinto de cero.

Adicionalmente, para verificar que no existan efectos no esperados, se realiza una prueba placebo en la que se reemplazan los valores de luminosidad del periodo 2006-2013, por valores rezagados del periodo 1992-1999 –periodo pretratamiento–.

En el Anexo 3 se presentan los resultados de las pruebas de tendencias paralelas y placebo. Los resultados sustentan la validez de la metodología aplicada en este estudio para alcanzar el objetivo de investigación.

## 5. RESULTADOS

Como sugiere la literatura, cuando se trabaja con los valores originales de luminosidad (i.e. sin inter-calibración), las estimaciones pueden ser afectadas por el efecto reflejo y la sobresaturación en determinados píxeles. Por esta razón, los resultados presentados en esta sección del documento se basan,

principalmente, en regresiones estimadas con información inter-calibrada de los niveles de luminosidad.

### 5.1. Elasticidad PIB-Luminosidad

Uno de los supuestos fundamentales de la investigación es que los cambios en los niveles de luminosidad son un buen proxy del crecimiento económico. Para verificar la validez de este supuesto, se estima la elasticidad PIB-Luminosidad para el caso de Bolivia. Con estos resultados, se puede aproximar, en promedio, el incremento porcentual en el PIB ante un aumento del 1% en los niveles de luminosidad.

Puntualmente, se construye una base de datos de panel a nivel departamental para Bolivia, con información del periodo 1992-2013<sup>34</sup>. Se tienen datos para los nueve departamentos de Bolivia con frecuencia anual, de las variables: Luminosidad, PIB y, población. Con este set de datos, se aplica una regresión de efectos fijos, con el siguiente detalle:

$$\log(PIB)_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 \log(Lum)_{its} + \gamma_2 Pob_{it} + \lambda_i + \alpha_t + \eta_s + \varepsilon_{it}$$

Donde  $PIB_{it}$  es el Producto Interno Bruto del departamento  $i$  en el año  $t$ , reportado por Instituto Nacional de Estadística de Bolivia (INE).  $Lum_{its}$  es el nivel de luminosidad del departamento  $i$ , el año  $t$  y capturado por el satélite  $s$ . Para obtener el nivel de luminosidad departamental, se suman los valores de luminosidad de los píxeles que se sobreponen o están dentro los límites departamentales. Para controlar por otros factores que pueden incidir en el PIB, se incluyen proyecciones de población, efectos fijos de departamento, tiempo y satélite<sup>35</sup>. Bajo esta estructura, el parámetro de interés es  $\gamma_1$ ; *ceteris paribus*,  $\gamma_1$  muestra el incremento porcentual en el PIB ante una expansión del 1% en los niveles de luminosidad.

En la Tabla 2 se muestran los resultados de las estimaciones para la elasticidad PIB-Luminosidad, tanto para el PIB real (i.e. a precios constantes) como para el PIB nominal (i.e. a precios corrientes)<sup>36</sup>. Según estas estimaciones, en promedio,

<sup>34</sup> Se define este periodo por la disponibilidad de las imágenes de luminosidad, que va desde 1992 hasta 2013.

<sup>35</sup> Regresiones con variables instrumentales u otras que permitan estimar de manera más apropiada la elasticidad PIB-Luminosidad, son temas pendientes para futuras investigaciones.

<sup>36</sup> En la Tabla 2 se muestran las elasticidades PIB-Luminosidad estimadas tanto con los datos de luminosidad originales como los inter-calibrados. En la interpretación de los resultados se prefieren las estimaciones en base a los datos inter-calibrados. No obstante, cabe señalar que los resultados con datos originales de luminosidad son parecidos, lo que agrega robustez al análisis.

un incremento del 1% en la luminosidad estaría asociado a un crecimiento del PIB real de 0,12% (0,15% en el caso del PIB nominal).

## 5.2. Efectos en la luminosidad

Es importante recordar que la variable de resultado es el nivel de luminosidad de la comunidad transformado en base a la Función Inversa Hiperbólica del Seno. En este contexto, la lectura del efecto tratamiento es equivalente al de una especificación logaritmo-niveles. Es decir, la interpretación del efecto tratamiento es que, en promedio, las comunidades beneficiadas con carreteras de acceso asfaltadas incrementarían sus niveles de luminosidad en  $(100 \times \beta_1)\%$ , en comparación a las comunidades no beneficiadas<sup>37</sup>.

En este acápite se discuten los resultados de las estimaciones sobre el efecto en la luminosidad resultante de beneficiarse con carreteras asfaltadas de acceso a las comunidades. En la Tabla 3 se observan las estimaciones para diferentes especificaciones, en las que se incluyen progresivamente los efectos fijos y covariantes. El propósito de esta estructura es mostrar la robustez de los resultados y el grado de sesgo en el que se incurría si no se incluyen dichas variables de control<sup>38</sup>.

En la especificación que incluye únicamente efectos fijos de comunidad, se observa que el efecto en la luminosidad atribuible al tratamiento sería una expansión de 6,7%. En cambio, cuando se añaden efectos fijos de año y satélite, el efecto se estabiliza en torno a 5%. Empero, con la introducción de covariantes contemporáneos y rezagos, en promedio, los resultados sugieren que la luminosidad en las comunidades se habría incrementado en 4,2% con la construcción de carreteras de acceso asfaltadas, en comparación a los no beneficiados.

Considerando que los covariantes incorporados en las regresiones son buenos predictores de la variable de resultado y en base al Criterio de Información de Akaike, se identificó como especificación de preferencia a aquella que incluye

<sup>37</sup> Cuando la variable de resultado tiene una transformación logarítmica, para la interpretación, es aceptable multiplicar por 100 el coeficiente estimado, cuando los valores son menores a 0,10. Este es el caso para los resultados presentados en el estudio, razón por la cual se asume dicho enfoque (Wooldridge, 2016).

<sup>38</sup> En el Anexo 4, se presentan resultados de regresiones similares a los de la Tabla 3; sin embargo, en éstas se utilizan los valores originales de luminosidad (i.e. datos no inter-calibrados). El propósito es, primero, en términos de signo y significancia estadística, mostrar que los resultados son similares. En segundo lugar, exhibir que los impactos en el incremento de la luminosidad tienden a estar sobreestimados, cuando se utilizan los datos de luminosidad sin intercalibración.

efectos fijos de comunidad, año y satélite, covariantes contemporáneos y covariantes rezagados hasta dos periodos. De esta manera, según la especificación de preferencia, en promedio, como resultado de beneficiarse con carreteras de acceso asfaltadas, la luminosidad en las comunidades beneficiadas se habría incrementado en 4,2%, en comparación a los no beneficiados. Este resultado será utilizado para vincular el impacto en la luminosidad con el crecimiento económico.

### **5.3. Efectos heterogéneos y análisis de robustez**

Los resultados descritos en el acápite 5.2 se obtienen con la muestra completa, es decir, con información para todas las comunidades contenidas en un radio de 10Km alrededor de los tramos de la RVF de estudio. No obstante, con el objetivo de poner a prueba la robustez, en la Tabla 4 se muestran los resultados de las estimaciones con la muestra restringida para diferentes radios de influencia; conforme menor sea el radio, más comunidades quedan fuera del área de estudio, en otras palabras, son excluidas de la muestra.

Concretamente, los radios utilizados para restringir la muestra son de 2,5Km, 3,5Km, 5Km y 7,5Km. En todos los casos el efecto tratamiento es positivo y estadísticamente significativo. Las magnitudes de los coeficientes estimados sugieren incrementos porcentuales en la luminosidad que oscilan entre 3,3% y 4,4%. Cabe mencionar que los resultados son próximos a los obtenidos en la especificación de preferencia. No obstante, se observa que la magnitud del efecto tratamiento tiende a ser menor cuando el radio de influencia es de 2,5Km, lo cual es coherente considerando que las comunidades cercanas a la RVF son las más grandes de la muestra, por lo tanto, la base de sus niveles de luminosidad es mayor y aumentos en los mismos se plasman en incrementos porcentuales más bajos, en comparación con los registrados en comunidades lejanas donde la base de sus niveles de luminosidad es menor.

Por otra parte, puede surgir la preocupación de que algunas comunidades grandes de la muestra (e.g. Potosí y Tarija) estén distorsionando los resultados obtenidos. Para verificar que este no es el caso, en la Tabla 5 se presentan resultados restringiendo la muestra para diferentes tamaños de la población. En la primera columna, se excluyen a las comunidades con una población mayor a 100.000 habitantes, que es el caso de las ciudades de Potosí y Tarija, y el efecto tratamiento se mantiene con el signo esperado, es estadísticamente significativo y la magnitud es de 3,8%, valor cercano al de la especificación de preferencia. En el resto de las columnas de la tabla, se exhiben los resultados

para comunidades con poblaciones menores a 10.000, 2.000, 1.000 y 500 habitantes, en todos los casos las estimaciones son positivas, estadísticamente significativas y de magnitud similar<sup>39</sup>.

Además, no sólo para demostrar la robustez de los resultados, sino también por sus implicancias de política, en la Tabla 6 se muestran resultados sobre efecto tratamiento según niveles de pobreza de las comunidades. Las definiciones de pobreza se establecieron con información del Censo Nacional de Población y Vivienda (CNPV) de 2001. En la primera columna, se trabaja con una muestra que incluyen sólo comunidades –denominadas “*Más Pobres*”– donde la mayor parte de la población, en 2001, pertenecía a las categorías de pobreza de “*Indigencia*” o “*Marginalidad*” según el enfoque de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI). En promedio, para la muestra de las comunidades más pobres el incremento en la luminosidad atribuible al tratamiento sería de 5%. Para los resultados presentados en la segunda columna, la muestra agrega sólo comunidades –denominadas “*Pobres*”– cuya población, en 2001, mayoritariamente estaba en las categorías “*Pobre Moderado*” o “*Umbral de la Pobreza*” según NBI. En este caso, cuando se estudia a la muestra de comunidades pobres el incremento promedio en la luminosidad en las que se beneficiaron con carreteras asfaltadas sería de 2,3%, en promedio. En este marco, si bien la infraestructura vial asfaltada en general incrementaría los niveles de luminosidad (i.e. mayor crecimiento económico), dicho efecto sería mayor en las comunidades más pobres.

En la muestra de estudio, las comunidades registran que en promedio estuvieron expuestas al tratamiento durante 4 años. Consecuentemente, el efecto tratamiento de 4,2%, obtenido en la especificación de preferencia, corresponde al incremento en la luminosidad que se observa en promedio después de beneficiarse durante 4 años con una carretera de acceso asfaltada. Sin embargo, en la presente investigación se profundiza el análisis sobre los efectos durante el tiempo, es decir, se proporcionan estimaciones relacionadas a los efectos contemporáneos, de mediano y largo plazo.

Para obtener efectos en cada año, como ejemplifica Angrist y Pischke (2008), se descompone la variable de tratamiento de tal manera que desde la conclusión de la construcción de la carretera asfaltada y los años posteriores, se reemplaza  $\beta_1 T_{it}$  por  $\sum_{k=0}^K \delta_{-k} T_{it-k}$ , donde  $T_{it-k}$  es una variable dicotómica que toma el valor

<sup>39</sup> En términos de población, en Bolivia se consideran como comunidades rurales a aquellas con una población de hasta 2.000 habitantes.

de 1 si la conclusión de la carretera asfaltada ocurrió  $k$  periodos en el pasado; 0 de otra manera. Por lo tanto,  $\delta_{-k}$  representa el efecto tratamiento de carreteras asfaltadas concluidas  $k$  años antes. Concretamente, en la especificación se tendrán los siguientes coeficientes estimados  $\delta_{-0}$ ,  $\delta_{-1}$ ,  $\delta_{-2}$ ,  $\delta_{-3}$ , y  $\delta_{-4}$ <sup>40</sup>, que representan el efecto tratamiento promedio contemporáneo, de 1 año después de la conclusión de la carretera asfaltada, 2 años después, 3 años después y 4 años hacia adelante, respectivamente.

En la columna 1 de la Tabla 7, se observan los resultados de las estimaciones sobre los efectos en el tiempo de beneficiarse con carreteras de acceso asfaltadas. El primer hallazgo para resaltar es que el efecto tratamiento se incrementa progresivamente en el tiempo. Por ejemplo, los resultados sugieren que el efecto contemporáneo, es decir, la expansión de la luminosidad para el año de conclusión a asfalto de la carretera sería de 1,9%. En cambio, a partir del cuarto año en adelante, el crecimiento de los niveles de luminosidad alcanzaría a 10%.

Por otro lado, surge la curiosidad de investigar la existencia de efectos anticipación; considerando que el tratamiento está asociado a la construcción de carreteras, estos efectos también se podrían entender como efectos durante la construcción. Para esto, adicional a  $\beta_1 T_{it}$  se incluye el término  $\sum_{k=0}^Q \delta_{+k} T_{it+k}$ , donde  $T_{it+k}$  es una variable dicotómica que toma el valor de 1 si la intervención ocurrirá  $k$  periodos en el futuro; 0 de otra manera. Por ende,  $\delta_{+1}$  y  $\delta_{+2}$  representan el efecto anticipación de 1 año y 2 años antes de la conclusión de la carretera asfaltada. En la columna 2 de la Tabla 7, los coeficientes estimados,  $\delta_{+1}$  y  $\delta_{+2}$ , no son estadísticamente distintos de cero, por lo que, estos resultados sugieren la no existencia de efectos durante la construcción de la carretera.

Con relación a los efectos de largo plazo, para su análisis se estima un modelo de DD con datos únicamente para dos años. En la columna 3 de la Tabla 7, se exponen los resultados de la estimación de un modelo de DD para las 260 comunidades de la muestra, con información para los años 2000 –escenario pretratamiento– y 2013 –escenario postratamiento–. Las estimaciones sugieren que, en este caso, el efecto tratamiento promedio atribuible a la carretera asfaltada de acceso a las comunidades sería de 8%.

---

<sup>40</sup> Sólo para el caso de la variable  $T_{it-4}$ , que está asociada a  $\delta_{-4}$ , se construye como una variable dicotómica que toma el valor de 1 si la conclusión de la carretera asfaltada ocurrió 4 o más años antes; 0 de otra manera. De alguna manera, este coeficiente estimado también capturaría el efecto de largo plazo.

Manteniendo el análisis de largo plazo, en la columna 4 de la Tabla 7, se presentan resultados de la estimación de un modelo de DD para los años 2001 y 2012, con la particularidad que en esta regresión se incluyen covariantes –no constantes en el tiempo– extraídos de los censos de población y vivienda de 2001 y 2012. Estos covariantes adicionales son: porcentaje de la población pobre, porcentaje de la población ocupada, porcentaje de la población que lee y escribe, porcentaje de viviendas con acceso a electricidad, porcentaje de viviendas con acceso a agua, y porcentaje de hogares con vehículo. Para esta especificación, el efecto tratamiento promedio es de 7,6%.

#### **5.4. Efectos en el crecimiento del PIB**

Como se explicó en la estrategia empírica, para obtener el efecto en el crecimiento económico vinculado a la construcción de carreteras asfaltadas de acceso a las comunidades, se requieren  $\beta_1$  y  $\xi_{PIB-Luminosidad}$ . El primero,  $\beta_1$ , que es el efecto tratamiento promedio en la luminosidad atribuible a beneficiarse con una carretera asfaltada de acceso a la comunidad es de 4,2% (ver 5.2.). El segundo,  $\xi_{PIB-Luminosidad}$ , que es la elasticidad PIB-Luminosidad para el caso de Bolivia fue estimado en 0,12% (ver 5.1.).

Aplicando la fórmula de la ecuación (2), se tendría que, en promedio, existiría una expansión de la actividad económica real de 0,5% (0,6% en términos nominales) en las comunidades de la muestra beneficiadas con carreteras de acceso asfaltadas.

Si se realiza este análisis sobre los resultados de las muestras de comunidades según nivel de pobreza, se asumiría que, en promedio, entre los beneficiarios de carreteras asfaltadas de acceso, el crecimiento de la actividad económica real sería de 0,3% en las comunidades denominadas pobres (i.e. comunidades con población mayoritariamente en el umbral de la pobreza o con pobreza moderada). En cambio, para la muestra de comunidades denominadas más pobres (i.e. comunidades con población mayoritariamente en indigencia o marginalidad), en promedio, el efecto vinculado al crecimiento del PIB real de las carreteras asfaltadas sería de 0,6%.

#### **5.5. Efectos en otras variables de resultado**

Si bien en los anteriores acápite se presentó evidencia empírica que sostiene un efecto positivo en el crecimiento económico vinculado a la construcción de carreteras asfaltadas, el análisis se realizó a partir de un proxy de la actividad

económica como es la luminosidad capturada por imágenes satelitales. Para fortalecer dicha evidencia, también, se estudia el efecto de las carreteras asfaltadas sobre otras variables de resultado que están ligadas a la dinámica de la actividad económica de las comunidades.

En primer lugar, se evalúa el efecto sobre la pobreza. Para este propósito, en base a información de los censos nacionales de población y vivienda de 2001 y 2012, se construye una base de datos en dos puntos del tiempo para las 260 comunidades de la muestra. Sobre esta base, se estima un modelo de DD, en el que 2001 es el tiempo pretratamiento y 2012 el de postratamiento.

$$\text{Incidencia/Pobreza}_{it} = \theta_0 + \theta_1(T_i * 2012_t) + \theta_2 T_i + \theta_3 2012_t + \theta_4 X_{it} + \theta_5 Z_{it-j} + \varepsilon_{its}$$

La variable de resultado  $\text{Incidencia/Pobreza}_{it}$  se calcula como la proporción de la población de la comunidad  $i$  contemplada en las categorías de Pobreza Moderada, Indigencia y Marginalidad según NBI, para el año  $t$ .

$$\text{Incidencia/de/pobreza}_{it} = \frac{(Pobres/moderados_{it} + Indigentes_{it} + Marginales_{it})}{\text{Población/total}_{it}}$$

$T_i$  es una variable dicotómica que asigna el valor de 1 a las comunidades beneficiadas con carreteras de acceso asfaltadas en el tiempo postratamiento.  $2012_t$  es una variable dicotómica que asume el valor de 1 para el año postratamiento, que es 2012. Asimismo, en  $X_{it}$  se incluyen variables de control construidas con información de los censos como: porcentaje de la población ocupada, porcentaje de la población que lee y escribe, porcentaje de viviendas con acceso a electricidad, porcentaje de viviendas con acceso a agua, y porcentaje de hogares con vehículo; además, se mantienen los covariantes descritos en la sección 4.  $Z_{it-j}$  agrega el primer y segundo rezago de las variables NDVI, precipitación y eventos climatológicos adversos.

El parámetro de interés es  $\theta_1$ , dado que capture el efecto tratamiento. De esta manera, los resultados para este análisis sugieren que, en promedio, la incidencia de pobreza en las comunidades beneficiadas con carreteras asfaltadas se habría reducido en 7,9 puntos porcentuales (pp), en comparación con las comunidades no beneficiadas (ver Tabla 8).

En cuanto a otros efectos de la inversión en infraestructura vial, la literatura<sup>41</sup> menciona que ésta facilita el acceso a mercados, tanto para la venta de productos como para la compra de insumos, que en comunidades rurales –como son las de la muestra de estudio– incentiva la producción agrícola. Asimismo, se relaciona la construcción de infraestructura vial con la conformación de manchas urbanas, toda vez que existiría una mayor concentración de la población o incluso migración de otros lugares hacia la comunidad beneficiada; esto a su vez, dinamiza la actividad económica por el desarrollo de infraestructura urbana, industrias, mercados, etc. En tal sentido, tanto los efectos sobre la producción agrícola como la conformación de manchas urbanas forman parte de la cadena causal del impacto de las carreteras en el crecimiento económico, sobre todo con un enfoque de sostenibilidad en el mediano y largo plazo.

Para estudiar los efectos en la actividad agrícola y la generación de manchas urbanas, se procesó información de imágenes satelitales Landsat para identificar la cobertura de uso de suelos dominante en los píxeles –de 0,86km<sup>2</sup>– que se sobreponen o están dentro de la delimitación de las comunidades de la muestra, para el año 2000 –pretratamiento– y 2013 –postratamiento<sup>42</sup>.

La clasificación de cobertura de uso de suelos incluye las siguientes categorías:

- 1)** Infraestructura Urbana (casas, edificios, hospitales, escuelas, parques).
- 2)** Vías.
- 3)** Infraestructura industrial.
- 4)** Huella Industrial.
- 5)** Aeropuertos.
- 6)** Tierras cultivadas.
- 7)** Cuerpos de Agua artificiales.
- 8)** Cuerpo de agua natural.
- 9)** Salar.

<sup>41</sup> Algunos estudios de referencia son los de Binswanger et al. (1993), Fernald (1999), Banister (2012) y, Gonzalez-Navarro y Turner (2018).

<sup>42</sup> El proceso adoptado para la clasificación de la cobertura de uso de suelos consta de tres etapas. Primero, se definió la leyenda (i.e. las categorías) de tal manera que se puedan agregar categorías vinculadas a usos agrícolas, manchas urbanas y otros usos. Segundo, se descargaron imágenes del programa Landsat con una resolución de 30 metros, que fueron corregidas espectral y espacialmente. Tercero, se efectuó el proceso de clasificación de coberturas con enfoque supervisado y no-supervisado; además, para complementar la identificación de los usos, se realizó una clasificación basada en los índices de vegetación por cada periodo y, debido a la complejidad espectral de las clases definidas, fue necesario aplicar un análisis de imágenes por segmentos.

posteriormente el pre-procesamiento de imágenes satelitales y finalmente se realizó el análisis e interpretación de las imágenes procesadas

- 10)** Superficie descubierta o tierras salinas.
- 11)** Vegetación Vigorosa (Bofedales, herbazales, etc.).
- 12)** Matorral enano deciduo (en suelos arcillosos).
- 13)** Matorral enano.
- 14)** Vegetación muy dispersa (porcentaje de cobertura de vegetación menor al 15%).

Sobre esta clasificación, las categorías 1 al 5 constituyen los usos de suelo para manchas urbanas. La categoría 6 se vincula al uso del suelo para la actividad agrícola. Y las categorías 7 al 14, son agregadas en una categoría denominada otros usos.

Metodológicamente, los efectos sobre la actividad agrícola se estiman con información de una base de datos a nivel de píxel, donde la variable de resultado  $Cultivo_{it}$  es una variable dicotómica que toma el valor de 1 si el píxel  $i$  para el año  $t$  fue identificado con una cobertura dominante de uso de suelo de tierras cultivadas –categoría 6–; 0 para otros usos. En esta base de datos se excluyen de la muestra a los píxeles identificados en las categorías 1 al 5 –manchas urbanas–.  $T_i$  es una variable dicotómica que asigna el valor de 1 a los píxeles que están dentro o se sobreponen a los límites de las comunidades beneficiadas con carreteras de acceso asfaltadas en el tiempo postratamiento.  $2013_t$  es una variable dicotómica con el valor de 1 para el año 2013 y 0 en la gestión 2000. También, se incluyen covariantes contemporáneos y rezagados como el NDVI, precipitación, etc. Así, se estima el siguiente modelo de DD.

$$Cultivo_{it} = \rho_0^{cul} + \rho_1^{cul}(T_i * 2013_t) + \rho_2^{cul}T_i + \rho_3^{cul}2013_t + \rho_4^{cul}X_{it} + \rho_5^{cul}Z_{it-j} + \varepsilon_{its}$$

Con referencia al impacto de las carreteras asfaltadas sobre la conformación de manchas urbanas, se construye una base de datos a nivel de píxel, donde la variable de resultado  $Urb_{it}$  es una variable dicotómica que toma el valor de 1 si el píxel  $i$  en el año  $t$  fue identificado con una cobertura dominante de uso de suelo entre las categorías 1 al 5 –manchas urbanas–; 0 para otros usos. Se excluyen de la muestra a los píxeles identificados en la categoría 6 –tierras cultivadas–. Similar al análisis de la actividad agrícola, se aplica un modelo de DD con el siguiente detalle.

$$Urb_{it} = \rho_0^{urb} + \rho_1^{urb}(T_i * 2013_t) + \rho_2^{urb}T_i + \rho_3^{urb}2013_t + \rho_4^{urb}X_{it} + \rho_5^{urb}Z_{it-j} + \varepsilon_{its}$$

Los parámetros de interés son  $\rho_1^{cul}$  y  $\rho_1^{urb}$ , que muestran el efecto tratamiento en la actividad agrícola y la conformación de manchas urbanas, respectivamente.

En la Tabla 9 se muestran los resultados estimados para los efectos en la actividad agrícola y la generación de manchas urbanas. En la columna 1, se observa que, como resultado de beneficiarse con carreteras de acceso asfaltadas, la proporción de suelos –píxeles– destinados a cultivos dentro las comunidades beneficiadas se habrían incrementado en 6,9pp, en comparación a las comunidades no beneficiadas.

Asimismo, existiría un efecto positivo y estadísticamente significativo en la conformación de manchas urbanas dentro las comunidades beneficiadas con carreteras asfaltadas, dado que las estimaciones sugieren que, en promedio, se habría incrementado la proporción de suelos destinados a manchas urbanas en 3,7pp, en comparación a las comunidades no beneficiadas.

## 6. CONCLUSIONES

La evidencia empírica presentada en esta investigación se constituye en un aporte para a la literatura de evaluación de impacto de la infraestructura de transporte; específicamente, se contribuye con el análisis sobre el impacto de las carreteras asfaltadas en el crecimiento económico a nivel de comunidad, para el caso de Bolivia.

Cabe resaltar que este estudio es relevante para la literatura boliviana, toda vez que, no existen precedentes de evaluaciones que aborden los efectos de la infraestructura vial sobre aspectos macroeconómicos como el crecimiento económico, pobreza, el dinamismo de la actividad agrícola y la generación de manchas urbanas, en un nivel geográfico comunal.

Por otra parte, una característica importante de la investigación es que la construcción de indicadores se basa en el uso de fuentes de información no-convencionales. Concretamente, determinadas variables que caracterizan a las comunidades de la muestra de estudio son generadas a partir del procesamiento de información contenida en imágenes satelitales –Teledetección– y el uso de Sistemas de Información Geográfica. Esta particularidad agrega una faceta innovadora al estudio y ejemplifica una solución al problema de información limitada de fuentes convencionales.

Corral y Schling (2017) y Mitnik et al. (2018), utilizando información satelital de luminosidad, presentan evidencia empírica sobre el impacto de la infraestructura en el crecimiento económico para los casos de Barbados y Haití. Sin embargo, estos son los únicos estudios para la región latinoamericana en

los que se combinan técnicas de evaluación de impacto con información de imágenes satelitales, para estudiar los efectos de la infraestructura. La presente investigación no sólo se suma a este grupo, sino también, profundiza en el uso de técnicas de teledetección para la generación de información. Por ejemplo, se procesan datos contenidos en imágenes satelitales para construir indicadores sobre la evolución espacial y temporal de los niveles de luminosidad, demarcación de trayectos carreteros por tipo de rodadura, delimitación de superficies de las comunidades, identificación de coberturas de uso de suelos, entre otros.

En el marco de la metodología aplicada, la evidencia empírica obtenida sugiere que las comunidades beneficiadas con carreteras asfaltadas, *ceteris paribus*, habrían tenido una mayor expansión de sus niveles de luminosidad, en comparación a las comunidades no beneficiadas. Asimismo, se estima la elasticidad PIB-luminosidad para el caso boliviano y ésta es utilizada para vincular el efecto tratamiento sobre la luminosidad con el crecimiento del PIB a nivel comunal. De esta manera, los resultados apuntan que, en promedio, existiría una expansión de la actividad económica real de 0,5% en las comunidades de la muestra que cuentan con carreteras de acceso asfaltadas.

Adicionalmente, se pone a prueba la robustez de los resultados indicados en el anterior párrafo. Entre los hallazgos, se puede mencionar que los resultados son robustos ante muestras restringidas por área de influencia de las carreteras, por tamaño de la población, según condición de pobreza de las comunidades y utilizando datos con y sin inter-calibración de los niveles de luminosidad.

Además, como resultado del análisis de efectos heterogéneos, corresponde puntualizar que el impacto de la construcción de carreteras asfaltadas sería mayor en las comunidades más pobres, éste crecería progresivamente en el tiempo y aparentemente no se observarían efectos durante la construcción de dicha infraestructura.

Si bien la mayor proporción del análisis se basa en explotar el vínculo entre los niveles de luminosidad y el PIB para comprender los efectos de la infraestructura vial asfaltada sobre el crecimiento económico, también, en el documento se presenta evidencia empírica que indica una reducción en la incidencia de pobreza, expansión de la actividad agrícola y una mayor conformación de manchas urbanas, en las comunidades beneficiadas con esta infraestructura. Complementariamente, un aspecto a resaltar es que, para la estimación de los efectos sobre la actividad agrícola y las manchas urbanas, se

aplicaron técnicas de teledetección para identificar las coberturas de uso de suelo en el área de estudio.

Finalmente, el presente trabajo cumplió con sus objetivos de investigación y es un precedente que establece las bases metodológicas para estudios de mayor alcance. No obstante, se debe señalar que existen tareas pendientes para profundizar el estudio sobre los efectos de la infraestructura vial en Bolivia. Metodológicamente, es necesario abordar el potencial sesgo por endogeneidad entre la construcción de carreteras y el crecimiento económico (Banister, 2012), así como, extender el análisis a una escala nacional o regional. Por otra parte, el alcance de esta investigación contempla el análisis de los impactos a nivel macroeconómico de las comunidades; en este entendido, es imperante complementar el análisis desde un enfoque microeconómico, que brinde insumos para comprender los efectos de la infraestructura vial no sólo en la actividad económica, sino también, en otros factores como el desarrollo urbanístico, servicios básicos, contaminación, etc.

Se pretende que todos estos sean resueltos en trabajos futuros en los que se plantea evaluar el impacto de las carreteras financiadas por CAF en la región latinoamericana. No obstante, el presente trabajo cumplió con sus objetivos de investigación y, además, fue fundamental para sentar las bases metodológicas para trabajos de mayor alcance.

## REFERENCIAS

- Abadie, A., & Gardeazabal, J. (2003). The economic costs of conflict: A case study of the Basque Country. *American economic review*, 93(1), 113-132.
- Abadie, A., Diamond, A., & Hainmueller, J. (2010). Synthetic control methods for comparative case studies: Estimating the effect of California's tobacco control program. *Journal of the American statistical Association*, 105(490), 493-505.
- Abrahams, A., Lozano-García, N., & Oram, C. (2016). *Deblurring DMSP nighttime lights*. Working paper. World Bank, Washington DC.
- Abrahams, A., Oram, C., & Lozano-Gracia, N. (2018). Deblurring DMSP nighttime lights: A new method using Gaussian filters and frequencies of illumination. *Remote Sensing of Environment*, 210, 242-258.
- Alder, S. (2016). Chinese roads in India: The effect of transport infrastructure on economic development. Available at SSRN 2856050.
- Amaral, S., Câmara, G., Monteiro, A. M. V., Quintanilha, J. A., & Elvidge, C. D. (2005). Estimating population and energy consumption in Brazilian Amazonia using DMSP night-time satellite data. *Computers, Environment and Urban Systems*, 29(2), 179-195.
- Angrist, J. D., & Pischke, J. S. (2008). *Mostly harmless econometrics: An empiricist's companion*. Princeton university press.
- Banister, D., & Berechman, J. (2000). *Transport investment and economic development*. Psychology Press.
- Banister, D. (2012). Transport and economic development: reviewing the evidence.
- Bell, C. (2012). *The benefits of India's rural roads program in the spheres of goods, education and health: joint estimation and decomposition*. The World Bank.
- Binswanger, H. P., Khandker, S. R., & Rosenzweig, M. R. (1993). How infrastructure and financial institutions affect agricultural output and investment in India. *Journal of development Economics*, 41(2), 337-366.

- Breinlich, H., Ottaviano, G. I., & Temple, J. R. (2014). Regional growth and regional decline. In *Handbook of economic growth* (Vol. 2, pp. 683-779). Elsevier.
- Bryceson, D. F., & Howe, J. (1993). Rural household transport in Africa: Reducing the burden on women?. *World development*, 21(11), 1715-1728.
- Campbell, J. B., & Wynne, R. H. (2011). *Introduction to remote sensing*. Guilford Press.
- Chen, X., & Nordhaus, W. D. (2011). Using luminosity data as a proxy for economic statistics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(21), 8589-8594.
- Corral, L. R., & Schling, M. (2017). The impact of shoreline stabilization on economic growth in small island developing states. *Journal of Environmental Economics and Management*, 86, 210-228.
- Doll, C. N., Muller, J. P., & Morley, J. G. (2006). Mapping regional economic activity from night-time light satellite imagery. *Ecological Economics*, 57(1), 75-92.
- Egan, M., Petticrew, M., Ogilvie, D., & Hamilton, V. (2003). New roads and human health: a systematic review. *American journal of public health*, 93(9), 1463-1471.
- Elvidge, C. D., Baugh, K. E., Kihn, E. A., Kroehl, H. W., Davis, E. R., & Davis, C. W. (1997). Relation between satellite observed visible-near infrared emissions, population, economic activity and electric power consumption. *International Journal of Remote Sensing*, 18(6), 1373-1379.
- Elvidge, C. D., Baugh, K. E., Anderson, S. J., Sutton, P. C., & Ghosh, T. (2012). The Night Light Development Index (NLDI): a spatially explicit measure of human development from satellite data. *Social Geography*, 7(1), 23-35.
- Fernald, J. G. (1999). Roads to prosperity? Assessing the link between public capital and productivity. *American economic review*, 89(3), 619-638.
- Gendron-Carrier, N., Gonzalez-Navarro, M., Polloni, S., & Turner, M. A. (2018). *Subways and urban air pollution* (No. w24183). National Bureau of Economic Research.
- Ghebreyesus, T. A. (2017). All roads lead to universal health coverage. *The Lancet Global Health*, 5(9), e839-e840.

- Gonzalez-Navarro, M., & Turner, M. A. (2018). Subways and urban growth: Evidence from earth. *Journal of Urban Economics*, 108, 85-106.
- Ghosh, T., L Powell, R., D Elvidge, C., E Baugh, K., C Sutton, P., & Anderson, S. (2010). Shedding light on the global distribution of economic activity. *The Open Geography Journal*, 3(1).
- Henderson, V., Storeygard, A., & Weil, D. N. (2011). A bright idea for measuring economic growth. *American Economic Review*, 101(3), 194-99.
- Henderson, J. V., Storeygard, A., & Weil, D. N. (2012). Measuring economic growth from outer space. *American economic review*, 102(2), 994-1028.
- Ivan, K., Holobâcă, I. H., Benedek, J., & Török, I. (2020). Potential of Night-Time Lights to Measure Regional Inequality. *Remote Sensing*, 12(1), 33.
- Khandker, S. R., Bakht, Z., & Koolwal, G. B. (2009). The poverty impact of rural roads: Evidence from Bangladesh. *Economic development and cultural change*, 57(4), 685-722.
- Khandker, S. R., & Koolwal, G. B. (2010). How infrastructure and financial institutions affect rural income and poverty: evidence from Bangladesh. *The journal of development studies*, 46(6), 1109-1137.
- Khanna, G. (2016). Road oft taken: The route to spatial development. Available at SSRN 2426835.
- Lawrence, W. T. (1997). A technique for using composite DMSP/OLS'city lights' satellite data to accurately map urban areas. *Remote Sensing of Environment*, 61, 361-370.
- Leinbach, T. R., & Cromley, R. G. (1983). A goal programming approach to public investment decisions: a case study of rural roads in Indonesia. *Socio-Economic Planning Sciences*, 17(1), 1-10.
- Levy, S. M. (1996). Build, operate, and transfer: Paving the way for tomorrow's infrastructure John Wiley & Sons.
- Lokshin, M., & Yemtsov, R. (2005). Has rural infrastructure rehabilitation in Georgia helped the poor?. *The World Bank Economic Review*, 19(2), 311-333.
- Lyne, A., & Graham-Smith, F. (2012). *Pulsar astronomy* (No. 48). Cambridge University Press.

- Mitnik, O. A., Yañez-Pagans, P., & Sanchez, R. (2018). *Bright investments: Measuring the impact of transport infrastructure using luminosity data in Haiti*. Inter-American Development Bank
- Pence, K. M. (2006). The role of wealth transformations: An application to estimating the effect of tax incentives on saving. *The BE Journal of Economic Analysis & Policy*, 5(1).
- Proville, J., Zavala-Araiza, D., & Wagner, G. (2017). Night-time lights: A global, long term look at links to socio-economic trends. *PLoS one*, 12(3), e0174610.
- Redding, S. J. (2010). The empirics of new economic geography. *Journal of regional science*, 50(1), 297-311.
- Redding, S. J., & Turner, M. A. (2015). Transportation costs and the spatial organization of economic activity. In *Handbook of regional and urban economics* (Vol. 5, pp. 1339-1398). Elsevier.
- Storeygard, A. (2016). Farther on down the road: transport costs, trade and urban growth in sub-Saharan Africa. *The Review of economic studies*, 83(3), 1263-1295.
- Sutton, P. C., & Costanza, R. (2002). Global estimates of market and non-market values derived from nighttime satellite imagery, land cover, and ecosystem service valuation. *Ecological Economics*, 41(3), 509-527.
- Vial, J., Schwab, K., Cornelius, P. K., & Cornelius, P. (Eds.). (2002). *The Latin American Competitiveness Report, 2001-2002*. Oxford University Press, USA.
- Walle, D. V. D. (1999). *Choosing rural road investments to help reduce poverty*. The World Bank.
- Wooldridge, J. M. (2016). *Introductory econometrics: A modern approach*. Nelson Education.
- Wu, J., He, S., Peng, J., Li, W., & Zhong, X. (2013). Intercalibration of DMSP-OLS night-time light data by the invariant region method. *International journal of remote sensing*, 34(20), 7356-7368.
- Xu, H., Yang, H., Li, X., Jin, H., & Li, D. (2015). Multi-scale measurement of regional inequality in Mainland China during 2005–2010 using DMSP/OLS night light imagery and population density grid data. *Sustainability*, 7(10), 13469-13499.

Xu, D., & Gao, J. (2017). The night light development and public health in China. *Sustainable cities and society*, 35, 57-68.

**TABLA 1. ESTRUCTURA DE LOS GRUPOS DE TRATAMIENTO Y CONTROL,  
POR AÑO**  
(En número de comunidades)

Año	Grupo de tratamiento	Grupo de control
2000	0	260
2001	0	260
2002	0	260
2003	26	234
2004	28	232
2005	28	232
2006	28	232
2007	29	231
2008	29	231
2009	40	220
2010	50	210
2011	59	201
2012	66	194
2013	96	164

**TABLA 2. ELASTICIDAD PIB-LUMINOSIDAD**

VARIABLES	(1) PIB real Original <sup>1/</sup>	(2) PIB nominal Original <sup>1/</sup>	(3) PIB real Calibrado <sup>2/</sup>	(4) PIB nominal Calibrado <sup>2/</sup>
Log(Luminosidad)	0,105** (0,0449)	0,129** (0,0479)	0,121*** (0,0341)	0,153*** (0,0427)
Observaciones	288	288	288	288
Efecto Fijo Departamento	SI	SI	SI	SI
Efecto Fijo Año	SI	SI	SI	SI
Efecto Fijo Satélite	SI	SI	SI	SI
Población	SI	SI	SI	SI
R2	0,939	0,977	0,941	0,984

*Errores estándar ajustados por clúster a nivel de departamento en paréntesis.*

\*\*\*  $p < 0,01$ , \*\*  $p < 0,05$ , \*  $p < 0,1$

1/ Para la variable de luminosidad se utilizan los datos sin inter-calibración.

2/ Para la variable de luminosidad se utilizan los datos inter-calibrados; en la sección de resultados, la interpretación se basa en las regresiones con datos de luminosidad inter-calibrados.

TABLA 3. EFECTO TRATAMIENTO EN LA LUMINOSIDAD DE LAS COMUNIDADES

VARIABLES	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Tratamiento	0,0658*** (0,0108)	0,0508*** (0,00955)	0,0508*** (0,00956)	0,0417*** (0,00925)	0,0421*** (0,00925)	0,0416*** (0,00915)
Observaciones	5.720	5.720	5.720	5.460	5.460	5.460
Efecto Fijo Comunidad	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Efecto Fijo Año	NO	SI	SI	SI	SI	SI
Efecto Fijo Satélite	NO	NO	SI	SI	SI	SI
Covariantes Contemporáneos	NO	NO	NO	SI	SI	SI
Covariantes Rezagados	NO	NO	NO	NO	t-1	t-1/t-2
R2	0,0933	0,142	0,148	0,232	0,232	0,232

*Errores estándar ajustados por clúster a nivel de comunidad en paréntesis.**\*\*\* p<0,01, \*\* p<0,05, \* p<0,1**Nota: Para las regresiones se utilizaron los datos de luminosidad inter-calibrados.*

**TABLA 4. EFECTO TRATAMIENTO EN LA LUMINOSIDAD DE LAS COMUNIDADES, CON MUESTRA RESTRINGIDA POR RADIO DE INFLUENCIA EN TORNO A LA RVF**

VARIABLES	(1) 2.5Km	(2) 3.5Km	(3) 5Km	(4) 7.5Km
Tratamiento	0,0334*** (0,0118)	0,0396*** (0,0110)	0,0446*** (0,0106)	0,0405*** (0,00934)
Observaciones	2.499	2.877	3.549	4.578
Efecto Fijo Comunidad	SI	SI	SI	SI
Efecto Fijo Año	SI	SI	SI	SI
Efecto Fijo Satélite	SI	SI	SI	SI
Covariantes Contemporáneos	SI	SI	SI	SI
Covariantes Rezagados	t-1/t-2 0,307	t-1/t-2 0,308	t-1/t-2 0,289	t-1/t-2 0,251
R2				

*Errores estándar ajustados por clúster a nivel de comunidad en paréntesis.*

\*\*\*  $p<0,01$ , \*\*  $p<0,05$ , \*  $p<0,1$

*Nota: La distancia en kilómetros representa el radio en torno a las carreteras de la Red Vial Fundamental que se emplearon para determinar el área de estudio y por ende la muestra de comunidades.*

**TABLA 5. EFECTO TRATAMIENTO EN LA LUMINOSIDAD DE LAS COMUNIDADES, CON MUESTRA  
RESTRINGIDA POR POBLACIÓN**

VARIABLES	(1) Pob. < 100.000	(2) Pob. < 10.000	(3) Pob. < 2.000	(4) Pob. < 1.000	(5) Pob. < 500
Tratamiento	0,0382*** (0,00884)	0,0373*** (0,00883)	0,0379*** (0,00883)	0,0373*** (0,00955)	0,0335*** (0,0109)
Observaciones	5.418	5.355	5.267	5.078	4.502
Efecto Fijo Comunidad	SI	SI	SI	SI	SI
Efecto Fijo Año	SI	SI	SI	SI	SI
Efecto Fijo Satélite	SI	SI	SI	SI	SI
Covariantes Contemporáneos	SI	SI	SI	SI	SI
Covariantes Rezagados	t-1/t-2	t-1/t-2	t-1/t-2	t-1/t-2	t-1/t-2
R2	0,282	0,233	0,181	0,154	0,0990

*Errores estándar ajustados por clúster a nivel de comunidad en paréntesis.*

\*\*\* p<0,01, \*\* p<0,05, \* p<0,1

*Nota: Para estas regresiones se restringe a un número máximo de población, según el detalle de las columnas.*

**TABLA 6. EFECTO TRATAMIENTO EN LA LUMINOSIDAD DE LAS COMUNIDADES, CON MUESTRA RESTRINGIDA POR NIVEL DE POBREZA**

VARIABLES	(1) Más pobres <sup>1/</sup>	(2) Pobres <sup>2/</sup>
Tratamiento	0,0503*** (0,0137)	0,0227** (0,00977)
Observaciones	2.814	2.520
Efecto Fijo Comunidad	SI	SI
Efecto Fijo Año	SI	SI
Efecto Fijo Satélite	SI	SI
Covariantes Contemporáneos	SI	SI
Covariantes Rezagados	t-1/t-2	t-1/t-2
R2	0,284	0,226

*Errores estándar ajustados por clúster a nivel de comunidad en paréntesis.*

\*\*\*  $p<0.01$ , \*\*  $p<0.05$ , \*  $p<0.1$

1/ Son las comunidades que, en 2001, la mayor parte de su población estaba en indigencia o marginalidad, según NBI.

2/ Son las comunidades que, en 2001, la mayor parte de su población estaba en pobreza moderada, según NBI.

**TABLA 7. EFECTO TRATAMIENTO EN LA LUMINOSIDAD DE LAS COMUNIDADES, POR EFECTOS EN EL TIEMPO, EFECTOS ANTICIPACIÓN Y EFECTOS DE LARGO PLAZO**

VARIABLES	(1)	(2)	(3)	(4)
	Efectos en el tiempo	Efectos anticipación	Efecto LP 2000-2013	Efecto LP (Info. Censos 2001-2012)
Tratamiento (Año=t)	0,0194*** (0,00725)			
Tratamiento (Año=t+1)	0,0108 (0,00927)			
Tratamiento (Año=t+2)	0,0291*** (0,00945)			
Tratamiento (Año=t+3)	0,0575*** (0,0130)			
Tratamiento (Año=t+4)	0,105*** (0,0225)			
Tratamiento		0,0466*** (0,0109)	0,0798*** (0,0169)	0,0764*** (0,0187)
Tratamiento (Año=t-1)		0,0114 (0,00927)		
Tratamiento (Año=t-2)		0,0104 (0,00790)		
Observaciones	5.460	5.460	780	780
Efecto Fijo Comunidad	SI	SI	SI	SI
Efecto Fijo Año	SI	SI	SI	SI
Efecto Fijo Satélite	SI	SI	SI	SI
Covariantes Contemporáneos	SI	SI	SI	SI
Covariantes Rezagados	t-1/t-2	t-1/t-2	t-1/t-2	t-1/t-2
R2	0,290	0,234	0,381	0,481

*Errores estándar ajustados por clúster a nivel de comunidad en paréntesis.*

\*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

TABLA 8. EFECTO TRATAMIENTO EN LA INCIDENCIA DE POBREZA

VARIABLES	(1) Incidencia de pobreza
(Tratado*2012)	-0,0788** (0,0387)
Tratado	-0,0355 (0,0224)
2012	-0,204*** (0,0274)
Observaciones	441
Variables Censos	SI
Covariantes Contemporáneos	SI
Covariantes Rezagados	SI
R2	0,442

Errores estándar en base a 10.000 réplicas de bootstrap en paréntesis.

\*\*\*  $p < 0.01$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0.1$

Nota: El Efecto Tratamiento Promedio es el coeficiente asociado a la interacción (Tratado\*2012), donde "Tratado" es una variable dicotómica que toma el valor de 1 si hasta 2012 la comunidad se benefició con una carretera de acceso asfaltada; 0 de otra forma. "2012" es una variable dicotómica que toma el valor de 1 si la observación corresponde al año 2012, que es el periodo posttratamiento.

**TABLA 9. EFECTO TRATAMIENTO EN EL USO DE SUELOS PARA  
AGRICULTURA Y MANCHAS URBANAS**

<b>VARIABLES</b>	<b>(1)</b> <b>Tierra cultivada<sup>1/</sup></b>	<b>(2)</b> <b>Mancha urbana<sup>2/</sup></b>
(Tratado*2013)	0,0694** (0,0350)	0,0372** (0,0169)
Tratado	0,0370* (0,0218)	0,0261** (0,0112)
2013	0,0741** (0,0372)	0,00638 (0,0156)
Observaciones	1.581	1.452
Covariantes Contemporáneos	SI	SI
Covariantes Rezagados	t-1/t-2	t-1/t-2
R2	0,185	0,254

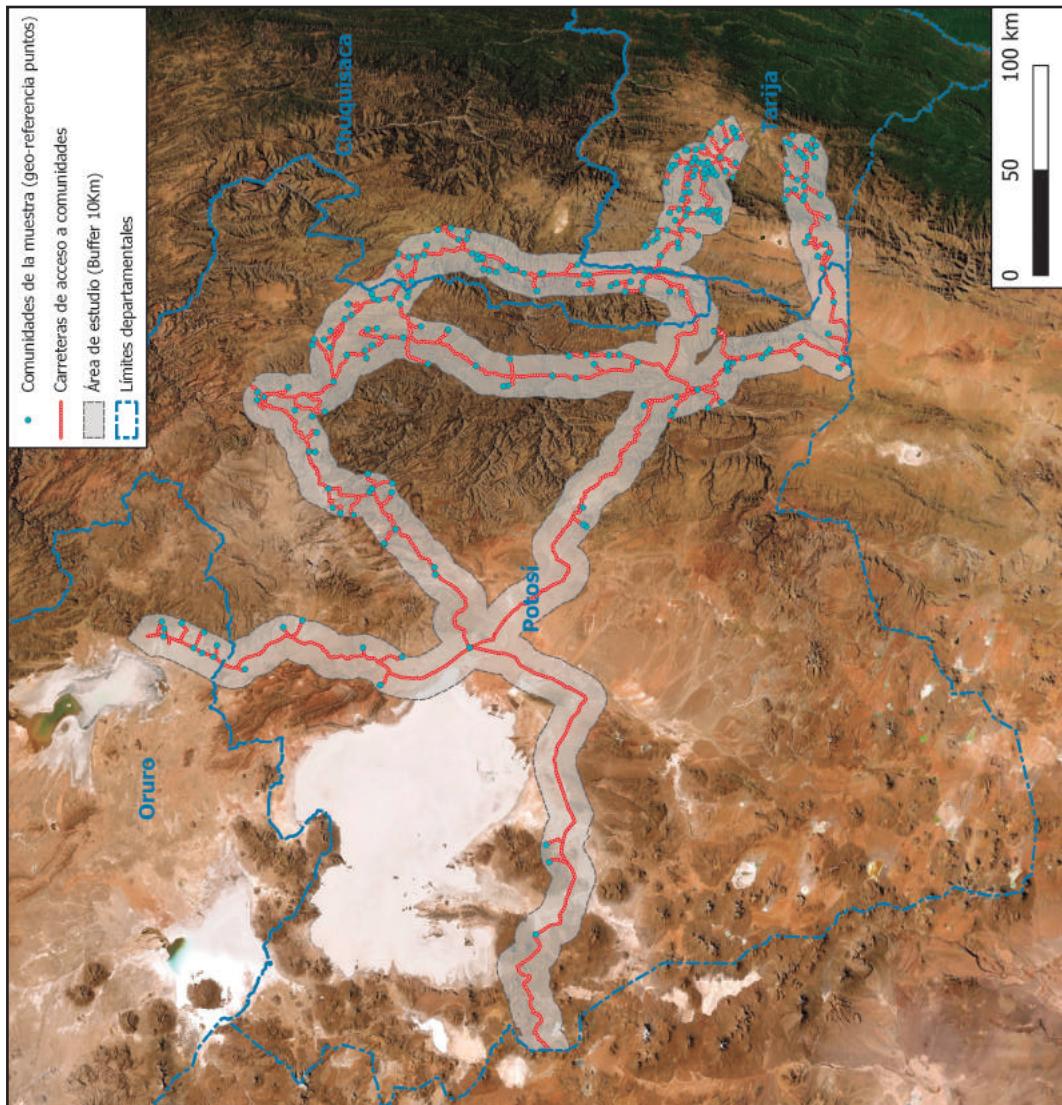
*Errores estándar en base a 10.000 réplicas de bootstrap en paréntesis*

\*\*\*  $p < 0.01$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0.1$

1/ La variable de resultado es una dicotómica que toma el valor de 1 cuando la cobertura de uso de suelos es identificada como tierra cultivada (excluye pixeles de manchas urbanas).

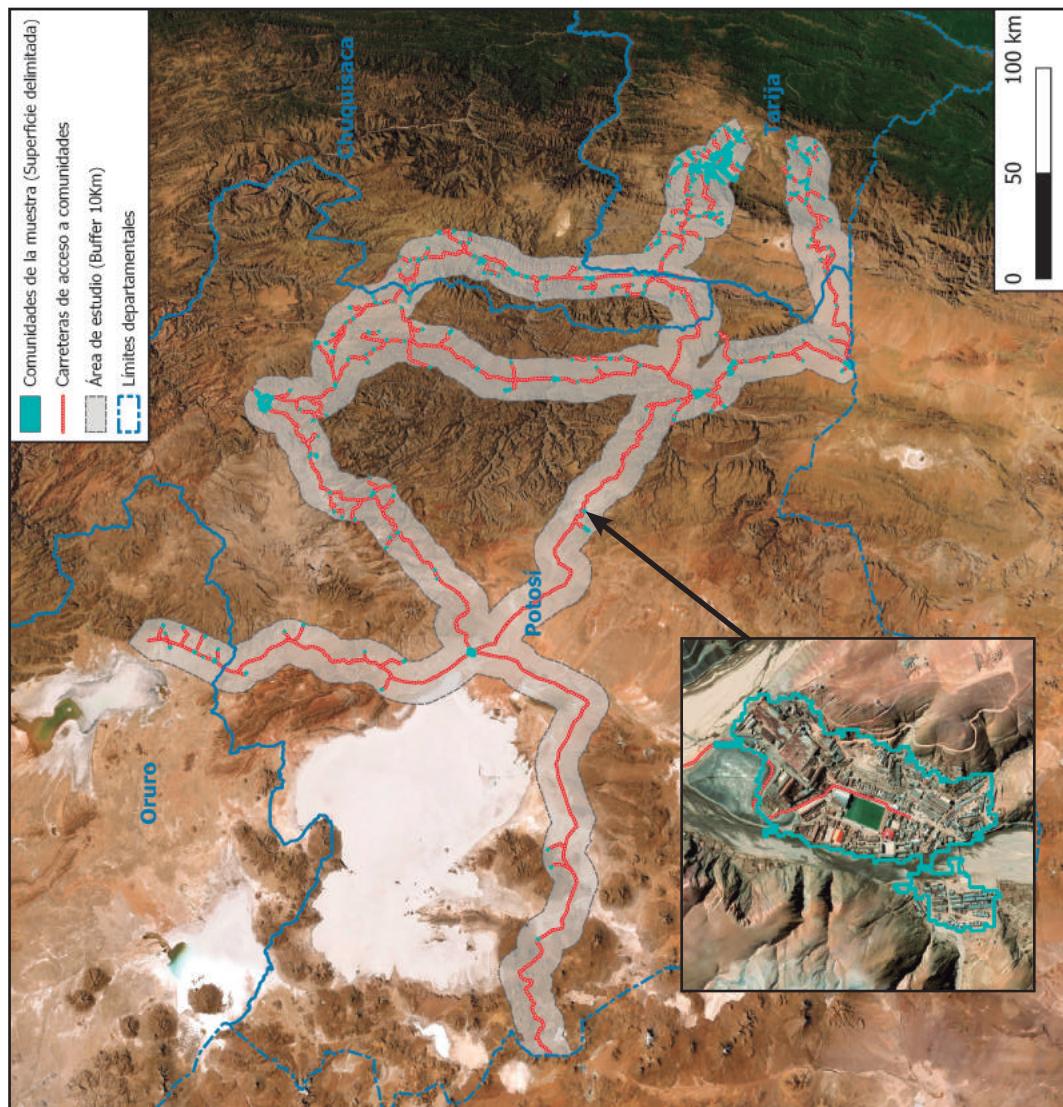
2/ La variable de resultado es una dicotómica que toma el valor de 1 cuando la cobertura de uso de suelos es identificada como mancha urbana (excluye pixeles de tierra cultivada).

GRÁFICO 1. ÁREA DE ESTUDIO, COMUNIDADES DE LA MUESTRA (GEO-REFERENCIA PUNTOS) Y  
CARRETERAS DE ACCESO A ESTAS COMUNIDADES



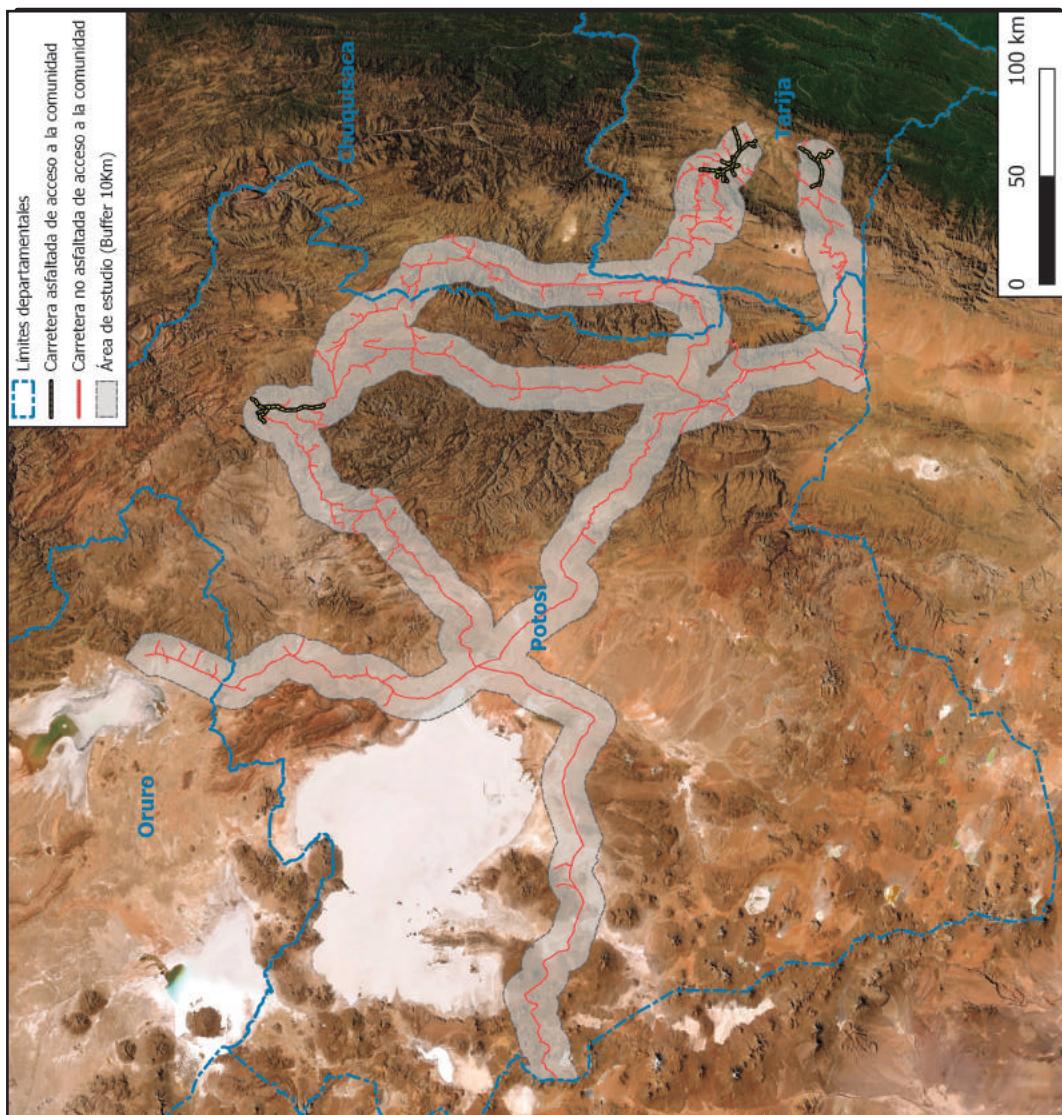
Fuente: Elaboración propia con datos de la Administradora Boliviana de Carreteras y SIG generados para el estudio.

**GRÁFICO 2. ÁREA DE ESTUDIO, COMUNIDADES DE LA MUESTRA (SUPERFICIE DELIMITADA) Y CARRETERAS DE ACCESO A ESTAS COMUNIDADES**



**Fuente:** Elaboración propia con datos de la Administradora Boliviana de Carreteras y SIG generados para el estudio.

GRÁFICO 3. CARRETERAS DE ACCESO A LAS COMUNIDADES DE LA MUESTRA, ASFALTADAS HASTA 2003

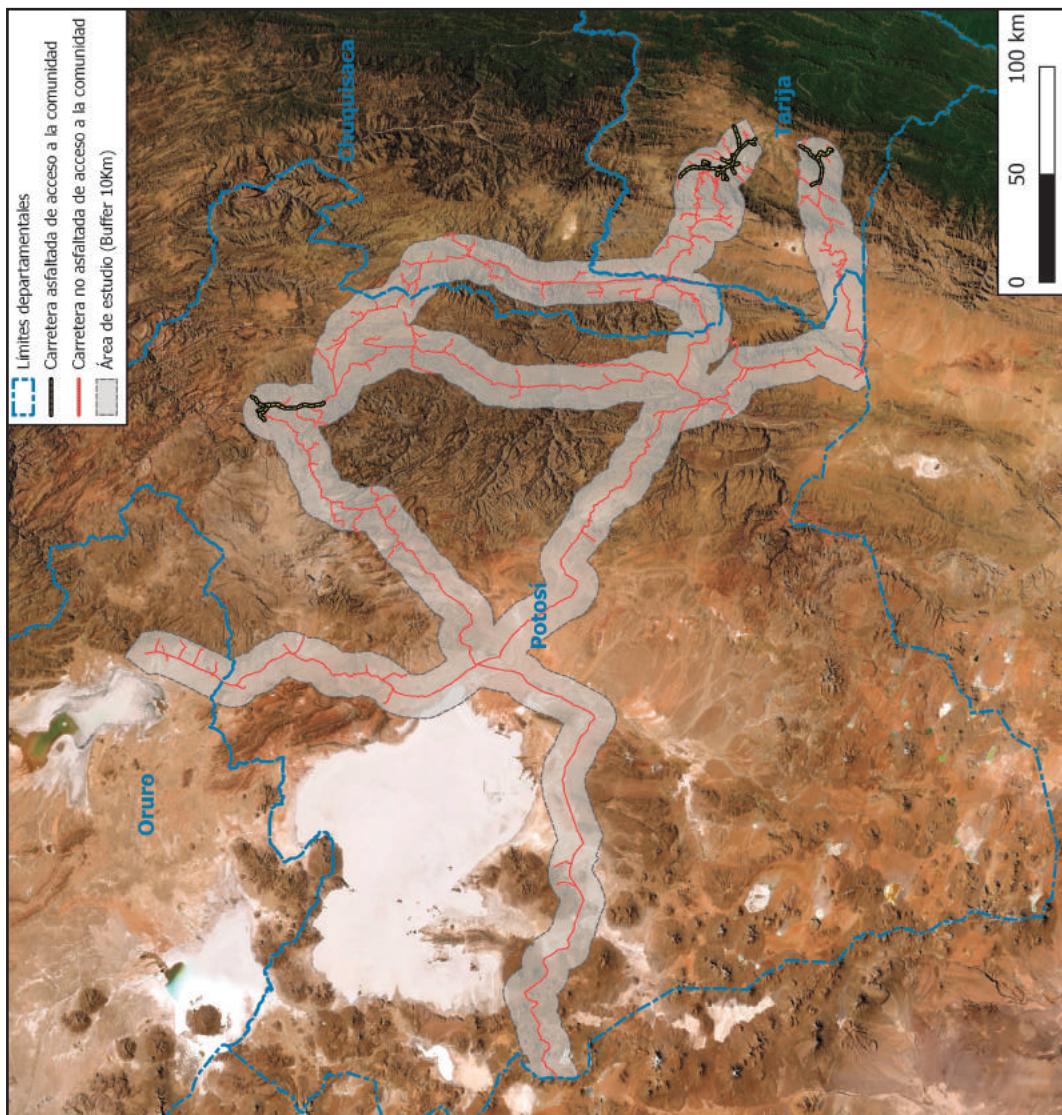


Fuente: Elaboración propia con datos de la Administradora Boliviana de Carreteras y SIG generados para el estudio.

GRÁFICO 4. CARRETERAS DE ACCESO A LAS COMUNIDADES DE LA MUESTRA, ASFALTADAS HASTA  
2004

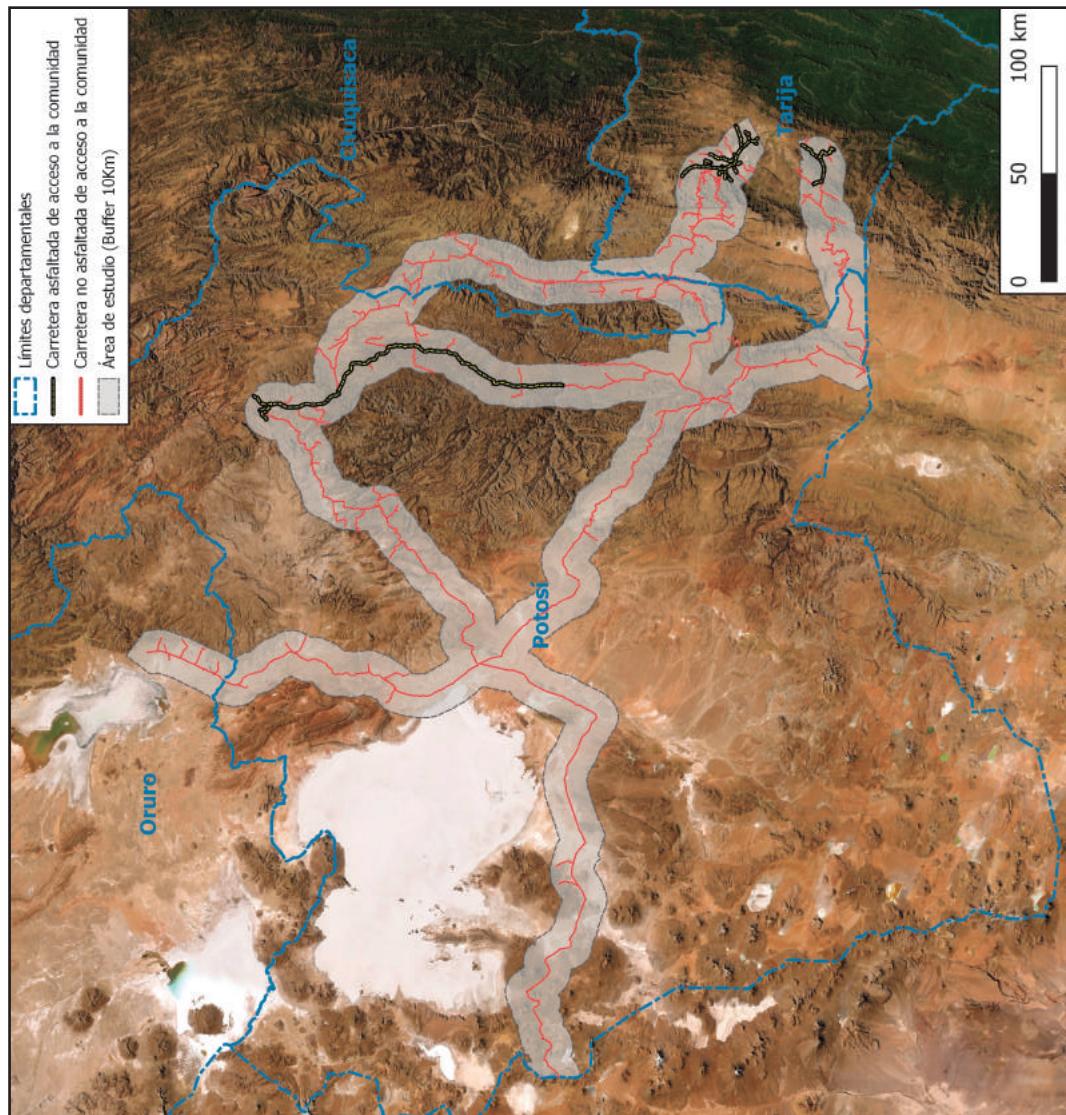
Fuente: Elaboración propia con datos de la Administradora Boliviana de Carreteras y SIG generados para el estudio.

GRÁFICO 5. CARRETERAS DE ACCESO A LAS COMUNIDADES DE LA MUESTRA, ASFALTADAS HASTA 2007



Fuente: Elaboración propia con datos de la Administradora Boliviana de Carreteras y SIG generados para el estudio.

GRÁFICO 6. CARRETERAS DE ACCESO A LAS COMUNIDADES DE LA MUESTRA, ASFALTADAS HASTA  
2009



Fuente: Elaboración propia con datos de la Administradora Boliviana de Carreteras y SIG generados para el estudio.

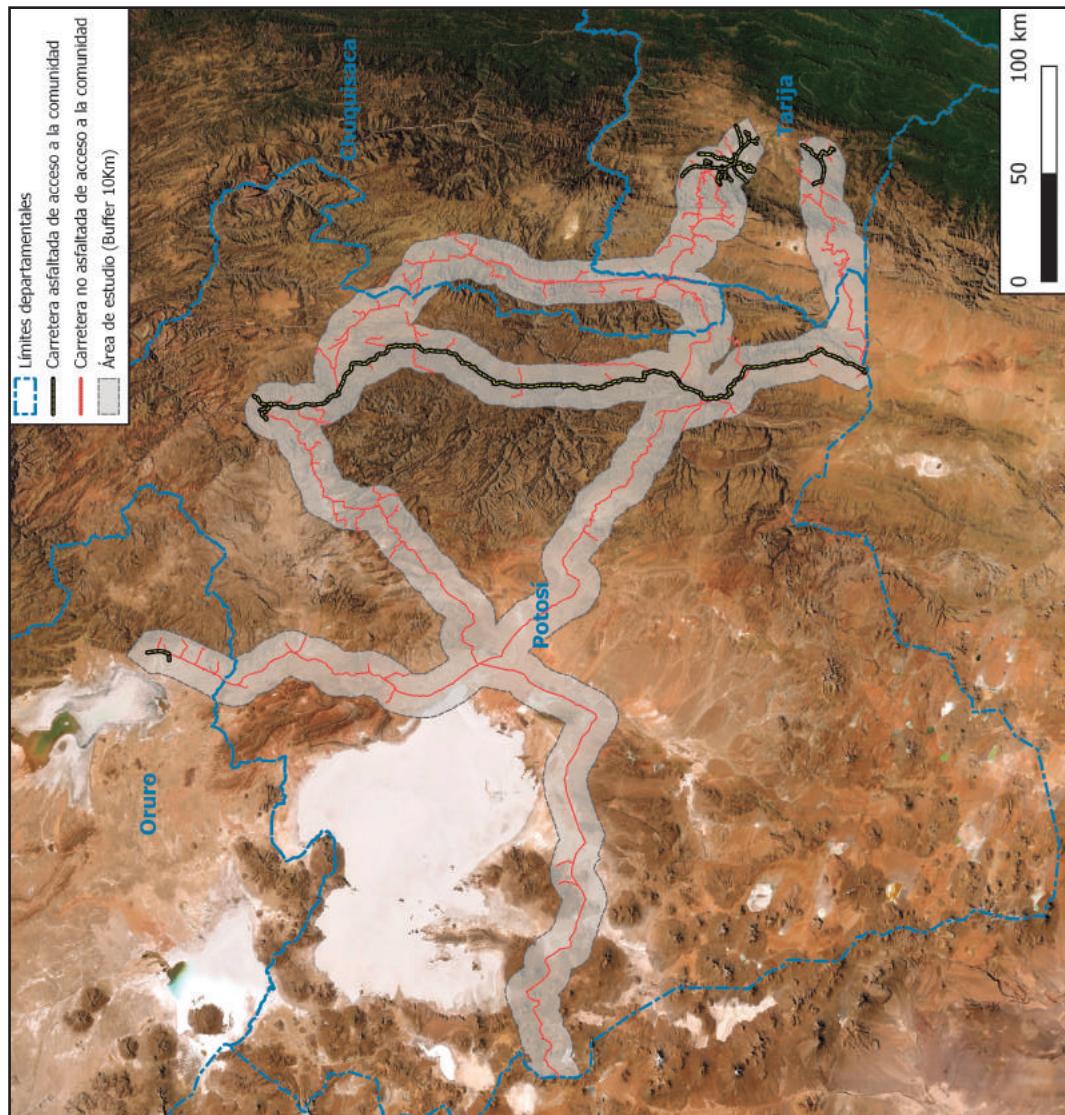
GRÁFICO 7. CARRETERAS DE ACCESO A LAS COMUNIDADES DE LA MUESTRA, ASFALTADAS HASTA 2010



Fuente: Elaboración propia con datos de la Administradora Boliviana de Carreteras y SIG generados para el estudio.

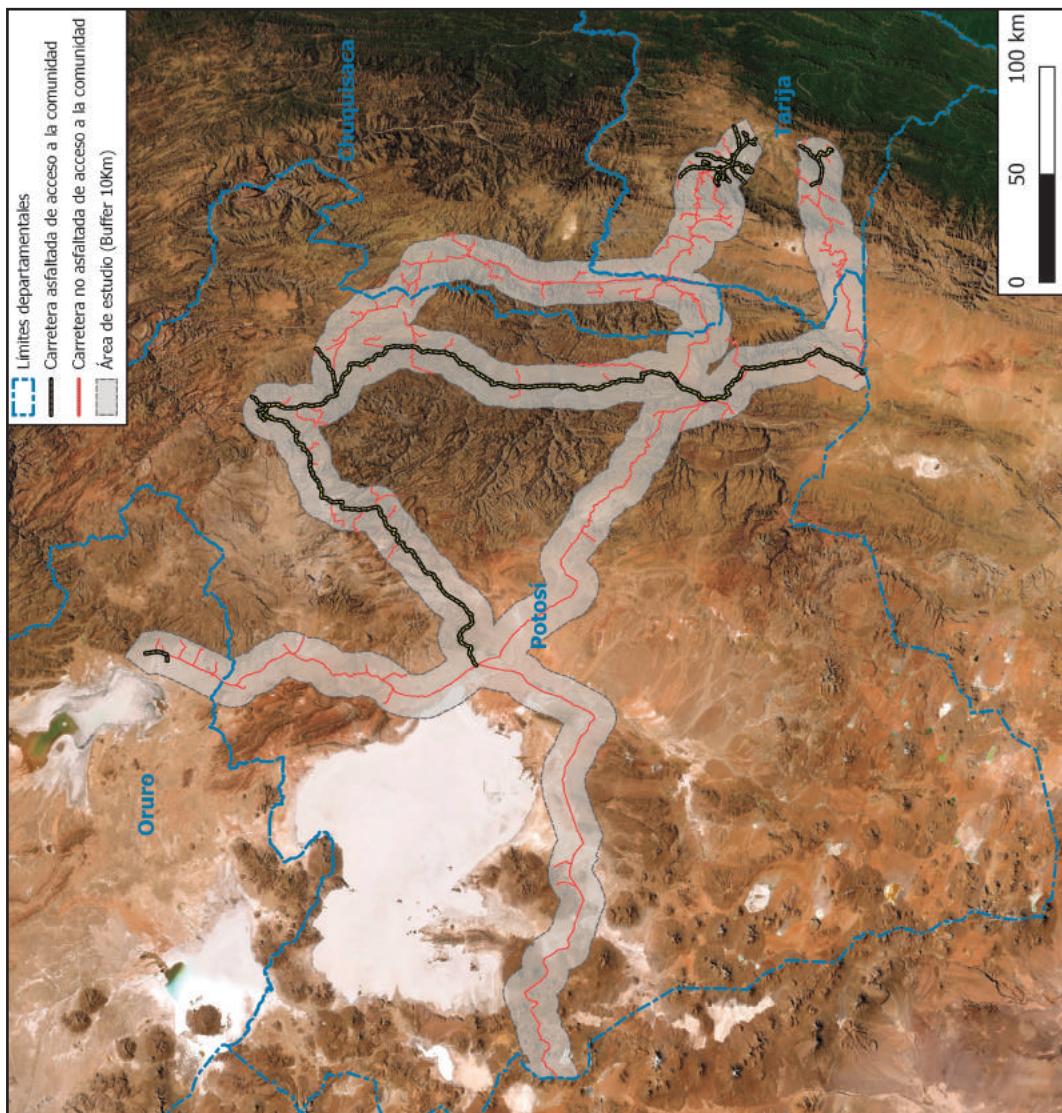
## GRÁFICO 8. CARRETERAS DE ACCESO A LAS COMUNIDADES DE LA MUESTRA, ASFALTADAS HASTA

2011



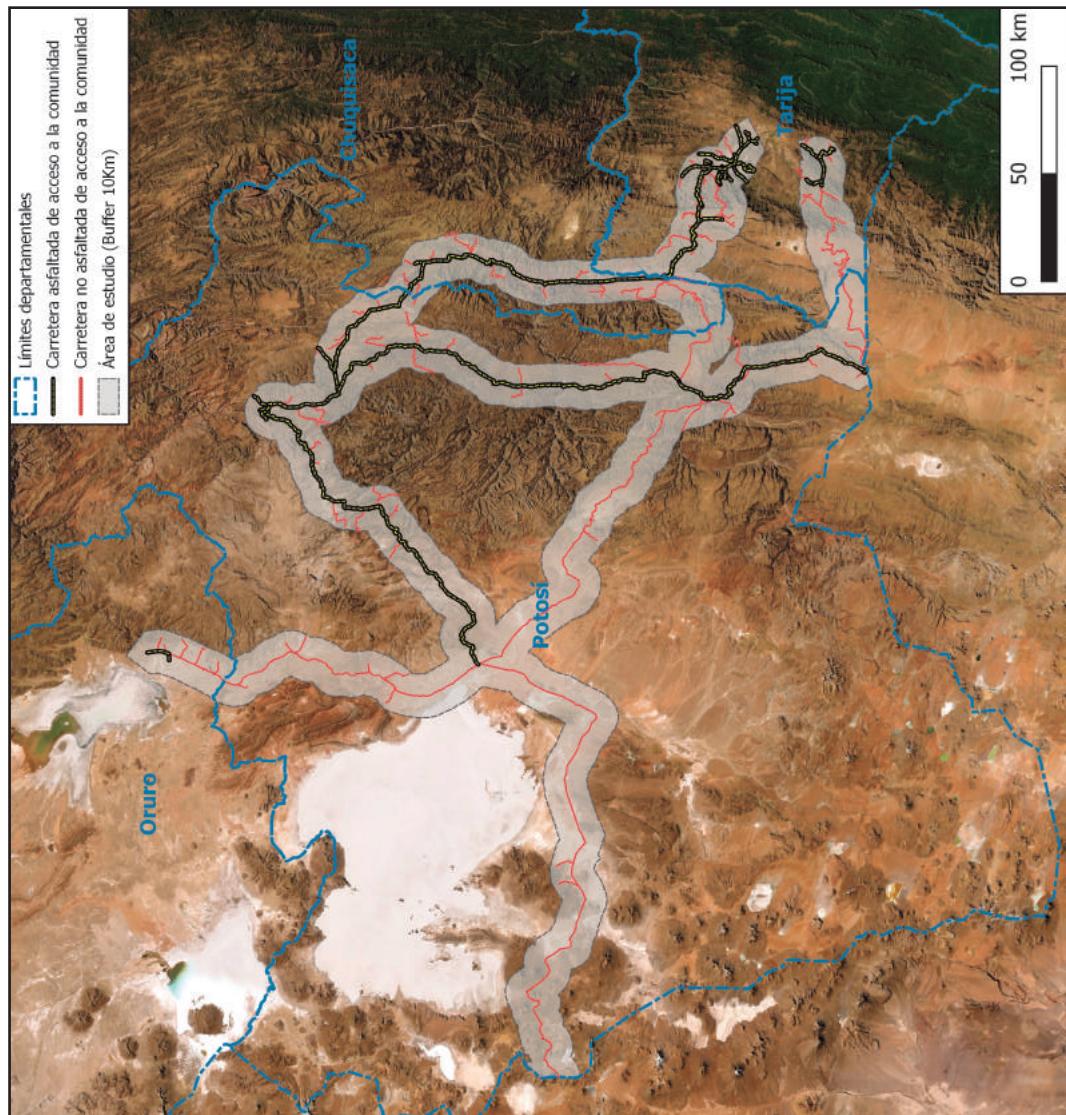
**Fuente:** Elaboración propia con datos de la Administradora Boliviana de Carreteras y SIG generados para el estudio.

GRÁFICO 9. CARRETERAS DE ACCESO A LAS COMUNIDADES DE LA MUESTRA, ASFALTADAS HASTA 2012



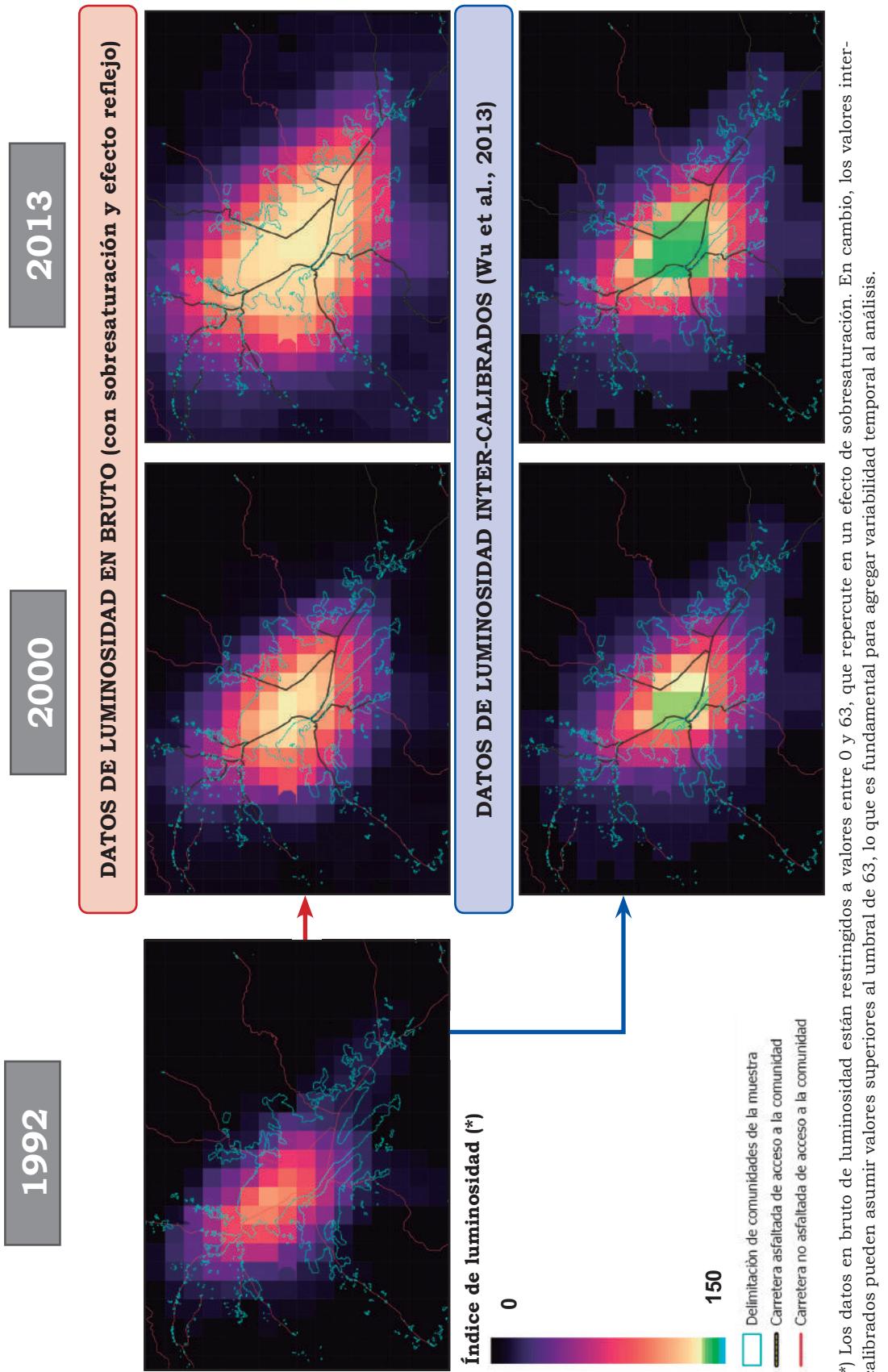
Fuente: Elaboración propia con datos de la Administradora Boliviana de Carreteras y SIG generados para el estudio.

GRÁFICO 10. CARRETERAS DE ACCESO A LAS COMUNIDADES DE LA MUESTRA, ASFALTADAS  
HASTA 2013

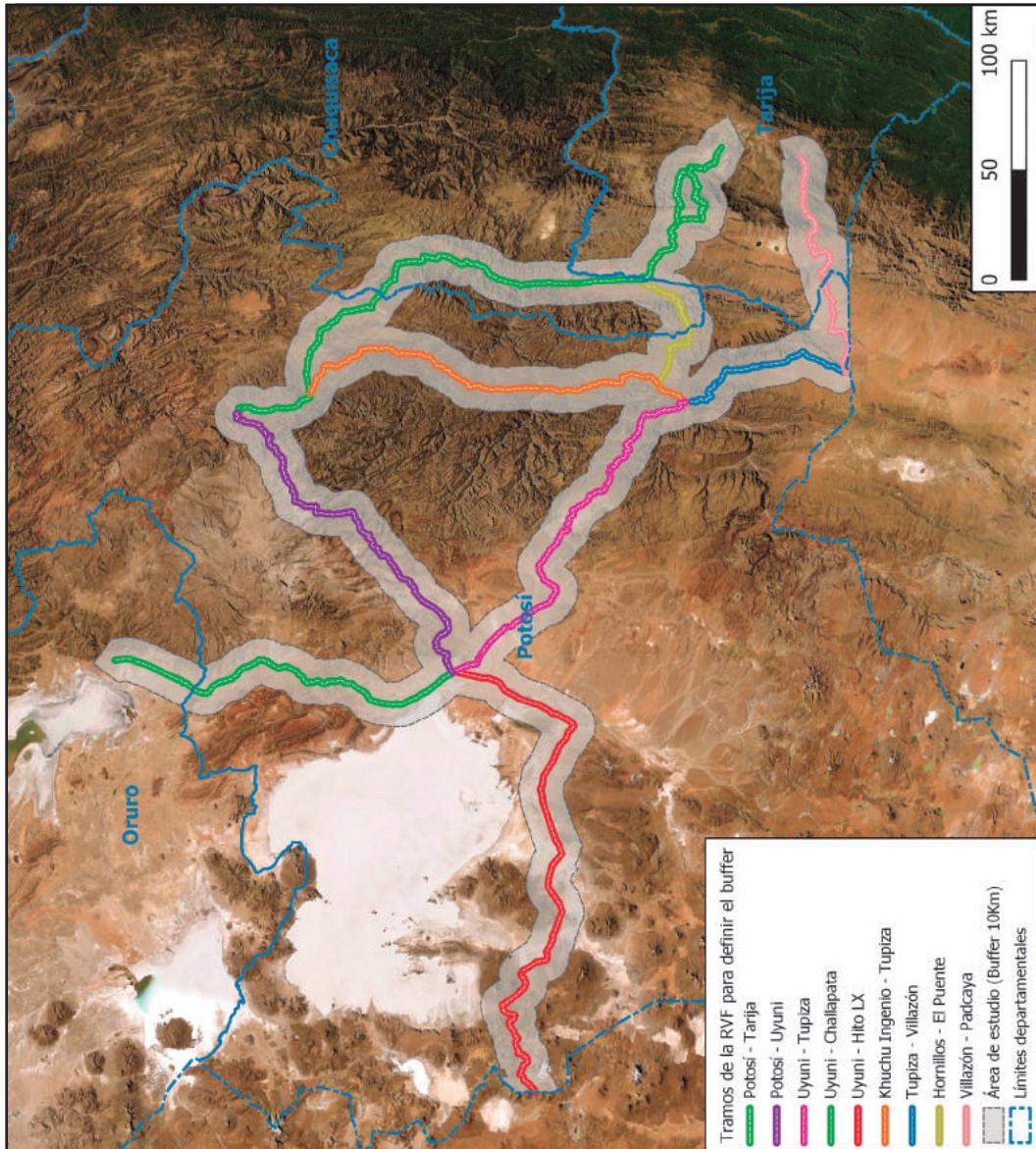


Fuente: Elaboración propia con datos de la Administradora Boliviana de Carreteras y SIG generados para el estudio.

**GRÁFICO 11. DIAGRAMA DE EJEMPLIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA INTER-CALIBRACIÓN DE LOS NIVELES DE LUMINOSIDAD PARA LA CIUDAD DE TARIJA Y COMUNIDADES ALEDAÑAS**



**ANEXO 1. ÁREA DE ESTUDIO Y TRAMOS DE LA RED VIAL FUNDAMENTAL UTILIZADOS PARA DEFINIR EL BUFFER**



**Fuente:** Elaboración propia con datos de la Administradora Boliviana de Carreteras y SIG generados para el estudio.

## ANEXO 2. LISTADO DE COMUNIDADES DE LA MUESTRA DE ESTUDIO

DEPARTAMENTO	COMUNIDADES DE LA MUESTRA
Chuquisaca	Andamarca, Bella Vista, Cachuyo, Camargo, Caracollo, Carusla, Charpaxi, Cueva Pampa, Cumuni, Esmeralda, Higuerayoc, Jailia, Jankoaque, Khaspi Cancha, Kisca Pampa, La Plateada, La Quemada, La Torre, Las Carreras, Lecori, Lime, Liquimayu, Los Sotos, Molle Pampa, Mollini, Monte Sandoval, Mujuquiri, Ñequeta, Padcoyo, Payacota del Carmen, Pioca, Porvenir, Puca Loma, Quirpini, Rodeo Kocha, San Juan del Oro, Santa Rosa de Cuchillani, Satoya, Sivinga Mayu, Socpora, Tacapi, Tacomayo, Tambo Huayco, Taraya, Tarcana, Ticuchayoc, y Villa Abecia.
Oruro	Antuta, Castilla Huma, Condo K, Guadalupe, Pacullani, Sevaruyo, Siquiri Villa Blanca, Soraga, y Urmiri
Potosí	Agua de Castilla, Alto Mamahota, Animas, Arislaca, Ayoma Alta, Ayoma Baja, Bacuyo, Belen, Calazaya, Calcha, Calderilla, Caltapi Bajo, Caltapi Puncu, Carma, Cazon, Chacala, Chacopampa, Challa, Challa Pampa, Challajtiri, Chaquilla, Charahota, Charara, Charcoma, Charcoyo, Chifloca, Chiquira, Chuquiago, Churcuita, Ckajmiri, Cornaca, Cotagaita, Cuchagua, Cuchu Ingenio, El Molino, El Tambo, Huatacalla, Jatun Jara, Jesus del Valle, Karachipampa, Keluyo Cusco, Killipiza, La Hoyada - Sub Mojo, La Torre, Lakachaca, Lampaya, Laytapi, Manzanal, Mañica, Marcavi, Matancillas, Molino Pampa, Molle Grande, Moraya, Nohata, Oploca, Otavi, Palca Cancha, Palca de Flores, Papitaño, Pecataya, Peña Amarilla, Porco, Potosí, Puna, Puquilia, Riberalta, Saladillo, Salitre, San Pedro de Opoco, San Pedro de Quemes, San Silvestre, Santa Rosa, Santiago de Larco, Santiago K, Santo Rosario, Siete Suyos, Sococha, Suipacha, Tacora, Telamayu, Tica Tica, Tocla Mancho, Tomola, Topala, Toquenza, Totora Palca, Tuctapari, Tumusla, Tupiza, Uyuni, Vichacla, Vilamani, Villa Concepción, Villa Providencia, Villa Victoria, Villazón, Vinto, y Yagua Yagua.
Tarija	Abra de la Cruz, Abra de San Miguel, Alisos, Animas, Antigal, Cabildo, Cadillar, Camacho, Campanario, Campo de Vasco, Canasmoro, Canchasmayo, Cañas, Carachimayo, Carolina, Carrizal, Chala Marca, Chaupiuno, Chayaza, Chilcayo, Cienega Frontera, Cieneguillas, Cochas, Coimata, Corana Sur, Corral Grande, El Molino, El Puente, El Puesto, El Saire, Erquis Ceibal, Erquis Norte, Erquis Oropesa, Erquis Sur, Fuerte Grande, Gamoneda, Guerra Huayco, Huacanqui, Huancar, Huarmachi, Huayllajara, Iscayachi, Jurina, La Cabaña, La Parroquia, La Pintada, La Quiñua, La Victoria, Lorus, Marquiri, Monte Cercado, Monte Chico, Monte Mendez, Obispo del Carmen, Orozas Centro, Padcaya, Papa Chacra, Paschani, Pirca Cancha, Pigua Pampa, Pompeya, Portillo, Pucu Pampa, Pueblo Nuevo, Puesto Grande, Pulario, Quebrada de Cañas, Quebrada Grande, Quebrada Honda, Rancho Norte, Rancho Sur, Rincón de la Victoria, Rincón Grande, Rosario, Rumicancha, Rumy Cancha, Sama, San Antonio, San Antonio la Cabaña, San Francisco, San Isidro de Rejara, San José de Chaguaya, San Lorencito, San Lorenzo, San Mateo, San Pedro de Buena Vista, Santa Ana de Belén, Santa Ana la Nueva, Santa Ana la Vieja, Santa Barbara Chica, Sella Cercado, Sella Méndez, Tacuara, Tarija, Tolomosita Centro, Tomatas Grande, Trancas, Tres Cruces, Tres Morros, Turumayo, Villa Nueva, Yuticancha, y Zona Miraflores de Cañas.

## ANEXO 3. PRUEBAS DE TENDENCIAS PARALELAS Y PLACEBO

VARIABLES	(1) Panel Balanceado <sup>1/</sup>	(2) Panel no Balanceado <sup>2/</sup>	(3) Placebo <sup>3/</sup>
(Tendencia * Tratados)	0,00930 (0,0112)	0,00113 (0,00113)	
Tendencia	-0,00588 (0,00469)	0,000614 (0,000585)	
Tratamiento			0,0475 (0,0381)
Observaciones	1.560	4.870	2.600
Efecto Fijo Comunidad	SI	SI	SI
Efecto Fijo Año	SI	SI	SI
Efecto Fijo Satélite	SI	SI	SI
Covariantes Contemporáneos	SI	SI	SI
Covariantes Rezagados	t-1/ t-2	t-1/t-2	t-1/ t-2
R2	0,0806	0,157	0,0117

*Errores estándar ajustados por clúster a nivel de comunidad en paréntesis.*

\*\*\*  $p < 0.01$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0.1$

1/ En la base original, se eliminan todas las observaciones después de 2002.

2/ En la base original, se eliminan todas las observaciones desde el año en que empieza el tratamiento para cada comunidad.

3/ En la base original, se reemplazan los valores de luminosidad del periodo 2006-2013, por valores rezagados del periodo 1992-1999.

**ANEXO 4. EFECTO TRATAMIENTO EN LA LUMINOSIDAD DE LAS COMUNIDADES, DATOS DE  
LUMINOSIDAD SIN CALIBRAR**

VARIABLES	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Tratamiento	0,445*** (0,0700)	0,268*** (0,0729)	0,268*** (0,0729)	0,245*** (0,0683)	0,246*** (0,0688)	0,242** (0,0686)
Observaciones	5.720	5.720	5.720	5.460	5.460	5.460
Efecto Fijo Comunidad	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Efecto Fijo Año	NO	SI	SI	SI	SI	SI
Efecto Fijo Satélite	NO	NO	SI	SI	SI	SI
Covariantes contemporáneos	NO	NO	NO	SI	SI	SI
Covariantes Rezagados	NO	NO	NO	NO	t-1	t-1/t-2
R2	0,0352	0,0864	0,0886	0,114	0,114	0,115

*Errores estándar ajustados por clúster a nivel de comunidad en parentesis.*

\*\*\*  $p<0,01$ , \*\*  $p<0,05$ , \*  $p<0,1$

*Notas: Para las regresiones se utilizaron los datos de luminosidad originales; es decir, no fueron inter-calibrados.*