

Año 2023

USO DE TELEDETECCIÓN EN LA EVALUACIÓN DE IMPACTO DE PROGRAMAS Y/O PROYECTOS DE APOYO PRODUCTIVO EN EL SECTOR AGROPECUARIO: CASO PROGRAMA DE INVERSIÓN CAFICULTURA A NIVEL NACIONAL⁽¹⁾

Resumen

El estudio explora el uso de teledetección satelital para trabajos de evaluación de impacto aplicables a intervenciones del sector público en actividades agropecuarias, enfocándose en el "Programa de Inversión Caficultura a Nivel Nacional" que se implementó en el periodo 2018 - 2022. El análisis utiliza el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) como proxy de productividad, derivado de imágenes satelitales, complementado con registros administrativos. Se emplea el método de Diferencias en Diferencias (DiD) para comparar NDVI pre y post-intervención en parcelas intervenidas vs. no intervenidas (grupo control). Según los resultados, el Programa no generó impactos significativos en productividad a corto plazo, sin embargo, nos muestra que la teledetección y NDVI son herramientas valiosas para evaluaciones oportunas y precisas, en las cuales se debe considerar los cultivos a los cuales se podría aplicar, en el caso del café presenta limitaciones (sistemas agroforestales); monitoreo in situ; datos de rendimiento directo; extensión de las evaluaciones bajo un enfoque a largo plazo y mejora de la georeferenciación de intervenciones para delimitar parcelas con precisión. Este enfoque fortalece la evidencia para políticas agrícolas, priorizando inversiones en seguridad alimentaria y adaptación climática.

Clasificación JEL: C21; H43; Q18.

Palabras clave: Evaluación de impacto, Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, Proxi de productividad, teledetección, Diferencias en diferencias.

¹ El contenido del presente documento es de responsabilidad de los autores y no compromete la opinión de la Unidad de Análisis de Políticas Sociales y Económicas (UDAPE).

1 INTRODUCCIÓN

La UDAPE, en los últimos años, ha estado trabajando en estudios de investigación a través del empleo de imágenes satelitales:

- Evaluación de impacto de la infraestructura vial;
- Estudio de vulnerabilidad poblacional a riesgos de desastres;
- Análisis de la severidad de los incendios forestales.

Por la relevancia del sector agropecuario en la producción de alimentos y materia prima principalmente, el Estado viene asignando recursos para la implementación de diferentes Programas y proyectos con la finalidad de incrementar su productividad e incrementar los niveles de producción destinados para el mercado interno y su exportación (Programas y proyectos de riego, productivos de ganadería para pequeños productores, hortalizas, piña, banano, tubérculos y raíces, apicultura, piscicultura, algodones, agricultura urbana y periurbana, granos andinos, trigo, café, entre otros). El monto asignado es de aproximadamente Bs3.200 millones. Por la importancia de las inversiones, es preciso trabajar en metodologías que permitan cuantificar su impacto sobre el desempeño del sector agropecuario, usando la disponibilidad de datos geoespaciales.

El trabajo de investigación estará dirigido a la evaluación de impacto del “Programa de Inversión Caficultura a Nivel Nacional” (MDRyT), considerando, por un lado, que este Programa ya fue concluido (2018-2022) y además cuenta con información georeferenciada a nivel de parcela de las áreas de intervención. Para este fin, se empleará y analizará el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI por sus siglas en inglés) en las áreas de intervención del Programa, obtenido a través de imágenes satelitales. El NDVI, se considera como variable proxy de la productividad agrícola, tomando en cuenta que es un indicador ampliamente usado para determinar el estado de salud de las plantas.

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El conocimiento de nuestro entorno geográfico y su representación gráfica, se ha facilitado grandemente con el avance de las herramientas de teledetección espacial, que permiten obtener información de imágenes de la tierra a kilómetros de distancia. Actualmente, existen diferentes misiones de satélites que brindan imágenes multi e hiperespectrales cada vez de mayor calidad en resolución espacial, temporal, espectral y radiométrica. Con estos avances en la actualidad es posible hacer un monitoreo dinámico y continuo de los cambios en la geografía. Las aplicaciones del uso de los datos obtenidos por teledetección son amplias en agricultura, atmósfera, suelo, agua, planificación urbana, etc.

Sin embargo, una de las aplicaciones más importantes de la información proveniente de imágenes satelitales es la construcción de índices de vegetación para determinar el tipo de cobertura vegetal, analizar su estado de salud, estado fenológico, y evaluar sus

cambios en el espacio y tiempo. Entre las ventajas del uso de sensores remotos para el análisis de cobertura vegetal se tienen: la obtención de información actualizada, precisa y costo-efectiva.

Diferentes estudios usan mayormente el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) para el monitoreo de cultivos y pronósticos de rendimiento, su popularidad se debe a su simplicidad en el cálculo; y muy pocos estudios se enfocan en indicadores para medir la calidad del rendimiento (Mika, et al., 2002; Weiss M., Jacob F., y Duveiller, 2019). El uso del NDVI, para cultivos específicos también es bastante amplio, sin embargo, pocos estudios se han centrado al cultivo del café (Revelo et al., 2020).

El Banco Interamericano de Desarrollo, en 2021 realizó un estudio en República Dominicana en el que combina tres rondas de encuestas con información de sensores remotos provenientes de imágenes Landsat 7 y 8, para medir el efecto causal de largo plazo de un Programa de sistemas modernos de riego en el rendimiento de cultivos de pequeños y medianos agricultores, medidos a través del NDVI. En dicho estudio utilizaron la metodología de Diferencias en Diferencias, encontrando que los agricultores beneficiarios presentan mayores valores de NDVI y por lo tanto experimentaron mayor productividad (Salazar et al., 2021).

En Bolivia, la Agencia Boliviana Espacial (ABE) empresa nacional estratégica del Estado Plurinacional de Bolivia, cuenta con el “Sistema de Observación Terrestre por Satélite para Bolivia” en la que pone a disposición del público en general parámetros que se pueden estudiar con índices espectrales, entre ellos el NDVI determinado con imágenes satelitales de Sentinel, disponibles desde el año 2017, y Landsat disponibles desde el año 1984 a 2023.

3 PROGRAMA DE INVERSIÓN CAFICULTURA A NIVEL NACIONAL

El Decreto Supremo N° 3560 de 16 de mayo de 2018, asigna Bs183 millones para la implementación y ejecución del Programa de inversión caficultura a nivel nacional, considerando la relevancia de la producción de café en Bolivia, que entre 2001-2011, produjo 100 mil sacos de café que representan el 0,1% de la producción mundial que sobrepasa los 100 millones de sacos².

Según el Censo Nacional de Café 2011-2012, en Bolivia existían alrededor de 17.400 unidades productivas que se dedican al cultivo del café, con una superficie cultivada en producción de 36 mil hectáreas, rendimientos de 0,391 toneladas por hectárea, dando como resultado una producción de 14 mil toneladas año. En el primer quinquenio de la década pasada, los rendimientos del cultivo de café cayeron notablemente debido a efectos del cambio climático, plantaciones envejecidas y mal manejadas³.

En respuesta a esta problemática, se ejecutó el “Programa de inversión caficultura a nivel nacional”, durante cinco años en el periodo 2018 al 2022 en los departamentos de La Paz, Cochabamba y Santa Cruz. El objetivo del Programa fue la de desarrollar el potencial productivo sostenible del cultivo de café arábica con énfasis en la producción orgánica, incrementando su producción y productividad para la obtención de cafés de

² Datos que corresponden al documento del Programa.

³ En su mayoría los cafetales superaban los 15 años de edad; límite técnico de vida útil óptima de una planta.

alta calidad orientados al mercado nacional y de exportación. El Programa se implementó en un total de 9.402 parcelas con una superficie total de 5.068 hectáreas de las cuales 1.814 hectáreas corresponden a parcelas nuevas, 1.116 a parcelas de renovación y 2.138 a parcelas de manejo; beneficiando a un total de 6.810 productores.

El presupuesto total ascendió a Bs182.835.153⁴, concentrándose en la producción de plantines para dotación a los productores (30%), el acompañamiento técnico en parcela (23%), la implementación del centro de innovación de tecnologías de café (19%), entre otros.

Para el logro del objetivo, el Programa fue estructurado en seis componentes:

Cuadro N° 1. Componentes y subcomponentes del Programa

Componente	Subcomponentes
Fortalecimiento de la producción y productividad	Renovación de cafetales antiguos
	Implementación de nuevos cafetales
	Manejo de cafetales en producción
	Suelo y fertilidad
Fortalecimiento técnico	Acompañamiento técnico en la parcela
	Desarrollo de capacidades productivas
Sanidad vegetal	Vigilancia fitosanitaria
	Control fitosanitario
	Educación fitosanitaria
Desarrollo tecnológico	Investigación para el desarrollo
	Multiplicación de plantines de calidad
	Transferencia de tecnología de producción y pos cosecha
	Implementación de centro de innovación de tecnología en café
Comercialización y mercados	Fortalecimiento a la comercialización
Seguimiento y evaluación	Seguimiento
	Evaluación

1. Fortalecimiento de la producción y productividad, componente orientado a la renovación de cafetales improductivos, implementación de nuevas áreas de producción y manejo agronómico de cafetales que se encuentran en producción, con la aplicación de innovaciones tecnológicas a objeto de incrementar los rendimientos. Este componente considera el periodo de aprovechamiento de cafetales por 15 años. Del año 1 al 9 los cafetales entran en producción, sin embargo, en los años 7 y 8, los rendimientos empiezan a declinar, por lo que se requiere hacer podas de rejuvenecimiento en el año 10 para extender el ciclo productivo hasta el año 15.
2. Fortalecimiento técnico, se brinda asistencia técnica y capacitación a los productores de manera directa a través de peritos de campo y técnicos del Programa, permitiendo la aplicación de las innovaciones tecnológicas en la implementación y renovación de cafetales.

⁴ Ver Anexo 1.

3. Sanidad vegetal, en este componente se ejecutaron acciones de vigilancia fitosanitaria, la implementación de medidas cuarentenarias, ejecución de planes de control y contención de plagas en base a calendarios fitosanitarios zonificados; y educación fitosanitaria dirigido a productores para la implementación de controles integrales de plagas.
4. Desarrollo tecnológico, para identificar material vegetal acorde a las condiciones de las regiones productoras de café; busca la mejora genética y la obtención de variedades que coadyuven al incremento de la productividad; busca material tolerante o resistente a efectos adversos y la mejora de los cultivos.
5. Comercialización y mercados, componente que busca fortalecer la comercialización con acciones que incluyen la realización de estudios para la generación de estrategias comerciales, organización de eventos para la promoción del café, así como la difusión en medios colectivos para el aprovechamiento y expansión del mercado actual a nivel nacional e internacional.
6. Seguimiento y monitoreo, componente evaluar el logro de los objetivos del Programa, y la eficiencia y efectividad en su ejecución.

Las actividades de los componentes 2 al 6, son transversales a la ejecución del primer componente de Fortalecimiento de la producción y productividad, como se muestra en el siguiente detalle:

Parcelas de renovación

En las parcelas de renovación de cafetales, las actividades de intervención consistieron en:

- Capacitación a productores en sistemas de poda y renovación de cafetales, manejo de sombreamiento, establecimiento de nuevas plantaciones y otros.
- Identificación y poda de rejuvenecimiento de cafetales viejos.
- Dotación de plantines.
- Plantación de plantines de café, de variedades más productivas y adaptadas a las condiciones ambientales en las zonas de producción.
- Renovación de plantaciones (trazado de cafetales y su establecimiento), incorporación de sombreamiento necesario.
- Manejo del cultivo hasta el tercer año.

Parcelas con nuevos cafetales

A continuación, se detallan las actividades realizadas:

- Asistencia técnica en sistemas agroforestales, recuperación de áreas ociosas o de barbechos altos, así como cafetales abandonados.
- Habilitación de parcelas.
- Establecimiento de sombreamiento adecuado.
- Dotación de plantines.
- Establecimiento de plantaciones nuevas de café.
- Implementación de sistemas de abonamiento de cafetales.

Manejo de cafetales en producción

En este subcomponente se contempla el acompañamiento técnico en parcelas para asistencia técnica en:

- Manejo de maleza.

- Fertilidad del suelo.
- Control de plagas y enfermedades.
- Regulación de sombra.
- Cosecha de frutos maduros.
- Secado adecuado del café.

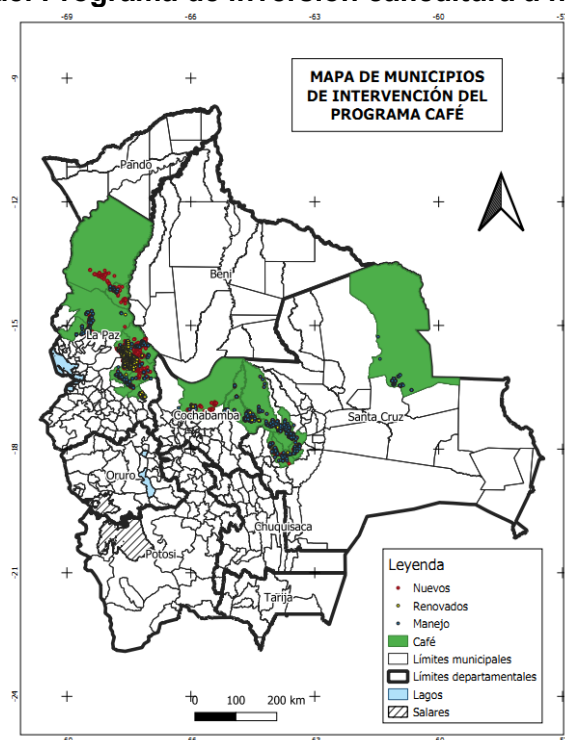
Los plantines a dotarse a los productores de parcelas renovadas y nuevas, tienen un costo unitario promedio de Bs2,7 que fueron financiados en 30% por los productores y 70% por el Programa mediante transferencias público-privado.

4 DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS

4.1 Área de intervención del Programa

El Programa considera a unidades productivas de café, las cuales se encuentran dispersos en distintos municipios de los departamentos de La Paz, Cochabamba y Santa Cruz.

Figura N° 1.
Cobertura del Programa de inversión caficultura a nivel nacional



Cuadro N° 2.
Municipios de Intervención del Programa de inversión caficultura a nivel nacional

Departamento	Provincia	Municipio
La Paz	Larecaja	Teoponte
	Franz Tamayo	Apolo
	Inquisivi	Cajuata
	Sur Yungas	Chulumani
		Irupana
		Palos Blancos

		La Asunta
	Nor Yungas	Coroico
		Coripata
	Abel Iturralde	Ixiamas
	Bautista Saavedra	San Buenaventura
	Caranavi	Charazani (Gral.Perez)
		Caranavi
	Otras provincias	Alto Beni
Cochabamba	Otros municipios	Chapare
	Carrasco	Villa Tunari
		Chimore
		Puerto Villarroel
Santa Cruz	Andrés Ibáñez	Entre Ríos (Bulo Bulo)
		Porongo (Ayacucho)
	Velasco	El Torno
		San Ignacio de Velasco
	Ichilo	Buena Vista
		San Carlos
		Yapacani
	Florida	Samaipata
		Mairana

Fuente: Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras – MDRyT.

Basado en el primer componente de fortalecimiento de la producción y productividad, y depuración de la información, formarán parte del presente estudio un total de 8.732⁵ parcelas de los cuales 2.189 parcelas a cafetales antiguos de renovación, 3.389 parcelas a nuevos cafetales y 3.154 corresponden a parcelas de manejo⁶. La implementación ejecutada del Programa de café fue escalonada, del 2018 al 2022, presentando un máximo en el 2019 con 3.715 parcelas intervenidas que representan el 43% y un mínimo en el 2022 con 573 parcelas que equivalen al 7%.

Cuadro N° 3.
Parcelas de Café con Intervención Según Tipo, 2018-2022

Tipo de intervención	2018	2019	2020	2021	2022	Total
Parcela renovada	232	945	347	451	214	2.189
Parcela nueva	580	1.266	995	399	149	3.389
Parcela de manejo	559	1.504	416	465	210	3.154
Total	1.371	3.715	1.758	1.315	573	8.732
Porcentaje	16%	43%	20%	15%	7%	100%

Fuente: Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras – MDRyT.

El conjunto de parcelas que forman parte del estudio, comprenden a 4.768 hectáreas intervenidas por el Programa, de los cuales el 22% parcelas de renovación (1.049 hectáreas), 35% parcelas nuevas (1.669 hectáreas) y 43% son parcelas de manejo (2.050 hectáreas).

Respecto al sub componente de implementación de nuevos cafetales, se tiene proyectado ampliar los nuevos cafetales en una superficie total de 3.026 hectáreas en las áreas de intervención del Programa, según el siguiente detalle:

⁵ Del total de 9.402 parcelas, se excluyeron un total de 670 parcelas que presentaban problemas en la ubicación o se sitúan fuera de los municipios de intervención especificados.

⁶ Solo se consideraron las parcelas que están dentro de los municipios de intervención plenamente identificadas.

Cuadro N° 4.
Superficie con nuevas parcelas de café en las áreas de intervención
en el Departamento de La Paz, 2018-2022
(En hectáreas)

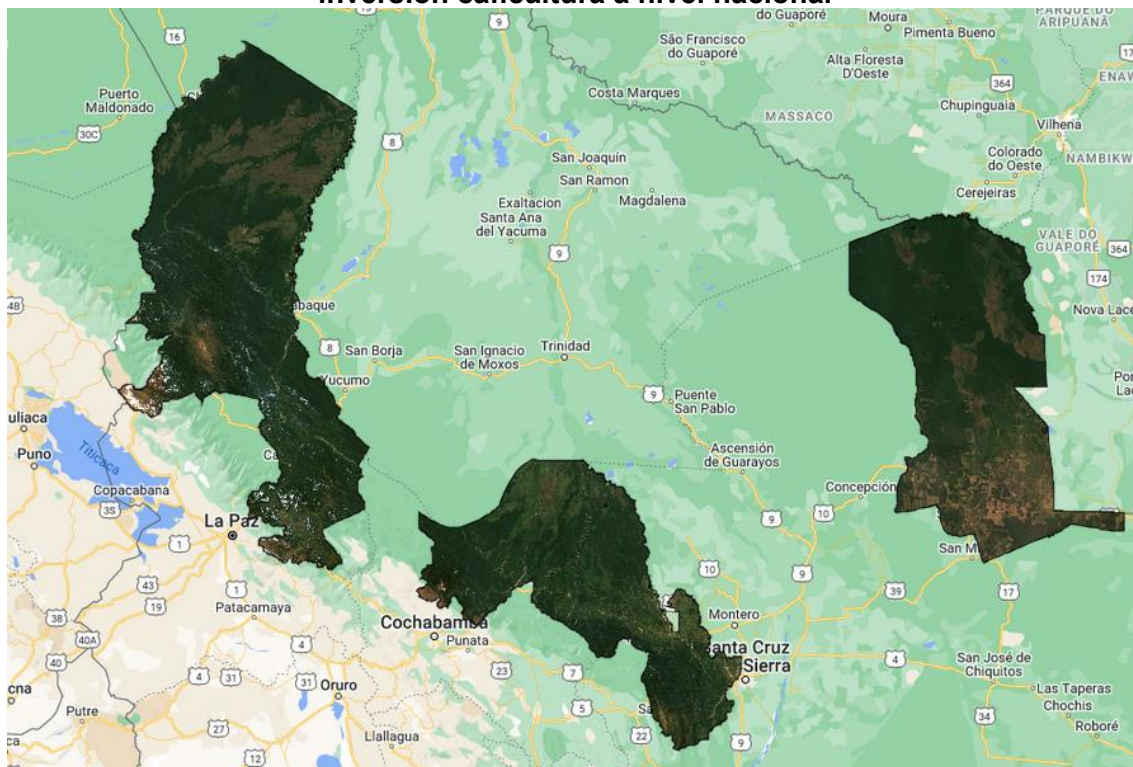
Departamento	Superficie (Ha)
La Paz	1.913
Santa Cruz	845
Cochabamba	268
Total	3.026

Fuente: Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras – MDRyT.

4.2 Imágenes satelitales

En el estudio se consideraron imágenes satelitales Sentinel 2 correspondientes a imágenes multispectrales, que contienen información de 13 bandas espectrales de alta resolución (10 metros para las bandas rojo, verde, azul e infrarrojo cercano) y 3 bandas QA donde una (QA60) es una banda de máscara de bits con información de máscara de nube. Las imágenes Sentinel 2 tienen una resolución temporal de 5 días. En el estudio se utilizaron imágenes tipo 1C correspondiente a imágenes ortorectificadas y con niveles de reflectancia por encima de la atmósfera (TOA). Las imágenes fueron recolectadas para cada parcela georreferenciada ubicada en los municipios de intervención para los años 2016 al 2022.

Figura N°2.
Imágenes Satelital Sentinel 2 de los Municipios de Intervención del Programa de inversión caficultura a nivel nacional



Fuente: Google Earth Engine.

También, se utilizó información mensual de precipitación pluvial y temperatura proveniente de imágenes CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation) y ERA5.

Las imágenes CHIRPS es un conjunto de datos de precipitaciones casi globales de más de 30 años. Incorpora imágenes satelitales de resolución de 0,05° con datos de estaciones in situ para crear series de tiempo de lluvia medidos en milímetros día (mm/d) para análisis de tendencias y monitoreo de sequías estacionales.

Las imágenes ERA5, son un conjunto de datos que proporcionan información de temperatura a 2 metros sobre la superficie de la tierra medido en grados Kelvin, entre otras en agregados diarios. La información combina datos de modelos con observaciones de todo el mundo.

Para fines de identificar áreas con cultivos, en los puntos de localización de las parcelas antes de la intervención del Programa, se aplicó clasificación supervisada, distinguiendo entre áreas sin cobertura forestal, forestales y cuerpos de agua; dado que las imágenes Sentinel 2, están disponibles únicamente desde el segundo semestre de 2015 y con pocas observaciones en 2016 y 2017, se vio la necesidad de incorporar en el análisis, imágenes Landsat 8 para el periodo 2015-2017; estas imágenes tienen una resolución temporal de 16 días y son de nivel 1, la calidad más alta disponible y adecuado para el análisis de procesamiento de series temporales.

4.2.1 Tratamiento de la información

El procesamiento de la información, se inició con la verificación de los registros administrativos del Programa; iniciando con un total de 9.402 parcelas, se excluyeron los registros sin coordenadas geográficas, se eliminaron duplicados de parcelas con la misma ubicación, se excluyeron registros con inconsistencias en las coordenadas geográficas, finalmente, se excluyeron los registros que no se encontraban en los municipios de intervención del Programa, quedando un total de 8.732 registros para el análisis.

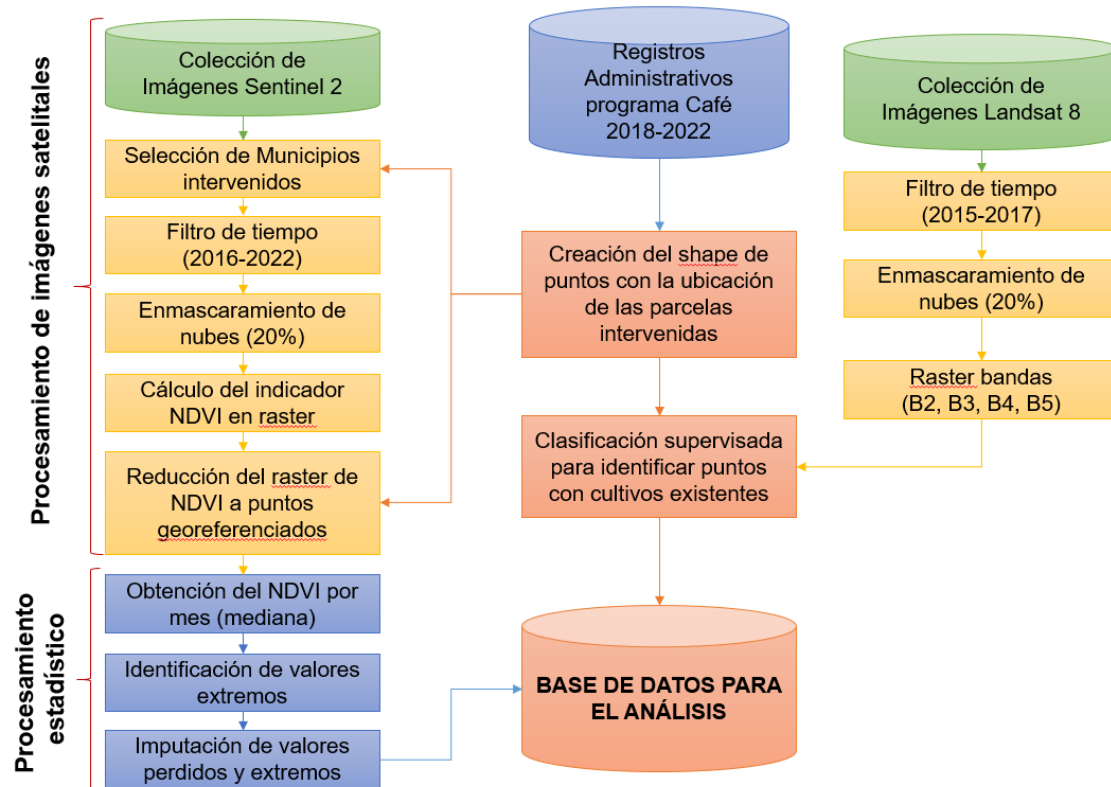
El procesamiento de información de las imágenes satelitales, se realizó con dos etapas, por una parte, para la determinación del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y por otra parte para la clasificación supervisada con la finalidad de identificar parcelas con cultivos existentes sin cobertura forestal.

Procesamiento para el NDVI

Para el cálculo del NDVI, en primera instancia se recopiló una colección de imágenes satelitales Sentinel 2⁷, para los municipios donde se encuentran las parcelas intervenidas (renovadas, nuevas y de manejo), se estableció un periodo de análisis del 2016 al 2022; se seleccionó imágenes con menos del 20% de cobertura de nubes, mismas que fueron enmascaradas (se estableció valor nulo para estas áreas), para cada día con observación se calculó el raster o matriz de celdas con valores de NDVI, y se extrajo los valores para las parcelas intervenidas, de acuerdo a su ubicación geográfica en formato de tabla.

⁷ Se procesaron un total de 38.235 imágenes satelitales Sentinel 2 para todo el periodo 2016-2022.

Figura N° 3.
Flujo de trabajo para preparar la base de datos para el análisis de evaluación de impacto



Fuente: Elaboración propia.

Con la obtención de valores de NDVI en tablas por día, se procedió a realizar el procesamiento estadístico. Se determinó la mediana mensual⁸, se identificaron valores extremos por el método de rango intercuartílico⁹ y se realizó la imputación a los valores faltantes y extremos por regresión armónica.

$$y_t = b_0 + \sum_{j=1}^J s_j \sin(2\pi t j) + \sum_{j=1}^J c_j \cos(2\pi t j) + u_t$$

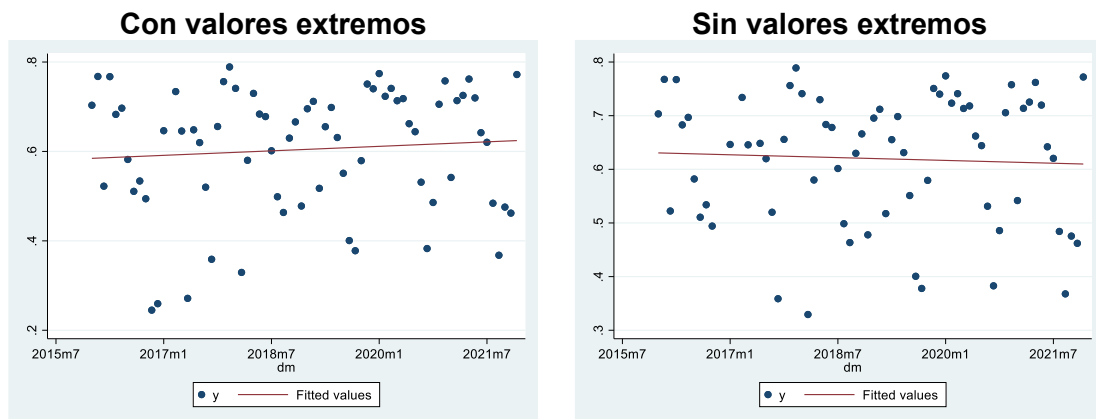
Donde, b_0 es el intercepto, s_j y c_j son los coeficientes a estimar con los datos, $2\pi t$ es el tiempo expresado en radianes, j es el número de ciclos por unidad de tiempo, y u_t el término de error. Se aplicaron distintas especificaciones con variaciones en J de 0,5 a 3 para cada observación o parcela de intervención, y se seleccionó cada modelo usando el criterio del coeficiente de determinación ajustado¹⁰ más alto.

⁸ Se optó como medida de tendencia central a la mediana porque esta no es afectada por valores extremos.

⁹ Se considera valores extremos a aquellos valores que se encuentra fuera del intervalo: $[Q_1 - 1,5(Q_3 - Q_1), Q_3 + 1,5(Q_3 - Q_1)]$ donde Q_1 , Q_3 son el primer y tercer cuartil, respectivamente.

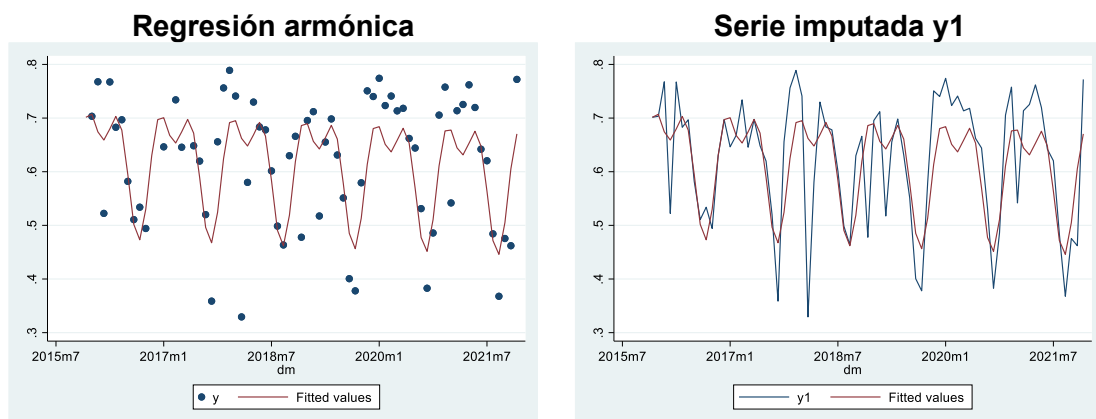
¹⁰ Mide el porcentaje de variación de la variable dependiente que es explicada por los regresores penalizando la incorporación de nuevas variables.

Gráfico N° 1.
Ejemplo de Valores de NDVI para una parcela



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 2.
Ejemplo de resultados de la regresión armónica y serie imputada

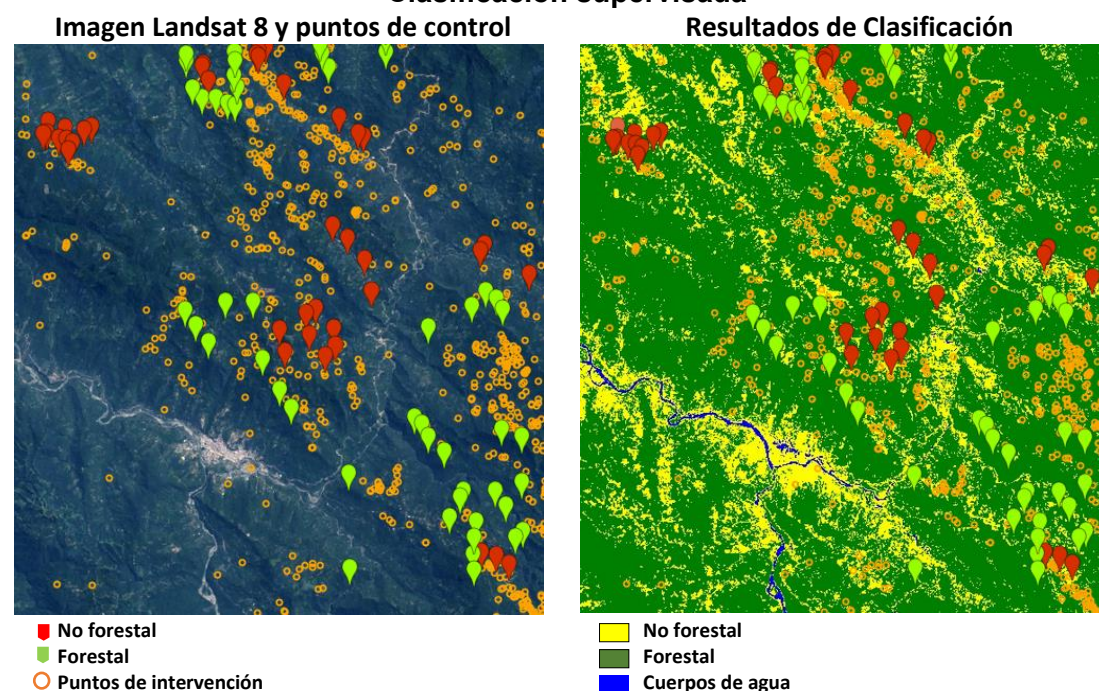


Fuente: Elaboración propia.

Procesamiento para clasificación supervisada

Para el análisis de clasificación supervisada, con el fin de identificar parcelas intervenidas donde existen cultivos, o se encuentran con cobertura forestal o se trata de cuerpos de agua, se hizo la colección de imágenes Landsat 8 para años los 2015-2017 previos a la intervención del Programa para los municipios beneficiarios del Programa; se aplicó el filtro para nubes y sombras; se compuso una sola imagen con las bandas, rojo, verde, azul e infrarojo cercano; se definieron puntos de entrenamiento para áreas forestales, no forestales y agua, en cercanía de los puntos de las parcelas intervenidas; se aplicó el algoritmo CART (Classification and Regresión Trees) que es un algoritmo que utiliza árboles de decisión para la clasificación de la variable dependiente para obtener un raster con las áreas clasificadas; posteriormente se redujo el raster a los puntos de intervención del Programa. Finalmente, se consolidó toda la información de imágenes satelitales y de registros administrativos en una sola base.

Figura N° 4.
Clasificación supervisada



Fuente: Elaboración propia en Google Earth Engine.

4.3 Cálculo del Índice de Vegetación

Las plantas en el proceso de fotosíntesis convierten la luz solar en energía química, en este proceso en el espectro electromagnético las plantas absorben la luz roja visible y reflejan la mayor parte de la luz en el infrarrojo cercano. El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)¹¹, es un indicador que aprovecha este proceso para detectar el verdor, densidad y salud de la vegetación, usando las bandas rojo e infrarrojo cercano del espectro electromagnético, y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Donde:

NIR: Es la luz reflejada en el espectro del infrarrojo cercano

RED: Es la luz reflejada en el rango rojo del espectro.

El NDVI, toma valores en el rango de -1 a 1; los valores negativos corresponden a superficies de agua, infraestructura hecha por el hombre, nubes o nieve; valores positivos cercanos a cero corresponden a suelos desnudos; valores positivos bajos entre 0,2 a 0,4 a áreas con vegetación escasa o enferma; entre 0,4 a 0,6 vegetación moderada o sana; y valores por sobre 0,6 indican una mayor densidad de vegetación y muy sana.

¹¹ El informe más antiguo del NDVI es de 1973 y corresponde al Centro de Detección Remota de la Universidad de Texas A&M, desde entonces su uso se popularizó debido a su simplicidad y éxito en la identificación de áreas con vegetación.

Si bien, uno de los principales usos del NDVI es el monitoreo de los cambios en la vegetación, otra aplicación importante es la estimación anticipada de rendimientos de los cultivos. Existe evidencia de que el NDVI es un buen predictor de los rendimientos de un cultivo (Bolton, D. y Friedl, M. 2013; Lv, X. 2014).

4.4 Descripción de datos estadísticos

En el periodo 2016-2022, en los puntos de intervención del Programa de inversión caficultura a nivel nacional, el NDVI presenta un valor promedio mensual de 0,57 correspondiente a una vegetación moderadamente sana, su valor mínimo es de 0,45 que también corresponde a vegetación sana y un valor máximo de 0,68 que significa la presencia de vegetación muy sana con alta densidad. La desviación estándar es de 0,06 que es baja, lo que significa que los niveles de NDVI varían poco entre los meses.

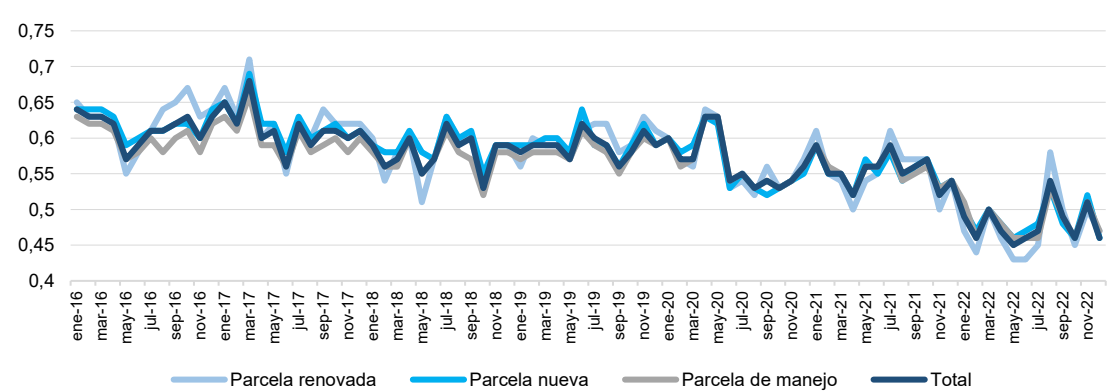
Cuadro N° 5.
Estadísticos descriptivos NDVI mensual, 2016-2022

Estadístico	Parcela renovada	Parcela nueva	Parcela de manejo	Total
Promedio	0,57	0,58	0,57	0,57
Mínimo	0,43	0,46	0,46	0,45
Máximo	0,71	0,69	0,66	0,68
Mediana	0,59	0,59	0,58	0,59
Desviación estándar	0,06	0,05	0,04	0,05

Fuente: Elaboración propia.

Los promedios totales del NDVI en los puntos de intervención en el tiempo, muestran una tendencia negativa, que mostraría que la salud de la vegetación, en esas áreas se ha ido deteriorando en los últimos años. Uno de los principales factores es el fenómeno de la niña, presente en Bolivia desde 2020 y que se agudizó en 2022, dando lugar a valores muy bajos de NDVI producto de inundaciones y sequías¹².

Gráfico N° 3.
NDVI promedio mensual en las parcelas de intervención por tipo de intervención, 2016-2022

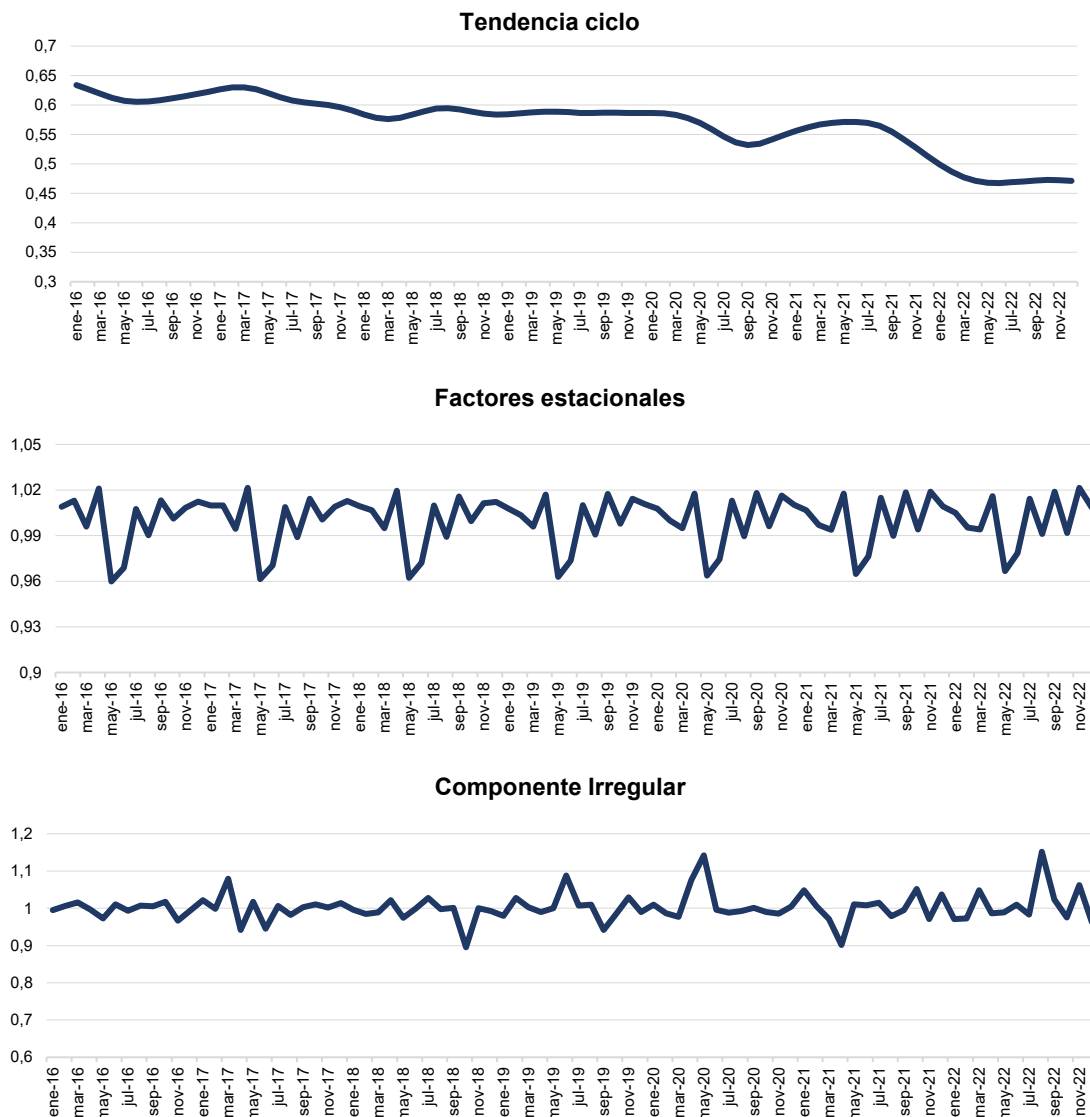


Fuente: Elaboración propia.

¹² Se determinó que en el área de estudio el índice MEI v2, que monitorea las anomalías para la identificación del fenómeno del Niño-Niña, y el NDVI tiene un coeficiente de correlación alta del 0,64.

Descomponiendo la serie de tiempo¹³ del NDVI, se puede observar con mayor claridad la tendencia, descendente con valores mínimos en la gestión 2022. Asimismo, se puede observar un componente estacional, en el que el NDVI presenta en cada año, valores altos en los meses de abril, julio, septiembre y noviembre; y por el contrario valores bajos en los meses de mayo y junio; finalmente, el componente irregular, con valores extremos en fechas sin un patrón de su recurrencia.

Gráfico N°4.
Descomposición de la serie de NDVI promedio mensual total, 2016-2022



Fuente: Elaboración propia.

5 METODOLOGÍA

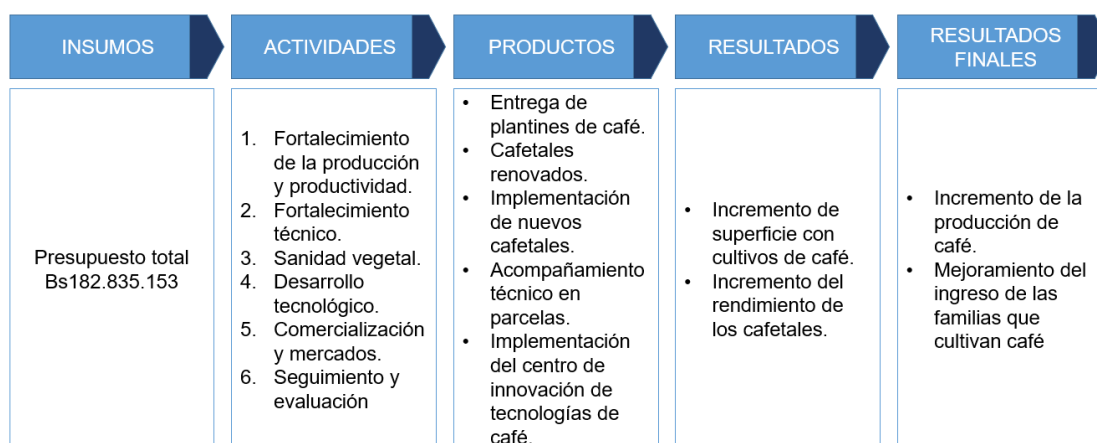
5.1 Desarrollo de la teoría del cambio

El objetivo del Programa es el desarrollo del potencial productivo sostenible del cultivo de café arábica con énfasis en la producción orgánica, incrementando su producción y

¹³ Para la descomposición de la serie de tiempo, se aplicó el método X13 Arima, considerando un regresor que captura el efecto de las diferencias en el número de días de cada mes.

productividad para la obtención de cafés de alta calidad orientados al mercado nacional y de exportación.

La teoría de cambio, de cómo se espera que la intervención consiga los resultados establecidos es la siguiente: Se invierte un total de Bs182.835.156, en seis componentes 1) de fortalecimiento de la producción y productividad, 2) fortalecimiento técnico, 3) sanidad vegetal, 4) desarrollo tecnológico, 5) comercialización y mercados, y 6) seguimiento y evaluación. A partir de la implementación de estos componentes, se renovaron cafetales envejecidos, se habilitaron nuevas superficies con cultivos de café, se capacitó a los agricultores que consideró diferentes temáticas de buenas prácticas del cultivo de café, además de hacer la entrega de plantines de café a través de transferencias público privadas y la implementación de un centro de innovación tecnológica de café. Los resultados esperados son el incremento de la superficie con cultivos de café y el mejoramiento de los rendimientos. Y los resultados finales son el incremento de la producción de café y el mejoramiento de los ingresos de las familias que se dedican a esta actividad.



Fuente: Elaboración propia.

5.2 Evaluación de impacto de diferencia en diferencias

Para la estimación del impacto del Programa en los rendimientos de los cultivos de café, se aplicará el modelo de Diferencias en Diferencias con variación en el tiempo, también conocido como modelos de efectos fijos bidireccionales (two-way fixed effects), con la siguiente especificación:

$$y_{it} = \alpha_i + \alpha_t + \beta^{DD} D_{it} + \gamma X_{it} + e_{it} \quad (1)$$

Donde y_{it} es el NDVI de la parcela i en el periodo t , se usa el NDVI como variable proxy del rendimiento del cultivo de café; α_i es el efecto fijo de la parcela i , que permite capturar las posibles características no-observables que generan diferencias entre las parcelas de análisis; α_t el efecto fijo del tiempo, que controla la variación de las variables no observables que son constantes entre las parcelas pero varían en el tiempo; D_{it} es la variable dicotómica de tratamiento que toma el valor de 1 desde el periodo t , cuando la parcela i es intervenida por el Programa, y 0 en otro caso; X_{it} es un grupo de covariables que pueden explicar el NDVI que varían entre parcela y en el tiempo, en el estudio se consideraron en este grupo las variables a la temperatura en grados Celsius (C°) y la precipitación en milímetros por mes (mm/mes); y finalmente e_{it} es el término de error

de la parcela i en el periodo t . En esta especificación β^{DD} , es el coeficiente que captura el efecto causal o de tratamiento del Programa de café en el valor del NDVI.

La especificación de Diferencias en Diferencias (DD) con variación en el tiempo, es una generalización del modelo canónico de diferencias en diferencias de dos periodos, modelo que contiene dos periodos pre y post, y dos grupos de tratamiento y de control. Goodman-Bacon (2018), demuestra que el estimador β^{DD} , es el equivalente a un promedio ponderado de todos los estimadores de DD posibles de dos grupos de dos periodos. Cuando $t=2$, la estimación de Diferencias en Diferencias con variación en el tiempo es igual a la estimación de diferencias en diferencias canónico.

6 RESULTADOS

En el marco de la implementación de los componentes del Programa, que consideran la ampliación de áreas cultivadas con café, renovación de cafetales, manejo adecuado de los cafetales, es que se espera que los resultados de su implementación consideren un incremento en la superficie cultivada y sus rendimientos.

6.1 Evaluación de impacto para el incremento en la superficie cultivada de café

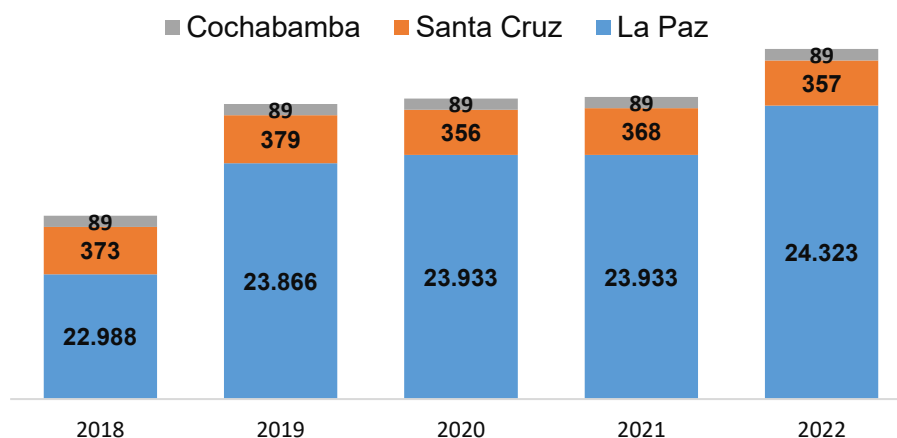
Uno de los componentes del Programa considera la implementación de nuevas parcelas con cultivos de café, lo que representa un total de 3.026 hectáreas adicionales en los municipios o áreas de intervención del Programa. Para la determinación del impacto en el incremento de esta superficie, se consideró inicialmente, el uso de imágenes satelitales, sin embargo, en este proceso se tuvo las siguientes dificultades a considerar:

- Las parcelas georreferenciadas tienen un solo punto, y no se tiene el registro completo de todos los vértices para reconstruir el polígono, y sobre este calcular la superficie con cafetales.
- Los cafetales en algunos casos se encuentran asociados con otros cultivos como los cítricos y el plátano, dado que las resoluciones de las imágenes satelitales utilizadas son de 10 metros, no se puede distinguir de manera precisa en tales casos, la superficie incremental con cultivos de café.

En este sentido, se recurrió a registros administrativos del Sistema Integrado de Información Productiva del Ministerio de Desarrollo Productivo y Economía Plural, que cuenta con información de superficie, producción y rendimiento de cultivos agrícola a nivel de municipio.

A nivel agregado del total de los municipios donde se intervino con el Programa, la superficie cultivada entre el 2018-2022, se incrementó en 6%, lo que representó 1.319 hectáreas, como muestra el siguiente gráfico:

Gráfico N° 5.
Superficie cultivada de café en las áreas de intervención del Programa, 2018-2022
(En hectáreas)



Fuente: Sistema Integrado de Información Productiva - Ministerio de Desarrollo Productivo y Economía Plural.

Este incremento sólo representa el 44% (1.319 hectáreas), considerando que se tenía Programado una superficie incremental por intervención del Programa (3.026 hectáreas) como resultado En relación a la superficie

Las áreas de intervención del departamento de La Paz concentran la mayor superficie cultivada de café (98%), el cual mostró un mayor incremento entre el 2018-2022 (6%). Las áreas de los departamentos de Santa Cruz y Cochabamba con intervención del Programa representan el 2%, sin embargo, no presenta impacto.

En el departamento de La Paz, los municipios de Caranavi, Teoponte y La Asunta concentran la mayor superficie cultivada de café (78%) en relación al resto de los municipios con intervención del Programa, como muestra el siguiente cuadro:

Cuadro N° 6.
Superficie cultivada de café en las áreas de intervención
en el Departamento de La Paz, 2018-2022
(En hectáreas)

Municipio	2018	2019	2020	2021	2022
Caranavi	14.923	15.492	15.536	15.536	15.788
Alto Beni	712	739	741	741	753
Chulumani	349	362	363	363	369
Palos Blancos	928	964	966	966	982
Coroico	784	814	817	817	830
Coripata	327	340	341	341	346
Teoponte	1.818	1.887	1.892	1.892	1.923
La Asunta	1.145	1.189	1.192	1.192	1.212
Irupana	700	726	728	728	740
Cajuata	262	272	273	273	278
Apolo	1.005	1.044	1.047	1.047	1.064
San Buenaventura	29	30	30	30	31
Ixiamas	6	7	7	7	7

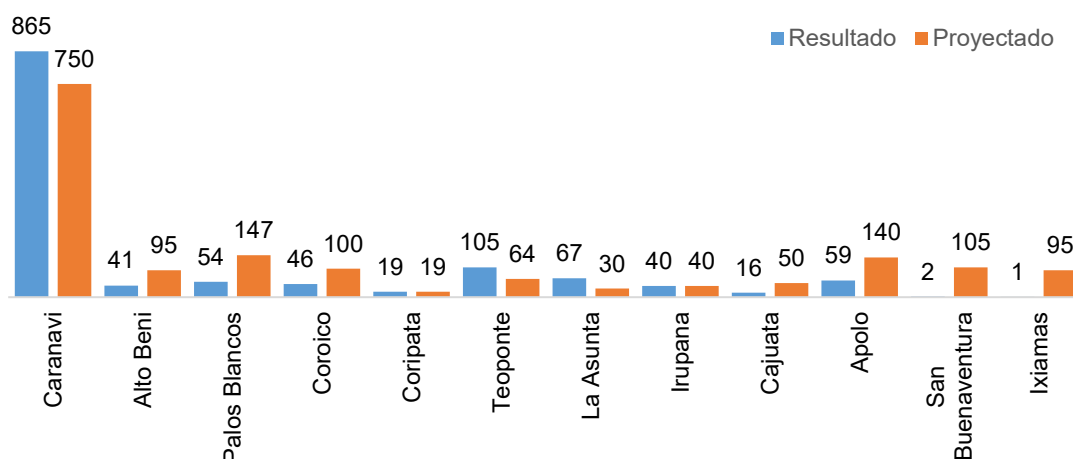
Total	22.988	23.866	23.933	23.933	24.323
--------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

Fuente: Sistema Integrado de Información Productiva - Ministerio de Desarrollo Productivo y Economía Plural.

En relación al impacto en el departamento de La Paz, entre el 2018-2022, la superficie cultivada de café se incrementó en 6%, pasando de 22.988 a 24.323 hectáreas (incremento de 1.335 hectáreas), sin embargo, este incremento es inferior a lo Programado (1.913 hectáreas), lo que representa un logro del 70% hasta el 2022.

Según los registros administrativos los municipios de Caranavi, Coripata, Teoponte, La Asunta e Irupana lograron incrementar la superficie cultivada según lo proyectado e incluso superar lo previsto de acuerdo al Programa. El resto de los Municipios en los cuales se intervino con el Programa, se tuvo incrementos, sin embargo, estos no superaron lo proyectado, como muestra el siguiente gráfico:

Gráfico N° 6.
Resultados en las áreas de intervención del Programa en el departamento de La Paz, 2018-2022
(En hectáreas)



En el departamento de Santa Cruz, los municipios de Buenavista, Porongo, Yapacani y San Carlos, concentran la mayor superficie cultivada de café (85%) en relación al resto de los municipios con intervención del Programa, como muestra el siguiente cuadro:

Cuadro N° 7.
Superficie cultivada de café en las áreas de intervención
en el Departamento de Santa Cruz, 2018-2022
(En hectáreas)

Municipio	2018	2019	2020	2021	2022
Samaipata	19	19	19	19	19
Yapacani	48	49	48	47	48
San Carlos	49	49	48	48	36
Buenvista	148	150	146	145	146
Porongo	76	77	75	74	75
El Torno	21	22	8	23	21
Mairana	12	13	12	12	12
Total	373	379	356	368	357

Fuente: Sistema Integrado de Información Productiva - Ministerio de Desarrollo Productivo y Economía Plural.

En el departamento de Santa Cruz, entre el 2018-2022, la superficie cultivada de café decreció en -4%, pasando de 373 a 357 hectáreas (reducción en 16 hectáreas), por lo tanto, no se tienen impacto por efecto de la implementación del Programa.

En el departamento de Cochabamba, según los registros administrativos, no se tuvo incremento de los municipios en los cuales se intervino con el Programa.

Cuadro N° 8.
Superficie cultivada de café en las áreas de intervención
en el Departamento de Santa Cruz, 2018-2022
(En hectáreas)

Municipio	2018	2019	2020	2021	2022
Villa Tunari	34	34	34	34	34
Chimore	9	9	9	9	9
Entre Ríos	46	46	46	46	46
Total	89	89	89	89	89

De manera general, es importante aclarar para una correcta evaluación o medición del impacto como consecuencia de la intervención de un Programa, se debe contar con un mecanismo de recopilación de información exclusivamente para tal efecto. En este sentido, estos resultados son referenciales, considerando que no se cuenta con otra información disponible en relación al incremento de la superficie cultivada de café.

6.2 Evaluación de impacto para el incremento en los rendimientos de café

Para la estimación del efecto causal del Programa de café en el NDVI como indicador proxi del rendimiento, se consideraron las parcelas que ya se encontraban con cultivos (identificadas por la metodología de clasificación supervisada), y se excluyeron a las parcelas que se encontraban con cobertura forestal. Esto debido que el Programa de café amplió la frontera agrícola en algunas áreas forestales, en estos casos, el monitoreo del NDVI no estaría midiendo los rendimientos de los cafetales, sino el impacto por el cambio de uso del suelo.

Con las consideraciones anteriores, los resultados muestran que el Programa de café presentó efecto positivo en las parcelas de cafetales renovados, sin embargo, no es estadísticamente significativo, debido a que el error estándar presenta un valor alto. En el caso de parcelas donde se implementaron nuevos cafetales y donde se hizo el acompañamiento técnico, no se encontraron efectos causales en el NDVI que sean estadísticamente significativo.

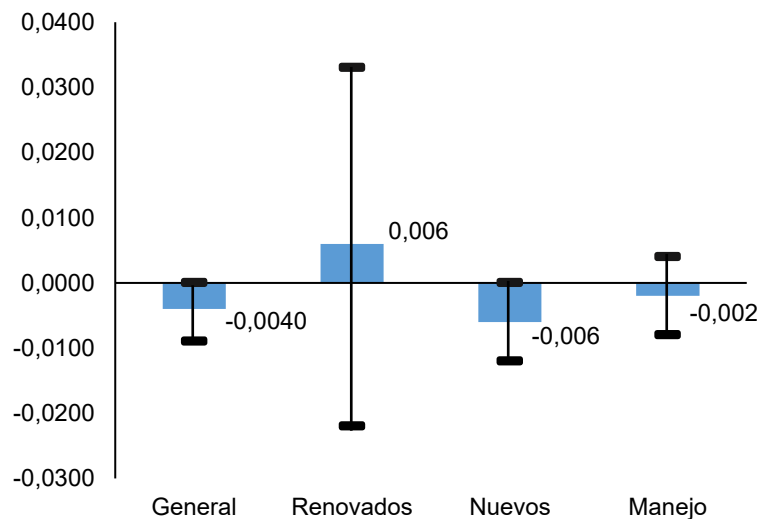
Cuadro N° 9.
Efectos del Programa café en el NDVI: Diferencias en Diferencias

Indicadores	General	Renovados	Nuevos	Manejo
D _{it}	-0,004 (0,000)	0,006 (0,010)	-0,006 (0,000)	-0,002 (0,000)
Precipitación	-0,000*** (0,000)	0,000 (0,000)	-0,000*** (0,000)	-0,000*** (0,000)
Temperatura	-0,005*** (0,000)	0,011 (0,010)	-0,003* (0,000)	-0,007*** (0,000)

Nro. Obs.	99.960	5.040	46.368	48.552
Nro. Grupos	1.190	60	552	578

Nota: Errores estándar robustos entre paréntesis. Significancia a: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$ y *** $p < 0,001$. Los resultados consideran las parcelas que estaban con cultivos antes de la intervención del Programa.

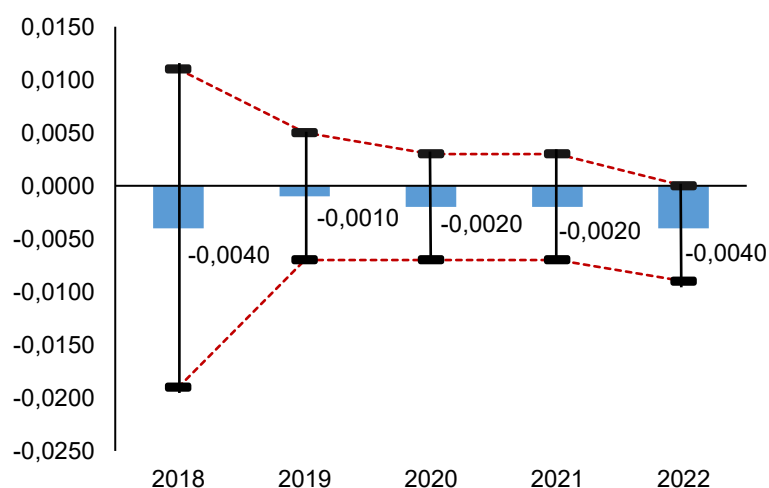
Cuadro N° 10.
Efectos del Programa café en el NDVI: Diferencias en Diferencias, por tipo de intervención



Nota: Los resultados sólo consideran las parcelas que ya estaban con cultivos.

Realizando cortes de evaluación a diferentes años post intervención, se observa que el Programa de café en todos los años correspondientes al periodo 2018-2022, no presenta efectos causales positivos y los errores estándar se han ido estrechando.

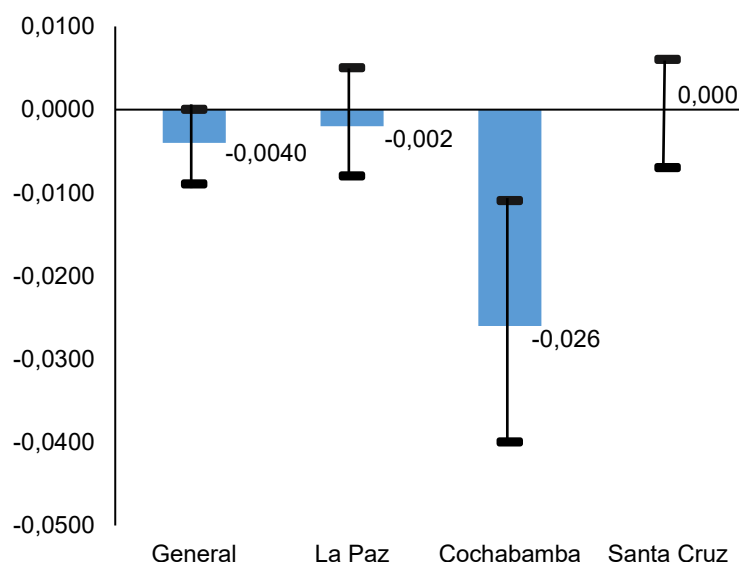
Cuadro N° 11.
Efectos del Programa café en el NDVI: Diferencias en Diferencias, por año de intervención



Notas: Los resultados sólo consideran las parcelas que ya estaban con cultivos.

Según departamento, se observa que, en Cochabamba, el efecto del Programa es negativo y estadísticamente significativo. Con el Programa, el NDVI en promedio en el departamento de Cochabamba se redujo en 0.026 puntos.

Cuadro N° 12.
Efectos del Programa café en el NDVI: Diferencias en Diferencias, según Departamento



Notas: Los resultados sólo consideran las parcelas que ya estaban con cultivos.

Análisis de Robustez de resultados

Con la finalidad de demostrar que los resultados alcanzados son robustos, se llevó a cabo una regresión de diferencias en diferencias placebo, para dos años anteriores a la intervención del Programa (2016 y 2017). En esta regresión se asumió un adelanto de la intervención de dos años y se aplicó la misma especificación de la ecuación (1). Con esta prueba se evalúa si la tendencia del grupo de parcelas con intervención y sin intervención siguen una tendencia paralela. Los resultados de la regresión placebo, indican que no hay efecto estadísticamente significativo del placebo.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El “Programa de Inversión Caficultura a Nivel Nacional” se implementó entre 2018-2022 por un monto de Bs183 millones en un total de 9.402 parcelas con una superficie total de 5.068 hectáreas de las cuales 1.814 hectáreas corresponden a parcelas nuevas, 1.116 hectáreas a parcelas de renovación y 2.138 hectáreas a parcelas con manejo; beneficiando a un total de 6.810 productores. Sin embargo, para efectos de la evaluación e información depurada, el presente estudio consideró un total de 8.732 parcelas (4.768 hectáreas), de los cuales 2.189 parcelas corresponden a cafetales antiguos para su renovación (1.049 hectáreas), 3.389 parcelas a nuevos cafetales (1.669 hectáreas) y 3.154 corresponden a parcelas de manejo (2.050 hectáreas).

Las imágenes satelitales se constituyen en una fuente importante de información por poseer características valiosas como son la cobertura, precisión y oportunidad. Con el avance de la tecnología de captura de imágenes por satélite y las plataformas de visualización y análisis como Google Earth Engine, en la actualidad se puede contar con

información periódica de cualquier área geográfica y con niveles de resolución hasta 10 metros.

Haciendo uso de la información proveniente de imágenes satelitales, la evaluación del Programa de café en el rendimiento de los cultivos de café se realizó empleando el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada - NDVI; en cambio para el indicador de superficie cultivada se recurrió a información de registros administrativos, debido a limitaciones en la delimitación de las parcelas a ser intervenidas.

Los resultados muestran que existe un efecto positivo en el rendimiento en las parcelas con cafetales renovados, aunque no es estadísticamente significativo; y en el caso de las parcelas nuevas y con manejo, no se hallaron mejoras en el NDVI. Entre las principales razones de los resultados no significativos se tienen que las nuevas áreas de cafetales, recién tienden a mejorar sus rendimientos a partir del 4° o 5° año de acuerdo a su ciclo productivo, por lo que, para medir el impacto de la implementación del Programa, se requeriría mayor tiempo para que el NDVI muestre un comportamiento creciente y sus valores sean mayores. Asimismo, considerando que el Programa de café amplió la frontera agrícola en algunas áreas forestales, el monitoreo del NDVI no estaría midiendo los rendimientos de los cafetales, sino el impacto por el cambio de uso del suelo.

Respecto a la ampliación de las áreas con cultivo de café en los municipios donde se realizó la intervención con el Programa, se tuvo un incremento de 6%, sin embargo, este incremento es insuficiente a lo previsto en el Programa (20% aproximadamente), además de que este resultado refleja el impacto en el departamento de La Paz y no así en los departamentos de Santa Cruz y Cochabamba.

Finalmente, se debe señalar que el uso de imágenes satelitales y el análisis de NDVI como un indicador proxy de rendimiento en estudios de evaluación de impacto cada vez tienen mayor relevancia y proporcionan información valiosa. En el presente trabajo se ha desarrollado una metodología que permita realizar procedimientos para tareas de depuración y procesamiento de la información, misma que puede ser utilizada en otros trabajos similares de investigación para el sector agropecuario. Sin embargo, es importante, analizar su aplicabilidad, considerando el tipo de cultivos, mostrándose ciertas limitaciones como sus sistemas de producción con diferentes tipos de vegetación (agroforestales), la localización de sus plantaciones como áreas montañosas que complejiza las condiciones para la teledetección por la alta presencia de nubes, entre otras. En este sentido, se recomienda combinar el NDVI con otras fuentes de información y técnicas de monitoreo más específicas para obtener resultados más precisos y contextualizados para los cultivos que se analicen.

8 BIBLIOGRAFÍA

- Mika, J., J. Kerényi, A. Rimóczi-Paál, Á. Merza, C. Szinell, and I. Csiszár. 2002. On correlation of maize and wheat yield with NDVI: Example of Hungary (1985-1998). *Adv. Space Res.* 30:2399-2404.
- Weiss M., Jacob F., and Duveiller. 2019. Remote sensing for agricultural applications: a meta-review. *Remote Sensing of Environment*. Volume 236, January 2020, 111402.
- Revelo D., Mejía J, Montoya B. y Hoyos J. 2020. Análisis de los índices de vegetación NDVI, GNDVI y NDRE para la caracterización del cultivo de café (*Coffea arábica*). *Ingeniería y Desarrollo*. Vol 38 N°2. 2145-9371 (online). Universidad del Norte.
- Salazar L., Palacios A. C., Selvaraj M. and Montenegro F. 2021. Using satellite images to measure crop productivity: long-term impact assessment of a randomized technology adoption program in the Dominican Republic. *IDB Working Paper Series*; 1234.
- MDRyT.2014. Resultados del Censo Nacional del Café 2011-2012.
- MDRyT.2018. Programa de Inversión Caficultura a Nivel Nacional.
- Cox, N. 2006. Speaking: In praise of trigonometric predictors. *The Stata Journal* Number 4, pp. 561-579.
- Solórzano, J. y Perilla, G. 2022. Cómo usar Google Earth Engine y no fallar en el intento. Universidad Nacional Autónoma de México – Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humbolt. Primera edición. Morelia-México, Bogotá – Colombia.
- Lv, X. (2014). Remote sensing, normalized difference vegetation index (NDVI), and crop yield forecasting. Master Thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign, Champaign, United States.
- Bolton, D. and Friedl, M. (2013)Forecasting crop yield using remotely sensed vegetation indices and crop phenology metrics. *Agricultural and Forest Meteorology*. Volume 173. Pages 74-84.
- Cortez, J. y Martín, F. 2018. Desestacionalización del Índice de Actividad del Comercio al por Menor (IACM) Metodología X13 ARIMA SEATS para e efecto calendario. INE. Santiago de Chile.
- Gertler, P., Martinez, S., Premand, P., Rawlings, L., y Vermeersch C. 2017. La evaluación de impacto en la práctica. Segunda edición. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Goodman-Bacon, A. 2018. Difference-in-difference with variation in treatment timing. National Bureau of Economic Research. Working Paper 205018.
- Galiani, S., Gertler, P. and Schargrodsky, E.2005. Water for life: the impact of the privatization of wáter services on child mortality. *Journal of Political Economy*. Vol. 113, No. 1 (February 2005), pp. 83-120 (38 pages). Published By: The University of Chicago Press.

ANEXOS

ANEXO 1
Presupuesto de inversión del Programa de café por gestión
(En bolivianos)

COMPONENTES	2018	2019	2020	2021	2022	TOTAL	Porcentaje
COMPONENTE PRODUCCIÓN Y PRODUCTIVIDAD	3.708.188	39.739.620	19.662.392	3.911.888	1.990.892	69.012.980	37
Subcomponente renovación de cafetales	1.064.448	15.900.192	9.896.040	2.519.748	1.255.716	30.636.144	16
Subcomponente implementación de nuevos cafetales	1.771.308	10.669.428	9.746.352	1.372.140	715.176	24.274.404	13
Subcomponente suelos y fertilidad	872.432	13.170.000	20.000	20.000	20.000	14.102.432	7
COMPONENTE FORTALECIMIENTO TÉCNICO	7.653.807	8.870.826	8.857.226	8.857.226	8.857.226	43.096.311	23
Subcomponente 1. Acompañamiento técnico en la parcela	7.636.207	8.835.226	8.821.626	8.821.626	8.821.626	42.936.311	23
Subcomponente 2. Desarrollo de capacidades	17.600	35.600	35.600	35.600	35.600	160.000	0
COMPONENTE SANIDAD VEGETAL	3.076.432	2.243.689	2.241.609	2.238.969	2.238.969	12.039.668	6
Subcomponente 1. Vigilancia fitosanitaria	1.651.692	1.226.989	1.226.989	1.226.989	1.226.989	6.559.648	3
Subcomponente 2. Control fitosanitario	1.328.120	924.500	924.500	924.500	924.500	5.026.120	2
Subcomponente 3. Educación fitosanitaria	96.620	92.200	90.120	87.480	87.480	453.900	0
COMPONENTE DESARROLLO TECNOLÓGICO	2.936.851	31.950.661	4.383.590	2.567.650	2.724.590	44.563.342	24
Subcomponente 1. Investigación para el desarrollo de variedades, manejo integrado de plagas (MIP), manejo agronómico del cultivo (MAC) y post cosecha	489.575	969.935	1.375.479	1.367.039	1.500.885	5.702.913	3
Subcomponente 2. Multiplicación de material vegetal de propagación frutales	397.200	677.087	639.525	639.525	613.369	2.966.706	1
Subcomponente 3. Transferencia de tecnología de producción y post cosecha	0	360.903	341.468	342.218	341.468	1.386.057	0
Subcomponente 4. Implementación del centro de innovación de tecnologías de café	2.050.076	29.942.736	2.027.118	218.868	268.868	34.507.666	18
COMPONENTE 5. COMERCIALIZACIÓN Y MERCADOS	782.900	902.900	662.900	902.900	662.900	3.914.500	2
Subcomponente 1. Posicionamiento del café boliviano de alta calidad.	782.900	902.900	662.900	902.900	662.900	3.914.500	2
COMPONENTE 6. SEGUIMIENTO Y MONITOREO	392.259	183.995	228.515	33.310	228.515	1.066.594	0
Reportes periódicos	61.132	33.240	33.310	33.310	33.310	194.302	0
Línea base y evaluación de medio término	195.205		195.205			390.410	0
Evaluación final					195.205	195.205	0
Registro RUNAF	135.922	150.755				286.677	0
GASTO CORRIENTE	1.132.134	1.894.319	1.924.464	1.942.971	2.247.870	9.141.758	5
TOTAL	19.682.571	85.786.010	37.960.696	20.454.914	18.950.962	182.835.153	100
Porcentaje	10,77	46,92	20,76	11,19	10,37	100,00	

Anexo2
Efectos del Programa café en el NDVI: Diferencias en Diferencias, por tipo de intervención, 2018-2022

Periodo	Indicadores	General	Renovados	Nuevos	Manejo
2018	Dit	-0,004 (0,010)	0,018 (0,070)	0,004 (0,010)	-0,013 (0,010)
	Precipitación	-0,000*** (0,000)	0,000 (0,000)	-0,000*** (0,000)	-0,000*** (0,000)
	Temperatura	-0,001 (0,000)	0,001 (0,010)	0,002 (0,000)	-0,003 (0,000)
	Nro. Obs.	42.840	2.160	19.872	20.808
	Nro. Grupos	1.190	60	552	578
2019	Dit	-0,001 (0,000)	-0,010 (0,020)	0,002 (0,000)	-0,002 (0,000)
	Precipitación	-0,000*** (0,000)	0,000 (0,000)	-0,000*** (0,000)	-0,000*** (0,000)
	Temperatura	-0,008*** (0,000)	0,006 (0,010)	-0,004* (0,000)	-0,010*** (0,000)
	Nro. Obs.	57.120	2.880	26.496	27.744
	Nro. Grupos	1.190	60	552	578
2020	Dit	-0,002 (0,000)	0,000 (0,020)	-0,003 (0,000)	0,000 (0,000)
	Precipitación	-0,000*** (0,000)	0,000 (0,000)	-0,000*** (0,000)	0,000 (0,000)
	Temperatura	-0,006*** (0,000)	0,009 (0,010)	-0,004** (0,000)	-0,009*** (0,000)
	Nro. Obs.	71.400	3.600,000	33.120,000	34.680,000
	Nro. Grupos	1.190	60	552	578
2021	Dit	-0,002 (0,000)	0,004 (0,010)	-0,004 (0,000)	0,001 (0,000)
	Precipitación	-0,000*** (0,000)	0,000 (0,000)	-0,000*** (0,000)	-0,000*** (0,000)
	Temperatura	-0,007*** (0,000)	0,009 (0,010)	-0,004** (0,000)	-0,010*** (0,000)
	Nro. Obs.	85.680	4.320	39.744	41.616
	Nro. Grupos	1.190	60	552	578
2022	Dit	-0,004 (0,000)	0,006 (0,010)	-0,006 (0,000)	-0,002 (0,000)
	Precipitación	-0,000*** (0,000)	0,000 (0,000)	-0,000*** (0,000)	-0,000*** (0,000)
	Temperatura	-0,005*** (0,000)	0,011 (0,010)	-0,003* (0,000)	-0,007*** (0,000)
	Nro. Obs.	99.960	5.040	46.368	48.552
	Nro. Grupos	1.190	60	552	578

Notas: Errores estándar robustos entre paréntesis. Significancia a: *p<0,05; ** p<0,01 y *** p<0,001. Los resultados consideran las parcelas que estaban con cultivos antes de la intervención del Programa.

Efectos del Programa café en el NDVI: Diferencias en Diferencias, por Departamento, 2018-2022

Periodo	Indicadores	General	La Paz	Cochabamba	Santa Cruz
2018	Dit	-0,004 (0,010)	-0,002 (0,010)	0,000 (.)	-0,012 (0,010)
	Precipitación	-0.000*** (0,000)	0,000 (0,000)	-0.000*** (0,000)	-0.000** (0,000)
	Temperatura	-0,001 (0,000)	-0,005 (0,000)	0.032*** (0,010)	-0,003 (0,000)
	Nro. Obs.	42.840	17.316	6.984	18.540
	Nro. Grupos	1.190	481	194	515
2019	Dit	-0,001 (0,000)	0,002 (0,000)	-0,012 (0,010)	-0,007 (0,000)
	Precipitación	-0.000*** (0,000)	-0.000* (0,000)	-0.000*** (0,000)	-0.000*** (0,000)
	Temperatura	-0.008*** (0,000)	-0,001 (0,000)	0,008 (0,000)	-0.011*** (0,000)
	Nro. Obs.	57.120	23.088	9.312	24.720
	Nro. Grupos	1.190	481	194	515
2020	Dit	-0,002 (0,000)	0,000 (0,000)	-0.018* (0,010)	-0,001 (0,000)
	Precipitación	-0.000*** (0,000)	0,000 (0,000)	-0.000** (0,000)	-0.000*** (0,000)
	Temperatura	-0.006*** (0,000)	0,000 (0,000)	-0.008* (0,000)	-0.015*** (0,000)
	Nro. Obs.	71.400	28.860	11.640	30.900
	Nro. Grupos	1.190	481	194	515
2021	Dit	-0,002 (0,000)	-0,002 (0,000)	-0.019* (0,010)	0,003 (0,000)
	Precipitación	-0.000*** (0,000)	0,000 (0,000)	-0.000*** (0,000)	-0.000*** (0,000)
	Temperatura	-0.007*** (0,000)	0,000 (0,000)	-0,007 (0,000)	-0.018*** (0,000)
	Nro. Obs.	85.680	34.632	13.968	37.080
	Nro. Grupos	1.190	481	194	515
2022	Dit	-0,004 (0,000)	-0,002 (0,000)	-0.026*** (0,010)	0,000 (0,000)
	Precipitación	-0.000*** (0,000)	0,000 (0,000)	-0.000*** (0,000)	-0.000*** (0,000)
	Temperatura	-0.005*** (0,000)	-0,003 (0,000)	-0,006 (0,000)	-0.017*** (0,000)
	Nro. Obs.	99.960	40.404	16.296	43.260
	Nro. Grupos	1.190	481	194	515

Notas: Errores estándar robustos entre paréntesis. Significancia a: *p<0,05; ** p<0,01 y *** p<0,001. Los resultados consideran las parcelas que estaban con cultivos antes de la intervención del Programa.

ANEXO 3

Resultados regresión placebo, 2016-2017

ndvi	Coef.	Std. Err.	t	P>t	[95% Conf.	Interval]
dit (placebo)	-0,003	0,002	-1,03	0,303	-0,007	0,002
Precipitación	0,000	0,000	-7,18	0,000	0,000	0,000
Temperatura	-0,002	0,001	-1,59	0,113	-0,005	0,000
Mes						
feb-16	-0,009	0,003	-3,16	0,002	-0,015	-0,004
mar-16	-0,024	0,004	-5,84	0,000	-0,032	-0,016
abr-16	-0,019	0,005	-4,01	0,000	-0,028	-0,010
may-16	-0,053	0,009	-6,16	0,000	-0,069	-0,036
jun-16	-0,089	0,009	-9,5	0,000	-0,108	-0,071
jul-16	-0,104	0,008	-13,36	0,000	-0,119	-0,088
ago-16	-0,141	0,007	-21,38	0,000	-0,154	-0,128
sep-16	-0,127	0,006	-22,6	0,000	-0,138	-0,116
oct-16	-0,104	0,004	-23,78	0,000	-0,112	-0,095
nov-16	-0,108	0,005	-23,94	0,000	-0,117	-0,099
dic-16	-0,033	0,004	-8,56	0,000	-0,040	-0,025
ene-17	-0,011	0,004	-3,15	0,002	-0,018	-0,004
feb-17	-0,030	0,003	-9,45	0,000	-0,036	-0,024
mar-17	-0,001	0,004	-0,34	0,730	-0,009	0,006
abr-17	-0,053	0,006	-9,49	0,000	-0,064	-0,042
may-17	-0,058	0,006	-9,65	0,000	-0,069	-0,046
jun-17	-0,073	0,008	-9,01	0,000	-0,089	-0,057
jul-17	-0,060	0,008	-7,2	0,000	-0,076	-0,044
ago-17	-0,106	0,007	-15,45	0,000	-0,119	-0,092
sep-17	-0,126	0,005	-23,04	0,000	-0,136	-0,115
oct-17	-0,095	0,005	-19,23	0,000	-0,104	-0,085
nov-17	-0,076	0,005	-16,7	0,000	-0,085	-0,067
dic-17	-0,031	0,004	-8,26	0,000	-0,038	-0,023
Constante	0,686	0,029	23,39	0,000	0,6281267	0,7431693
sigma_u	0,10446071					
sigma_e	0,09106078					
rho	0,56821391	(fracción de varianza debido a u_i)				

Notas: Los resultados consideran las parcelas que estaban con cultivos antes de la intervención del Programa.