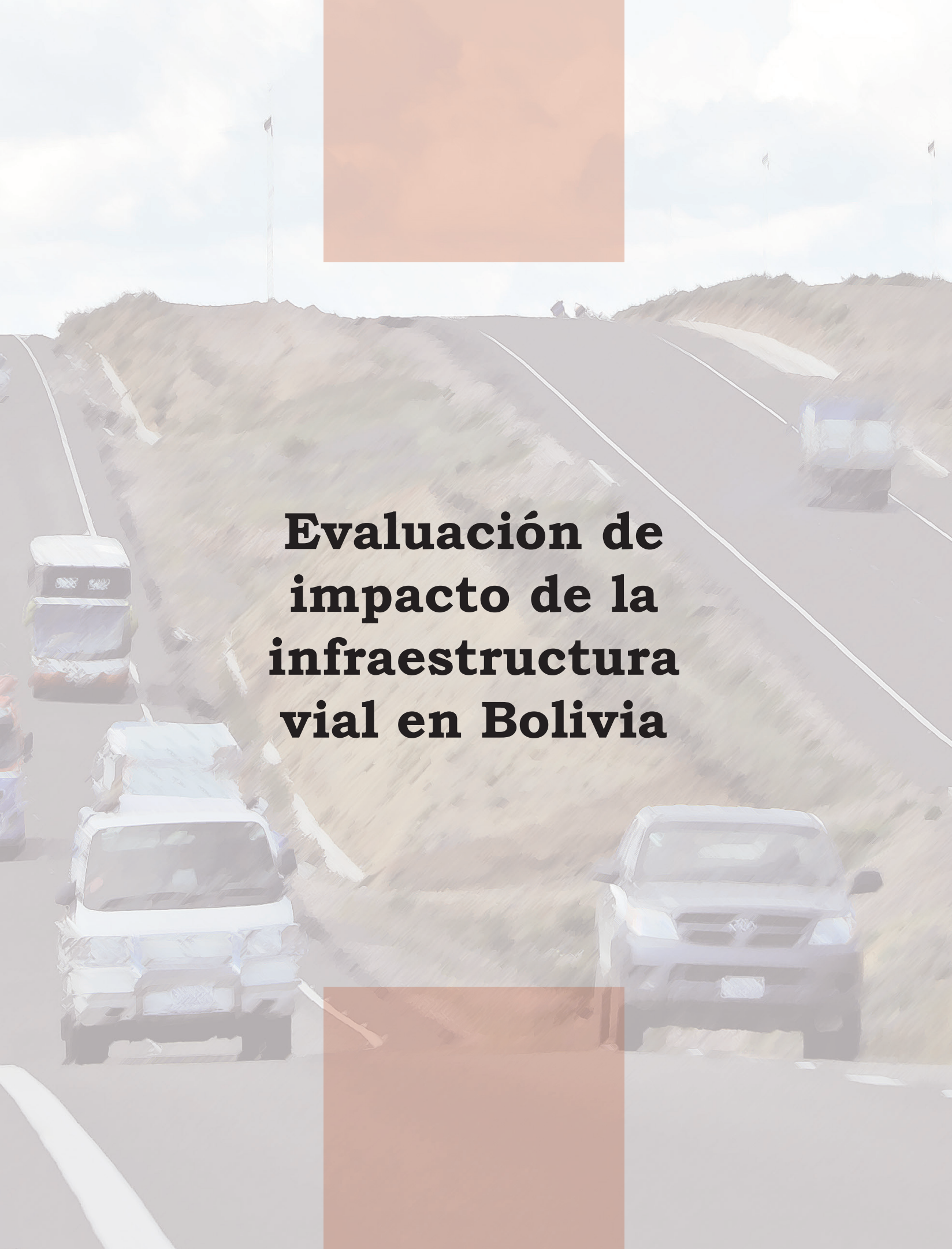


EVALUACIÓN DE IMPACTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL EN BOLIVIA



OCTUBRE - 2020





Evaluación de impacto de la infraestructura vial en Bolivia

Titulo original: “Evaluación de impacto de la infraestructura vial en Bolivia”

Autoridades responsables:

María Félix Delgadillo Camacho
DIRECTORA GENERAL EJECUTIVA DE UDAPE

Alvaro Lazo Suarez
SUBDIRECTOR DE POLÍTICA MACROSECTORIAL

Coordinador general y responsable de edición:

Osmar Bolivar Rosales

Autores de las investigaciones¹:

Osmar Bolivar Rosales

Darwin Ugarte Ontiveros

Diseño, diagramación e impresión:

Editorial del Estado Plurinacional de Bolivia

Depósito Legal: 4-1-148-20PO

©Unidad de Análisis de Políticas Sociales y Económicas (UDAPE)

Palacio de Comunicaciones, Piso 18

Av. Mariscal Santa Cruz, La Paz, Bolivia

Teléfonos: (+591) 2 -2375512, 2374628

Fax: (+591) 2-2372333

Correo electrónico: udape@udape.gob.bo

Website: www.udape.gob.bo

Casilla postal: 12087, La Paz

La elaboración e impresión de este documento ha sido posible gracias al apoyo técnico y financiero del Banco de Desarrollo de América Latina - CAF.

¹ Los análisis, resultados e interpretaciones de las investigaciones en el presente libro son la opinión de los autores y no reflejan necesariamente el punto de vista del Banco de Desarrollo de América Latina (CAF) o de la Unidad de Análisis de Políticas Sociales y Económicas (UDAPE).

El presente libro forma parte de la Cooperación Técnica “Evaluación de impacto de la infraestructura de transporte y caracterización socioeconómica” suscrita entre la Unidad de Análisis de Políticas Sociales y Económicas (UDAPE) y el Banco de Desarrollo de América Latina (CAF). Las opiniones, errores u omisiones expresadas en las investigaciones contenidas en el libro son de entera responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan la posición de CAF o UDAPE.



CONTENIDO

Presentación.....	7
-------------------	---

Reconocimientos.....	9
----------------------	---

CAPÍTULO 1.

Evaluación de impacto de la infraestructura vial en el crecimiento económico: Una aproximación con base en información satelital de luminosidad para Bolivia.....	11
---	----

CAPÍTULO 2.

Evaluación de impacto de la infraestructura vial en las condiciones socioeconómicas de la población.....	71
---	----



PRESENTACIÓN

Históricamente, Bolivia ha tenido una deficiencia en la cantidad y calidad de la infraestructura de transporte, en comparación a otras economías de la región. No obstante, asociado al dinamismo de la economía boliviana, desde el segundo quinquenio de los años 2000 se asignaron importantes recursos financieros para la construcción de carreteras, lo que se tradujo en una expansión considerable de la longitud de tramos pavimentados, sobre todo de la Red Vial Fundamental (RVF) del país.

Además, el Banco de Desarrollo de América Latina (CAF) se constituye en un socio estratégico para el desarrollo de la infraestructura de transporte en Bolivia, debido a que tiene un rol relevante en el financiamiento de estos proyectos.

Dadas estas condiciones, es de gran relevancia evaluar el impacto de estas inversiones. Es más, para el caso boliviano, en la literatura se observa un vacío con relación a estudios sobre los efectos de la infraestructura vial en aspectos como el crecimiento económico, pobreza, acceso a servicios básicos, etc.

De esta manera, la Unidad de Análisis de Políticas Sociales y Económicas (UDAPE) y CAF tienen el agrado de poner a disposición de la academia, instituciones públicas y privadas, hacedores de política e interesados en general, el libro “Evaluación de impacto de la infraestructura vial en Bolivia”.

Esta publicación surge de la Cooperación Técnica entre UDAPE y CAF, con el objetivo de evaluar el impacto de las inversiones en la infraestructura vial para Bolivia. En este marco, el libro está dividido en dos capítulos, que contienen estudios sobre los efectos macro y microeconómicos de la construcción de carreteras en Bolivia.

Las investigaciones incluidas en el libro se enmarcan en métodos científicos rigurosos. Concretamente, en ambos casos se presenta evidencia empírica cimentada en la aplicación de técnicas de evaluación de impacto; estas metodologías son útiles para medir las relaciones causales entre los bienes y servicios que otorgan los programas y/o proyectos públicos.

Además, se debe puntualizar que para el desarrollo del primer estudio se asume un enfoque innovador para la generación de información, toda vez que, se recurre a técnicas de teledetección en imágenes satelitales para caracterizar a

comunidades de Bolivia. Así también, es importante mencionar que para el segundo estudio se realizaron encuestas a hogares en dos puntos del tiempo; línea de base en 2009 y encuesta de seguimiento el año 2019.

De esta manera, el libro no sólo es un aporte valioso para la literatura, sino también proporciona insumos técnicos para la gestión pública en base a evidencia. Específicamente, el contenido del libro proporciona al lector una aproximación cuantitativa de los efectos de la inversión en infraestructura vial, insumos para evaluar la efectividad de las inversiones y la necesidad de ajustes –si corresponde–, así como, información para el análisis costo-efectividad de estos proyectos.

María Félix Delgadillo Camacho

**Directora General Ejecutiva
UDAPE**

Gladis Genua Covino

**Representante, Bolivia
CAF**



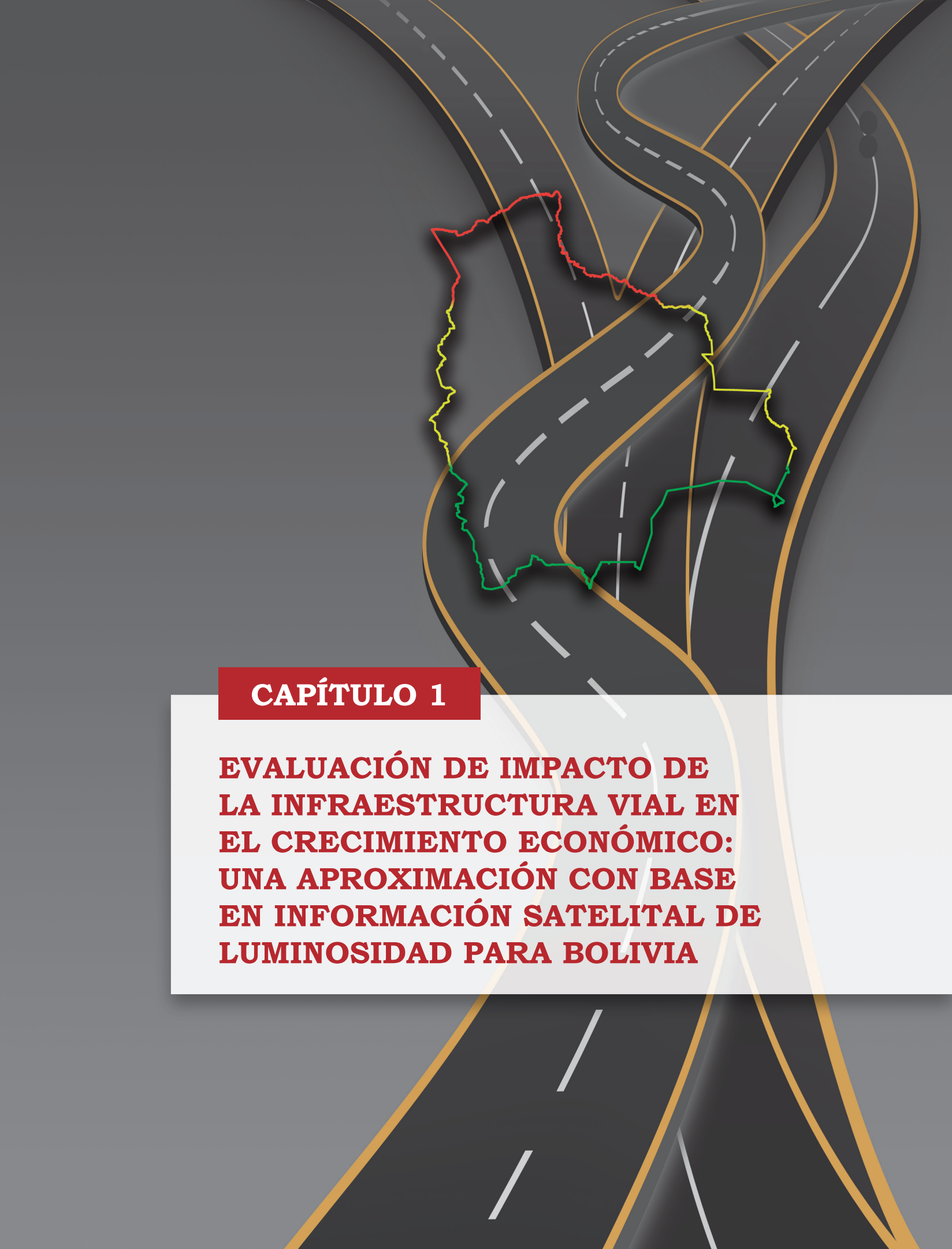
RECONOCIMIENTOS

Las investigaciones presentadas en el libro fueron posibles gracias a la Cooperación Técnica no reembolsable del Banco de Desarrollo de América Latina (CAF) y la Unidad de Análisis de Políticas Sociales y Económicas (UDAPE). Con relación a CAF, se reconocen los aportes de: Gladis Genua y Patricia Alborta, que lideraron las gestiones para la suscripción y desarrollo operativo de la cooperación; Eduardo Fagre, Lian Allub y otros miembros de CAF que aportaron constantemente con una retroalimentación técnica para el desarrollo de los estudios; Nicole Mier y Andrea Beltrán, que trabajaron en los temas administrativos; así como, el resto del personal vinculado a CAF que emitió sus comentarios sobre las investigaciones.

Asimismo, se extiende el reconocimiento a la Agencia Boliviana Espacial (ABE), que trabajó en el procesamiento de información de imágenes satelitales para la generación de datos de uno de los estudios. En especial se reconoce a: Roger Apaza por ser el lazo en la coordinación para los trabajos realizados entre UDAPE y la ABE; Lizandra Paye y al equipo del Laboratorio de Observación de la Tierra, que estuvieron a cargo del trabajo técnico.

También, se reconoce el trabajo realizado por la empresa Encuestas y Estudios para el levantamiento de información de campo sobre características socioeconómicas de hogares en el territorio nacional.

Igualmente, fueron valiosos los comentarios expresados por representantes de UDAPE y del Ministerio de Planificación en etapas preliminares de las investigaciones. Por último, se agradece el compromiso y trabajo de los autores, que están citados en las investigaciones correspondientes.

The background of the cover is a stylized, 3D-rendered illustration of a dark grey asphalt road with white dashed lane markings and solid yellow edge lines. The road curves and winds across the frame. Overlaid on this road is a map of Bolivia, outlined in a bright red color. The map is positioned in the upper-middle section of the cover, with its outline following the general shape of the country. The overall design is modern and thematic, relating to infrastructure and transportation.

CAPÍTULO 1

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

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

Osmar Bolivar 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.

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)¹, 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

¹ 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 RVF².

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 RVF³.

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

² Datos según el Ministerio de Obras Públicas, Servicios y Vivienda.

³ 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)⁴. Estos autores demuestran que la luminosidad es un proxy válido de la actividad económica, tanto a nivel temporal como a escala geográfica⁵. 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

⁴ 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).

⁵ 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, Holobacă, 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

Sintético⁶, 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. DATOS⁷

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,

⁶ 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).

⁷ 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 comunidades⁸.

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 digitales⁹, que están compuestas por una matriz de puntos elementales –píxeles–, 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–¹⁰.

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 2000-2013¹¹. En los siguientes acápite se explica con mayor detalle la muestra, el tratamiento y variables que integran el estudio.

⁸ 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.

⁹ 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.

¹⁰ 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).

¹¹ 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 0,86Km². Bajo esta configuración, esta área está conformada por 30.993 píxeles¹².

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 CAF¹³.

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.

¹² La dimensión de 0,86Km² para los píxeles coincide con la resolución espacial de las imágenes de luminosidad, cuyo detalle es profundizado en el acápite 3.4.

¹³ 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 carreteras¹⁴. 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 superficie¹⁵. 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”¹⁶.

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.** Pertenecen 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

¹⁴ 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).

¹⁵ 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 censuado con la sección de cartografía del Instituto Geográfico Militar – IGM Bolivia. Este archivo puede ser descargado de la plataforma GeoBolivia.

¹⁶ 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)¹⁷.

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 oficial¹⁸.

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 superponen a los límites¹⁹ 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 resolución²⁰, 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

¹⁷ 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 multispectral de datos en 13 bandas en el espectro visible, en el infrarrojo cercano e infrarrojos de onda corta además del espectro electromagnético.

¹⁸ 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.

¹⁹ 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.

²⁰ 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 2015²¹.

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 m²; infraestructura menor a esta superficie no fue considerada o dependiendo de su ubicación se las agrupó 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

²¹ 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 estudio²².

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)²³. 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 0,86Km². 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).

²² 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.

²³ 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 ejemplificación 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 sobrepone o está dentro de la delimitación de las comunidades (P es el total de píxeles sobrepuestos y dentro los límites) para cada comunidad i .

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

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.

²⁴ 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 luminosidad²⁵.

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 NDVI²⁶, se utilizaron imágenes del programa Landsat; específicamente, de los sensores: OLI de Landsat 8, TM para el Landsat 5 y ETM para el Landsat 7²⁷.

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

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

²⁶ 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 fórmula:

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

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

²⁷ Los Landsat son una serie de satélites contruidos 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 10.30 μm a 12.50 μm . (μm = longitud de onda). El Satélite Landsat 7, activo desde 1999, tiene una resolución multispectral 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 DesInventar²⁸.

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 análisis²⁹.

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 Dignidad³⁰. 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.

²⁸ 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.

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

³⁰ 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 contemporáneos³¹. λ_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. α_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

³¹ 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, η_s , para controlar por diferencias tecnológicas que puedan influenciar los valores de luminosidad³². Por último, ε_{its} es el termino de error. Los errores estándar son ajustados por clúster a nivel de comunidad, para corregir la potencial correlación contemporánea –dentro la comunidad– y serial³³.

Bajo este esquema, el efecto causal es aproximado por el coeficiente β_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. β_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

³² 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).

³³ 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 δ_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 1992-2013³⁴. 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 satélite³⁵. Bajo esta estructura, el parámetro de interés es γ_1 ; *ceteris paribus*, γ_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)³⁶. Según estas estimaciones, en promedio,

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

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

³⁶ 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 beneficiadas³⁷.

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 incurriría si no se incluyen dichas variables de control³⁸.

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

³⁷ 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).

³⁸ 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 inter-calibración.

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 similar³⁹.

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

³⁹ 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, δ_{-k} representa el efecto tratamiento de carreteras asfaltadas concluidas k años antes. Concretamente, en la especificación se tendrán los siguientes coeficientes estimados δ_{-0} , δ_{-1} , δ_{-2} , δ_{-3} , y δ_{-4} ⁴⁰, 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 termino $\sum_{k=0}^Q \delta_{+k} T_{it+k}$, 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, δ_{+1} y δ_{+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, δ_{+1} y δ_{+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%.

⁴⁰ Sólo para el caso de la variable T_{it-4} , que está asociada a δ_{-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 β_1 y $\xi_{PIB-Luminosidad}$. El primero, β_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 *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*.

$$\text{Incidencia de pobreza}_{it} = \frac{(\text{Pobres moderados}_{it} + \text{Indigentes}_{it} + \text{Marginales}_{it})}{\text{Población total}_{it}}$$

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 θ_1 , dado que captura 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 literatura⁴¹ 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 0,86km²– que se superponen o están dentro de la delimitación de las comunidades de la muestra, para el año 2000 –pretratamiento– y 2013 –postratamiento–⁴².

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.

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

⁴² 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 superponen 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 ρ_1^{cul} y ρ_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 ^{1/}	(2) PIB nominal Original ^{1/}	(3) PIB real Calibrado ^{2/}	(4) PIB nominal Calibrado ^{2/}
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	t-1/t-2	t-1/t-2	t-1/t-2
R2	0,307	0,308	0,289	0,251

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
R ²	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 ^{1/}	(2) Pobres ^{2/}
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) Efectos en el tiempo	(2) Efectos anticipación	(3) Efecto LP 2000-2013	(4) 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 postratamiento.*

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

VARIABLES	(1) Tierra cultivada ^{1/}	(2) Mancha urbana ^{2/}
(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

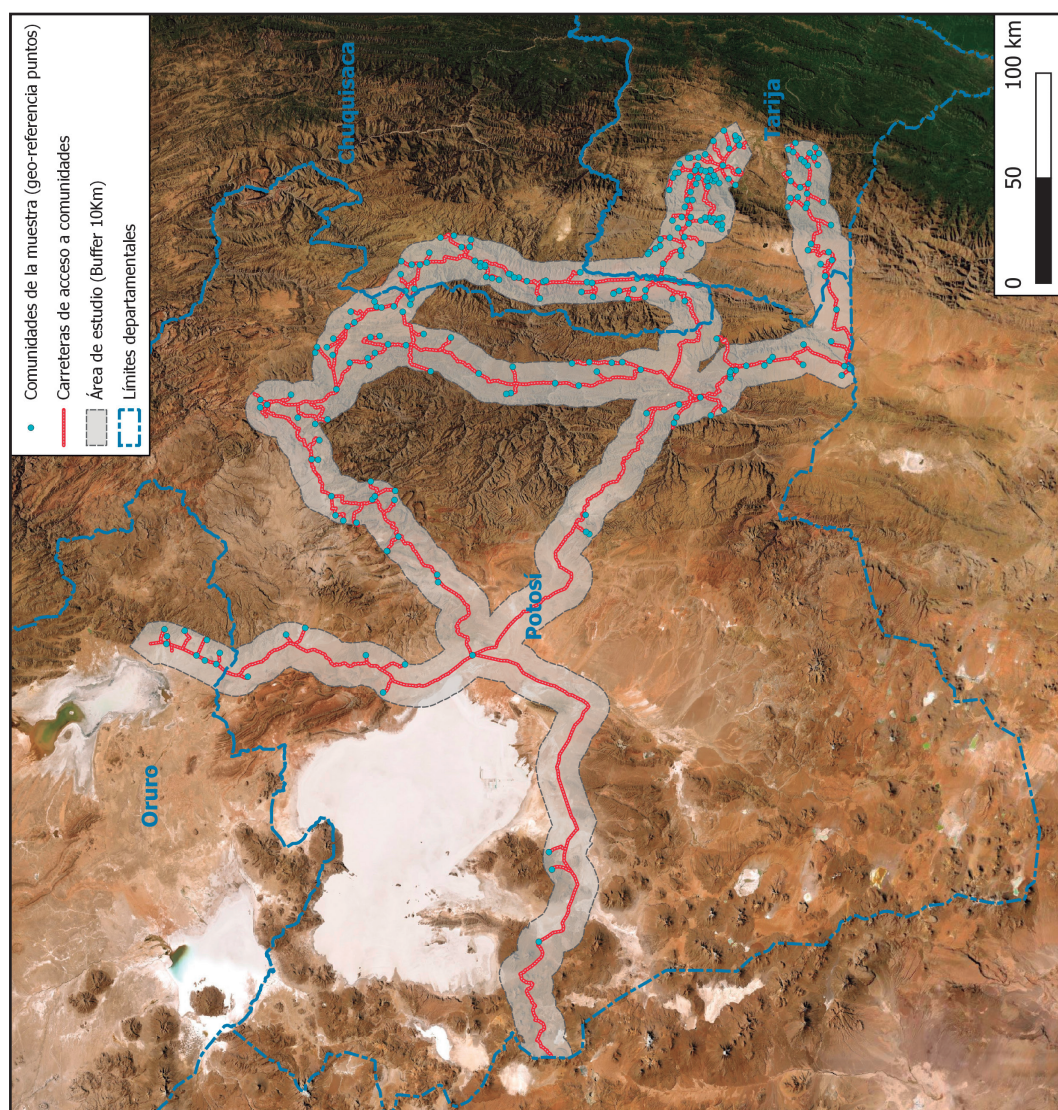
Errores estándar en base a 10.000 réplicas de bootstrap en paréntesis

**** 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).

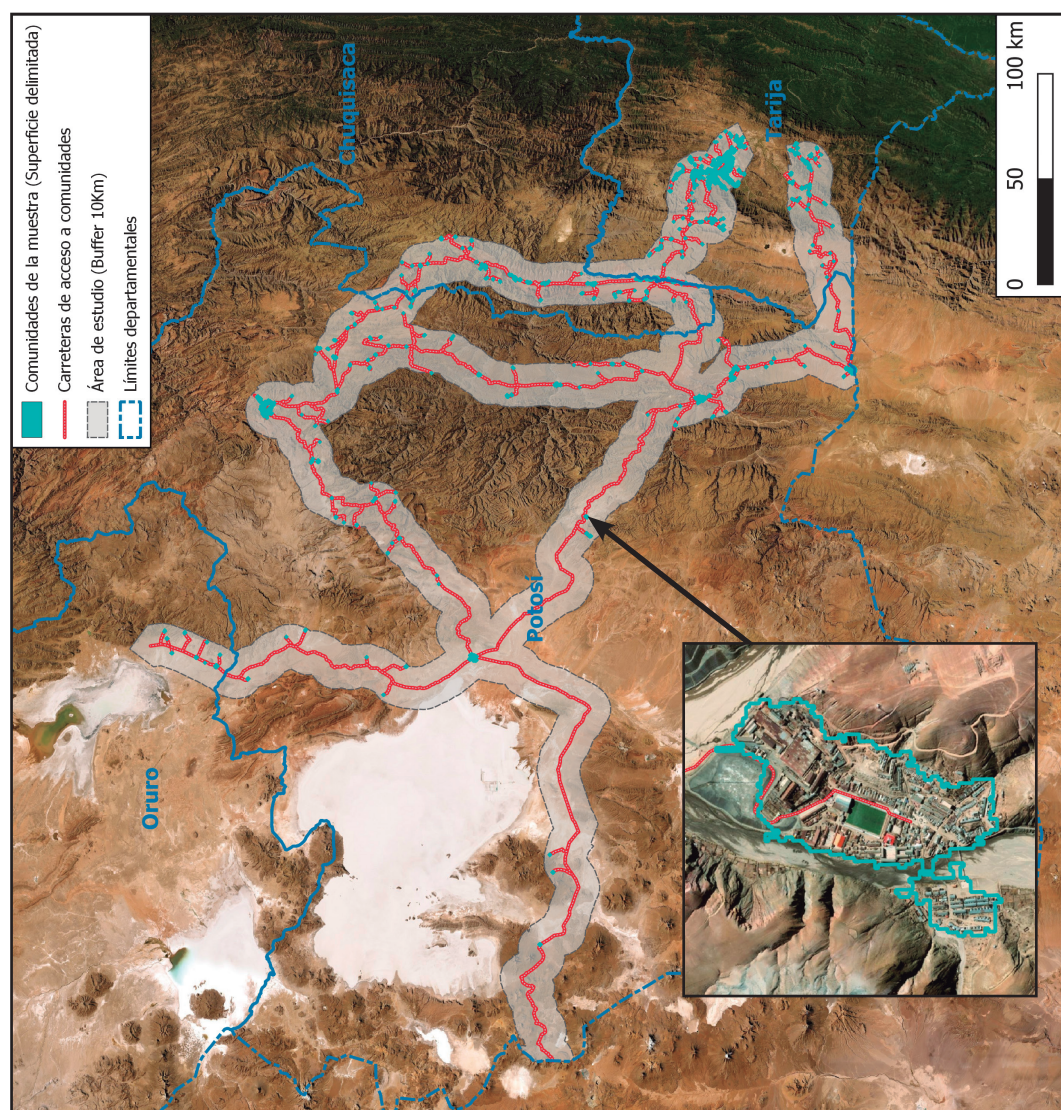
2/ La variable de resultado es una dicotómica que toma el valor de 1 cuando la cobertura de uso de suelos es identificada como mancha urbana (excluye pixeles de tierra cultivada).

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.

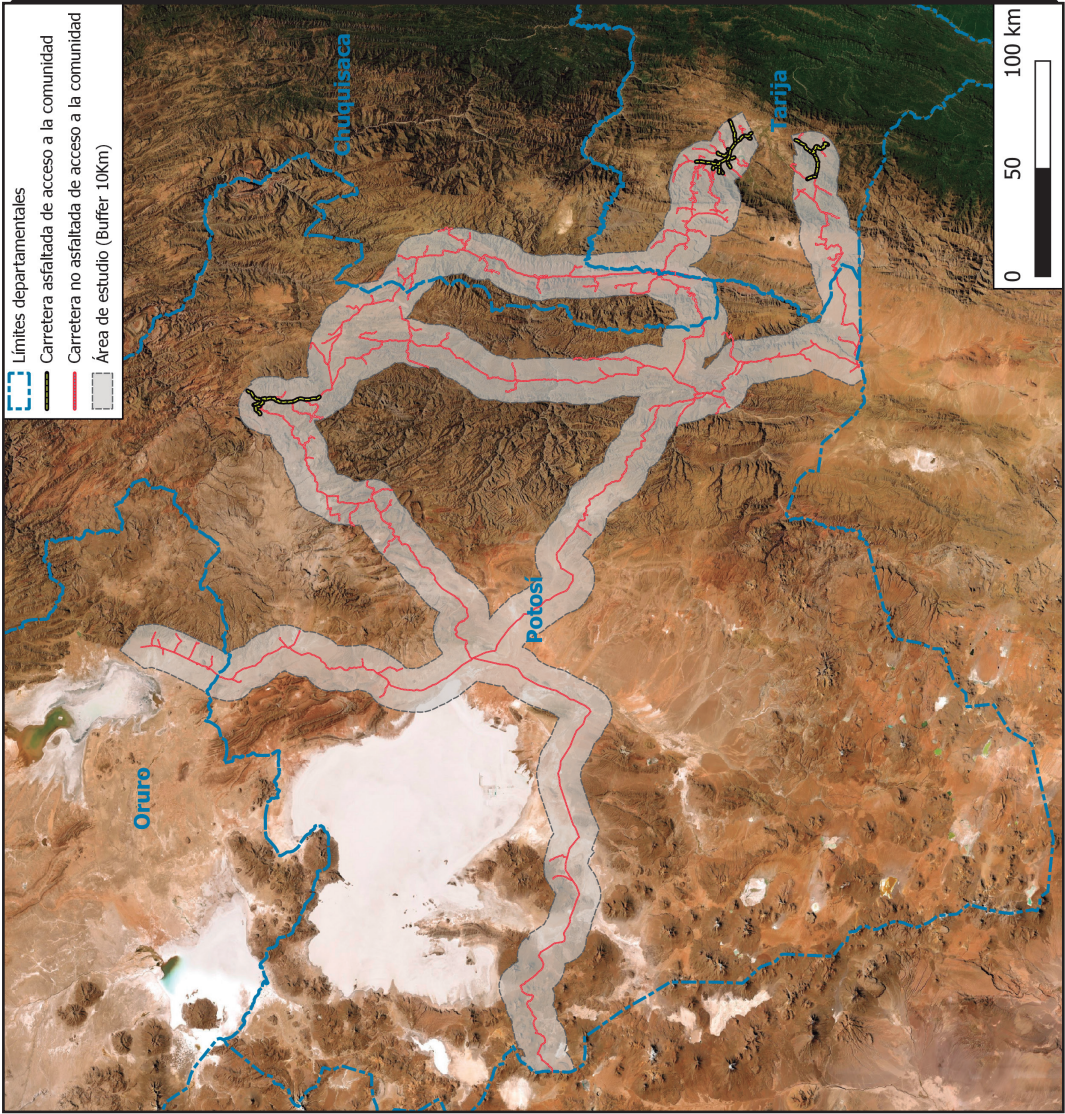
GRÁFICO 2. ÁREA DE ESTUDIO, COMUNIDADES DE LA MUESTRA (SUPERFICIE DELIMITADA) Y CARRETERAS DE ACCESO A ESTAS COMUNIDADES



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

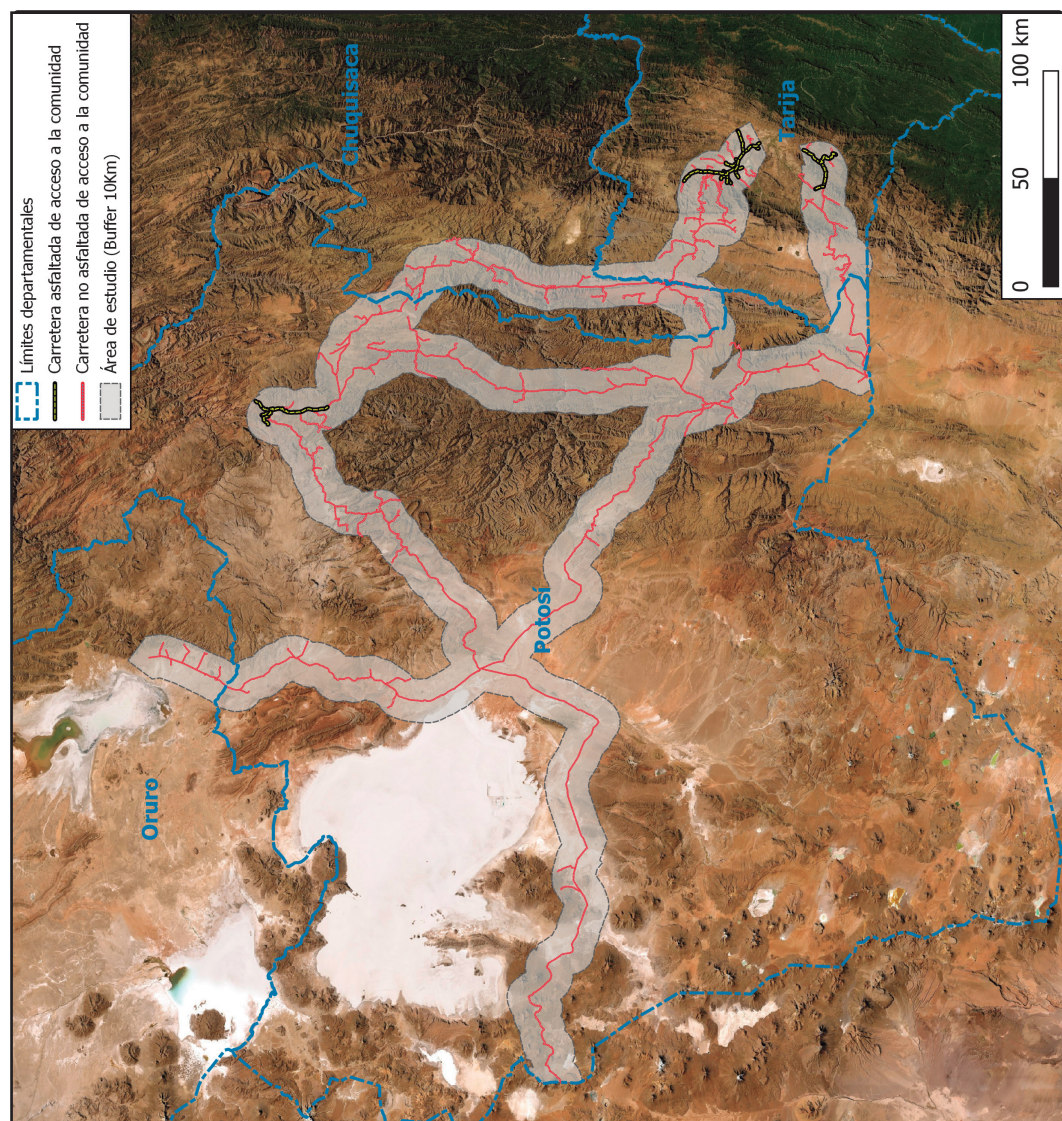
2003



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

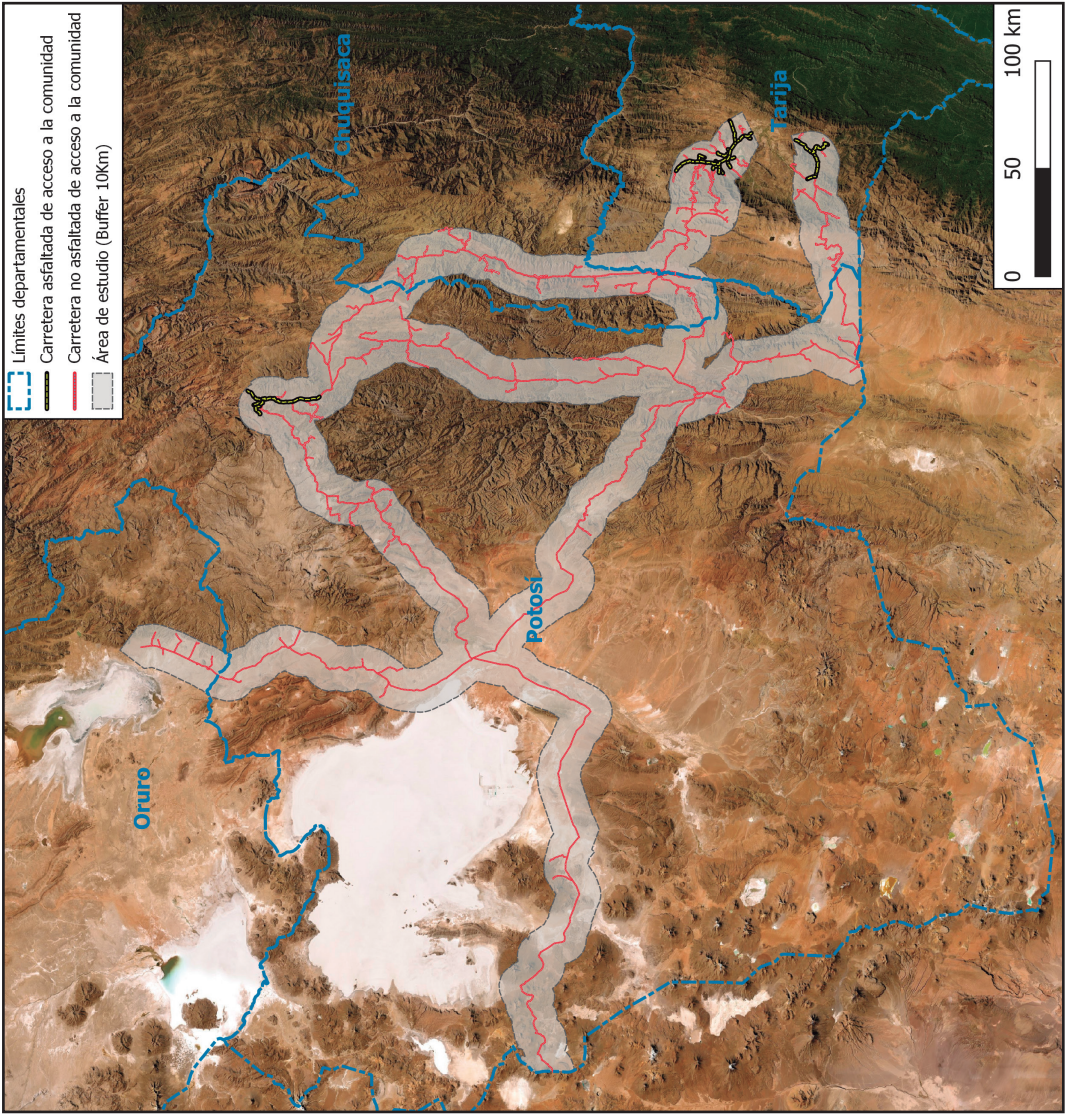
2004



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

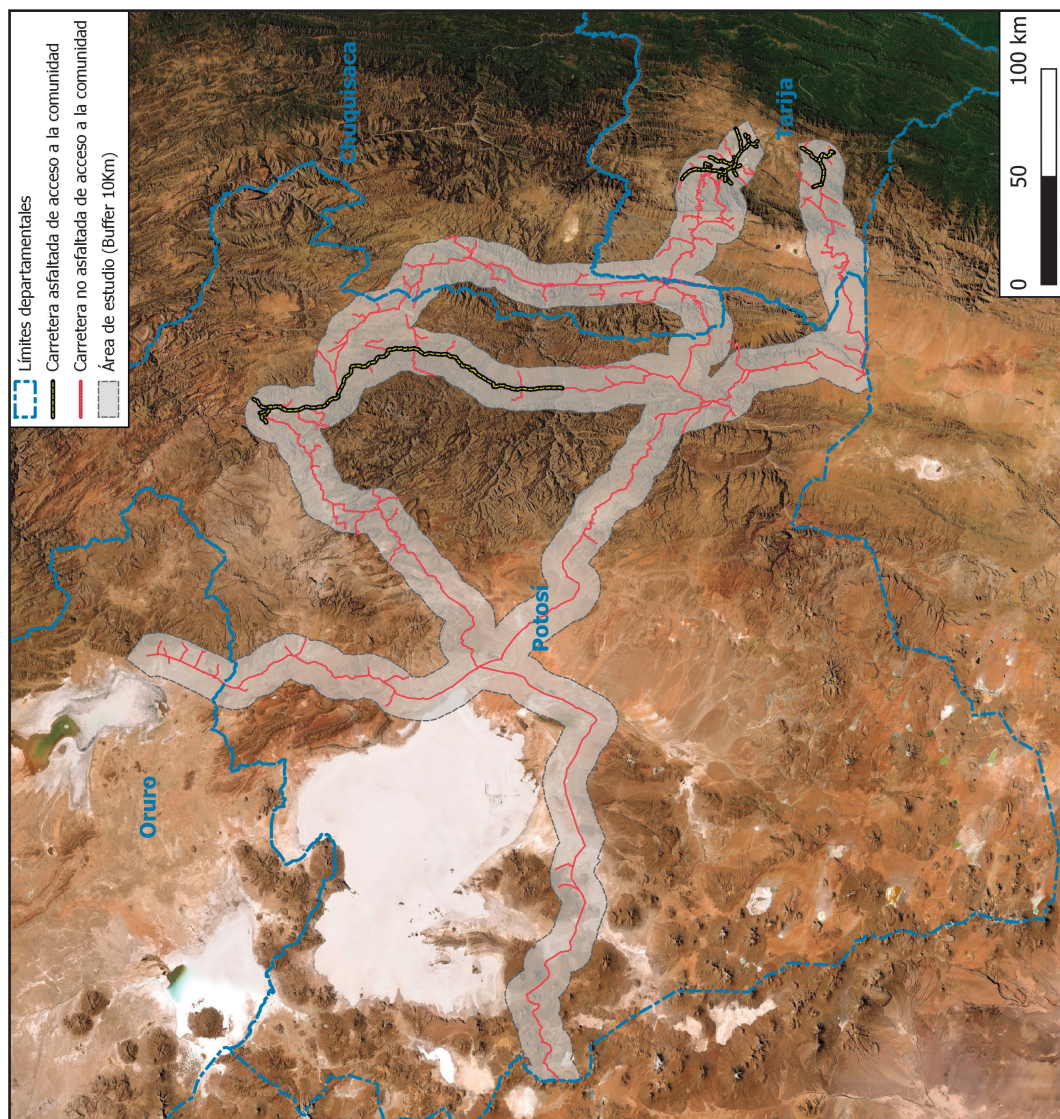
2007



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

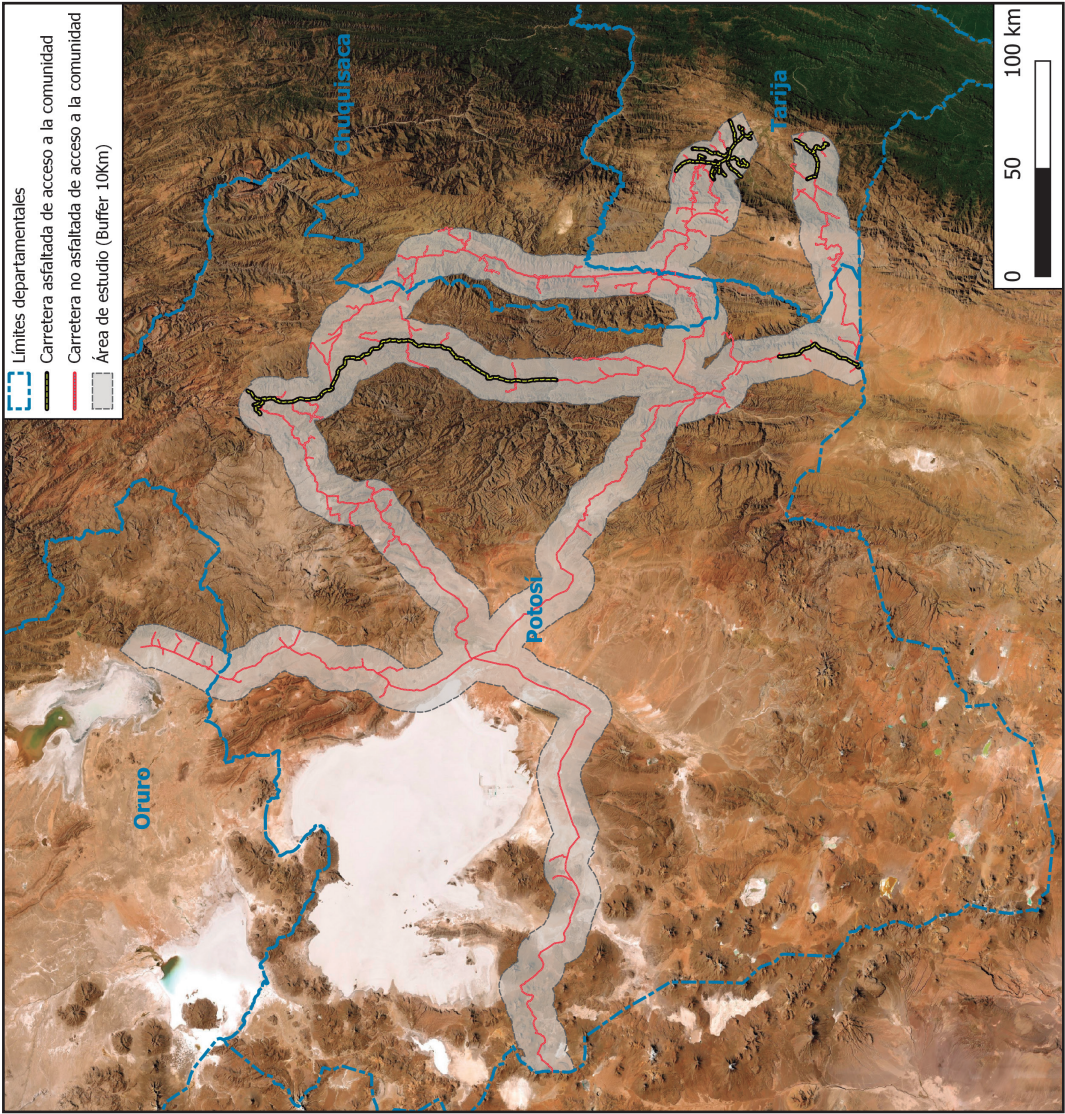
GRÁFICO 6. CARRETERAS DE ACCESO A LAS COMUNIDADES DE LA MUESTRA, ASFALTADAS HASTA

2009



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

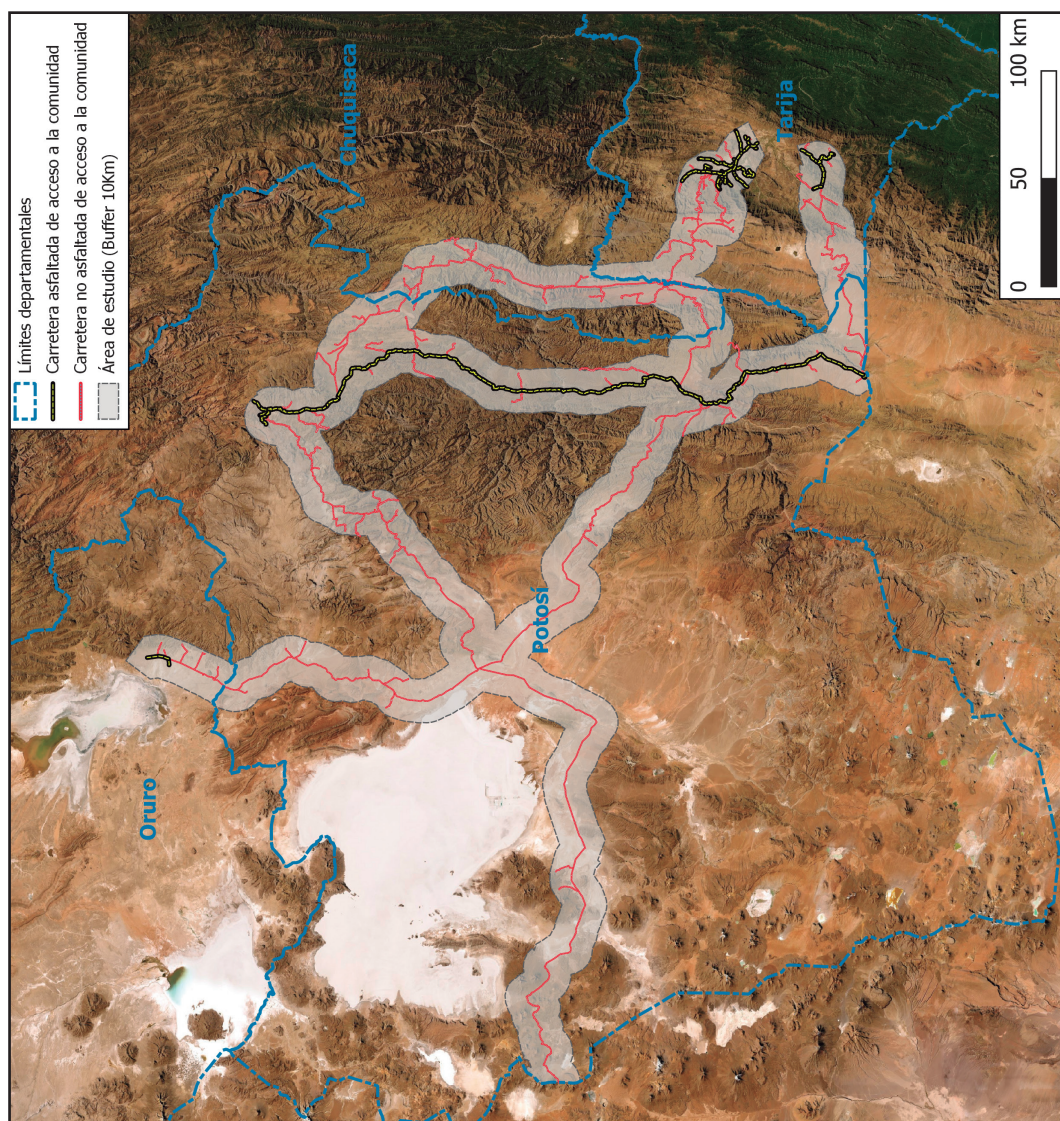
GRÁFICO 7. CARRETERAS DE ACCESO A LAS COMUNIDADES DE LA MUESTRA, ASFALTADAS HASTA 2010



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

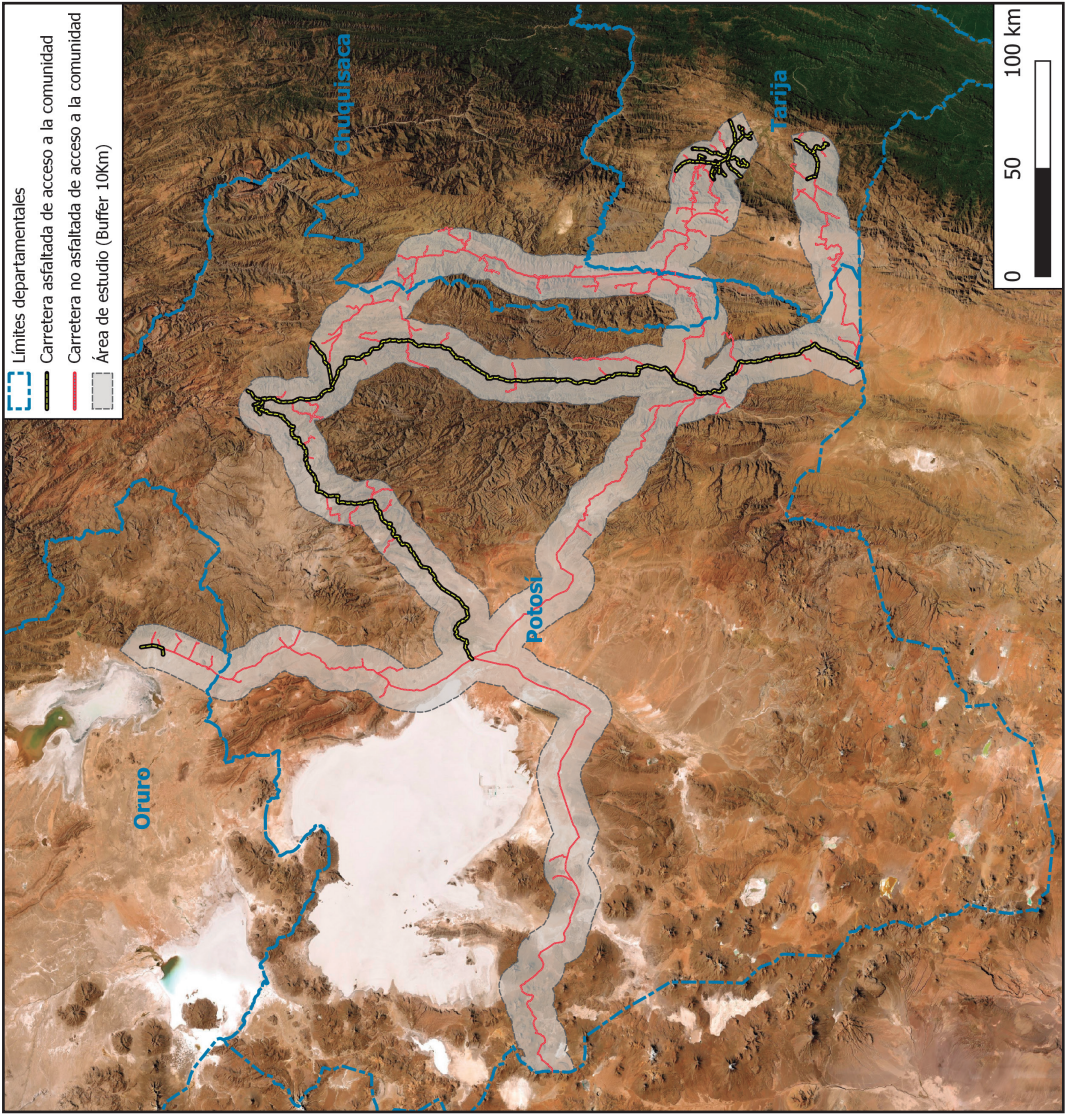
GRÁFICO 8. CARRETERAS DE ACCESO A LAS COMUNIDADES DE LA MUESTRA, ASFALTADAS HASTA

2011



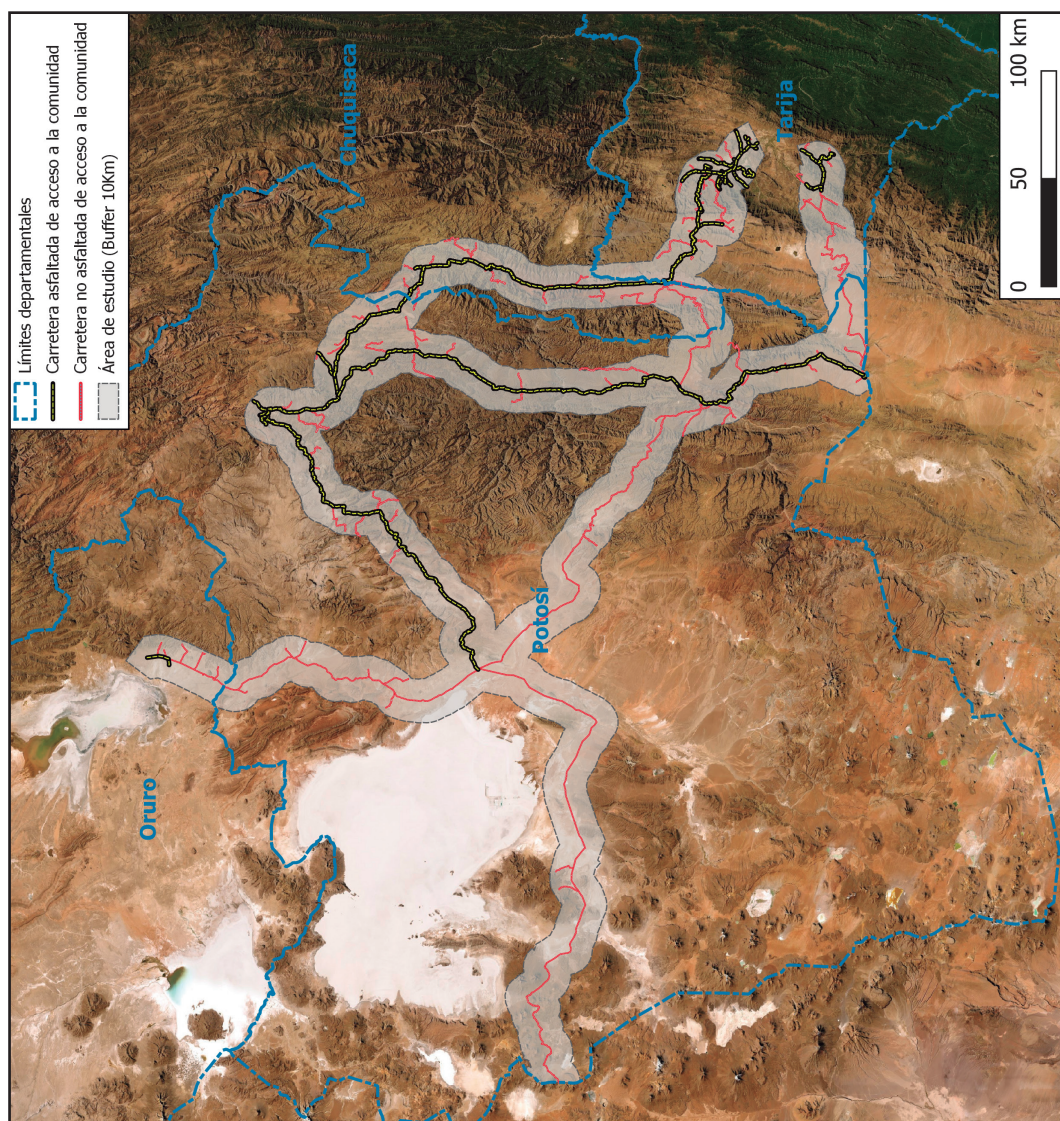
Fuente: Elaboración propia con datos de la Administradora Boliviana de Carreteras y SIG generados para el estudio.

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



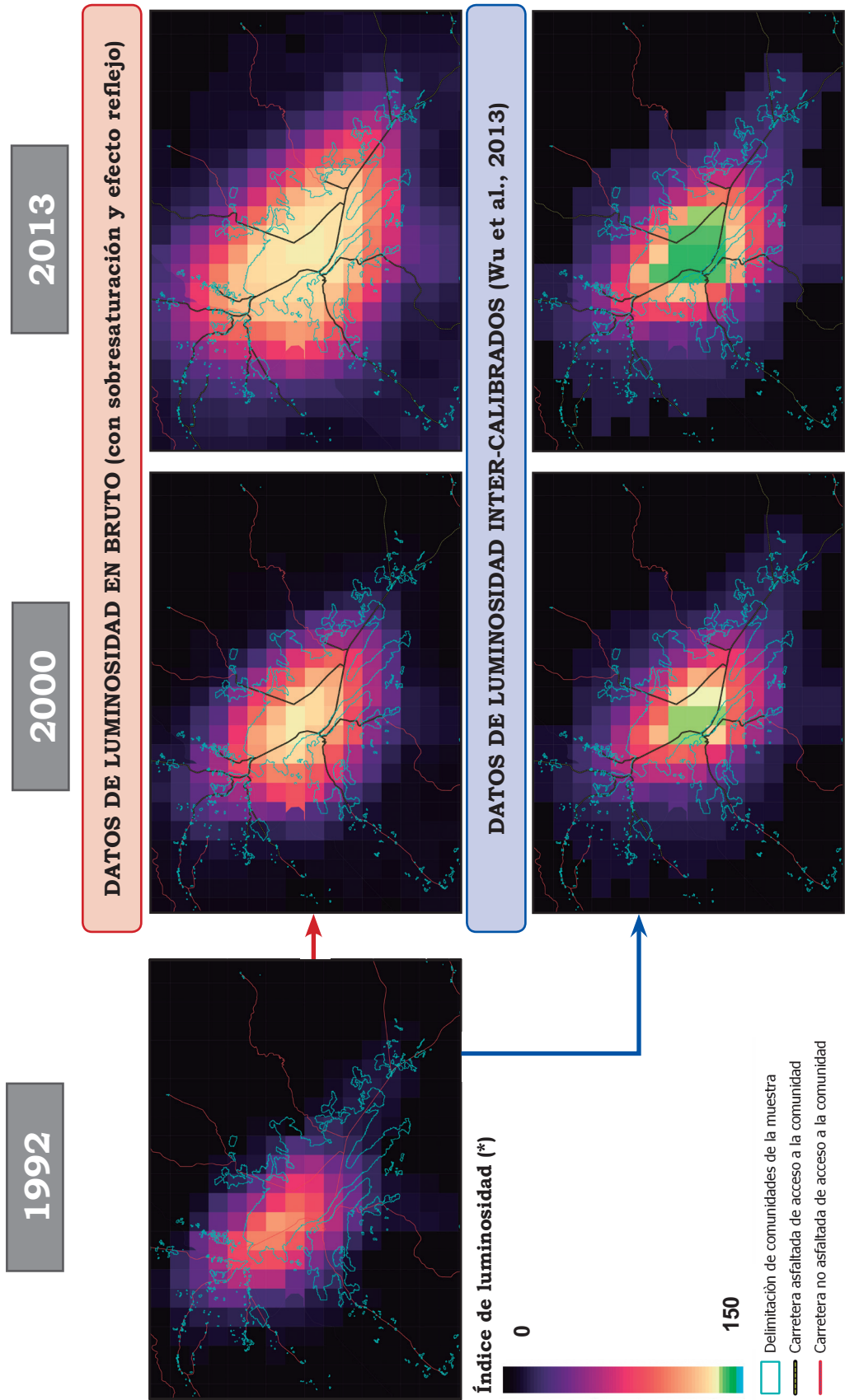
Fuente: Elaboración propia con datos de la Administradora Boliviana de Carreteras y SIG generados para el estudio.

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



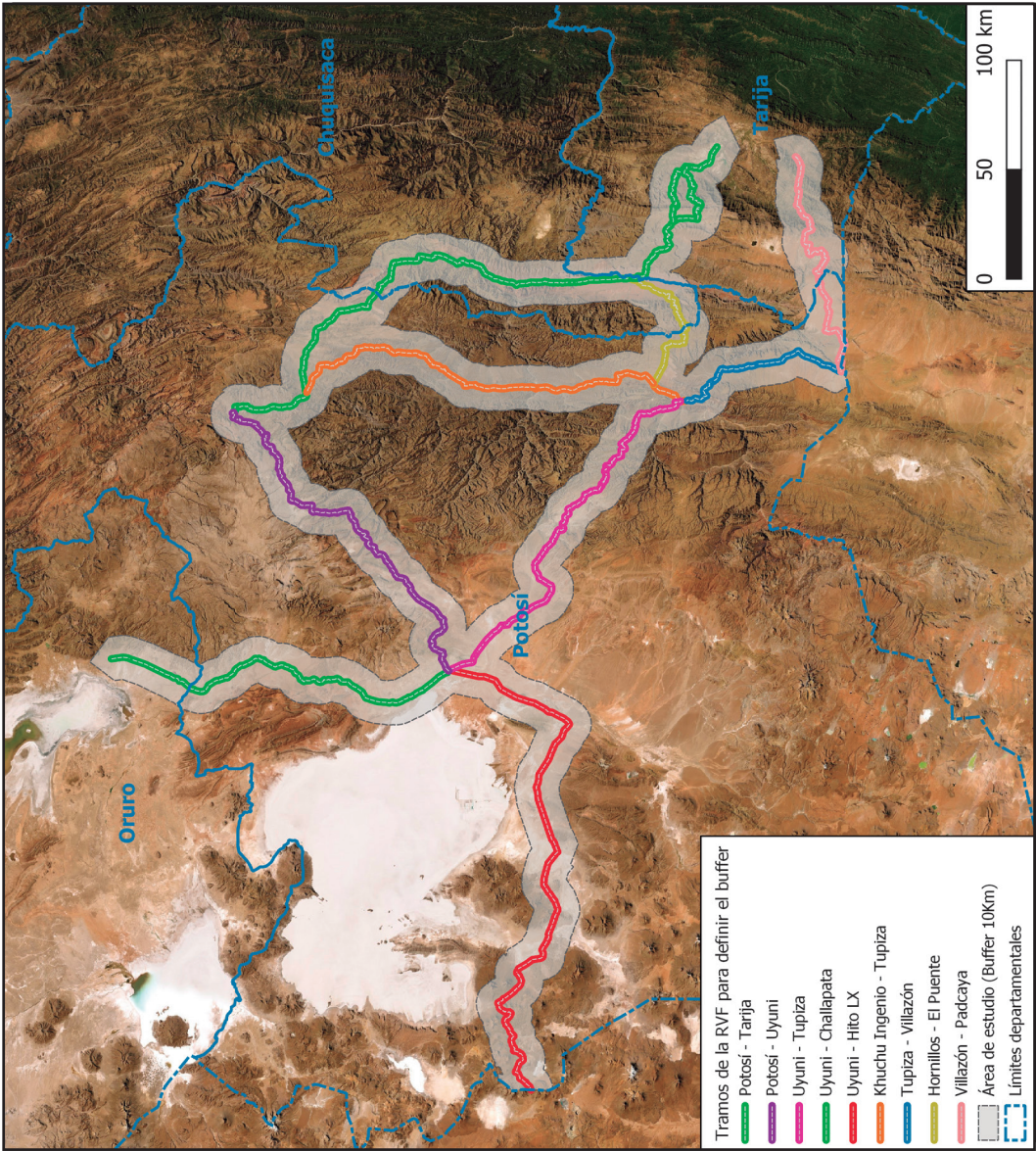
Fuente: Elaboración propia con datos de la Administradora Boliviana de Carreteras y SIG generados para el estudio.

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



(*) Los datos en bruto de luminosidad están restringidos a valores entre 0 y 63, que repercute en un efecto de sobresaturación. En cambio, los valores inter-calibrados pueden asumir valores superiores al umbral de 63, lo que es fundamental para agregar variabilidad temporal al análisis.

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, Muyuquiri, 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, Cochao, Coimata, Corana Sur, Corral Grande, El Molino, El Puente, El Puesto, El Saire, Erquis Ceibal, Erquis Norte, Erquis Oropeza, Erquis Sur, Fuerte Grande, Gamoneda, Guerra Huayco, Huacanqui, Huancar, Huarmachi, Huayllajara, Iscayachi, Jurina, La Cabaña, La Parroquia, La Pintada, La Quiñua, La Victoria, Loros, Marquiri, Monte Cercado, Monte Chico, Monte Mendez, Obispo del Carmen, Orozas Centro, Padcaya, Papa Chacra, Paschani, Pirca Cancha, Pirgua 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 ^{1/}	(2) Panel no Balanceado ^{2/}	(3) Placebo ^{3/}
(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 paréntesis.

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

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

The background of the entire page is a stylized, 3D-rendered road that curves and winds across the frame. The road is dark grey with white dashed lines for lane markings and solid yellow lines for the edges. Overlaid on this road is a map of Mexico, outlined in red, yellow, and green. The map is positioned in the upper right quadrant, with its outline following the curves of the road.

CAPÍTULO 2

EVALUACIÓN DE IMPACTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL EN LAS CONDICIONES SOCIOECONÓMICAS DE LA POBLACIÓN

EVALUACIÓN DE IMPACTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL EN LAS CONDICIONES SOCIOECONÓMICAS DE LA POBLACIÓN*

Osmar Bolivar Rosales
Darwin Ugarte Ontiveros

Octubre, 2020

RESUMEN

En el presente trabajo se evalúa el impacto de la inversión en infraestructura vial sobre las condiciones socioeconómicas de los hogares en Bolivia. Utilizando una estructura de datos de panel y mediante estimaciones de Diferencia-en-Diferencias, se obtiene que las vías asfaltadas, que mejoran el acceso a las comunidades en Bolivia, han permitido a los hogares beneficiados contar con más ingresos, lo que repercute en una reducción de la pobreza y el desempleo, así como, mayor acceso a servicios de salud, agua, electricidad, y saneamiento básico. Asimismo, se presenta evidencia empírica que sugiere un aumento en la productividad y el valor de las ventas agrícolas. Adicionalmente, se complementa el estudio con un análisis sobre la percepción generalizada de los hogares respecto a las potenciales mejoras resultantes de la construcción de caminos en aspectos como acceso a mercados, contaminación, migración, delincuencia, planificación urbana, etc.

Clasificación JEL: H54; I3; Q1; R42

Palabras clave: Infraestructura vial, Bienestar, Ingreso, Pobreza, Empleo, Agricultura.

* El contenido del presente documento es de responsabilidad de los autores y no compromete la opinión del Banco de Desarrollo de América Latina (CAF), o de la Unidad de Análisis de Políticas Sociales y Económicas (UDAPE), ni de las instituciones a las que pueden estar afiliados los autores. Contacto: osmar.jsmpf@gmail.com y darwiniso@hotmail.com.

1. INTRODUCCIÓN

La asignación de recursos de inversión a los proyectos socioeconómicamente más rentables contribuye al crecimiento económico de un país. De ahí la importancia de que los proyectos y programas de inversión pública deban ser evaluados a posteriori. En Bolivia, durante la última década, una de las principales metas fue la mejora e integración del sistema de transporte nacional en todas sus modalidades –camínera, ferroviaria, aeronáutica y fluvial lacustre– contribuyendo así al desarrollo y a la ampliación de mercados para la producción boliviana.

El Estado asumió el reto de la construcción, mejoramiento y mantenimiento de la infraestructura de la Red Vial Fundamental (RVF) en busca de mejorar la integración de las carreteras del país para optimizar las potencialidades productivas de cada región. De esta manera, la inversión pública en transporte carretero se constituyó en un eje transversal y relevante para el desarrollo y crecimiento del país.

Actualmente, a pesar del avance en la consolidación de la infraestructura de transporte de los últimos años, Bolivia se encuentra rezagada respecto a sus vecinos en cuanto a cobertura de infraestructura vial. Según datos de AC&A y Cenit (2020), la red carretera boliviana tiene una longitud total de 81.343 kilómetros (Km) y tan sólo el 10 % de la misma está pavimentada, situando a Bolivia entre los países con la más baja densidad carretera y los índices de pavimentación más bajos de la región latinoamericana¹. De igual forma, estos autores señalan que Bolivia tiene una brecha de infraestructura muy significativa. Su patrimonio de infraestructura por habitante (1,67 miles de USD por habitante) es muy inferior a la media regional (2,18 miles de USD por habitante) y menos de la tercera parte del promedio mundial (6,45 miles de USD por habitante).

Así, en el marco de los lineamientos de planificación del país, es importante priorizar acciones para dar continuidad a la ejecución de proyectos carreteros que permitan, en un mediano plazo, la consolidación vial de la totalidad de la RVF a nivel de pavimento.

¹ La red carretera a la que hacen referencia los autores incluye a la Red Vial Fundamental, y las carreteras departamentales y municipales.

Existe consenso al afirmar que la infraestructura de transporte se constituye en un elemento fundamental para el desarrollo de la actividad económica y social de cualquier país, ya que las vías estructuran la base para las interrelaciones comerciales tanto internas a nivel nacional, como externas a nivel internacional. Asimismo, esta infraestructura facilita la accesibilidad entre las regiones o comunidades, pudiendo de esta manera influir sobre las condiciones y calidad de vida de los habitantes, mediante el acceso a los servicios básicos, de salud y educación, entre otros.

En este marco, si bien en cada país los gobiernos y/o donantes invierten en el desarrollo de caminos rurales y corredores de transporte, a priori porque la importancia de dicha infraestructura para el desarrollo parece obvia, para el caso de Bolivia, existe poca evidencia formal sobre cómo y en qué condiciones las carreteras pueden beneficiar a los hogares, sobre todo en el área rural.

En este contexto, el objetivo de la presente investigación es evaluar el impacto en las condiciones socioeconómicas de los hogares beneficiados con carreteras asfaltadas que brindan acceso a sus comunidades.

Los antecedentes a esta evaluación subyacen en el trabajo de Landa et al. (2010); el estudio fue el resultado de una Cooperación Técnica entre UDAPE y CAF, con el objetivo de evaluar el impacto de la infraestructura vial en Bolivia. Para esta investigación, en 2009, se realizó una encuesta de hogares en diferentes localidades del país y, con esta información, se aplicó la técnica Propensity Score Matching (PSM) para estimar el efecto de las carreteras en el ingreso de los hogares². En ese momento, la metodología asumida era razonable debido a la inexistencia de una línea base en años previos.

En el presente estudio, se aprovecha la información de una submuestra de los hogares encuestados en 2009 y se la combina con datos de una encuesta de seguimiento efectuada el año 2019. Al contar con un panel de datos para estos hogares en dos puntos del tiempo, con base en métodos de Diferencia-en-Diferencias (DD) se estima el efecto causal de la infraestructura vial sobre determinadas condiciones socioeconómicas³.

² Con mayor detalle, se lidió con el sesgo de selección al emparejar las unidades del grupo de control –Hogares lejanos a la RVF– con las del grupo tratamiento –Hogares cercanos a la RVF–, en base a características observadas que predicen la probabilidad de recibir el tratamiento.

³ A diferencia del trabajo de Landa, et al. (2010), metodológicamente, en la presente investigación no sólo se lidió con el sesgo de selección controlando por características observadas de las unidades de observación, sino también, por aquellos factores no observables que generan diferencias, constantes en el tiempo, entre las unidades de los grupos de tratamiento y control.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

Las evaluaciones cuantitativas sobre los efectos del capital de infraestructura pública en la productividad total de factores comenzaron con el trabajo de Aschauer (1989). Los mecanismos básicos para comprender el efecto de la infraestructura radican en los efectos directos e indirectos sobre la productividad. Precisamente, la infraestructura aumenta la productividad de los factores directamente en la medida que los servicios de infraestructura ingresan a la función de producción como un insumo adicional y tienen un impacto directo en la productividad de las empresas (Servén, 2010; Dethier, Hirn y Straub, 2011).

En segundo lugar, siguiendo a Agénor y Moreno-Dodson (2006), la infraestructura aumenta la productividad al reducir las transacciones y otros costos, lo que permite un uso más eficiente de los insumos productivos convencionales, además puede afectar los costos de ajuste de la inversión, la durabilidad del capital privado y, la demanda y oferta de servicios de salud y educación.

Invertir en infraestructura vial aumenta la demanda de bienes y servicios, reduce el tiempo de viaje y costos de transporte, facilita el acceso a mercados distantes para obtener insumos y vender productos, y estimula la producción local (Gunasekera, Anderson y Lakshmanan, 2008). Menores costos de transporte y comercio pueden también acelerar la aglomeración industrial (Baldwin y Forslid, 2000). Además de los anteriores efectos, Banister y Berechman (2000) sugieren que una mejor infraestructura vial conduce a externalidades pecuniarias, economías de redes de transporte, aglomeraciones en el mercado laboral y de empresas, y por lo tanto causan crecimiento económico.

En la literatura, numerosos trabajos encuentran una relación positiva entre la inversión en infraestructura de transporte y el producto agregado. Por ejemplo, Calderón y Servén (2004) proporcionan evidencia sobre el impacto del desarrollo de la infraestructura en el crecimiento económico y la distribución del ingreso utilizando datos de panel para más de 100 países en el periodo 1960-2000. Similares resultados a nivel macroeconómico son encontrados por Canning y Pedroni (1999), Demetriades y Mamuneas (2000). De igual manera Seethepalli, Bramati y Veredas (2008) sugieren que la inversión en infraestructura ha impulsado el crecimiento económico en Asia Oriental en los últimos años.

Estudios a nivel de países similarmente tienden a encontrar efectos positivos de la infraestructura sobre el crecimiento económico, Ghani, Grover y Kerr (2016) presentan evidencia para la India, Siyan, Eremionkhale y Makwe (2015) para Nigeria, y Achoura y Belloumib (2016) para Tunisia, por ejemplo. De igual manera, Hong, Chu y Wang (2011) encuentran que la infraestructura de transporte terrestre en China contribuyó al crecimiento económico en lugares con infraestructura de transporte deficiente.

Si se consideran estudios que miden los efectos de la construcción de carreteras en el empleo, se tiene el trabajo de Gibbons, Lyytikäinen, Overman y Sanchis-Guarner (2019) quienes encuentran aumentos en la producción por trabajador, salarios y uso de insumos intermedios debido a la construcción de nueva infraestructura vial, utilizando datos longitudinales a nivel de empresa para Gran Bretaña. Estos autores sugieren que la nueva infraestructura de transporte conduce a una reorganización de la producción en los negocios existentes. De igual manera, Asensio y Roca (2001) llegan a la conclusión de que la construcción de la carretera del cuarto anillo de Barcelona generó crecimiento en el nivel de empleo y el PIB, siendo los sectores de servicios y construcción los más beneficiados.

Por otro lado, también existen trabajos que argumentan una relación positiva entre la infraestructura y la equidad, es decir que el desarrollo de esta infraestructura puede tener un impacto positivo en el ingreso y el bienestar de la población más pobre, por ejemplo, Calderón y Servén (2004) aseguran que la calidad y cantidad de infraestructura reducen la desigualdad del ingreso. Fan, Hazell y Thorat (2000) de igual manera establecen que la construcción de carreteras ayuda a reducir la desigualdad. Por otro lado, Estache y Fay (1995) encuentran que el acceso a las carreteras ha sido un determinante importante para la convergencia en los ingresos para las regiones más pobres de Argentina y Brasil. En la misma línea, Jacoby (2000) mediante un análisis empírico para Nepal, sugiere que el acceso a carreteras para ingresar a los mercados conlleva a ganancias de capital para los agricultores más pobres. Del mismo modo, utilizando datos de panel de Bangladesh, Khandker, Bakht y Koolwal (2009) encuentran evidencia de que la construcción de carreteras rurales causa una disminución en los niveles de pobreza y de pobreza extrema. Por otro lado, los resultados de Mu y Van de Walle (2011) sugieren que los proyectos carreteros tienen mayor impacto en áreas pobres.

Otros efectos sobre el acceso a educación se estudian por Brenneman y Kerf (2002), quienes evidencian que un mejor sistema de transporte, acompañado de

una red de carreteras seguras ayudan a elevar la asistencia escolar. Khandker et al. (2009) encuentran resultados similares en Bangladesh. Estos autores concluyen que las carreteras rurales influyen en la asistencia a la escuela secundaria en zonas rurales. Del mismo modo, varios trabajos encontraron una relación positiva entre mejoras en carreteras y educación, véase Bryceson y Howe (1993).

Gannon y Liu (1997) proponen que el desarrollo de carreteras rurales estimula el desarrollo de mercados. Khandker et al. (2009) sustentan esta hipótesis con datos de Bangladesh al encontrar una relación entre la construcción de carreteras y la expansión de mercados rurales. Por otro lado, Lokshin y Yemtsov (2005) aseguran que las carreteras favorecen el desarrollo de empresas en el área rural.

Por otra parte, la calidad de la infraestructura es un determinante importante en el comercio. Shepherd y Wilson (2007) evalúan un programa de mejoramiento de las carreteras de Europa del Este y Asia Central y concluyen que éste impulsaría el comercio intrarregional, hasta en un 50%. Adicionalmente, Limao y Venables (2001) demuestran que la infraestructura juega un rol importante en determinar el costo del transporte, y por tanto tiene un impacto importante en el comercio. De igual manera, Buys, Diechmann y Wheeler (2010) examinaron la calidad de la red de carreteras a lo largo de todo el África Subsahariana y encuentran que la calidad de la red tiene un impacto significativo en el comercio intrarregional.

Por otra parte, el sector agrícola representa un segmento importante de las economías en desarrollo. Siguiendo a Reardon et al. (1998), esta actividad se constituye generalmente en la principal fuente de ingresos en las áreas rurales, directamente a través de la producción de cultivos, e indirectamente mediante el empleo dentro y fuera de los sectores relacionados con la agricultura. En la literatura, existen muchos estudios que proporcionan evidencia sobre el efecto de la inversión en infraestructura de transporte rural sobre el acceso a mercados de insumos y productos, sobre los estímulos tanto para la economía rural agrícola como no agrícola, sobre la reducción de la pobreza y la integración de las zonas rurales menos favorecidas (Platteau, 1996; Van de Walle, 2002).

Como demuestran Ahmed y Hossain (1990) y, Gregory y Bumb (2008), en la agricultura, mejores carreteras pueden reducir drásticamente el costo de los insumos, como fertilizantes, semillas y otros servicios relacionados. Por el lado de la producción, siguiendo a Binswanger, Khandker y Rosenzweig (1993),

mejores carreteras facilitan el acceso a los mercados, lo que a su vez genera incentivos para aumentar la producción agrícola. Ahmed y Donovan (1992) sugieren que los caminos rurales aumentan la difusión de tecnología agrícola al mejorar el acceso a los mercados, mejora la eficiencia en la asignación de recursos, reduce los costos de transacción y ayuda a los agricultores a obtener mejores precios. Asimismo, el efecto positivo sobre la productividad es documentado por Fan y Zhang (2004). Hettige (2006) por su parte sugiere que la inversión en caminos rurales brindó oportunidades para que los hogares beneficiados puedan invertir en pequeñas empresas, o en ocasiones para convertirse en intermediarios en Indonesia.

Los efectos descritos en los párrafos anteriores, a su vez, permiten aumentar los ingresos en las áreas rurales y colaboran en la disminución de la pobreza (Van de Walle, 2002; Fan, Zhang y Zhang, 2002; Khandker et al., 2009). La infraestructura de transporte también reduce la pobreza directamente al proporcionar y apoyar la prestación de servicios básicos importantes, como el acceso a agua y saneamiento básico –para prevenir enfermedades–, electricidad –para el funcionamiento de escuelas y clínicas de salud–, y caminos para acceder a estas instalaciones (Datt y Ravallion, 1998; Deininger y Okidi, 2003).

Finalmente, existen pocos estudios que abordan los efectos de la infraestructura vial para el caso boliviano. Por ejemplo, Andersen y Nina (2007) obtienen un efecto positivo pero pequeño de los caminos primarios sobre el desarrollo económico municipal; sin embargo, su investigación no tiene como objetivo principal evaluar el efecto de estos caminos, sino éste es un hallazgo complementario. Gonzales, Guash y Serebrisky (2007) realizan un análisis costo-beneficio de la rehabilitación y mantenimiento de determinados tramos carreteros en Bolivia; no obstante, no considera un enfoque de causalidad. Únicamente, en el trabajo de Landa et al. (2010) se aplica la técnica de emparejamiento para evaluar el impacto de las carreteras de la RVF sobre el ingreso de los hogares; sus resultados sugieren que, en promedio, el ingreso mensual per cápita en los hogares cercanos a la RVF se habría incrementado entre Bs40 y Bs160⁴.

⁴ La moneda oficial en Bolivia es el boliviano (Bs). En dólares americanos, el incremento en los ingresos mensuales per cápita obtenido por Landa et al. (2010) estaría entre USD6 y USD23.

3. DATOS

3.1. Muestra y tratamiento

Para el estudio de Landa et al. (2010), el año 2009, se realizó el levantamiento de información de campo sobre 2.287 hogares, distribuidos en 259 localidades de todo Bolivia; 1.169 hogares fueron encuestados en ubicaciones cercanas a tramos de la RVF –grupo de tratamiento para los propósitos de dicho estudio– y 1.118 hogares en lugares alejados de los tramos –grupo de control para los propósitos de dicho estudio–⁵. Sobre esta información de corte transversal, la metodología se basó en la técnica de PSM para estimar el impacto de las carreteras asfaltadas de la RVF. Este enfoque se constituye en una estrategia adecuada, condicional al tipo de información existente en ese momento; no obstante, esta técnica tiene la desventaja de omitir factores no observables que pueden repercutir en sesgo de selección.

Considerando el anterior problema, el enfoque metodológico del presente estudio subyace en la aplicación de modelos de DD⁶. 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. En otras palabras, para lidiar con el sesgo de selección, con esta técnica no sólo se controla por características observables, sino también por factores no observables como los detallados previamente.

Sin embargo, para utilizar DD se requiere una base de datos de panel con variación temporal –información de los mismos individuos para al menos dos puntos del tiempo– y variación espacial –que sólo algunos individuos sean beneficiarios al final del periodo de análisis–.

Por lo tanto, para contar con una base de datos de panel en el actual estudio, durante enero de 2019, se realizó una encuesta de seguimiento a 922 hogares, que también fueron encuestados en 2009. Para aplicar correctamente DD, el año de línea de base –2009– ninguno de los 922 hogares fue beneficiado con el

⁵ La encuesta implementada para el estudio de Landa et al. (2010) abarcó los cinco corredores de integración que conforman la RVF. El diseño muestral consideró como universo los proyectos viales ejecutados 15 a 20 años antes de 2009, así como los aquellos tramos que estaban en la agenda de implementación del Gobierno, según la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), en ese momento.

⁶ Para mejorar la robustez de los resultados, también se aplican las técnicas combinadas de Diferencia-en-Diferencias y Matching, así como, Diferencia-en-Diferencias Semiparamétrico.

tratamiento y en 2019 –año de la encuesta de seguimiento– sólo un grupo de la muestra de hogares se constituye en beneficiarios.

Asimismo, es importante mencionar las razones por las que en el levantamiento de información de campo de seguimiento se encuestaron a 922 hogares. Los motivos fueron:

- i. Mantener un balance adecuado para la estimación del impacto, en el entendido que el grupo de control sea más grande que el grupo de tratamiento.
- ii. Durante el trabajo de campo de 2019, se visitó la ubicación de 1.671 hogares encuestados en 2009; sin embargo, 472 hogares ya no residían en esos lugares y 277 hogares rechazaron la encuesta. Por ende, sólo se obtuvieron 922 casos exitosos para la encuesta de seguimiento.

Bajo estas condiciones, se tiene una base de datos de panel y la aplicación de la técnica DD es factible, toda vez que se tiene información de línea de base y seguimiento. Además, los hogares pueden ser distribuidos en grupos de tratamiento y control, utilizando para ello la siguiente definición de tratamiento:

Tratamiento: “Que un hogar se beneficie con una carretera asfaltada de acceso a su comunidad, hasta 2018”⁷

Si bien la encuesta de seguimiento fue realizada el mes de enero de 2019, para la definición del tratamiento se asume que el beneficio se concrete hasta el año 2018; esto para que, al momento de la encuesta de seguimiento, los hogares cuenten con cierto periodo de exposición al beneficio, así también, porque la identificación del tipo de rodadura de las carreteras se realiza con datos de 2018.

Para demarcar las carreteras de acceso a las comunidades de los hogares encuestados, primero, a partir de la geo-referenciación de éstos se localizaron las comunidades a las que pertenecen. Segundo, en base a archivos vectoriales de los caminos primarios, secundarios y comunales de Bolivia⁸, generados por la ABC, se identificaron las carreteras de acceso a las comunidades. Tercero, a partir de información de la ABC y técnicas de teledetección sobre imágenes

⁷ Cabe señalar que esta definición de tratamiento difiere de la utilizada por Landa et al. (2010). Se prefiere la definición actual porque las carreteras de acceso a las comunidades no son únicamente pertenecientes a la RVF, sino también, éstas pueden ser vías secundarias o comunales. Además, la cercanía a la RVF no necesariamente garantiza el fácil acceso a la misma.

⁸ La capa vectorial de referencia puede ser descargada de:
<https://geo.gob.bo/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/9653aced-0da1-42de-8f88-605d1f85ef96>

satelitales, se estableció el tipo de rodadura de la muestra de carreteras, hasta 2018.

Así, el diseño muestral considera como unidad de observación al hogar. Bajo estas condiciones, el grupo de tratamiento estaría conformado por 154 hogares –beneficiados con carreteras asfaltadas de acceso a su comunidad hasta 2018– y 768 hogares forman parte del grupo de control –no se beneficiaron en el periodo de análisis– (ver Tabla 1).

Por último, es importante mencionar que, para la encuesta de seguimiento de 2019 se mantuvieron todas las preguntas de la boleta de la encuesta de línea de base de 2009; empero, en la encuesta de seguimiento también se adicionaron preguntas sobre la percepción de los jefes de hogar respecto a las potenciales mejoras resultantes de la construcción de carreteras cercanas a su comunidad. Con esta información se complementa la investigación desde un enfoque más cualitativo y se evalúa el efecto de los caminos sobre el componente subjetivo del bienestar.

3.2. Análisis descriptivo de las variables del estudio

En el contenido de este acápite, en determinados casos se mencionan valores promedios generales, que no necesariamente están en las tablas de estadísticas por motivos de espacio. Es decir, para éstos se obtuvo el valor promedio de toda la muestra, que incluye a todas las observaciones en ambos años y grupos de análisis.

3.2.1. Características de los hogares de la muestra

En esta sección, se describen a los hogares de la muestra. Para ello se consideran diferentes tipos de caracterizaciones y éstas se diferencian acorde al grupo de análisis –tratamiento y control– y al año de levantamiento de la información –2009 y 2019–.

En la Tabla 2 se describen las características generales de los hogares de la muestra. En promedio en la muestra, el 85% de los hogares tienen como jefe a una persona de sexo masculino; adicionalmente, no existiría diferencia significativa entre esta proporción si se comparan los grupos de tratamiento y control, aunque en el tiempo la proporción de hogares con jefe de hogar de

género masculino ha disminuido de 89% en 2009 a 83% para 2019⁹. Si se considera el tamaño del hogar, se tiene un promedio de cinco miembros en los hogares de la muestra, sin diferencia significativa entre los grupos de tratamiento y control, y una disminución de 5 a 4 miembros en promedio entre 2009 y 2019. La edad promedio del jefe de hogar en la muestra está en torno a los 50 años, y la edad promedio de todos los miembros del hogar es aproximadamente de 35 años; nótese el aumento significativo en el valor promedio de la edad del jefe de hogar y de los miembros del hogar entre 2009 y 2019, característica con sentido al tratarse de los mismos hogares en dos momentos diferentes del tiempo.

Una característica que destaca en la muestra es la baja escolaridad promedio de los jefes de hogar, que es 5 años de estudio. Característica que se entiende si se considera que el 59% de los jefes de hogares en la muestra se encuentran cursando o terminaron la primaria, mientras que sólo el 24% se encuentran cursando o terminaron la secundaria. Otra variable que puede caracterizar el bajo nivel de educación de los hogares de la muestra es la escolaridad máxima de algún miembro del hogar, el valor promedio de esta variable en la muestra es solamente de 9 años.

Con relación a las características laborales de los hogares de la muestra, se comienza con la tasa de dependencia, que es el cociente entre los individuos dependientes y los individuos económicamente activos en el hogar¹⁰; esta variable intenta destacar la carga que supone para la parte productiva del hogar mantener a la parte económicamente dependiente: los niños y ancianos. En la muestra, ésta adquiere un valor promedio de 0.8, es decir que, por cada 4 individuos en edad de dependencia, existen 5 individuos económicamente activos que se responsabilizan de ellos. Como muestra la columna de la primera prueba de diferencias de medias en la Tabla 2, no existen diferencias significativas entre los grupos de tratamiento y control, aunque sí una disminución en el valor promedio de esta variable en el tiempo.

Por otro lado, se tiene que, en promedio, el 94% de los hogares tenían un jefe de hogar que sí trabajaba al momento de realizarse la encuesta; no obstante, no existiría diferencia significativa entre los hogares del grupo de tratamiento y de

⁹ Si bien las encuestas de 2009 y de 2019 son sobre los mismos hogares, puede existir una diferencia en el sexo del jefe de hogar en el tiempo por dos razones: i) el hombre que declaró ser jefe de hogar no estaba en la entrevista o ya no formaba parte de la familia, o ii) ahora la madre u otra autoridad femenina del hogar declaró ser la jefa de hogar.

¹⁰ Se considera como dependientes a aquellos individuos con edad entre 0 y 14 y los mayores de 65 años. Mientras que la población económicamente activa comprende a los individuos entre 15 años y 64 años.

control, pero sí una leve disminución entre los años 2009 y 2019 en el valor promedio de esta variable.

Asimismo, si se considera la principal actividad económica de los hogares de la muestra (ver Tabla 3), se tiene que el 64% de los hogares en el 2009 tenían a la actividad agropecuaria como su principal fuente de ingreso. En cambio, en 2019, el 69% de los hogares de la muestra se dedicaba a esta actividad. Otras actividades de consideración en la muestra son el sector construcción (11% de los hogares de la muestra), servicios básicos (6%) y comercio (6%).

En lo que concierne a los hogares de la muestra que se dedican a la actividad agrícola como principal fuente de ingreso, los principales cultivos producidos son cereales (46% de los hogares que se dedican a la agricultura), siguiendo en importancia los tubérculos (27%) y frutas (14%). Destaca también la disminución en la producción de cereales y un aumento en la producción de frutas entre 2009 y 2019 (ver Tabla 4).

La Tabla 5 muestra otra característica importante de la muestra. Entre los hogares que se dedican a la actividad agrícola, se tiene una gran dispersión en las variables de superficie total y superficie cultivada. Si bien los promedios muestran valores elevados de estas variables, la dominante dispersión de estos datos hace relativa su interpretación. Es decir, nótese que el 2009 la media aritmética de la variable superficie en los grupos de tratamiento y control tomó valores elevados, 20,8 y 12,5 hectáreas, respectivamente; sin embargo, el coeficiente de variabilidad fue de 383% y 879% en estos grupos, respectivamente. De igual manera, la superficie promedio en 2019 fue de 22,8 y 5,8 hectáreas con un coeficiente de variabilidad de 469% y 203%, en los grupos de tratamiento y control, respectivamente. Debido a estos valores nótese que la media aritmética pierde representatividad para caracterizar a los datos sobre superficie y se procede a utilizar la mediana para tal cometido.

El 2009, la mediana de la superficie total fue de 2 hectáreas en los grupos de tratamiento y control; el tercer cuartil fue 5 hectáreas en ambos grupos. Para la gestión 2019, la mediana fue de 3 y 2,6 hectáreas en los grupos de tratamiento y control, respectivamente; el tercer cuartil fue 5 hectáreas en ambos años. Estos datos sugieren que la muestra de productores agropecuarios estaría conformada en su mayoría por pequeños productores.

Similar conclusión se puede obtener si se considera la superficie cultivada. En 2009, la mediana de esta variable fue de 1,5 hectáreas en los grupos de tratamiento y control, respectivamente; el tercer cuartil fue 3 y 5 hectáreas,

respectivamente. Nótese que estos valores se repiten en el tiempo, pues el 2019, la mediana de superficie cultivada también fue de 1,5 hectáreas para ambos grupos, mientras que el tercer cuartil fue de 3 y 4 hectáreas, respectivamente.

Si se realiza la prueba de diferencia de medianas –U de Mann-Whitney– sobre estas variables, se tiene que las variaciones son estadísticamente no significativas cuando se las desglosa por grupos de tratamiento y de control, y para la diferencia de sus valores en el tiempo (ver Tabla 5). Estos resultados sugieren que la estructura del tamaño de producción en la muestra, medidas por la superficie y superficie cultivada no ha tenido evolución o cambio a lo largo del último decenio –periodo 2009-2019–.

Respecto al manejo de los cultivos, el 35% de los hogares que se dedican a la actividad agrícola en la muestra, sí rotan sus cultivos. Asimismo, si se compara esta variable según pertenencia al grupo de tratamiento y control, no se encuentra una diferencia estadísticamente significativa; aunque sí se encuentra un aumento de esta variable en el tiempo, del 31% de hogares que rotan cultivos el año 2009 al 38% para 2019. De igual manera, el 52% de los hogares pertenecientes al rubro agrícola descansan la tierra y el 33% utilizan abonos naturales; nuevamente, no existe diferencia significativa si se comparan estas variables según grupos de tratamientos y control, aunque si se tiene un aumento de 14 puntos porcentuales (pp) entre los años 2009 y 2019 en la proporción de hogares que descansan sus tierras, y un descenso de 13pp en la proporción de hogares que utilizan abonos naturales (ver Tabla 6).

Con relación a la maquinaria y equipo, se tiene que sólo el 2.7% de las familias dedicadas a la actividad agrícola utilizan tractor en sus faenas, esta proporción es mayor en los hogares del grupo de tratamiento que en los hogares del grupo de control, 7% y 2%, respectivamente. Asimismo, en promedio, el 2.6% de estos hogares en la muestra utilizan cultivadora, mientras que el 8.3% tienen camioneta para realizar sus cargas. Estos bajos porcentajes sugieren que, en la muestra de estudio, el uso de maquinaria y equipo en la actividad agrícola es muy limitado.

3.2.2. Descripción de las variables de impacto

En la literatura, se sugiere que las carreteras tienen un gran potencial para mejorar las condiciones de vida de la población, por ende, la primera variable que se considera para la evaluación es el ingreso del hogar. Como se observa en la Tabla 7, el valor promedio del ingreso de los hogares pertenecientes a ambos

grupos, de tratamiento y control, se ha incrementado notoriamente entre los años 2009 y 2019. Asimismo, el aumento parece ser mayor en los hogares del grupo de tratamiento, lo que indicaría preliminarmente un efecto descriptivo positivo de las carreteras sobre el ingreso de los hogares –este no es un efecto causal–.

Si se considera la variable pobreza, se tiene que alrededor del 19% de los hogares del grupo de tratamiento eran pobres el 2009¹¹, mientras que ese porcentaje disminuyó al 9% para el año 2019. De igual manera, si se considera la variable acceso a servicios médicos profesionales, se tiene un aumento en el porcentaje de hogares que acuden a hospitales, centros de salud o médicos privados, en el grupo de tratamiento del 93% el año 2009 al 97% el año 2019; nótese que este aumento es mayor al registrado en el grupo de control.

La tasa de desempleo del hogar, medido como el porcentaje de miembros del hogar con edad mayor a 12 años que sí trabajan, ha tenido una disminución en la muestra, de 25% en promedio el año 2009 a 19% el año 2019. La variable servicios básicos hace referencia a la situación en la que el hogar tiene acceso a electricidad y agua de red. El 25% de los hogares del grupo de tratamiento tenían acceso a los mencionados servicios el año 2009, mientras que el 48% de los hogares pertenecientes a este grupo cuentan con servicio básico el año 2019. Este aumento es mayor al experimentado por el grupo de control, cuya cobertura pasó de 16% el 2009 al 26% el año 2019. Hecho descriptivo que sugiere indicios preliminares de un efecto positivo de las carreteras sobre el acceso a servicios básicos de luz y agua.

Un comportamiento similar se tiene para la variable rendimiento agrícola, que es calculada como el cociente entre la producción y la superficie cultivada. Como se observa, existe un aumento de esta variable entre los años 2009 y 2019 en ambos grupos, los de tratamiento y control; aunque el incremento parece ser mayor en los hogares pertenecientes al grupo de tratamiento que en los del grupo de control. Por otro lado, si se analiza el valor de las ventas por las actividades agropecuarias del hogar, se encuentra un incremento en el valor promedio de las mismas para los hogares que forman parte del grupo de tratamiento, mientras que las ventas promedio de los hogares del grupo de control no variaron en el tiempo. Los comportamientos de ambas variables sugieren de manera aún descriptiva un posible efecto positivo del tratamiento.

¹¹ Tienen un ingreso mensual menor a la línea de la pobreza para el área rural: Bs568.

Finalmente, el comportamiento de las variables de producción agrícola y superficie cultivada sugieren un aumento en el tiempo en el valor promedio para los hogares pertenecientes al grupo de control, mientras que los valores promedio de estas variables para el grupo de tratamiento disminuyen entre 2009 y 2019. Desde un punto de vista descriptivo, este comportamiento sugeriría un patrón de comportamiento negativo de la producción y superficie cultivada en los hogares beneficiarios de las carreteras; sin embargo, resulta necesario recordar que esta sección sólo presenta estadísticas descriptivas. Pruebas más formales para analizar el efecto del tratamiento sobre estas variables se presenta en la siguiente sección.

4. ANÁLISIS DEL IMPACTO

4.1. Efectos sobre las condiciones socioeconómicas de la población

4.1.1. Estrategia empírica

Para estimar el impacto de la inversión en infraestructura de transporte sobre las condiciones socioeconómicas de los hogares beneficiados, se cuenta con información de datos de panel en dos momentos del tiempo, antes y después de la construcción de carreteras asfaltadas de acceso a comunidades, tanto para hogares beneficiados como no beneficiados.

Es decir, se tienen datos pre-existentes al tratamiento y postratamiento de los hogares sobre las variables de impacto, la variable de tratamiento y variables de control. Con esta estructura de información, el marco econométrico para aproximar el efecto causal de la inversión en infraestructura de transporte sobre las condiciones socioeconómicas subyace en la estimación de modelos de DD.

DD es un método de evaluación de impacto cuasi-experimental que consiste en medir el efecto que tiene una política o intervención sobre un grupo de tratamiento –los que reciben la intervención o son beneficiarios directos de la política– respecto a un grupo de comparación o control –los que no reciben la intervención o no son beneficiarios directos de la política–, a través del tiempo.

Esta técnica estima el efecto de la intervención como una diferencia –resta– entre dos diferencias. La primera diferencia es el resultado que se observa en el grupo de tratamiento después de recibir la intervención menos el resultado que se observó antes; mientras que la segunda diferencia es el resultado que se

observa en el grupo de control en el tiempo postratamiento –sin haber recibido la intervención– menos el resultado que se observó antes.

De esta forma, se calcula la diferencia en diferencias, substrayendo la primera diferencia de la segunda diferencia. Es decir, el cambio en el tiempo del grupo de tratamiento menos el cambio en el tiempo del grupo de control.

En el marco de la metodología explicada, la especificación econométrica para estimar el efecto causal de la inversión en infraestructura de transporte sobre las condiciones socioeconómicas es la siguiente:

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 \text{Tiempo}_t + \beta_2 \text{Tratam}_i + \beta_3 (\text{Tiempo}_t * \text{Tratam}_i) + \beta_4 X_{it} + \varepsilon_{it}$$

Donde el subíndice i representa un miembro del hogar y t el tiempo de recopilación de la información¹². Y_i es la variable de resultado asociada a un indicador socioeconómico del miembro del hogar i (e.g. ingreso total, incidencia de pobreza, tasa de desempleo, etc.). La variable Tratam_i es una variable dicotómica que toma el valor de 1 si el miembro del hogar eventualmente se beneficia con una carretera asfaltada de acceso a su comunidad; 0 de otra manera. Tiempo_t es una variable dicotómica que asume el valor de 1 para los datos del año 2019, que es el periodo postratamiento; y 0 es para el año 2009. X_{it} es un vector de covariantes de las unidades de observación que no son constantes en el tiempo. El parámetro de interés es β_3 , que es el estimador de DD que captura el efecto causal de beneficiarse con una carretera asfaltada de acceso a la comunidad sobre un indicador socioeconómico a ser definido como variable de resultado.

En la medida que el análisis de DD se implementa mediante una regresión lineal, este método está sujeto a los supuestos estadísticos estándares dados por el teorema de Gauss-Markov. Sin embargo, para obtener las propiedades deseadas de cualquier estimador –insesgadez, eficiencia y consistencia–, el estimador de DD necesita adicionalmente cumplir los supuestos de "*choques comunes*" y "*tendencias paralelas*" (Angrist y Pischke, 2008; Wooldridge, 2009).

El supuesto de los shocks comunes sostiene que eventos inesperados que ocurran antes o después de la realización del tratamiento afectarán de la misma manera tanto al grupo de tratamiento como de control. El supuesto de

¹² Con el objetivo de contar con más grados de libertad en la estimación y considerando que en la encuesta de seguimiento se logró encuestar a los mismos miembros del hogar de la línea de base, se opta por realizar las regresiones a nivel de miembros del hogar.

tendencias paralelas establece que los grupos de tratamiento y control pueden tener diferencias en la variable de resultado previo al tratamiento, pero sus tendencias en el periodo pretratamiento deberían ser las mismas¹³.

Con múltiples periodos de pre-intervención, el supuesto de tendencias paralelas a menudo se examina mediante pruebas estadísticas sobre si las tendencias lineales previas a la intervención son estadísticamente diferentes entre ambos grupos. Para el presente caso, este enfoque resulta imposible, dada la dimensión de tiempo de los datos de panel utilizados, $t = 2$. Afortunadamente, Heckman, Ichimura, Smith y Todd (1998) y, Smith y Todd (2005) sugieren aplicar la técnica combinada entre Diferencia-en-Diferencias y Matching (DD-M), para lidiar con este limitante de $t = 2$ y obtener estimaciones con las propiedades deseadas.

Este método permite reducir el sesgo generado por el incumplimiento del supuesto de tendencias paralelas. El mismo consiste en igualar las observaciones de tratamiento y control sobre los resultados previos al tratamiento antes de aplicar la diferencia en diferencias sobre la muestra emparejada –con el vecino más cercano–. Este emparejamiento –Matching– en base a características pre-tratamiento corrige las tendencias no paralelas entre los dos grupos, mientras que las diferencias en diferencias posteriores eliminan cualquier otra discrepancia que permanezca entre los grupos de tratamiento y control.

Por lo tanto, para la estimación de los impactos socioeconómicos en los hogares beneficiados con carreteras asfaltadas de acceso a su comunidad, se aplicarán los métodos de DD y DD-M. El algoritmo utilizado para ejecutar el estimador DD-M asume una distribución Gausiana de los datos –Kernel–, con un ancho de banda de 0.09¹⁴.

Asimismo, siguiendo a Abadie (2005) se implementa un tercer método que es el de Diferencia-en-Diferencias Semiparamétrico (DD-S). El método pondera la tendencia de los participantes no tratados de acuerdo con su propensión a participar –Propensity Score–, el mismo que es estimado de manera semiparamétrica utilizando una serie polinomial de los predictores, calculados mediante una función logística de $P(X_j)$. Mediante esta ponderación se aborda

¹³ Otra forma de comprender el supuesto de tendencias paralelas es que, en ausencia del tratamiento, la variable de resultado debería cambiar a la misma velocidad para ambos grupos, es decir, que la variable siga la misma tendencia en los grupos de tratamiento y control.

¹⁴ El algoritmo se ejecutó en STATA, utilizando el comando “diff”.

el desequilibrio de características entre los tratados y no tratados, haciendo por lo tanto más creíble el cumplimiento del supuesto de tendencias paralelas¹⁵.

Por último, en la Tabla 8 se describen las variables de resultado –condiciones socioeconómicas– y covariantes empleados en las estimaciones de los efectos de las carreteras asfaltadas.

4.1.2. Resultados

En esta sección se presentan los resultados obtenidos en la estimación econométrica de los efectos de las carreteras asfaltadas sobre las condiciones socioeconómicas de la población. Como se explicó anteriormente, se procedió a testear el efecto utilizando tres técnicas de estimación: DD, DD-M y DD-S. De esta manera, los resultados son más robustos respecto al enfoque metodológico utilizado.

En la Tabla 9 se muestran los resultados que serán comentados en el desarrollo de este acápite¹⁶. Asimismo, cabe señalar que las interpretaciones de los resultados se basarán principalmente en los métodos DD-M y DD-S, debido a que estos métodos lidian mejor con posibles desviaciones del supuesto fundamental de tendencias paralelas.

Los primeros hallazgos sugieren un efecto positivo sobre los ingresos de las personas beneficiadas con carreteras asfaltadas de acceso a sus comunidades. Específicamente, en promedio, el efecto sería un aumento en el ingreso per cápita mensual de entre Bs160 a Bs190, en comparación a los que no se beneficiaron con ese tipo de carreteras. De igual manera, el beneficiarse con esta infraestructura habría permitido reducir entre 8pp y 11pp la incidencia de pobreza en los hogares tratados.

Si se analiza el impacto sobre el acceso a servicios básicos, los resultados sugieren que la construcción de carreteras asfaltadas de acceso a comunidades habría permitido aumentar la proporción de miembros del hogar con acceso a luz y agua entre 4pp a 9pp. De igual manera, con relación a las personas de los hogares beneficiados que acceden a servicios médicos profesionales al momento de enfermarse, se tiene que la proporción de éstos aumentó entre 2pp y 3pp, en

¹⁵ El algoritmo se ejecutó en STATA, utilizando el comando “*absdid*”.

¹⁶ En la Tabla 9 se hace énfasis en la presentación de las estimaciones del efecto tratamiento en los tratados; empero, en el Anexo 1 se presentan los valores de los coeficientes estimados para los covariantes, para las distintas especificaciones de las regresiones de DD, según la variable de resultado de interés.

comparación a los no beneficiados con carreteras asfaltadas de acceso a sus comunidades.

Aparentemente, los resultados sugieren que la tasa de desempleo se habría reducido entre 3pp y 4pp, dentro los hogares que en su comunidad acceden a carreteras asfaltadas; sin embargo, estos resultados son estadísticamente significativos al 10%, por lo que se requiere cautela en su interpretación.

Dado que una gran parte de los hogares de la muestra se dedican a actividades agrícolas (69%), es necesario indagar los potenciales efectos en el desempeño agrícola resultantes de beneficiarse con carreteras asfaltadas de acceso a sus comunidades. Como se manifestó en secciones anteriores, la infraestructura de transporte, al reducir los costos de transacción del intercambio en el mercado, aumenta la disponibilidad de insumos –semillas mejoradas, fertilizantes y pesticidas– y de servicios de extensión agrícola. En este marco, es más probable que los rendimientos de la producción agrícola aumenten. De esta manera, tomando como variable de resultado al rendimiento agrícola, medido como el cociente entre la producción y la superficie cultivada, la evidencia sugiere que, en promedio, éste habría crecido en casi 40% para los tratados.

De manera similar, el valor mensual de las ventas agropecuarias –otro indicador sobre el desempeño en el sector– resultaría ser mayor para los hogares beneficiados entre Bs743 y Bs764, en comparación a los no beneficiados.

Por otra parte, con el objetivo de comprender si el aumento estimado en el rendimiento agrícola se debe a un efecto sobre la producción o sobre la superficie cultivada, se ejecutan regresiones con éstas como variables de resultado. Así, los resultados muestran que existiría un efecto positivo y estadísticamente significativo en la producción agrícola de los hogares beneficiados. En cambio, el efecto sobre la superficie cultivada es estadísticamente nulo. Por lo tanto, para la muestra estudiada, se podría mencionar que el rendimiento agrícola habría mejorado mediante un aumento en el nivel de producción, más que por un efecto sobre la superficie cultivada. Este último resultado es coherente con el presentado en la Tabla 5, que sugería la ausencia de cambios o variaciones de las variables de superficie agrícola y superficie cultivada, tanto para el grupo de tratamiento como el de control.

4.2. Efectos en la percepción de la población

4.2.1. Análisis descriptivo de la percepción de los hogares

A continuación, se procede a describir las percepciones de los individuos de la muestra sobre potenciales ventajas o beneficios resultantes de la construcción de caminos que facilitan el acceso a su comunidad¹⁷. El objetivo es medir la satisfacción subjetiva de los individuos de la muestra sobre los efectos de la construcción de vías. Este análisis es posible debido a la inclusión de preguntas de percepción en la encuesta de seguimiento, de 2019, a los hogares de la muestra.

Estimar el efecto de los caminos sobre la satisfacción subjetiva implica un análisis sobre la calidad de vida y bienestar de los hogares de la muestra. Si bien la calidad de vida es un concepto polisémico, relacionado con conceptos como bienestar subjetivo, felicidad, satisfacción, etc., Se puede concebir a la calidad de vida como un constructo multidimensional, que incluye componentes objetivos y subjetivos, relativos a diversos ámbitos de la vida. En esta sección se analiza el efecto de los caminos sobre esta dimensión subjetiva de la calidad de vida.

En la Tabla 10 se presentan los resultados de preguntas relacionadas a cómo perciben los jefes de hogar las mejoras en diferentes actividades resultantes de la construcción de caminos que facilitan el acceso a su comunidad. Considerando que los hogares denominados de tratamiento –según la definición en 3.1– se beneficiaron directamente con carreteras asfaltadas de acceso a sus comunidades, se espera a priori que la percepción de mejoras en este grupo sea más alta que en el grupo de control.

Las primeras dos columnas de la tabla muestran las proporciones de respuestas positivas a la pregunta especificada en cada fila. La tercera columna muestra los niveles de significancia estadística –valores p– para contrastar la hipótesis de que no existe diferencia estadística en la proporción de respuestas favorables entre los individuos de los grupos de tratamiento y de control. Adicionalmente, para verificar que estas diferencias en las proporciones se mantienen después de aislar el efecto de otros factores, la cuarta columna incorpora la diferencia de medias entre los grupos de tratamiento y control condicionada a un conjunto de características de los hogares, esto en el marco de un análisis de regresión

¹⁷ En este caso, se analiza la construcción generalizada de caminos de acceso a las comunidades, es decir, en la percepción de los encuestados, éstos pueden tomar como referencia caminos de tierra, ripio, asfalto u otros.

múltiple. Y en la quinta columna, se reportan los valores-p para testear si la diferencia de medias condicionada es estadísticamente distinta de cero. Los resultados de las columnas 4 y 5 se constituyen en pruebas más formales para evaluar las diferencias en las percepciones entre los grupos de tratamiento y de control.

Los resultados muestran que el 66% de los hogares del grupo de tratamiento consideran que la construcción de caminos ha mejorado su acceso a centros de salud. Asimismo, el 65% de los jefes de estos hogares piensan que es más fácil para los niños ir a la escuela. Mientras que, alrededor de la mitad de la muestra de hogares pertenecientes al grupo de tratamiento, 54%, opinan que la construcción de caminos ha mejorado las oportunidades de empleo. Estas proporciones, que pertenecen a los individuos del grupo de tratamiento, son mayores a las expresadas por los individuos en el grupo de control.

La cuarta fila de la tabla muestra que el 48% de los hogares del grupo de tratamiento creen que con la construcción de caminos los ingresos de los hogares son mayores. De igual manera, un poco más del 60% de los individuos del grupo de tratamiento considera que: hay mejor acceso a los mercados para vender sus productos, que existen mayores compradores y comercio en la región, y que existe una mayor demanda por bienes –aumento en los gastos–. Cabe mencionar que, cuando se condiciona por características del hogar, las diferencias en la percepción entre los grupos de tratamiento y control son estadísticamente más significativas.

La proporción de hogares que perciben una mejora en los precios de los servicios básicos es baja, 27% en los hogares del grupo de tratamiento y 17% en el grupo de control. Sin embargo, las percepciones positivas son mayores en el grupo de tratamiento que en el grupo de control.

Si se analiza la percepción sobre el flujo espacial de los individuos, el 72% de los hogares del grupo de tratamiento consideran que la construcción de caminos ha impulsado la emigración de individuos hacia otros lugares fuera de la comunidad. De igual forma, el 60% de estos hogares opina que los caminos han permitido un incremento en las visitas de personas a su comunidad.

En general, después de controlar por un conjunto de características de los hogares, se tiene mayor sustento estadístico para rechazar la hipótesis nula de que la diferencia entre las percepciones de los tratados y no tratados es cero.

Por otra parte, tanto en la encuesta de 2009 como de 2019, el cuestionario incorporaba preguntas sobre la percepción de los hogares respecto a si algunos de los miembros del hogar tenían problemas de largas distancias o mal estado del camino para llegar a los establecimientos de salud, educación y a los mercados de comercialización (ver Tabla 11). Así, en 2009, el 80% de los hogares del grupo de tratamiento contestaron tener como problema para acceder a centros de salud a la distancia o mal estado del camino; esta proporción disminuyó a 47% el 2019. Estos porcentajes de percepción disminuyen del 71% al 55% en los hogares del grupo de control.

Similar comportamiento en la percepción se tiene si se considera el acceso a educación. El 2009, el 71% de los hogares del grupo de tratamiento percibían a la distancia o mal estado del camino como un problema para acceder a los establecimientos de educación, este porcentaje cayó al 40% el 2019; la disminución en la percepción de los hogares del grupo de control es del 61% al 46%.

De igual manera, la percepción de la distancia o mal estado del camino como un problema para acceder a los mercados de comercialización bajó del 79% (80%) al 51% (63%) en los hogares del grupo de tratamiento (control). Estas disminuciones en los porcentajes sugieren una mejora en la percepción de los efectos positivos de los caminos.

En las dos últimas columnas de la Tabla 11 se evalúa la diferencia en la percepción de los grupos de tratamiento y control desde un enfoque más riguroso, dado que se controla por las características de los hogares. Los resultados sugieren que, estadísticamente, los individuos denominados tratados perciben menos problemas de distancia o mal estado de los caminos para acceder a los servicios de salud, educación, o a mercados para comercializar sus productos, en comparación a los del grupo de control.

En el Anexo 2 se agrupan los resultados de regresiones de diferencias de medias condicionadas presentadas en las Tablas 10 y 11, pero con el detalle adicional de los valores estimados para los covariantes de características de los hogares.

4.2.2. Efectos de la construcción de caminos que facilitan el acceso a comunidades sobre la percepción de los hogares

Para verificar con mayor rigurosidad las diferencias encontradas en el acápite anterior, se presenta un análisis causal de estos datos bajo el supuesto de

“*independencia condicional*”, es decir, se aplica de la metodología de Propensity Score Matching (PSM).

4.2.2.1. Estrategia empírica

Para este análisis se implementa el método de emparejamiento –PSM– bajo el supuesto que, si se comparan los grupos de tratamiento y control considerando las diferencias observables, se puede lidiar con el sesgo de selección¹⁸. Los métodos de emparejamiento se constituyen en una herramienta válida para la evaluación de tratamientos en estudios observacionales con datos de corte transversal (Smith y Todd, 2005; Dehejia, 2005). Esto es posible en la medida que buscan comparar la situación de cada participante sólo con la de aquellos individuos que sean similares de acuerdo con un conjunto de características; es decir, buscan para cada observación, otras observaciones en la muestra cuyos covariantes son similares pero que no fueron expuestos al tratamiento.

Los estimadores de emparejamiento identifican y estiman consistentemente el efecto del tratamiento bajo los siguientes supuestos¹⁹:

- i. La asignación al tratamiento es independiente de los resultados, condicional a los covariantes, $(Y_i^0, Y_i^1) \perp T_i | X_i$: Usualmente, este supuesto es referido como selección en observables o independencia condicional.
- ii. La probabilidad de asignación está limitada entre cero y uno, $\varsigma < P(X_i) = P(T_i = 1 | X_i) < 1 - \varsigma$, para algún $\varsigma > 0$, también conocido como el supuesto de solapamiento –*overlap assumption*– (Imbens, 2004).

Asimismo, $P(X_i) = P(T_i = 1 | X_i)$, es el Propensity Score (PS), la probabilidad predicha de que $T_i = 1$ dados los covariantes X_i . Así, condicionando sobre $P(X_i)$ puede conseguirse que la distribución de los covariantes en el grupo de tratamiento y en el grupo de control sea la misma, esta es la hipótesis de balanceo, que puede ser presentada como $T_i \perp X_i | P(X_i)$. Si la misma se cumple, observaciones con la misma métrica deben tener la misma distribución de

¹⁸ Este supuesto se conoce como de ignorabilidad, selección en observables o independencia condicional.

¹⁹ Para cada observación $i = 1 \dots n$ se tiene dos resultados potenciales (Y_i^0, Y_i^1) , T_i^1 es el resultado si la observación i participa en el programa (pertenece al grupo de tratamiento), y Y_i^0 es el resultado si la observación i no participa en el programa (pertenece al grupo de control); en el marco del presente estudio, recibir beneficio de la construcción de infraestructura vial o no. Nótese que cada observación pertenece a un solo grupo: $T_i = 0$ si la observación pertenece al grupo de control (no recibió beneficio de la construcción) y $T_i = 1$ si la observación pertenece al grupo de tratamiento (si recibió beneficio de la construcción).

características observables –y no observables– independientemente del estatus de tratamiento.

Bajo estos supuestos, existe una gran variedad de estimadores de emparejamiento. En este trabajo se consideran aquellos estimadores que poseen propiedades de muestra finita deseadas y propiedades asintóticas demostradas (Frölich, 2004; Busso, Dinardo y McCrary, 2009, 2014). De esta manera, se emplea el método basado en la Ponderación Inversa de Probabilidad (IPW, por sus siglas en inglés) y el estimador de emparejamiento basado en los covariantes con corrección de sesgo de Abadie e Imbens (2011)²⁰.

El emparejamiento con el vecino más cercano busca para cada uno de los beneficiarios –unidad de tratamiento– al no beneficiario –unidad de control– con el $P(X_i)$ más cercano. En el estimador basado en la Ponderación Inversa de Probabilidad se estiman pesos considerando la probabilidad de participación $P(X_i)$, calculados como la inversa de dicha probabilidad para tratados ($1/P(X_i)$) y no tratados ($1/(1 - P(X_i))$); y posteriormente se realiza la estimación del efecto del tratamiento emparejando con el vecino más cercano, pero a su vez ponderando por los pesos anteriormente calculados.

Asimismo, el estimador de emparejamiento basado en los covariantes utiliza como métrica para definir similitud a la distancia de Mahalanobis, e intenta remover el sesgo proveniente del emparejamiento inexacto con el vecino más cercano, en muestras pequeñas. Para ello se ajusta la diferencia en los emparejamientos con las diferencias en los valores de sus covariantes utilizando funciones de regresión.

4.2.2.2. Resultados

En la Tabla 12 se presentan los resultados de las estimaciones sobre los efectos en las mejoras que perciben los hogares de la muestra con relación a la construcción de caminos que faciliten el acceso a sus comunidades.

Antes de interpretar los coeficientes es necesario mencionar los siguientes aspectos:

²⁰ Busso et. al. (2014) sugieren que el estimador IPW posee buen performance en términos de sesgo en muestras finitas. Al mismo tiempo, estos autores sostienen que el estimador con corrección de sesgo basado en los covariantes de Abadie e Imbens (2011) es más efectivo en escenarios de solapamiento bajo en muestras pequeñas; además que las propiedades asintóticas de estos estimadores fueron establecidas por Abadie e Imbens (2006), y existen fórmulas para el cálculo de su varianza que sea robusta a la heteroscedasticidad.

- i. Para asegurar un buen solapamiento entre las distribuciones de la probabilidad de participación –PS– de los grupos de tratamiento y control, se excluyen los valores extremos de ambas distribuciones –*Trimming*–.
- ii. La especificación utilizada para estimar los efectos fue establecida con el objetivo de equilibrar la distribución de los covariantes en los grupos de tratamiento y control, para ello se utilizaron como criterios las diferencias estandarizadas y los ratios de varianza; éstas denotarán un buen balance si tienen valores cercanos a cero y uno, respectivamente²¹.
- iii. Los errores estándar son robustos a la heteroscedasticidad.

En general, los resultados sugieren que la construcción de caminos que facilitan el acceso a las comunidades generó efectos positivos y estadísticamente significativos en la mejora percibida en distintos aspectos. Por ejemplo, la inversión en infraestructura vial habría repercutido en que la proporción de hogares que percibe mejoras en el acceso a la salud se incrementa entre 8pp y 10pp. De manera similar, la evidencia sustenta un efecto positivo de la construcción de caminos sobre la percepción de mejoras en oportunidades de empleo, ingresos, acceso a mercados, aumento de compradores y gastos –mayor demanda–, así como para la emigración y visitas de personas a la comunidad.

Estos resultados indican que cuando se evalúa la percepción de los hogares respecto a las potenciales mejoras derivadas de la construcción generalizada de caminos en torno a sus comunidades, dentro los hogares denominados de tratamiento (i.e. que se beneficiaron con carreteras asfaltadas de acceso a sus comunidades) una mayor proporción percibe que existieron mejoras en condiciones socioeconómicas de ingresos, empleo, salud, educación, comercio, entre otros, en comparación a los hogares de control.

Estos hallazgos coinciden con la posición a priori que se tenía, es decir que de alguna forma la construcción a asfalto de carreteras de acceso a comunidades (i.e. el denominado tratamiento en este estudio) ha influenciado no sólo en aspectos cuantitativos sino también cualitativos vinculados a las condiciones socioeconómicas de la población.

Finalmente, es importante mencionar que, si bien los hogares denominados de tratamiento perciben varias mejoras resultantes de contar con caminos de acceso a sus comunidades, éstos también divisan que aumentó la

²¹ En el Anexo 3 se presentan los resultados de las diferencias estandarizadas y los ratios de varianza, tanto para las estimaciones con la Ponderación Inversa de Probabilidad como para los basados en Abadie e Imbens (2011).

contaminación, el pueblo creció desordenadamente, hay más delincuencia, hay más accidentes y es más difícil que los animales circulen.

5. CONCLUSIONES

En términos generales, los resultados obtenidos en la investigación permiten concluir que la inversión en infraestructura vial ha contribuido positivamente en las condiciones socioeconómicas de los hogares beneficiados con la misma. Las carreteras construidas en Bolivia han tenido un efecto importante sobre los niveles de ingreso de la población beneficiada. El efecto es de un aumento en los ingresos totales de Bs160 a Bs190 mes por miembro del hogar, en promedio. En relación con la calidad de vida de los pobladores beneficiados, los resultados sugieren que las carreteras ayudaron a reducir la incidencia de pobreza de las familias en 8pp a 11pp. De igual manera, en los hogares beneficiados por las carreteras asfaltadas se experimentó una reducción en la tasa de desempleo.

En cuanto a servicios de salud, existe una mejora en el uso de estos servicios debido a la construcción de las carreteras y mejora en la facilidad de acceso; las familias beneficiadas con la construcción de las carreteras incrementaron el uso de servicios médicos profesionales en casi 3pp. Similar efecto se tuvo con el acceso a servicios básicos, los hogares beneficiados con las carreteras mejoraron su cobertura de servicios de agua y electricidad entre 4pp a 9 pp.

Los beneficios en la actividad agrícola también fueron importantes, ya que la productividad agrícola se habría incrementado en casi 40% y el valor de ventas agrícolas mensuales habría crecido entre Bs743 y Bs764, respecto a los hogares no beneficiados.

Una segunda parte del análisis se concentró en estudiar la percepción de los hogares acerca de los beneficios que experimentaron por la construcción generalizada de caminos. Los resultados sugieren que existiría una mayor proporción de hogares en el grupo de tratamiento que perciben mejoras en acceso a salud y educación, oportunidades de empleo, ingresos, accesos a mercados, aumento de compradores y gastos, entre otros, en comparación a los hogares del grupo de control.

La importancia de mejorar la infraestructura vial, en particular en el área rural, es un tema de interés que ha estado durante mucho tiempo en el centro de las políticas de desarrollo de los países. Aunque muchos trabajos de investigación obtienen efectos positivos de la construcción de esta infraestructura, trabajos

recientes sugieren que la relación entre infraestructura vial y desarrollo rural debe ser profundizado, que centrarse únicamente en aumentar la cantidad de carreteras no es suficiente, y que deberían hacerse mayores esfuerzos para garantizar la calidad y eficiencia de los servicios complementarios relacionados (Jouanjean, 2013; Rajović y Bulatović, 2016).

Estos estudios sugieren que la provisión de carreteras es solo parte de un problema más amplio de altos costos de transacción, acceso a mercados e inclusión social. Así las inversiones en infraestructura dura –carreteras, comunicación y suministro de energía– serían necesarias, pero no suficientes para una integración exitosa en el mercado. Es decir, que debería a su vez considerarse la complementariedad entre la infraestructura dura y la blanda, también llamada logística –servicios relacionados con el transporte–. Ulimwengu et al. (2009), por ejemplo, sugiere que el desarrollo del sector agrícola requiere tanto de inversiones “*para*” la agricultura, que incluye inversiones en caminos rurales, como inversiones “*en*” agricultura, que incluye Investigación & Desarrollo, servicios de extensión, proyectos de riego, políticas de distribución de insumos, etc.

REFERENCIAS

- Abadie, A. (2005). Semiparametric difference-in-differences estimators. *The Review of Economic Studies*, 72(1), 1-19.
- Abadie, A., & Imbens, G. W. (2011). Bias-corrected matching estimators for average treatment effects. *Journal of Business & Economic Statistics*, 29(1), 1-11.
- Achour, H., & Belloumi, M. (2016). Investigating the causal relationship between transport infrastructure, transport energy consumption and economic growth in Tunisia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 988-998.
- AC&A, y Cenit. (2020). Análisis de inversiones en el sector transporte terrestre interurbano latinoamericano a 2040. Caracas: CAF. Retrieved from <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/1537>
- Agénor, P. R., & Moreno-Dodson, B. (2006). *Public infrastructure and growth: New channels and policy implications*. The World Bank.
- Ahmed, R., & Hossain, M. (1990). *Developmental impact of rural infrastructure in Bangladesh* (Vol. 83). Intl Food Policy Res Inst.
- Ahmed, R., & Donovan, C. (1992). *Issues of infrastructural development: a synthesis of the literature*. Intl Food Policy Res Inst.
- Andersen, L. E., & Nina, O. (2007). *Geographical constraints to growth in Bolivia* (No. 05/2007). Development Research Working Paper Series.
- Angrist, J. D., & Pischke, J. S. (2008). *Mostly harmless econometrics: An empiricist's companion*. Princeton university press.
- Aschauer, D. A. (1989). Is public expenditure productive?. *Journal of monetary economics*, 23(2), 177-200.
- Asensio, J., & Roca, O. (2001). Evaluation of transport infrastructure projects beyond cost-benefit analysis. An application to Barcelona's 4 th Ring Road. *International Journal of Transport Economics/Rivista internazionale di economia dei trasporti*, 387-403.
- Baldwin, R. E., & Forslid, R. (2000). The core-periphery model and endogenous growth: Stabilizing and destabilizing integration. *Economica*, 67(267), 307-324.

- Banister, D., & Berechman, J. (2000). *Transport investment and economic development*. Psychology Press.
- 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.
- Brenneman, A., & Kerf, M. (2002). Infrastructure and poverty linkages: a literature review. The World Bank. *Washington, DC Draft*.
- Bryceson, D. F., & Howe, J. (1993). Rural household transport in Africa: Reducing the burden on women?. *World development*, 21(11), 1715-1728.
- Busso, M., DiNardo, J., & McCrary, J. (2009). Finite sample properties of semiparametric estimators of average treatment effects. *forthcoming in the Journal of Business and Economic Statistics*.
- Busso, M., DiNardo, J., & McCrary, J. (2014). New evidence on the finite sample properties of propensity score reweighting and matching estimators. *Review of Economics and Statistics*, 96(5), 885-897.
- Buys, P., Deichmann, U., & Wheeler, D. (2010). Road network upgrading and overland trade expansion in Sub-Saharan Africa. *Journal of African Economies*, 19(3), 399-432.
- Calderón, C., & Servén, L. (2004). *The effects of infrastructure development on growth and income distribution*. The World Bank.
- Canning, D., & Pedroni, P. (1999). The contribution of infrastructure to aggregate output. *The World Bank Policy Research Working Paper*, 2246.
- Datt, G., & Ravallion, M. (1998). Why Have Some Indian States Done Better Than Others at Reducing Rural Poverty?. *Economica*, 65(257), 17-38.
- Dehejia, R. (2005). Practical propensity score matching: a reply to Smith and Todd. *Journal of econometrics*, 125(1-2), 355-364.
- Deininger, K., & Okidi, J. (2003). Growth and poverty reduction in Uganda, 1999–2000: Panel data evidence. *Development policy review*, 21(4), 481-509.
- Demetriades, P. O., & Mamuneas, T. P. (2000). Intertemporal output and employment effects of public infrastructure capital: evidence from 12 OECD economies. *The Economic Journal*, 110(465), 687-712.

- Dethier, J. J., Hirn, M., & Straub, S. (2011). Explaining enterprise performance in developing countries with business climate survey data. *The World Bank Research Observer*, 26(2), 258-309.
- Estache, A., & Fay, M. (1995). Regional growth in Argentina and Brazil: Determinants and policy options. *Washington, DC: The World Bank, Mimeo*.
- Fan, S., Hazell, P., & Thorat, S. (2000). Government spending, growth and poverty in rural India. *American journal of agricultural economics*, 82(4), 1038-1051.
- Fan, S., Zhang, L., & Zhang, X. (2002). *Growth, inequality, and poverty in rural China: The role of public investments* (Vol. 125). Intl Food Policy Res Inst.
- Fan, S., & Zhang, X. (2004). Infrastructure and regional economic development in rural China. *China economic review*, 15(2), 203-214.
- Frölich, M. (2004). Finite-sample properties of propensity-score matching and weighting estimators. *Review of Economics and Statistics*, 86(1), 77-90.
- Gannon, C. A., & Liu, Z. (1997). *Poverty and transport* (No. TWU-30). Washington, DC: World Bank.
- Ghani, E., Goswami, A. G., & Kerr, W. R. (2016). Highway to success: The impact of the Golden Quadrilateral project for the location and performance of Indian manufacturing. *The Economic Journal*, 126(591), 317-357.
- Gibbons, S., Lyytikäinen, T., Overman, H. G., & Sanchis-Guarner, R. (2019). New road infrastructure: the effects on firms. *Journal of Urban Economics*, 110, 35-50.
- Gonzalez, J. A., Guasch, J. L., & Serebrisky, T. (2007). Latin America: Addressing high logistics costs and poor infrastructure for merchandise transportation and trade facilitation. *Consulta de San José*, 1-38.
- Gregory, D. I., & Bumb, B. (2006). *Factors affecting supply of fertilizer in Sub-Saharan Africa*. Agriculture & Rural Development Department, World Bank.
- Gunasekera, K., Anderson, W., & Lakshmanan, T. R. (2008). Highway-induced development: evidence from Sri Lanka. *World Development*, 36(11), 2371-2389.
- Heckman, J., Ichimura, H., Smith, J., & Todd, P. (1998). *Characterizing selection bias using experimental data* (No. w6699). National bureau of economic research.

- Hettige, H. (2006). *When do rural roads benefit the poor and how?: an in-depth analysis based on case studies*. Asian Development Bank.
- Hong, J., Chu, Z., & Wang, Q. (2011). Transport infrastructure and regional economic growth: evidence from China. *Transportation*, 38(5), 737-752.
- Imbens, G. W. (2004). Nonparametric estimation of average treatment effects under exogeneity: A review. *Review of Economics and statistics*, 86(1), 4-29.
- Jacoby, H. G. (2000). Access to markets and the benefits of rural roads. *The economic journal*, 110(465), 713-737.
- Jouanjean, M. A. (2013). Targeting infrastructure development to foster agricultural trade and market integration in developing countries: an analytical review. *London: Overseas Development Institute*, 1-26.
- 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.
- Landa, F., Lazo, A., Lizárraga, S., Marconi, E., Madeiros, G., Peñaloza, R., Capra, K., y Santa Cruz, H. (2010). *Evaluación de impacto de la infraestructura vial en las condiciones socioeconómicas de la población*. Unidad de Análisis de Políticas Sociales y Económicas – Banco de Desarrollo de América Latina.
- Lima, N., & Venables, A. J. (2001). Infrastructure, geographical disadvantage, transport costs, and trade. *The world bank economic review*, 15(3), 451-479.
- Lokshin, M., & Yemtsov, R. (2005). Has rural infrastructure rehabilitation in Georgia helped the poor?. *The World Bank Economic Review*, 19(2), 311-333.
- Mu, R., & Van de Walle, D. (2011). Rural roads and local market development in Vietnam. *The Journal of Development Studies*, 47(5), 709-734.
- Platteau, J. P. (1996). Physical infrastructure as a constraint on agricultural growth: The case of sub-Saharan Africa. *Oxford Development Studies*, 24(3), 189-219.
- Rajović, G., & Bulatović, J. (2016). Rural Roads-Issues and Development: Overview. *Journal of Management and Accounting Studies*, 4(04), 70-77.
- Reardon, T., Stamoulis, K., Balisacan, A., Cruz, M. E., Berdegue, J., & Banks, B. (1998). Rural non-farm income in developing countries. *The state of food and agriculture*, 1998, 283-356.

Seethepalli, K., Bramati, M. C., & Veredas, D. (2008). *How relevant is infrastructure to growth in East Asia?*. The World Bank.

Serven, L. (2010). Infrastructure and growth. *The World Bank, DECRG Research Brief*.

Shepherd, B., & Wilson, J. S. (2007). Trade, infrastructure, and roadways in Europe and Central Asia: New empirical evidence. *Journal of Economic Integration*, 723-747.

Smith, J. A., & Todd, P. E. (2005). Does matching overcome LaLonde's critique of nonexperimental estimators?. *Journal of econometrics*, 125(1-2), 305-353.

Siyan P., Eremionkhale R., y Makwe E. (2015). The Impact of Road Transportation Infrastructure on Economic Growth in Nigeria. *International Journal of Management and Commerce Innovations*, 3(1), 673-680.

Ulimwengu, J., Funes, J., Headey, D., & You, L. (2009). Paving the way for development. *The impact of transport infrastructure on agricultural production and poverty reduction in the Democratic Republic of Congo. International Food Policy Research Institute Discussion Paper*, 840.

Walle, D. V. D. (1999). *Choosing rural road investments to help reduce poverty*. The World Bank.

Wooldridge, M. (2009). *An introduction to multiagent systems*. John Wiley & Sons.

TABLA 1: GRUPO DE TRATAMIENTO Y CONTROL, SEGÚN AÑO
(Número de hogares)

Año	Grupo de tratamiento	Grupo de control
2009 (Línea de base)	0	922
2019 (Encuesta de seguimiento)	154	768

TABLA 2: CARACTERÍSTICAS DEL HOGAR Y JEFE DE HOGAR

	Control		Tratamiento		H0: Dif=0		2009		2019		H0: Dif=0	
	Media	SD	Media	SD	Media	SD	Media	SD	Media	SD	Media	SD
Jefe es hombre	0,86	0,34	0,83	0,38	0,1497	0,38	0,89	0,32	0,83	0,38	0,0004	0,0000
Tamaño hogar	4,57	2,33	4,58	2,41	0,9549	2,41	5,05	2,37	4,09	2,22	0,0000	0,0000
Edad jefe hogar	50,42	14,79	51,46	15,03	0,2617	15,03	47,15	14,44	54,05	14,42	0,0000	0,0000
Edad promedio hogar	34,21	17,88	35,60	18,40	0,2171	18,40	29,84	15,60	39,05	18,99	0,0000	0,0000
Escolaridad jefe hogar	5,34	4,15	4,93	4,02	0,1168	4,02	4,70	3,76	5,84	4,39	0,0000	0,0000
Educación máxima hogar	9,10	4,25	8,76	4,51	0,2019	4,51	8,62	4,04	9,47	4,50	0,0000	0,0000
Tasa de dependencia	0,79	0,83	0,78	0,83	0,9271	0,83	0,91	0,90	0,66	0,72	0,0000	0,0000
Jefe trabaja	0,94	0,23	0,95	0,21	0,3619	0,21	0,96	0,21	0,93	0,25	0,0264	0,0264

Fuente: Elaboración propia con datos de las encuestas de hogares 2009 y 2019 del estudio.

TABLA 3. NÚMERO DE HOGARES, SEGÚN PRINCIPAL ACTIVIDAD ECONÓMICA

	2009				2019			
	Control	Tratamiento	Total	(%)	Control	Tratamiento	Total	(%)
Hidrocarburos y Minería	19	3	22	2%	24	2	26	3%
Industria Manufacturera	14	1	15	2%	6	0	6	1%
Comercio	36	12	48	5%	43	14	57	7%
Construcción	97	25	122	14%	61	16	77	9%
Servicios Básicos	50	15	65	7%	35	5	40	5%
Agricultura y Ganadería	487	84	571	64%	497	90	587	69%
Transporte	40	11	51	6%	45	13	58	7%
Comunicaciones y Turismo	2	0	2	0%	4	1	5	1%
Total	745	151	896	100%	715	141	856	100%

Nota: El total no suma 922 porque la información sólo corresponde a las actividades económicas los que están sí se encuentran ocupados.

Fuente: Elaboración propia con datos de las encuestas de hogares 2009 y 2019 del estudio.

TABLA 4. NÚMERO DE HOGARES QUE SE DEDICAN A LA AGRICULTURA, SEGÚN PRINCIPALES CULTIVOS

	2009			2019		
	Control	Tratamiento	Total	(%)	Control	Tratamiento
Tubérculos	149	27	176	26%	142	27
Frutas	66	12	78	12%	91	12
Cereales	274	52	326	49%	224	47
Coca	60	9	69	10%	62	7
Verduras	17	4	21	3%	18	1
Total	566	104	670	100%	537	94

Nota: La muestra considera a hogares que tienen actividad agrícola.

Fuente: Elaboración propia con datos de las encuestas de hogares 2009 y 2019 del estudio.

TABLA 5: CARACTERÍSTICAS DE LA SUPERFICIE Y SUPERFICIE CULTIVADA

	Control		H0:Dif=0		Tratamiento		H0:Dif=0	
	2009	2019	2009	(p-value)	2009	2019	2009	(p-value)
Superficie (Ha)								
Promedio	12,50	5,80	0,159		20,80	22,80	0,881	
CV	879%	203%			383%	469%		
Mediana	2,00	2,60	0,365		2,00	3,00	0,083	
Superficie cultivada (Ha)								
Promedio	2,50	2,42	0,730		26,80	20,70	0,666	
CV	160%	162%			342%	518%		
Mediana	1,50	1,50	0,694		1,50	1,25	0,942	

Fuente: Elaboración propia con datos de las encuestas de hogares 2009 y 2019 del estudio.

TABLA 6: CARACTERÍSTICAS DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

	Control			Tratamiento			H0:Dif=0			2009			2019			H0:Dif=0		
	Media	SD		Media	SD		Media	SD	(p-value)	Media	SD		Media	SD		Media	SD	(p-value)
Si rota cultivos	0,34	0,47		0,40	0,49		0,31	0,46	0,1971	0,38	0,49		0,38	0,49		0,0270		
Si descansa la tierra	0,53	0,50		0,49	0,50		0,45	0,50	0,4193	0,59	0,49		0,59	0,49		0,0000		
Si usa abonos naturales	0,34	0,48		0,28	0,45		0,40	0,49	0,1418	0,27	0,44		0,27	0,44		0,0000		
Tiene tractor	0,02	0,13		0,07	0,25		0,02	0,15	0,0000	0,03	0,18		0,03	0,18		0,1602		
Tiene cultivadora	0,03	0,16		0,03	0,16		0,02	0,16	0,9801	0,03	0,16		0,03	0,16		0,8049		
Tiene camioneta	0,09	0,28		0,07	0,26		0,09	0,28	0,4276	0,08	0,27		0,08	0,27		0,6810		

Fuente: Elaboración propia con datos de las encuestas de hogares 2009 y 2019 del estudio.

TABLA 7: DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES DE IMPACTO

	2009			2019			H0:Dif=0			2019			H0:Dif=0		
	Media	SD		Media	SD		Media	SD	(p-value)	Media	SD		Media	SD	(p-value)
Ingresos del hogar	2282,2	3433,8		2554,1	3189,0		0,0322	4295,9	5979,7	5236,2	9706,9		0,0000		
Pobres	0,24	0,43		0,19	0,40		0,0003	0,09	0,29	0,09	0,29		0,1673		
Acceso a salud profesional	0,93	0,25		0,93	0,26		0,3563	0,95	0,22	0,97	0,18		0,4687		
Tasa desempleo	0,24	0,28		0,26	0,26		0,0103	0,16	0,28	0,21	0,27		0,0000		
Servicios Básicos	0,16	0,37		0,25	0,44		0,0000	0,26	0,44	0,48	0,50		0,0000		
Rendimiento Agrícola	7,3	1,2		7,4	1,7		0,0673	7,4	1,2	7,7	1,3		0,0001		
Ventas Agropecuaria	1,9	17,0		9,1	36,2		0,0000	1,9	4,1	9,5	57,7		0,0000		
Producción Agrícola	7,6	1,5		8,1	2,4		0,0006	7,8	1,6	8,0	2,2		0,0042		
Superficie Cultivada	0,31	1,21		0,56	2,28		0,0000	0,32	1,14	0,40	2,10		0,4718		

Fuente: Elaboración propia con datos de las encuestas de hogares 2009 y 2019 del estudio.

TABLA 8: VARIABLES UTILIZADAS EN EL ESTUDIO

VARIABLES	DESCRIPCIÓN
Variables de impacto	
Ingresos del hogar	Ingresos mensuales totales del hogar, medidos en bolivianos (Bs).
Pobres	Dicotómica: 1 si el ingreso mensual del hogar es menor a Bs568 (Línea de pobreza del área rural); 0 de otra manera.
Acceso a salud profesional	Dicotómica: 1 si los miembros de un hogar acuden a servicios de salud profesionales en caso de problemas de salud (hospitales, clínicas, posta de salud, doctores, etc.); 0 de otra manera.
Desempleo	Porcentaje de miembros del hogar con edad mayor a 12 años que no trabajan.
Servicios Básicos	Dicotómica: 1 si el hogar cuenta con acceso a servicios de agua de red y electricidad; 0 de otra manera.
Rendimiento Agrícola	Cociente entre la producción agrícola sobre la superficie cultivada.
Ventas Agropecuarias	Valor mensual de las ventas de productos agropecuarios del hogar, en Bs.
Producción Agrícola	Cantidad de producción agrícola del hogar, medido en kilogramos.
Agricultura Superficie Cultivada	Superficie cultivada por el hogar, medido en hectáreas.
Variables de control	
Jefe es hombre	Dicotómica: 1 si el jefe del hogar es hombre o no; 0 de otra manera.
Tamaño hogar	Número de miembros del hogar.
Edad jefe hogar	Edad del jefe de hogar, en años.
Escolaridad adultos	Valor promedio de años de estudio de las personas mayores a 23 años de un hogar.
Número niños (<=12)	Número de miembros de un hogar con edad menor o igual a 12 años.
Tasa de dependencia	Cociente entre los individuos dependientes y los individuos económicamente activos en el hogar.
Jefe trabaja	Dicotómica: 1 si el jefe de hogar trabaja o no; 0 de otra manera.
Principal actividad es agropecuaria	Dicotómica: 1 si la principal fuente de ingreso del hogar es la actividad agropecuaria; 0 de otra manera.
Tiene alcantarillado	Dicotómica: 1 si el hogar tiene el servicio de alcantarillado; 0 de otra manera.
Tiene agua de cañería	Dicotómica: 1 si el hogar tiene acceso a agua por cañería de red; 0 de otra manera.
Tiene electricidad	Dicotómica: 1 si el hogar tiene acceso a electricidad en casa; 0 de otra manera.
Índice de Riqueza material	Un índice generado por el método de componentes principales para variables categóricas, utilizando las siguientes variables: tipo de piso, calidad del techo, si tiene baño, alcantarillado, si cocina a gas, si tiene vivienda propia, si tiene acceso a internet, si tiene cañería.
Tiene auto/camión	Dicotómica: 1 si el hogar tiene medio de transporte propio; 0 de otra manera.
Tiempo al lugar de venta	El tiempo promedio de traslado de sus productos al lugar de venta.
Superficie	Superficie total en hectáreas.
Tiene prácticas de cuidado de la tierra	Dicotómica: 1 si el hogar implementa las siguientes prácticas: Si rota cultivos, usa abonos naturales, o descansa la tierra; 0 de otra manera.
Infraestructura agrícola	Dicotómica: 1 si el hogar tiene la siguiente infraestructura: tractor, camión/camioneta, bote/barcaza, arado, fumigadora, cultivadora, molino para granos, motor para bombeo, almacén, granero, silo o galpón, estanques de agua, motosierra, secadora, beneficiadora, peladora; 0 de otra manera.
Dicotómicas - Tipos de cultivo	Variables dicotómicas para los tipos de cultivo: tubérculo, coca, fruta, cereal, verdura.
Dicotómicas - Departamentos	Variables dicotómicas por departamentos.

TABLA 9: EFECTOS SOBRE LAS CONDICIONES SOCIOECONÓMICAS DE LA POBLACIÓN

VARIABLES	(1) Ingreso per cápita mensual			(2) Pobreza			(3) Servicios básicos			(4) Uso servicios médicos			(5) Desempleo		
	DD	DD-M	DD-S ^{1/}	DD	DD-M	DD-S ^{1/}	DD	DD-M	DD-S ^{1/}	DD	DD-M	DD-S ^{1/}	DD	DD-M	DD-S ^{1/}
(Tiempo*Tratamiento)	134,28* (69,56)	159,85*** (43,00)	189,44** (76,41)	-0,04* (0,025)	-0,08*** (0,020)	-0,11** (0,033)	0,20*** (0,025)	0,04** (0,020)	0,09*** (0,028)	0,00 (0,013)	0,02*** (0,009)	0,03** (0,013)	-0,03* (0,020)	-0,02* (0,016)	n.c.
Tiempo	248,93*** (21,66)	157,31*** (32,34)		-0,17*** (0,012)	-0,23*** (0,015)		0,01 (0,010)	0,24*** (0,014)		0,01** (0,006)	0,01** (0,006)		-0,03*** (0,011)	-0,03** (0,012)	
Tratamiento	-57,15** (24,84)	-2,53 (28,34)		0,04*** (0,015)	0,01 (0,013)		0,02 (0,018)	0,11*** (0,013)		-0,02** (0,010)	0,04*** (0,006)		0,00 (0,018)	-0,00 (0,010)	
Observaciones ^{2/}	7.943	8.161	3.448	7.943	8.161	1.966	8.048	8.225	3.538	7.980	8.201	3.482	4.273	3.344	
R ²	0,22	0,06		0,28	0,08		0,24	0,09		0,04	0,01		0,03	0,02	

VARIABLES	(6) Log(Rendimiento agrícola)			(7) Ventas agropecuarias			(8) Log(Producción agrícola)			(9) Log(Superficie cultivada)		
	DD	DD-M	DD-S ^{1/}	DD	DD-M	DD-S ^{1/}	DD	DD-M	DD-S ^{1/}	DD	DD-M	DD-S ^{1/}
(Tiempo * Tratamiento)	0,39*** (0,129)	0,82*** (0,092)	0,39*** (0,132)	743,3** (304,8)	764,4*** (244,5)	n.c.	0,27* (0,144)	0,62*** (0,127)	0,31** (0,123)	0,01 (0,124)	-0,07 (0,110)	-0,02 (0,114)
Tiempo	0,05 (0,043)	-0,25*** (0,072)		386,2*** (84,0)	-541,2*** (198,2)		-0,16*** (0,051)	-0,47*** (0,098)		-0,20*** (0,040)	-0,19** (0,084)	
Tratamiento	-0,35*** (0,113)	-0,62*** (0,058)		-115,5 (123,8)	-130,0*** (143,8)		-0,37*** (0,091)	-0,72*** (0,081)		-0,15 (0,100)	-0,13* (0,070)	
Observaciones ^{2/}	4.746	4.630	1.740	4.576	4.413		4.793	4.709	1.780	4.855	4.788	1.855
R ²	0,2	0,03		0,17	0,03		0,39	0,02		0,39	0,01	

Errores estándar robustos en paréntesis.

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

1/ En el reporte de la estimación por DD-S sólo se incluye el coeficiente del efecto tratamiento en los tratados; además, por construcción no se calcula el R².

2/ La muestra es de 922 hogares; no obstante, dentro de éstos fueron encuestados todos los miembros del hogar que estuvieron presentes tanto en la línea de base como en la encuesta de seguimiento. Por esa razón y para ganar grados de libertad, se optó por realizar las estimaciones con la base de datos a nivel de miembros de los hogares. (n.c.) No se obtuvo convergencia, por lo que no se presentan estimaciones.

TABLA 10: CON LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS QUE FACILITAN EL ACCESO A SU COMUNIDAD ¿UD. HA VISTO EN SU COMUNIDAD QUE...?

	Control Media	Tratamiento Media	H0: Dif=0 (p-value)	Diferencia condicional de medias	H0: Dif=0 (p-value)
¿La gente ha mejorado su acceso a la salud?	0,58	0,66	0,046	0,05	0,046
¿Es más fácil para los niños ir a la escuela?	0,55	0,65	0,022	0,06	0,014
¿Hay mayores oportunidades de trabajo?	0,45	0,54	0,039	0,10	0,000
¿La gente tiene mejores ingresos?	0,42	0,48	0,150	0,12	0,000
¿Hay mejor acceso a los mercados para vender sus productos?	0,57	0,62	0,213	0,09	0,000
¿Hay más compradores y comerciantes?	0,55	0,63	0,071	0,10	0,000
¿La gente ha aumentado sus gastos?	0,57	0,64	0,099	0,16	0,000
¿Los precios de los servicios como el agua o luz han disminuido?	0,17	0,27	0,003	0,11	0,000
¿Mucha gente ha venido hacia esta localidad?	0,48	0,60	0,006	0,18	0,000
¿Mucha gente ha migrado a otros lados?	0,57	0,72	0,000	0,12	0,000

TABLA 11: ¿USTED O ALGUNO DE LOS MIEMBROS DE SU HOGAR TIENEN PROBLEMAS DE LARGAS DISTANCIAS O MAL ESTADO DEL CAMINO PARA LLEGAR A LOS...?

	2009		2019		H0: Dif=0 (p-value)	2019		H0: Dif=0 (p-value)	Diferencia condicional de medias	H0: Dif=0 (p-value)
	Control Media	Tratamiento Media	Control Media	Tratamiento Media		Control Media	Tratamiento Media			
¿Establecimientos de salud?	0,71	0,80	0,55	0,47	0,078	0,55	0,47	0,067	-0,16	0,000
¿Establecimientos de educación?	0,61	0,71	0,46	0,40	0,083	0,46	0,40	0,195	-0,10	0,000
¿Mercados o ferias para comercializar su producción?	0,80	0,79	0,63	0,51	0,865	0,63	0,51	0,009	-0,08	0,000

TABLA 12: EFECTOS EN LA PERCEPCIÓN DE LOS MIEMBROS DEL HOGAR RESPECTO A MEJORAS RESULTANTES DE LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS QUE FACILITAN EL ACCESO A SUS COMUNIDADES

Variable	Contrafactual Media ^{1/}	Ponderación de probabilidad inversa		Abadie & Imbens (2011)	
		ATE	Std. Err.	ATE	Std. Err.
¿Ud. ha visto en su comunidad que la gente ha mejorado su acceso a la salud?	0,560	0,078***	0,026	0,098***	0,013
¿Ud. ha visto en su comunidad que hay más contaminación?	0,481	0,028	0,025	0,028**	0,013
¿Ud. ha visto en su comunidad que la gente tiene más acceso a otro tipo de alimentos?	0,525	0,125***	0,025	0,089***	0,013
¿Ud. ha visto en su comunidad que es más fácil para los niños ir a la escuela?	0,531	0,03	0,025	0,006	0,012
¿Ud. ha visto en su comunidad que hay mayores oportunidades de trabajo?	0,415	0,086***	0,027	0,077***	0,013
¿Ud. ha visto en su comunidad que la gente tiene mejores ingresos?	0,364	0,074***	0,027	0,015	0,013
¿Ud. ha visto en su comunidad que hay mejor acceso a los mercados para vender sus productos?	0,527	0,081***	0,025	0,063***	0,013
¿Ud. ha visto en su comunidad que hay más compradores y comerciantes?	0,532	0,106***	0,024	0,052***	0,012
¿Ud. ha visto en su comunidad que la gente puede acceder a más créditos?	0,423	0,046*	0,026	-0,023*	0,012
¿Ud. ha visto en su comunidad que los precios de los servicios como el agua o luz han disminuido?	0,159	0,022	0,018	0,041***	0,010
¿Ud. ha visto en su comunidad que la gente ha aumentado sus gastos?	0,531	0,092***	0,028	0,056***	0,012
¿Ud. ha visto en su comunidad que la gente tiene más tiempo para dedicarse a las actividades del hogar?	0,400	0,090***	0,027	0,063***	0,013
¿Ud. ha visto en su comunidad que mucha gente ha venido hacia esta localidad?	0,463	0,215***	0,022	0,182***	0,012
¿Ud. ha visto en su comunidad que el pueblo ha crecido desordenadamente, todos construyen dónde quieren?	0,323	0,133***	0,027	0,127***	0,013
¿Ud. ha visto en su comunidad que hay más delincuencia?	0,341	0,212***	0,028	0,210***	0,013
¿Ud. ha visto en su comunidad que la gente se reúne y participa más?	0,543	0,056**	0,026	-0,001	0,013
¿Ud. ha visto en su comunidad que hay más accidentes?	0,406	0,077***	0,028	0,070***	0,013
¿Ud. ha visto en su comunidad que la gente está mejor informada?	0,540	0,117***	0,022	0,106***	0,012
¿Ud. ha visto en su comunidad que los animales ya no pueden transitar libremente?	0,419	0,136***	0,029	0,193***	0,014
¿Ud. ha visto en su comunidad que los ríos han sido desviados peligrosamente?	0,371	0,044	0,028	-0,001	0,013
¿Ud. ha visto en su comunidad que mucha gente ha migrado a otros lados?	0,572	0,050**	0,025	0,092***	0,013

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

1/ Esta columna muestra una estimación sobre cuál podría haber sido la proporción de miembros del hogar del grupo tratamiento que hubieran respondido que existieron mejoras, según cada pregunta, resultantes de la construcción de caminos que facilitan el acceso a sus comunidades, en el caso hipotético que no se hubieran beneficiado con el tratamiento.

ATE: Son las siglas en inglés para efecto tratamiento promedio.

ANEXO 1: COEFICIENTES DE LAS VARIABLES EXPLICATIVAS EN LAS REGRESIONES SOBRE EFECTOS EN LAS CONDICIONES SOCIOECONÓMICAS DE LA POBLACIÓN

VARIABLES	Ingreso mensual	Pobreza	Servicios Básicos	Médicos Prof.	Desempleo	Log(Rend. Agrícola)	Ventas Agro.	Log(Prod. Agrícola)	Log(Sup. Agrícola)
Jefe es hombre	0,15*** (0,025)	0,09*** (0,015)	0,02 (0,014)	-0,00 (0,008)	-0,01 (0,013)	0,01 (0,059)	0,33*** (0,076)	0,05 (0,055)	-0,00 (0,051)
Edad jefe de hogar	-0,00 (0,001)	0,00** (0,000)	0,00 (0,000)	-0,00 (0,000)	0,00 (0,000)	-0,00 (0,002)	0,00 (0,003)	0,01*** (0,002)	0,01*** (0,001)
Escolaridad adultos	0,02*** (0,004)	-0,01*** (0,002)	-0,00 (0,001)	0,00 (0,001)	0,00* (0,001)	-0,03*** (0,007)	0,03** (0,015)	0,02** (0,007)	0,04*** (0,006)
Número niños (<=12)	-0,11*** (0,007)	0,07*** (0,004)	0,02*** (0,006)	0,01** (0,003)	0,01* (0,004)	0,01 (0,020)	-0,06** (0,029)	0,01 (0,018)	0,01 (0,017)
Tasa de dependencia	0,01 (0,011)	-0,00 (0,007)	-0,02*** (0,008)	-0,01* (0,007)	0,01 (0,008)	-0,12*** (0,030)	0,10* (0,058)	-0,05* (0,032)	0,07** (0,028)
Jefe trabaja	0,13*** (0,043)	-0,11*** (0,024)	-0,05*** (0,021)	0,00 (0,007)	0,00 (0,008)	0,24** (0,099)	-0,13 (0,199)	0,06 (0,083)	-0,20** (0,088)
Principal actividad es agropecuaria	-0,15*** (0,023)	0,11*** (0,011)	0,02 (0,011)	0,03*** (0,009)	-0,03*** (0,010)	0,09 (0,067)	0,59*** (0,083)	0,31*** (0,076)	0,17*** (0,062)
Tiene alcantarillado	0,02 (0,048)	0,02 (0,019)	0,02 (0,019)	0,03*** (0,009)	0,00 (0,015)	-0,36*** (0,080)	-0,40*** (0,119)	-0,49** (0,076)	-0,11 (0,069)
Tiene agua de cañería	0,05** (0,024)	-0,02* (0,011)	0,00 (0,006)	0,03*** (0,006)	0,02** (0,011)	-0,13** (0,050)	0,05 (0,090)	-0,15** (0,059)	-0,07 (0,046)
Tiene electricidad	-0,20*** (0,025)	0,08*** (0,011)	0,00 (0,006)	0,01** (0,006)	-0,02 (0,013)	0,05 (0,043)	0,13*** (0,051)	0,23*** (0,052)	0,18*** (0,040)
Índice de riqueza material	0,21*** (0,015)	-0,12*** (0,007)	0,14*** (0,006)	0,00 (0,004)	0,00 (0,006)	0,01 (0,028)	0,32*** (0,058)	0,13*** (0,034)	0,14*** (0,026)
Tiene auto/camión	0,30*** (0,036)	-0,12*** (0,014)	-0,02 (0,013)	0,02*** (0,006)	0,00 (0,011)	0,22*** (0,057)	0,49*** (0,101)	0,53*** (0,064)	0,28*** (0,052)
Tiempo al lugar de venta						0,00 (0,000)	0,00*** (0,000)	0,00*** (0,000)	0,00*** (0,000)
Superficie						-0,00*** (0,000)	0,00 (0,000)	0,00* (0,000)	0,00*** (0,000)
Tiene prácticas de cuidado de la tierra						0,08** (0,041)	0,06 (0,066)	0,13*** (0,044)	0,05 (0,037)
Infraestructura agrícola						-0,03 (0,042)	0,23*** (0,068)	0,44*** (0,046)	0,49*** (0,041)
Dicotómicas – Tipos de cultivos	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Dicotómicas – Departamentos						Si	Si	Si	Si
Número de observaciones	7.943	7.943	8.048	7.980	4.273	4.746	4.576	4.793	4.855
R2	0,22	0,28	0,24	0,04	0,03	0,2	0,17	0,39	0,39

Errores estándar robustos en paréntesis.

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

Nota: Estos resultados corresponden a las regresiones sobre los efectos en las condiciones socioeconómicas de la población, estimados con el primer enfoque de DD.

ANEXO 2: COEFICIENTES DE LAS REGRESIONES DE DIFERENCIA DE MEDIAS ENTRE LOS GRUPOS DE
TRATAMIENTO Y CONTROL CONDICIONADO A LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS HOGARES, PARA EL ANALISIS
DESCRIPTIVO DE LA PERCEPCIÓN DE LOS HOGARES

Variables	Salud	Escuela	Trabajo	Ingresos	Mercados	Compradores	Gastos	Servicios Básicos	Inmigración	Emigración	Salud	Educación	Mercados
Diferencia T-C	0,05** (0,025)	0,06** (0,024)	0,10*** (0,025)	0,12*** (0,024)	0,09*** (0,025)	0,10*** (0,025)	0,16*** (0,025)	0,11*** (0,021)	0,18*** (0,023)	0,12*** (0,023)	-0,16*** (0,024)	-0,10*** (0,024)	-0,08*** (0,021)
Jefe es hombre	0,07*** (0,024)	-0,01 (0,024)	-0,02 (0,025)	-0,08*** (0,024)	-0,02 (0,023)	-0,02 (0,024)	-0,00 (0,025)	0,05** (0,020)	-0,05** (0,025)	0,04 (0,026)	0,04 (0,023)	0,01 (0,025)	0,08*** (0,022)
Tamaño hogar	-0,02*** (0,006)	-0,01 (0,005)	-0,01 (0,006)	0,00 (0,006)	0,02*** (0,006)	-0,00 (0,006)	-0,00 (0,005)	-0,00 (0,005)	0,03*** (0,005)	-0,01 (0,006)	-0,02*** (0,005)	-0,01 (0,006)	-0,02*** (0,005)
Edad jefe de hogar	0,00 (0,001)	0,00 (0,001)	0,00 (0,001)	-0,00 (0,001)	0,00** (0,001)	0,00*** (0,001)	0,00 (0,001)	-0,00 (0,001)	-0,00 (0,001)	0,00** (0,001)	-0,00 (0,001)	-0,00* (0,001)	-0,00*** (0,001)
Escolaridad adultos	0,01** (0,002)	-0,01*** (0,002)	0,00 (0,003)	0,00 (0,003)	0,00 (0,002)	0,00 (0,002)	0,01*** (0,002)	-0,00 (0,002)	0,00 (0,002)	0,00 (0,003)	-0,00 (0,002)	0,00 (0,002)	0,00** (0,002)
Número niños (<=12)	0,01 (0,012)	0,02* (0,012)	-0,01 (0,012)	-0,02 (0,012)	0,00 (0,011)	-0,00 (0,012)	-0,00 (0,011)	0,009 (0,009)	-0,05*** (0,011)	0,05*** (0,012)	0,04*** (0,010)	0,03*** (0,011)	0,04*** (0,009)
Tasa de dependencia	0,03** (0,016)	-0,04*** (0,016)	-0,00 (0,016)	-0,02 (0,016)	0,01 (0,016)	0,02 (0,016)	-0,02 (0,016)	-0,02 (0,012)	0,02 (0,017)	-0,02 (0,017)	0,00 (0,012)	-0,01 (0,014)	-0,00 (0,012)
Jefe trabaja	-0,09** (0,038)	-0,09** (0,041)	-0,04 (0,042)	-0,15*** (0,041)	-0,08* (0,039)	-0,09** (0,045)	0,02 (0,039)	0,09*** (0,032)	-0,16*** (0,037)	0,11*** (0,040)	0,02 (0,036)	0,06 (0,037)	0,10*** (0,036)
Principal actividad es agropecuaria	0,05** (0,020)	-0,02 (0,019)	0,07*** (0,022)	0,10*** (0,021)	0,03 (0,021)	-0,01 (0,021)	-0,07*** (0,020)	-0,15*** (0,019)	-0,01 (0,020)	-0,03 (0,021)	0,02 (0,020)	0,05** (0,021)	0,05*** (0,018)
Tiene alcantarillado	-0,03 (0,026)	-0,04 (0,025)	-0,06** (0,029)	0,07** (0,028)	0,00 (0,025)	-0,04 (0,026)	0,03 (0,025)	0,03 (0,022)	-0,07*** (0,026)	-0,16*** (0,028)	0,07*** (0,026)	0,05* (0,027)	-0,01 (0,023)
Tiene agua de cañería	0,19*** (0,020)	0,09*** (0,020)	0,02 (0,021)	0,08*** (0,020)	0,05** (0,021)	0,01 (0,020)	0,07*** (0,020)	0,08*** (0,016)	0,04* (0,021)	0,03 (0,020)	-0,05*** (0,019)	0,00 (0,020)	-0,03 (0,017)
Tiene electricidad	0,05* (0,030)	0,11*** (0,029)	-0,03 (0,030)	-0,03 (0,029)	0,02 (0,031)	0,00 (0,030)	0,04 (0,031)	0,10*** (0,017)	-0,08*** (0,028)	0,12*** (0,031)	-0,09*** (0,022)	-0,09*** (0,022)	-0,04** (0,020)
Índice de riqueza material	0,04*** (0,011)	0,11*** (0,011)	0,11*** (0,011)	0,10*** (0,011)	0,08*** (0,011)	0,09*** (0,011)	0,07*** (0,011)	0,01 (0,008)	0,16*** (0,011)	0,03** (0,011)	-0,10*** (0,010)	-0,11*** (0,010)	-0,08*** (0,009)
Tiene auto/camión	-0,04* (0,020)	-0,06*** (0,019)	-0,01 (0,020)	-0,02 (0,020)	0,01 (0,019)	0,00 (0,019)	-0,02 (0,020)	-0,04** (0,016)	-0,02 (0,020)	-0,04** (0,021)	-0,03 (0,019)	-0,01 (0,020)	0,03 (0,017)
Dicotómica - Departamentos	Si 3,482	Si 3,482	Si 3,482	Si 3,480	Si 3,482	Si 3,482	Si 3,480	Si 3,482	Si 3,476	Si 3,482	Si 3,482	Si 3,482	Si 3,482
Número de observaciones	0,15	0,22	0,13	0,19	0,18	0,18	0,16	0,12	0,22	0,10	0,12	0,11	0,11
R2													

Errores estándar robustos en paréntesis.

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

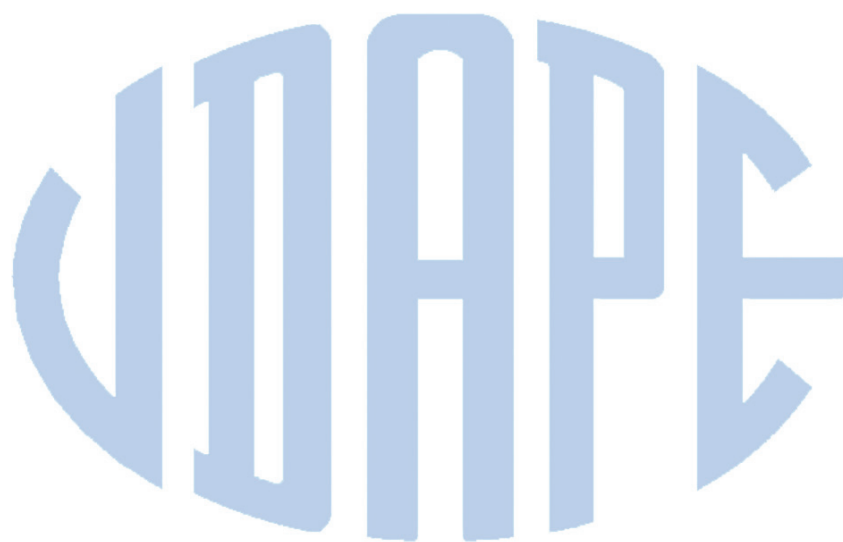
ANEXO 3: DIFERENCIAS ESTANDARIZADAS Y RATIO DE VARIANZA PARA LAS ESTIMACIONES DE LAS MEJORAS QUE PERCIBEN LOS HOGARES DE LA MUESTRA CON RELACIÓN A LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS QUE FACILITAN EL ACCESO A SUS COMUNIDADES

Método basado en la Ponderación Inversa de Probabilidad (IPW):

	Diferencias estandarizadas		Ratio de Varianza	
	Original	IPW	Original	IPW
Jefe es hombre	-0,069	0,003	1,167	0,993
Tamaño hogar	-0,104	0,027	0,853	0,873
Edad Jefe	-0,069	0,003	1,091	1,004
Escolaridad adultos	-0,014	0,012	1,112	1,157
Tasa de dependencia	-0,155	-0,01	0,714	0,839
Número personas que trabajan	-0,184	0,06	0,836	0,881
Principal actividad es agropecuaria	-0,21	0,048	1,29	0,932
Ingreso total mes	0,061	-0,048	1,739	1,042
Chuquisaca	-0,349	-0,04	0,241	0,893
La Paz	-0,294	0,007	0,542	1,012
Cochabamba	-0,258	0,015	0,415	1,039
Oruro	-0,073	-0,017	0,716	0,928
Potosí	-0,077	-0,014	0,871	0,976
Tarija	-0,164	0,013	0,599	1,035
Santa Cruz	1,109	-0,002	2,794	0,996

Método basado en Abadie & Imbens (2011):

	Diferencias estandarizadas		Ratio de Varianza	
	Original	Abadie & Imbens	Original	Abadie & Imbens
Edad Jefe	-0,005	0,089	1,158	1,012
Escolaridad jefe	-0,013	-0,08	1,057	0,846
El jefe trabaja	0,09	0,004	0,650	0,982
Principal actividad es agropecuaria	-0,229	0,076	1,307	0,894
Ingreso total mes	0,047	-0,039	1,550	0,850
Índice de riqueza material	0,121	-0,113	1,399	1,159
Chuquisaca	-0,330	-0,018	0,250	0,949
La Paz	-0,216	-0,005	0,641	0,991
Cochabamba	-0,296	-0,013	0,330	0,965
Oruro	-0,009	0,000	0,964	1,000
Potosí	-0,054	-0,010	0,907	0,983
Tarija	-0,141	-0,014	0,634	0,960
Santa Cruz	1,110	0,166	3,070	1,301
Beni	-0,360	0,013	0,315	1,029



**Unidad de Análisis de Políticas
Sociales y Económicas**





Gobierno del Estado Plurinacional de

BOLIVIA

Ministerio de
Planificación del Desarrollo



BANCO DE DESARROLLO
DE AMÉRICA LATINA



**Unidad de Análisis de Políticas
Sociales y Económicas**

Edificio Centro de Comunicaciones La Paz
Piso 18 - Av. Mariscal Santa Cruz
Teléfonos: (+ 591 2) 2375512, 2379493, 2374226
Fax: (+ 591 2) 2372333

Correo Electrónico: udape@udape.gob.bo
Sitio Web: www.udape.gob.bo
Casilla postal: 12087

La Paz - Bolivia