

Reducción de Rezago de Avalúos Catastrales - Artículo 49 PND(2022-2026)

Capitalización de renta agropecuaria

Elaborado por:

Luis Fernando Parra Camacho

María Fernanda Zarate Jiménez

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI - IGAC

SUBDIRECCIÓN GENERAL

Diciembre de 2024

Abreviaturas y acrónimos

EVA	- Evaluación Agropecuaria
SIPSA	- Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario
AHT	- Áreas Homogéneas de Tierras
UPRA	- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria
SIPRA	- Sistema de Información de para la Planificación Rural Agropecuaria
DANE	- Departamento Administrativo Nacional de Estadística
RNDC	- Registro Nacional de Despacho de Carga
CNA	- Censo Nacional Agropecuario
ENA	- Encuesta Nacional Agropecuaria
TIR	- Tasa Interna de Retorno

Tabla de contenido

1	RESUMEN.....	1
2	INTRODUCCIÓN.....	2
2.1	Justificación/Contexto.....	2
2.2	Alcance	3
2.2.1	Alcance temporal.....	3
2.2.2	Alcance espacial.....	3
3	OBJETIVOS	4
3.1	General	4
3.2	Específicos.....	4
4	MARCO REFERENCIAL/TEÓRICO	5
5	DESARROLLO METODOLÓGICO	9
5.1	Esquema del modelo.....	9
5.2	Análisis de la información	14
5.2.1	Módulo de caracterización.....	14
5.2.2	Módulo de rendimientos	14
5.2.3	Módulo de costos	19
5.2.4	Módulo de precios	21
5.3	Preparación y transformación de los datos.....	26
5.4	Desarrollo del modelo, reporte, script y/o visualización y/o metodología	28
5.4.1	Códigos de homologación	28
5.4.2	Módulo de caracterización.....	29
5.4.3	Módulo de rendimientos	30
5.4.4	Módulo de costos	35
5.4.5	Módulo de precios	37
5.4.6	Módulo de avalúos	42
6	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	46
6.1	Evaluación y/o presentación de los resultados	46
6.2	Implementación y/o difusión de resultados	51
7	CONCLUSIONES	54
8	ANEXOS.....	56
9	BIBLIOGRAFÍA.....	57

Lista de figuras

Figura 1 Esquema modelo de capitalización agropecuaria.	10
Figura 2 Flujograma modelo de capitalización.....	13
Figura 3 Información Evaluaciones agropecuarias – EVAs.	15
Figura 4 Insumos módulo de rendimientos.	15
Figura 5 Evaluaciones agropecuarias Rendimientos.....	16
Figura 6 Estructuras de rendimientos agrología IGAC.	17
Figura 7 Información mapas de zonificación (aptitud de cadenas agropecuarias).....	18
Figura 8 Áreas homogéneas de tierra AHT	19
Figura 9 Estructura de costos agrología IGAC.	20
Figura 10 Información requerida para el módulo de precios.	22
Figura 11 Sistema de información de precios – SIPSA, precios mayoristas.	23
Figura 12 Registro nacional de despacho carga – RNDC.	24
Figura 13 Red vial con velocidades asignadas.....	25
Figura 14 Distancias zonas geoeconómicas a centros poblados.	26
Figura 15 Cultivos seleccionados por municipio, ejemplo municipio Agua de Dios.	30
Figura 16 Estructuras de rendimiento base, ejemplo cultivo café.	32
Figura 17 Proceso ajuste de rendimientos, ejemplo cultivo maíz tradicional municipio de Simijaca Cundinamarca.	34
Figura 18 Curva de densidad de los valores iniciales y ajustados de rendimiento, para maíz tradicional municipio de Simijaca Cundinamarca.....	35
Figura 19 Distancias Thiessen para asignación de mercado de insumos SIPSA más cercano. Izquierda utilizando todos los municipios reportados por SIPSA; Derecha utilizando solo ciudades capitales.	36
Figura 20. Filtro Hodrick-Prescott para los diferentes mercados del producto Borojó.	39
Figura 21 Modelo de red vial.....	40
Figura 22 Unidad espacial del modelo de capitalización	44
Figura 23 Porcentaje del costo externo sobre el precio del cultivo.....	47
Figura 24 Porcentaje del costo interno sobre el precio del cultivo.....	48
Figura 25 Utilidad bruta por tipo de cultivo.....	49
Figura 26 Resultados agregados por departamento, cultivo y ciclo.	50
Figura 27 Valor por hectárea por tipo de cultivo y ciclo.	51
Figura 28 Tablero de control del documento del modelo de capitalización de renta.....	52
Figura 29 Visor con resultados desagregados por unidad espacial del modelo de capitalización...	53

Lista de tablas

Tabla 1 Nombres y número de registros tablas SIPSA insumos.	21
Tabla 2 Parámetros modelos de transporte.	42

Anexos

Anexo 1 Archivo con códigos de homologación entre diferentes bases de datos.....	56
Anexo 2 Archivo con resultados finales del modelo de capitalización de renta.	56
Anexo 3 Tablero soporte del documento desarrollado en powerbi.....	56
Anexo 4 Archivos con los parámetros para la estructura de costos.	56

1 RESUMEN

Se presenta el modelo de capitalización de renta agropecuaria el cual integra una metodología específica para generar valores por hectárea de manera masiva para cultivos permanentes y transitorios.

Este modelo surge como respuesta a la necesidad de cumplir con el artículo 49 del Plan Nacional de Desarrollo "*Colombia potencia mundial de la vida*", que establece la urgencia de reducir el rezago en los avalúos catastrales a nivel nacional mediante una actualización masiva de los valores desactualizados.

La estructura del modelo se organiza en varios módulos que permiten calcular valores de rendimientos, costos y precios. A partir de estos insumos, el modelo genera de manera espacial un valor de utilidad bruta, que constituye la base principal para calcular posteriormente valores de terreno por hectárea utilizando este método. Este enfoque garantiza una valoración más precisa y acorde con la productividad real del suelo.

El modelo desarrollado permite generar valores por hectárea con desagregación espacial para un total de 648 municipios del país, considerando 34 cultivos diferentes. Esta información, producida de manera masiva, se convierte en un insumo clave para la definición de valores en las Zonas Homogéneas Geoeconómicas (ZHG) vigentes, particularmente en aquellas destinadas al uso agropecuario.

2 INTRODUCCIÓN

2.1 Justificación/Contexto

En la actualidad existe una cantidad considerable de municipios en el país que se encuentran desactualizados desde una perspectiva catastral. Esto implica una desactualización en el enfoque económico, físico y jurídico. Esto puede conllevar a diferentes problemáticas, entre las cuales se resalta el hecho de que la tributación se realiza con valores que se pueden encontrar por debajo de los valores catastrales reales.

El Artículo 49 del Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2022-2026 “*Colombia Potencia Mundial de Vida*”, busca realizar una actualización masiva de los valores catastrales rezagados. Para esto se ha facultado al IGAC para adoptar metodologías y modelos de actualización masiva de valores catastrales rezagados, que permitan por única vez realizar un ajuste automático de los avalúos catastrales de todos los predios del país (PND, 2023).

Bajo este contexto, el IGAC ha planteado diferentes metodologías, entre estas la capitalización de renta. Esta técnica valuatoria busca establecer el valor comercial de un bien, a partir de las rentas o ingresos que se puedan obtener del mismo, implementando una tasa de capitalización o interés (IGAC, 2008).

Si bien esta metodología es aplicable a todo tipo de predio, el modelo desarrollado se enfoca en los predios agropecuarios del país. Los predios agropecuarios son aquellos que en los Planes de Ordenamiento Territorial (POT), de competencia municipal, tienen una reglamentación de uso en agricultura o en ganadería; de manera que, para la elaboración de los respectivos avalúos catastrales se tiene en consideración su capacidad productiva y rentabilidad.

El modelo planteado busca cuantificar la renta agropecuaria por hectárea, según los cultivos predominantes de cada uno de los municipios evaluados. Esto se realiza teniendo en cuenta: la capacidad productiva de la tierra, expresada mediante las áreas homogéneas de tierra (AHT¹) y las zonificaciones de aptitud² de los cultivos; esquemas de costos y series de precios para cada uno de los cultivos utilizados en el modelo. El modelo está estructurado de tal manera que permite generar valores de referencia del suelo para las zonas geoeconómicas.

El presente informe incluye los objetivos del modelo, seguidos del marco de referencia, desarrollados en los capítulos 3 y 4, respectivamente. El capítulo 5 aborda el desarrollo

¹ Áreas Homogéneas de Tierras (AHT): Se define como aquella área rural con condiciones similares en cuanto a clima, relieve, material parental y características internas de los suelos, que expresan la capacidad productiva de la tierra por medio de un valor potencial (IGAC, 2023a).

² Potencial de establecimiento de un tipo de utilización de la tierra, resultado del análisis de combinaciones de criterios físicos, socioecosistémicos y socioeconómicos, enmarcados en una frontera agrícola (Aguilar et al., 2018).

metodológico, comenzando con el esquema del modelo, seguido por el análisis de la información, la preparación y transformación de los datos, así como el desarrollo e implementación del modelo. Finalmente, los capítulos 6 y 7 están dedicados a la presentación de los resultados obtenidos y las conclusiones derivadas del estudio.

2.2 Alcance

2.2.1 Alcance temporal

El modelo de capitalización de renta agropecuaria implementado genera valores por hectárea con el objetivo de reducir, por una única vez, el rezago de los valores catastrales y aplicarlos en la vigencia 2025. Este modelo se basa en información actualizada al momento de su implementación. Aunque su principal finalidad es atender el mandato específico del artículo 49 del plan de desarrollo, el modelo se configura como una herramienta versátil que puede actualizarse anualmente para generar valores aplicables en actualizaciones catastrales o en otros análisis relacionados con el sector agropecuario.

2.2.2 Alcance espacial

Los resultados del modelo se generaron para 648 municipios del país, con una desagregación submunicipal que está definida por polígonos resultantes de la intersección de las capas de áreas homogéneas de tierra, aptitud del cultivo, tipo de humedad y las zonas geoeconómicas vigentes. A pesar de que se generaron los resultados para este número de municipios, el modelo está diseñado con una cobertura nacional, especialmente para municipios con extensiones de áreas agropecuarias.

3 OBJETIVOS

3.1 General

Diseñar e implementar un modelo basado en metodologías de capitalización de renta agropecuaria que permita la actualización masiva del componente económico catastral, contribuyendo a reducir, por una única vez, el rezago de valores catastrales a nivel nacional. Este objetivo se alinea con lo dispuesto en el artículo 49 del Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026

3.2 Específicos

- Diseñar y estructurar una metodología de capitalización de renta agropecuaria que permita la actualización efectiva de los valores de terreno.
- Implementar la metodología diseñada mediante un modelo operativo que facilite la generación masiva de valores catastrales.
- Calcular los valores por hectárea, utilizando la metodología de capitalización de renta agropecuaria, para los municipios seleccionados en cumplimiento del artículo 49 del Plan Nacional de Desarrollo “*Colombia potencia mundial de la vida*”.

4 MARCO REFERENCIAL/TEÓRICO

El método de capitalización de renta agropecuaria surge como una respuesta técnica y metodológica para abordar las particularidades de los mercados rurales en Colombia y otros contextos latinoamericanos. Su propósito central es estimar el valor comercial de predios rurales basándose en su capacidad para generar ingresos futuros derivados de su productividad. Este enfoque es especialmente relevante en escenarios donde las transacciones de mercado son escasas, opacas o insuficientes para aplicar métodos comparativos tradicionales, y donde la productividad del terreno constituye el principal criterio de valoración económica.

Este método se sustenta en principios fundamentales de la teoría económica, que concibe el valor como una expresión del flujo esperado de beneficios futuros, descontados al presente mediante una tasa adecuada. La metodología reconoce que los predios rurales, a diferencia de los urbanos, están intrínsecamente ligados a su capacidad productiva, ya sea en actividades agrícolas, ganaderas o mixtas. Así, el valor económico de estos bienes se define no solo por sus características físicas, como el tipo de suelo, la calidad del agua o las condiciones climáticas, sino también por su capacidad de generar flujos de ingresos netos sostenibles en el tiempo.

En el contexto normativo, el método de capitalización de renta cuenta con respaldo tanto en la legislación nacional como en estándares internacionales. La Resolución IGAC 620/2008 establece lineamientos específicos para la valoración de bienes rurales en Colombia, enfatizando el uso de flujos de caja netos descontados y la consideración de la capacidad productiva del suelo. Por su parte, las Normas Internacionales de Valuación (IVS) destacan la utilidad del método de capitalización de rentas para estimar valores de mercado y otros valores económicos, siempre que se disponga de datos confiables sobre ingresos, costos y tasas de capitalización. Estas normativas refuerzan la objetividad y la aplicabilidad del método, especialmente en mercados donde la especulación o la falta de transparencia pueden distorsionar los valores reportados por otros enfoques.

A continuación, se presentan los artículos clave de la norma **GTS E 01**, los cuales establecen los lineamientos fundamentales para la aplicación de la metodología de capitalización de renta en la valoración de bienes inmuebles rurales. Estos artículos ofrecen una guía detallada sobre los principios, procedimientos y requisitos técnicos que deben considerarse para garantizar la precisión y la objetividad en la implementación de esta metodología. Cada disposición aborda aspectos esenciales, como la estimación de flujos de ingresos, la selección de tasas de descuento y el análisis de condiciones específicas del mercado rural, asegurando que las valoraciones reflejen de manera fiel la capacidad productiva y el valor económico del predio.

El método de renta en las normas nacionales. (Norma GTS E 01)

6.12 El enfoque o método de capitalización de rentas puede aplicarse tanto para estimar el Valor de Mercado como cualquier otro tipo de valor. En todo caso, para la aplicación del Valor de Mercado es necesario desarrollar y analizar la información relevante del mercado. Este objetivo difiere mucho del desarrollo de información subjetiva para un determinado propietario o la opinión o punto de vista de un analista o inversionista en particular.

6.12.1 El enfoque o método de capitalización de rentas se basa en los mismos principios que se aplican a otros enfoques o métodos de valuación. En concreto, percibe el valor como una creación de las expectativas de beneficios futuros (flujos de renta). La capitalización de rentas emplea procesos que consideran el valor actual de los beneficios futuros de renta anticipados.

6.12.2 Como ocurre con otros enfoques o métodos, el de capitalización de rentas puede utilizarse de manera fiable sólo cuando se dispone de datos relevantes de comparables. Cuando tal información no está disponible, el enfoque o método se podrá usar para un análisis general pero no para la finalidad de una comparación directa del mercado. El enfoque o método de capitalización de rentas es especialmente importante para inmuebles que se compran o venden sobre la base de sus características y capacidades de generar ingresos y en situaciones en las que existe suficiente información de mercado para corroborar los diversos elementos incorporados al análisis. No obstante, la precisión matemática de los procedimientos utilizados en el enfoque o método no debería engañar sobre la precisión de los resultados.

6.12.3 La investigación de mercados es importante en el enfoque o método de capitalización de rentas en varios sentidos. Además de aportar datos específicos que serán procesados posteriormente, la investigación del mercado también facilita información cualitativa para determinar la comparabilidad y para ayudar a sopesar la aplicabilidad de los resultados del análisis. Así, el enfoque o método no es meramente cuantitativo o matemático, sino que también requiere de decisiones cualitativas.

6.12.4 Una vez completada la investigación de mercado adecuada y recogidos y verificados los datos, los Valuadores analizan los estados de ingresos y gastos de que dispongan para el bien. Este paso conlleva un estudio de las rentas y los gastos históricos del inmueble objeto de valuación y de aquellos comparables para los que existan datos disponibles. Consecuentemente, se desarrolla un estado de flujo de efectivo (basado en un estado de operaciones reconstruido) que refleja las expectativas del mercado, elimina las experiencias especiales de propietarios concretos y provee un formato que ayudará en el ulterior análisis. La finalidad de este paso consiste en estimar los ingresos que puede generar el inmueble, que se capitalizarán para calcular un indicador del valor. Esta estimación puede reflejar los ingresos y gastos para sólo un año o para varios.

6.12.5 Siguiendo el desarrollo de un flujo de efectivo (basado en un estado de operaciones reconstruido), el Valuador debería elegir un medio de capitalización. La capitalización directa aplica una tasa general, o tasa a todo riesgo, que cuando se divide en una renta operativa neta estabilizada anual, produce un indicador de valor. La capitalización directa

se utiliza en mercados con información especialmente buena. La capitalización de rendimientos tiene en cuenta el valor temporal del dinero, y se aplica a una serie de ingresos operativos netos para un número de años. El método denominado análisis de descuento de flujos de efectivo (DCF) es un ejemplo muy conocido de capitalización de rendimientos (véase la GN 9 de las Normas Internacionales de Valuación del IVSC, “Análisis de Descuento de Flujos de Efectivo para Valuaciones Basadas y no Basadas en el Mercado”6). Tanto la capitalización directa como la de rendimientos (o ambas) pueden utilizarse para calcular el Valor de Mercado si las tasas de capitalización y rentabilidad tienen un soporte adecuado en el mercado. Si se aplican correctamente, ambos procedimientos pueden conllevar el mismo valor estimado.

6.12.6 Los estados de operaciones reconstruidos especifican que la proyección de ingresos está sujeta a la hipótesis de que el bien se gestiona por un operador razonablemente eficiente o una dirección con el grado de competencia medio.

6.14 Los tres enfoques o métodos del valor son independientes unos de otros incluso aunque todos se basen en los mismos principios económicos. Los tres enfoques o métodos pretenden desarrollar un indicador de valor, pero la decisión final sobre el valor depende de la consideración de todos los datos y procesos empleados y de la unificación de los indicadores de valor derivados de distintos enfoques o métodos en una estimación final del valor. Tal y como se muestra en la Figura 1-1, el proceso de unificación es seguido de un informe sobre un valor definido.

6.20.2 En el enfoque o método de capitalización de rentas, los datos comparables incluyen las rentas, los ingresos y gastos, así como las tasas de capitalización y rendimiento. Las categorías de datos comparables de ingresos y gastos utilizados en las proyecciones de ingresos y gastos futuros y en el desarrollo de tasas de capitalización y rendimiento deberían ser idénticas.

6.21 Las unidades de comparación adecuadas se seleccionan para llevar a cabo análisis correctos. Se pueden usar diferentes unidades de comparación dependiendo del tipo de bien y del objetivo de los análisis.... las propiedades agrarias pueden compararse usando el rendimiento de la cosecha por hectárea o acre o unidades animales soportadas por hectárea o acre.

Desarrollo del método de capitalización

Para la aplicación del método de capitalización de renta lo que requiere el evaluador es:

- Determinar un flujo futuro de rentas o utilidades del negocio agrícola o ganadero.
- Determinar la tasa de descuento para traer a valor presente este flujo futuro, para lo cual debe conocer la rentabilidad de los negocios agrícolas y ganaderos y la tasa de riesgo
- Aplicar modelos de matemáticas financieras para traer estos datos a valor presente

- Definir la TIR o tasa interna de retorno del negocio agrario y calcular el valor presente neto a una tasa de oportunidad.

Así, la metodología del método de capitalización de renta integra diversos elementos esenciales. En primer lugar, se realiza una estimación detallada de los flujos de ingresos futuros, considerando factores como los rendimientos por hectárea, los precios de mercado, los ciclos productivos y los costos asociados. Estos flujos de caja proyectados se traen a valor presente mediante una tasa de descuento, que refleja tanto la rentabilidad esperada como el riesgo inherente al mercado agropecuario. Adicionalmente, el método incluye un análisis de la productividad del suelo, evaluando aspectos agronómicos y de infraestructura, como la calidad del terreno, la disponibilidad de recursos hídricos, el acceso a vías y la presencia de sistemas de riego.

En el contexto actual de Colombia, donde se desarrolla una reforma agraria que incluye la compra de tierras, el método de capitalización de renta adquiere una relevancia especial. Al basarse en la productividad y no en la especulación de mercado, este método garantiza una valoración más justa y alineada con los objetivos de desarrollo rural sostenible. Además, su flexibilidad permite adaptarse a diferentes tipos de cultivos y condiciones de mercado, facilitando su aplicación en una variedad de contextos y escenarios productivos.

A pesar de sus ventajas, la aplicación del método enfrenta desafíos significativos. La disponibilidad de datos confiables sobre productividad, costos e ingresos sigue siendo limitada en muchos casos, lo que exige esfuerzos adicionales para fortalecer la recopilación de información y la formación de evaluadores especializados. Asimismo, es fundamental implementar procesos de validación periódica que permitan identificar y corregir posibles inconsistencias en los resultados. En este sentido, la participación de expertos temáticos y la integración de herramientas tecnológicas avanzadas, como sistemas geoespaciales y análisis de datos, pueden contribuir significativamente a mejorar la precisión y la utilidad del método.

En conclusión, el método de capitalización de renta agropecuaria representa una herramienta técnica y metodológica robusta para la valoración de predios rurales. Su enfoque, basado en la productividad y los flujos de ingresos futuros, proporciona una estimación más precisa y relevante en mercados complejos y heterogéneos. Respaldo por un marco normativo sólido y una metodología detallada, este método no solo facilita decisiones informadas en el ámbito catastral y de desarrollo rural, sino que también contribuye al fortalecimiento de políticas públicas orientadas al uso eficiente y sostenible de la tierra. Su implementación en Colombia, particularmente en el contexto de la reforma agraria, refuerza su importancia como una alternativa confiable y objetiva para la valoración de tierras rurales.

5 DESARROLLO METODOLÓGICO

El siguiente capítulo presenta el esquema del modelo de capitalización, seguido de un análisis detallado de toda la información necesaria para su implementación. Además, se describe el procesamiento y la preparación de los insumos requeridos, junto con el desarrollo e implementación del modelo a nivel municipal. Cabe destacar que la programación computacional se diseña de manera flexible, permitiendo que el municipio sea un parámetro configurable dentro del modelo, lo que facilita la obtención de resultados específicos para los municipios seleccionados.

5.1 Esquema del modelo

El modelo de capitalización está estructurado en 5 módulos cada uno con sus características específicas y con modelos internos que permiten obtener los insumos o valores que se usan para generar el valor por hectárea para un área o polígono específico dentro del municipio (Figura 1). A continuación, se da una breve descripción de cada uno de los módulos y se detalla el flujograma diseñado para el modelo de capitalización (Figura 2).



Figura 1 Esquema modelo de capitalización agropecuaria.

El primer módulo contiene una caracterización de los municipios utilizando diferentes insumos como: área de frontera agrícola, área en bosques, área en exclusiones, área sembrada de cultivos transitorios y permanentes, unidades de gran ganado, participación de diferentes pecuarios sobre el total nacional, entre otras. Este primer análisis sirve para caracterizar los municipios e identificar en cuales el modelo de capitalización agropecuaria tiene una mejor aplicabilidad.

Dentro de este primer módulo también se genera un ranking de los principales cultivos en el municipio basado en el área de siembra, esto permite definir los cultivos principales a partir de los cuales se realizará la estimación de valor de hectárea por el método de capitalización para cada municipio.

El módulo dos, se enfoca en los rendimientos de los cultivos con los cuales se está generando los valores por hectárea. Para cada cultivo se genera una estructura de rendimientos teniendo en cuenta los mapas de aptitud de la UPRA (para los cultivos que poseen esta información), el mapa de áreas homogéneas de tierra del IGAC y la información de las evaluaciones agropecuarias - EVAs. Esto genera una estructura de rendimientos nacional, que posteriormente se ajusta a nivel local a partir del dato específico reportado por las EVAs para cada municipio.

El módulo de costos o tercer modulo, se compone de estructuras de costos específicas para cada uno de los cultivos utilizados. Estas estructuras de costos son actualizadas para cada municipio teniendo en cuenta los precios de insumos reportados por el SIPSA del mercado más cercano al municipio evaluado. Esto genera una estructura de costos base, a la cual posteriormente se aplican unas premisas teniendo en cuenta la aptitud y zonas de humedad del municipio, esto permite diferenciar el costo del cultivo dentro del municipio.

En el cuarto modulo se obtienen los precios, para esto se asocia un producto para cada cultivo y se identifica el mercado más cercano para obtener su precio. Posterior a esto se descuenta el costo del flete el cual está dividido en dos partes: flete interno, el cual es un costo desde el centroide de la zona geoeconómica al centroide del centro poblado del municipio; y el flete externo, el cual va desde el centroide del centro poblado al centroide del centro poblado donde se encuentra la central mayorista más cercana para cada producto específico.

En el quinto modulo se integran todos los valores generados en los anteriores módulos (rendimientos, costos y precios). Con esta información se calcula la utilidad bruta, generando así el principal insumo para calcular el valor por hectárea.

En la Figura 2. se presenta el flujograma del modelo de capitalización, diseñado para calcular valores por hectárea a nivel municipal. En la etapa inicial del flujograma se encuentra el módulo de caracterización, donde se identifican los principales cultivos del municipio, los cuales servirán como base para que el modelo genere los valores por hectárea correspondientes.

En esta primera versión, el modelo calcula valores para todas las zonas con aptitud, considerando únicamente los cultivos que cumplen con esta condición. Asimismo, incluye las zonas con valores potenciales superiores a cero en el mapa de AHT para los cultivos sin aptitud. No obstante, como se detalla en el flujograma, se prevé que una segunda versión del modelo integre un componente de capitalización ambiental, enfocado en las zonas ubicadas fuera de la frontera agrícola.

Una vez definidos los cultivos para el municipio, se inicia el proceso de estimación de los valores de rendimientos, costos y precios, incorporando información espacial. Como se muestra en la Figura 2, los cultivos seleccionados sirven como insumo para estos tres módulos, cada uno de los cuales emplea datos específicos para generar sus valores correspondientes.

Cada módulo produce información detallada a nivel de polígonos, que se generan a partir de las capas de insumos de cada uno. Finalmente, los polígonos de los tres módulos se combinan entre sí para obtener un valor de utilidad. De esta manera, la unidad de análisis final del modelo resulta del cruce entre varias capas: aptitud (en caso de que esta información esté disponible para los cultivos), AHT, mapa de humedad y zonas geoeconómicas.

Finalmente, como muestra el flujograma para cada uno de estos polígonos que ya tienen un valor de utilidad, se estima el valor por hectárea teniendo en cuenta si el cultivo es permanente o transitorio, a los cuales se les aplica una ecuación predeterminada para la obtención de este valor.

Flujo modelo de capitalización

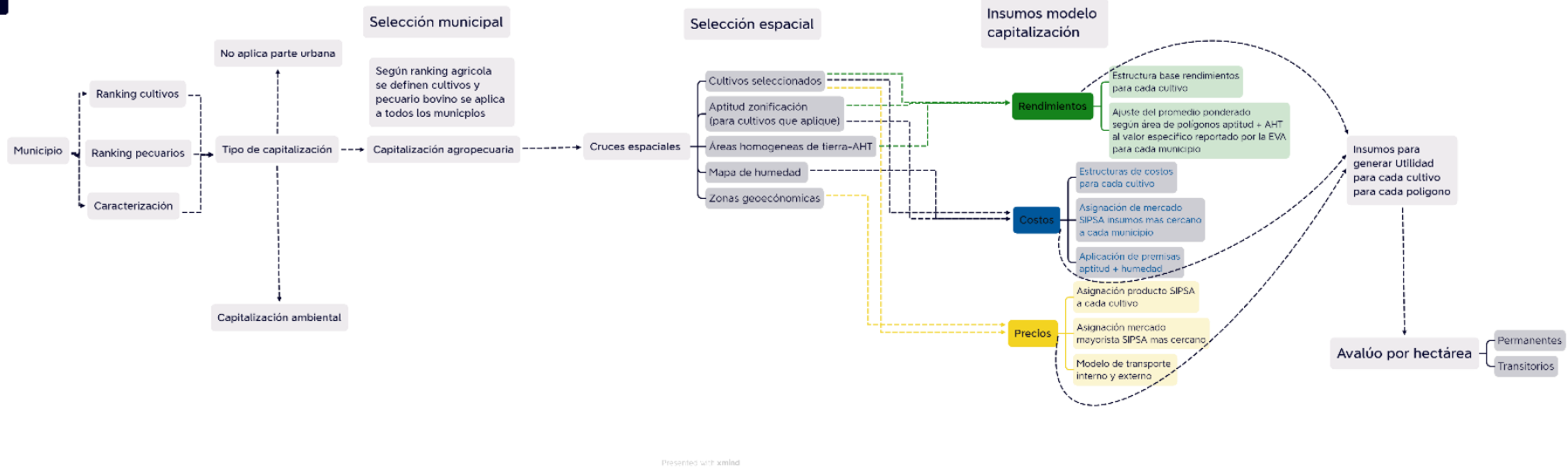


Figura 2 Flujoograma modelo de capitalización.

5.2 Análisis de la información ³

Para desarrollar el modelo propuesto, es fundamental recopilar la información necesaria que permita obtener los valores esperados. En esta sección se detalla la información empleada en cada uno de los módulos, incluyendo una descripción de sus fuentes y un breve análisis exploratorio que permita comprender su relevancia.

5.2.1 Módulo de caracterización

Dentro del módulo de caracterización se cuenta con diferente información que permite caracterizar a los municipios a los cuales se aplica el modelo de capitalización. El siguiente listado presenta la información utilizada dentro de este módulo.

- Evaluaciones agropecuarias EVA 2007 a 2022. Para los años 2007 a 2018, la información se obtuvo de Agronet, mientras que 2019 a 2022 fue descargada directamente de la UPRA.
- Mapa de frontera agrícola, este se descargó del SIPRA versión mayo 2023, la cual aún cuenta con información de bosque natural, exclusión y frontera agrícola.

Del listado previo, se destaca la información proveniente de las EVAs, ya que esta permite determinar los cultivos a considerar en cada municipio donde se aplica el modelo de capitalización. Este es el objetivo principal del módulo de caracterización. En la Figura 3 se presenta una infografía que sintetiza la información de esta fuente, enfocada en la variable de área sembrada. La cobertura abarca los 32 departamentos y los 1,107 municipios del país, con un total de 297,849 registros.

A partir de la información disponible, es posible identificar los municipios con mayor área sembrada. En 2022, Puerto Gaitán, Meta, destacó como el municipio con la mayor área reportada, alcanzando un total de 150 mil hectáreas. Además, esta información permite realizar comparaciones tanto entre cultivos a nivel nacional como dentro de un mismo municipio. Este análisis es clave para definir los principales cultivos en cada municipio, los cuales se emplean como base para la implementación del modelo de capitalización.

5.2.2 Módulo de rendimientos

La información utilizada en el módulo de rendimientos se puede dividir en dos partes: la primera la información utilizada para generar la estructura de rendimientos base para cada cultivo; y la segunda los polígonos que se generan dentro del municipio y a los cuales se le asigna un valor de rendimiento según la estructura creada (Figura 4).

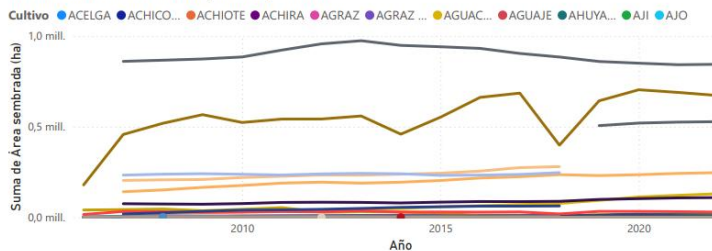
³ Para la mayoría de la información descrita en esta sección, se generó un archivo powerbi en el cual se puede realizar una visualización más detallada de la información utilizada en el modelo.

Información evaluaciones agropecuarias - EVA

Cultivo, Código del cul...
 Todas
 Año
 2006 2022

32
 num_dep_eva
 Número de municipios
 1107
 Número de registros
 298 mil

Suma de Área sembrada (ha) por Año y Cultivo



Área sembrada ha 2022

Departamento	Municipio	Suma de Área sembrada (ha)
Meta	Puerto Gaitán	150.104,50
Meta	Puerto López	62.776,01
Nariño	San Andrés de Tumaco	56.183,12
Casanare	Maní	52.211,00
Santander	Puerto Wilches	49.619,00
Casanare	Paz de Ariporo	39.845,00
Norte de Santander	Tibú	39.661,00
Arauca	Tame	36.157,97
Valle del Cauca	Palmira	36.004,51
Córdoba	Tierralta	34.810,00
Meta	Fuente de Oro	34.721,35
Santander	Sabana de Torres	33.344,79
Antioquia	Turbo	32.636,50
Total		5.412.863,46

Área sembrada (ha) por departamento 2022



Figura 3 Información Evaluaciones agropecuarias – EVAs.

Fuente: elaboración propia basado en EVAs 2007 a 2022.

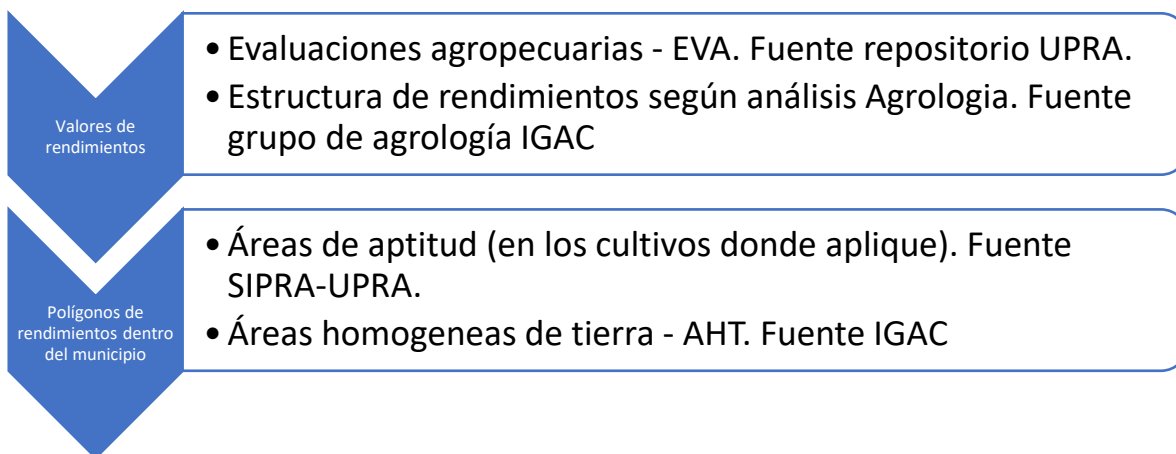


Figura 4 Insumos módulo de rendimientos.

Información para generar valores base de rendimientos

Para calcular los valores base de rendimientos, se utilizó la información de las evaluaciones agropecuarias correspondiente al último año de la serie compilada, 2022. Este periodo generó cerca de 25 mil registros, abarcando un total de 1,098 municipios y 185 cultivos. En la Figura 5 se muestra un ejemplo de los datos de rendimientos para el cultivo de café. En este caso, la información está disponible para 25 departamentos y 637 municipios. La infografía también destaca el listado de municipios con mayor rendimiento reportado en 2022, siendo Santa Helena del Opón el que registró el mayor valor, con 2.12 toneladas por hectárea (t/ha).

Información evaluaciones agropecuarias - EVA Rendimientos

Cultivo, Código del cultivo

CAFE

Año

2022 2022

Número de departamentos

25

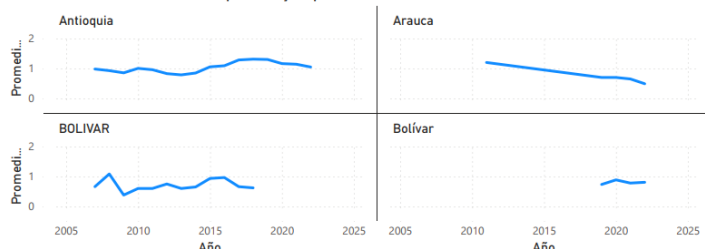
Número de municipios

637

Número de registros

637

Promedio de Rendimiento (t/ha) por Año y Departamento



Rendimiento promedio t/ha 2022

Departamento	Municipio	Promedio de Rendimiento (t/ha)
Santander	Santa Helena del Opón	2,12
Antioquia	Caracolí	2,10
Antioquia	San Luis	1,97
Caldas	Viterbo	1,88
Antioquia	Titiribí	1,85
Antioquia	San Carlos	1,81
Antioquia	Retiro	1,57
Valle del Cauca	Sevilla	1,56
Nariño	Linares	1,51
Antioquia	Carolina	1,50
Antioquia	Hispania	1,50
Antioquia	Támesis	1,50
Boyacá	Puerto Boyacá	1,50
Total		0,90

Rendimiento promedio departamento t/ha 2022



Figura 5 Evaluaciones agropecuarias Rendimientos

Otro insumo clave para construir las estructuras base de rendimiento para cada cultivo proviene del análisis realizado por el grupo de Agrología del IGAC en cuatro cultivos: cacao, maíz tradicional, maíz tecnificado y palma. En la Figura 6 se presentan los valores de rendimiento de cacao, asignados según el cruce entre las aptitudes y las áreas homogéneas de tierra (AHT), mostrados en la parte izquierda, junto con su representación gráfica en la parte derecha.

Estas estructuras mantienen una relación consistente entre el cruce de aptitudes y áreas homogéneas de tierra para los cuatro cultivos analizados. Las diferencias se evidencian únicamente en los valores absolutos de rendimiento específicos para cada cultivo.

Estructuras de rendimientos a partir del análisis del grupo de agrología IGAC

CLASE_AHT	Alta	Media	Baja	Restricción técnica	Restricción legal	Total
1	1,00	1,00	0,66	0,35	0,66	0,73
2	1,00	1,00	0,66	0,35	0,66	0,73
3	1,00	0,80	0,66	0,35	0,52	0,67
4	0,80	0,80	0,52	0,30	0,52	0,59
5	0,80	0,80	0,52	0,30	0,52	0,59
6	0,80	0,66	0,52	0,30	0,52	0,56
7	0,80	0,66	0,45	0,30	0,45	0,53
8	0,66	0,52	0,45	0,30	0,45	0,47
9	0,66	0,52	0,45	0,30	0,45	0,47
10	0,66	0,52	0,35	0,30	0,35	0,44
11	0,52	0,45	0,35	0,00	0,35	0,33
12	0,52	0,45	0,30	0,00	0,30	0,31
13	0,52	0,45	0,30	0,00	0,30	0,31
CA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ZU	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
No suelo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	0,57	0,51	0,36	0,19	0,35	0,40

Cultivo

Cacao	Maíz tradicional
Maíz tecnificado	Palma

Rendimiento promedio t/ha según actitud y AHT

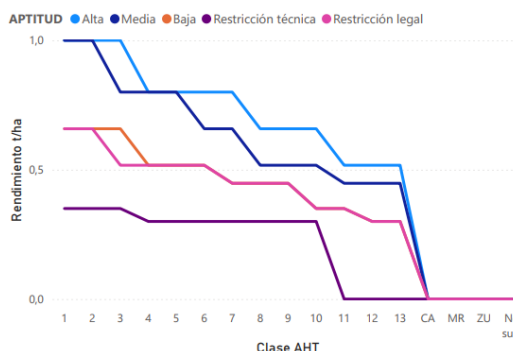


Figura 6 Estructuras de rendimientos agrología IGAC.

Fuente: Elaboración propia basado en información Agrología IGAC.

Polígonos de rendimiento

Para generar los polígonos de rendimiento para cada cultivo en cada municipio, se emplearon dos fuentes principales de información: los mapas de aptitud y la capa de áreas homogéneas de tierra (AHT). Se recopilieron 41 mapas de zonificación correspondientes a diferentes cadenas agropecuarias, descargados directamente del SIPRA-UPRA. Estas capas contienen información detallada sobre polígonos clasificados en aptitud alta, media, baja, exclusión legal y no apta para cada cultivo.

Para dimensionar la cantidad de información utilizada, también se descargaron datos abiertos en formato plano, agrupados por municipio. Aunque esta base contenía datos para 37 cadenas agropecuarias en el momento de la descarga, en comparación con las 41 cadenas disponibles en formato shape, proporciona una idea de la magnitud de los datos procesados. La Figura 6 presenta un resumen de la información de aptitud utilizada, con cobertura en los 32 departamentos del país y 1,121 municipios, sumando un total de 75 mil registros solo para las aptitudes alta, media y baja. Si se incluyen las categorías de exclusión legal y no apto, el número de registros aumenta a 155 mil.

Cabe destacar que esta información agregada a nivel municipal incluye un único dato por categoría de aptitud. Sin embargo, el modelo utiliza las capas completas de aptitud, lo que

permite que en un mismo municipio existan múltiples polígonos con la misma categoría de aptitud. Esto aumenta significativamente el detalle y la cantidad de información procesada.

La infografía de la Figura 6 también ilustra la cobertura nacional de estas capas, proporcionando un ejemplo con la zonificación para la cadena de maíz tradicional. Esta zonificación incluye 9.5, 10.2 y 9.9 millones de hectáreas para las aptitudes baja, media y alta, respectivamente.

Cabe destacar que esta información agregada a nivel municipal incluye un único dato por categoría de aptitud. Sin embargo, el modelo utiliza las capas completas de aptitud, lo que permite que en un mismo municipio existan múltiples polígonos con la misma categoría de aptitud. Esto aumenta significativamente el detalle y la cantidad de información procesada.

La infografía de la Figura 7 también ilustra la cobertura nacional de estas capas, proporcionando un ejemplo con la zonificación para la cadena de maíz tradicional. Esta zonificación incluye 9.5, 10.2 y 9.9 millones de hectáreas para las aptitudes baja, media y alta, respectivamente, lo que evidencia la gran escala y complejidad de los datos utilizados en el modelo.

Información de mapas de zonificación (aptitud de cadenas agropecuarias)

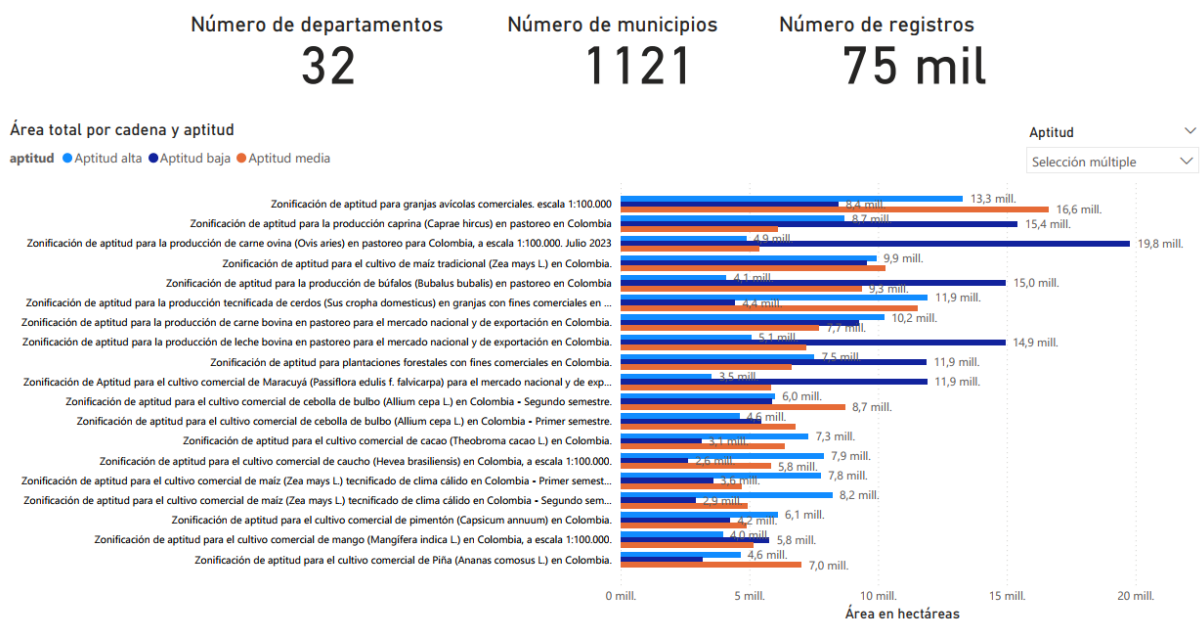


Figura 7 Información mapas de zonificación (aptitud de cadenas agropecuarias).

Fuente: Elaboración propia basada en información de aptitud UPRA 2024.

Otra fuente fundamental para generar los polígonos de rendimiento es la capa de áreas homogéneas de tierra (AHT), proporcionada por el IGAC. Esta información cubre los 32 departamentos del país (33 si se incluye Bogotá) y 1,125 municipios, y contiene datos clave como la clase agrológica, el valor potencial y otros atributos derivados del estudio.

En la Figura 8 muestra la distribución del área nacional correspondiente a cada valor potencial. Asimismo, se incluye un mapa que desglosa la distribución de estos valores potenciales a nivel departamental, permitiendo visualizar las diferencias regionales

Información del mapa de áreas homogéneas de tierra AHT

Número de departamentos **33** Número de municipios **1125** Número de registros **422 mil**

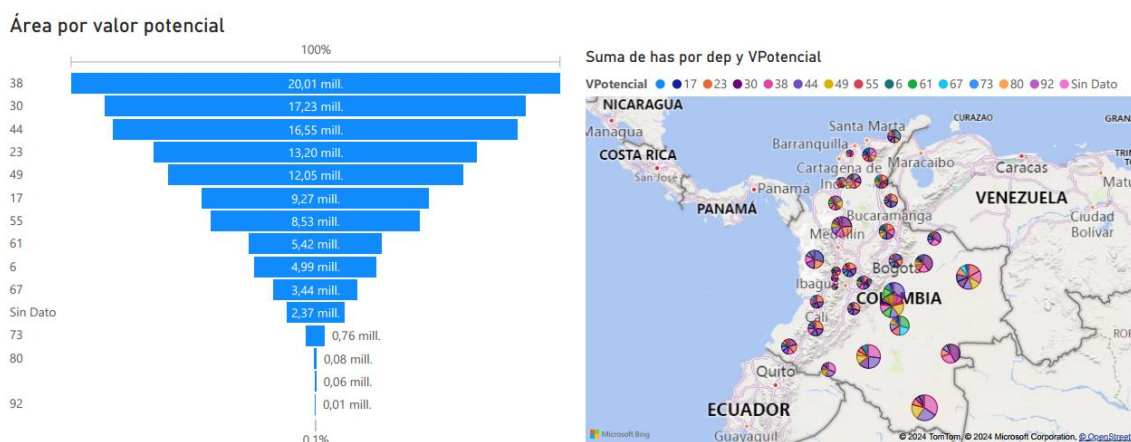


Figura 8 Áreas homogéneas de tierra AHT

Fuente: Elaboración propia a partir de información del mapa de áreas homogéneas de tierra.

5.2.3 Módulo de costos

Los principales insumos del módulo de costos provienen de las estructuras normalizadas de costos para cultivos y de la información sobre precios de insumos obtenida del SIPSA. Estas estructuras son generadas por el equipo de agrología y se desarrollan de manera específica para cada cultivo. En total, se cuenta con 63 cultivos: 36 permanentes y 27 transitorios. Sin embargo, en esta versión del modelo no se incluyen pastos ni plantaciones forestales comerciales.

En la Figura 9 se presenta un resumen de las estructuras de costos. La infografía destaca que las estructuras contienen un total de 2,026 ítems para cultivos permanentes y 749 para cultivos transitorios. Para los cultivos transitorios se contemplan dos periodos: un año inicial y un segundo año, que se asume como el promedio de todos los años subsiguientes del

cultivo permanente. En ambos tipos de cultivos, los costos se dividen en tres categorías principales: insumos, labores y otros costos. La infografía detalla el número de ítems incluidos en cada rubro para los diferentes cultivos.

Además, las figuras complementarias en la infografía muestran las cantidades requeridas para cada ítem o actividad en los distintos cultivos. Como ejemplo, se destacan las estructuras de costos del aguacate común (cultivo permanente) y del arroz riego (cultivo transitorio). Esta información proporciona un panorama detallado sobre los insumos y actividades necesarias, sirviendo como base para calcular los costos asociados a cada cultivo en el modelo de capitalización.

Estructura de costos generada por el grupo de agrología IGAC

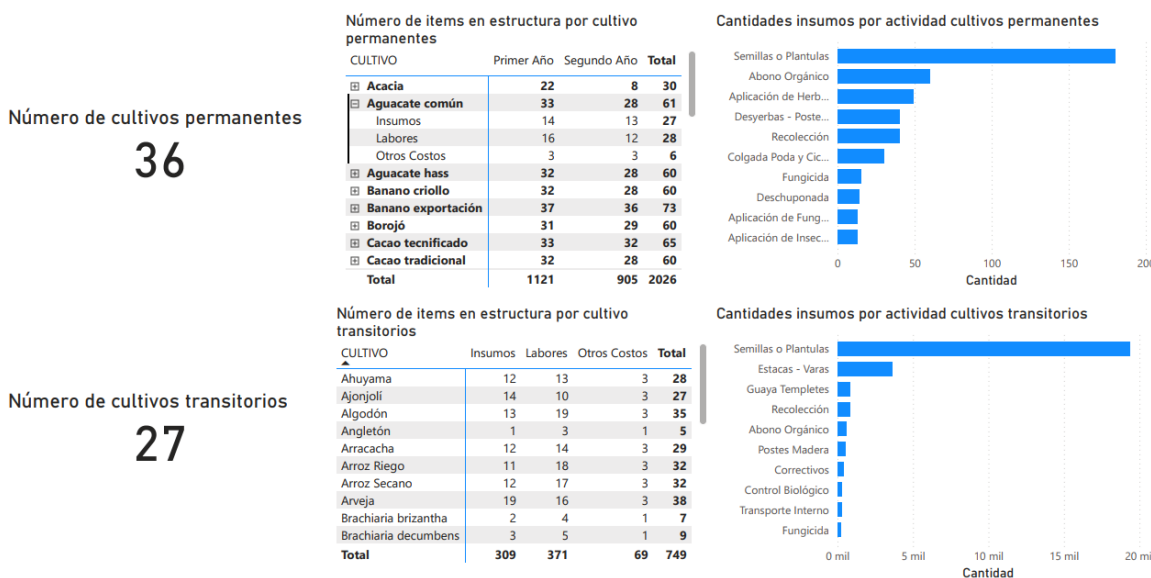


Figura 9 Estructura de costos agrología IGAC.

Fuente: elaboración propia basado en estructuras de costos Agrología IGAC.

El insumo principal que alimenta las estructuras de costos proviene del Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario (SIPSA), cuya información es descargada directamente desde la página del DANE. Para esta sección, se utiliza la serie histórica de precios de insumos, la cual está organizada en 21 tablas. Estas tablas contienen un rango de registros que varía entre 374 y 133,000, como se detalla en la Tabla 1.

Cada tabla del SIPSA incluye información detallada sobre los precios de los insumos, especificando el año, mes y ubicación (municipio) donde se recolectaron los datos. Esta

estructura permite realizar un análisis detallado y localizado de los costos, ajustando las estructuras de costos de los cultivos según las condiciones específicas de cada región. Este nivel de detalle es esencial para garantizar que el modelo refleje con precisión las variaciones en los precios de los insumos agropecuarios a nivel nacional.

Tabla SIPSA insumos	Número de registros
1_1_ Coadyuvantes, molusquicidas, reguladores fisiológicos y otros	21913
1_2_ Fertilizantes, enmiendas y acondicionadores de suelo	69496
1_3_ Fungicidas	109609
1_4_ Herbicidas	82856
1_5_ Insecticidas, acaricidas y nematocidas	82214
2_1_ Alimentos balanceados, suplementos, coadyuvantes, adsorbentes, enzimas y aditivos	41771
2_2_ Antibióticos, antimicóticos y antiparasitarios	133386
2_3_ Antisépticos, desinfectantes e higiene	19820
2_4_ Hormonales	4658
2_5_ Insecticidas, plaguicidas y repelentes	3517
2_6_ Medicamentos	42965
2_7_ Vitaminas, sales y minerales	66064
3_1_ Arrendamiento de tierras	3077
3_2_ Distritos de riego	374
3_3_ Elementos agropecuarios	43767
3_4_ Empaques agropecuarios	4588
3_5_ Energía eléctrica	1638
3_6_ Especies productivas	5534
3_7_ Jornales	5546
3_8_ Material de propagación	11578
3_9_ Servicios agrícolas	4971

Tabla 1 Nombres y número de registros tablas SIPSA insumos.
Fuente: Elaboración propia basada en información SIPSA.

5.2.4 Módulo de precios

La información del módulo de precios se divide en dos componentes principales, como se ilustra en la Figura 10.

La primera parte está relacionada con los precios asignados a los productos que representan cada cultivo. Estos precios pueden provenir de dos fuentes principales: los datos del SIPSA sobre mercados mayoristas o los precios al productor proporcionados

directamente por las federaciones que representan a cada cultivo. Esta información asegura que los precios utilizados sean representativos y estén alineados con las condiciones del mercado para cada producto.

La segunda parte está enfocada en los costos de transporte o flete. Para este componente, el modelo utiliza varias fuentes de información: el Registro Nacional de Despacho de Carga (RNDC), un shape de la red vial nacional desarrollado por el grupo de avalúos del IGAC, y las distancias entre las zonas geoeconómicas y los centros poblados de los municipios, información también proporcionada por el grupo de avalúos del IGAC. Este enfoque permite calcular con precisión los costos logísticos asociados a la movilización de productos desde las áreas de producción hasta los mercados de destino, garantizando que el modelo refleje tanto los costos directos de producción como los costos adicionales de transporte.

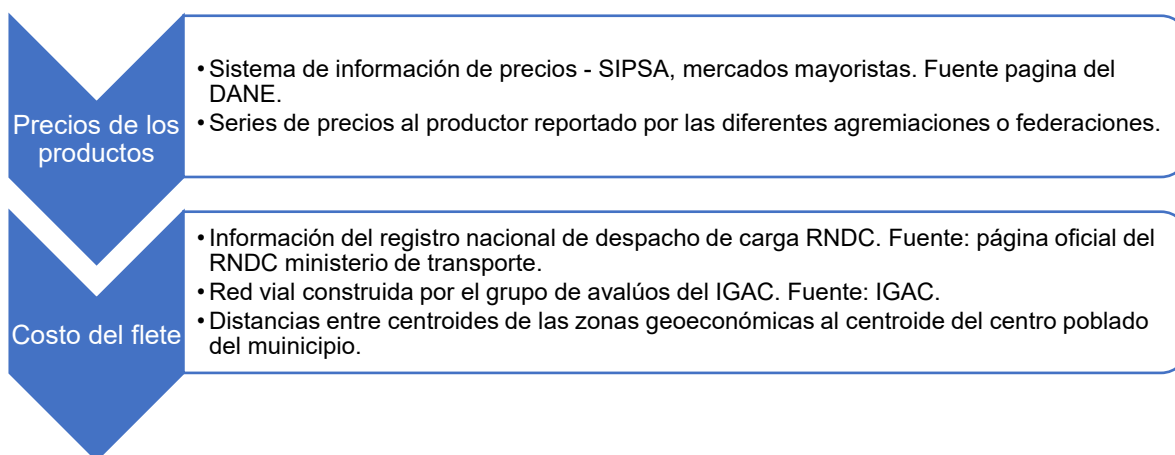


Figura 10 Información requerida para el módulo de precios.
Fuente: elaboración propia 2024.

La información del SIPSA que alimenta el módulo de precios, cuenta con un total de 635 mil registros, 381 productos y 104 mercados. Esta base contiene series de precios históricas desde 2013 hasta mayo de 2024. En la Figura 11 se presenta un resumen de esta información con un ejemplo enfocado a yuca donde se seleccionan cuatro variedades: chirosa, criolla, ica y llanera. En la parte superior derecha de la figura se observan las series del precio promedio a nivel nacional de estos cuatro tipos de yuca, mientras que en la parte inferior derecha se presenta un mapa con la ubicación para cada una y el precio promedio para los últimos dos años representado en el tamaño del círculo.

Sistema de información de precios -
SIPSA MAYORISTAS

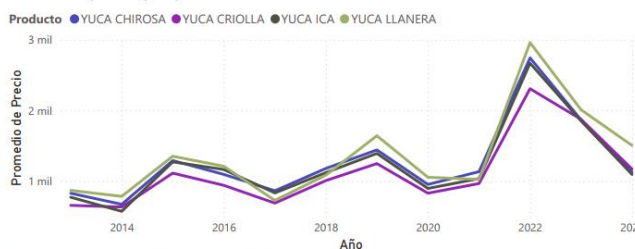
Registros
635 mil

Productos **381** Mercados **104**

Listado de productos

- VINAGRE
- YUCA CHIROSA
- YUCA CRIOLLA
- YUCA ICA
- YUCA LLANERA
- ZANAHORIA
- ZANAHORIA BOGOTANA
- ZANAHORIA LARGA VIDA
- ZAPOTE

Promedio precio por producto



Promedio precio últimos dos años por producto y departamento

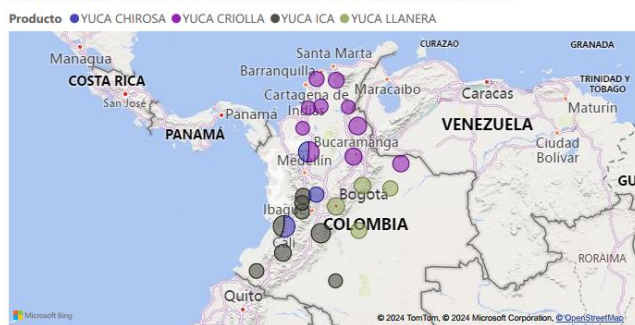


Figura 11 Sistema de información de precios – SIPSA, precios mayoristas.
Fuente: Elaboración propia basado en información SIPSA.

La información proporcionada por el Registro Nacional de Despacho de Carga (RNDC) incluye datos detallados sobre el transporte de mercancías en el país. Entre los aspectos registrados se encuentran: el origen y destino de los viajes, los tipos de mercancías transportadas, la configuración de los vehículos utilizados, los kilómetros recorridos, los valores pagados por el servicio y el peso de la mercancía. Estos datos, generados por el Ministerio de Transporte, están disponibles para consulta pública y pueden ser accedidos libremente a través de la página web oficial del RNDC.

En 2023, el RNDC registró un total de 729 mil registros relacionados con el transporte de mercancías. Para el presente modelo, se aplicó un filtro que considera únicamente 22 tipos de mercancías, lo que resultó en una base de datos reducida con 19 mil registros correspondientes a 502 mil viajes, como se ilustra en la Figura 12.

La figura también detalla el número de registros reportados según cada configuración vehicular y presenta la relación entre los kilómetros recorridos y el valor por tonelada-kilómetro. Este análisis muestra que, a medida que aumenta la distancia recorrida, el valor por tonelada-kilómetro disminuye, reflejando economías de escala en el transporte. Esta relación es fundamental para la construcción de las funciones de transporte, las cuales se explican en detalle más adelante.

Registro nacional de despacho de carga - RNDC Ministerio de transporte (2023)

Número de registros
19 mil

Total de viajes registrados
502 mil

Total de mercancías utilizadas
22

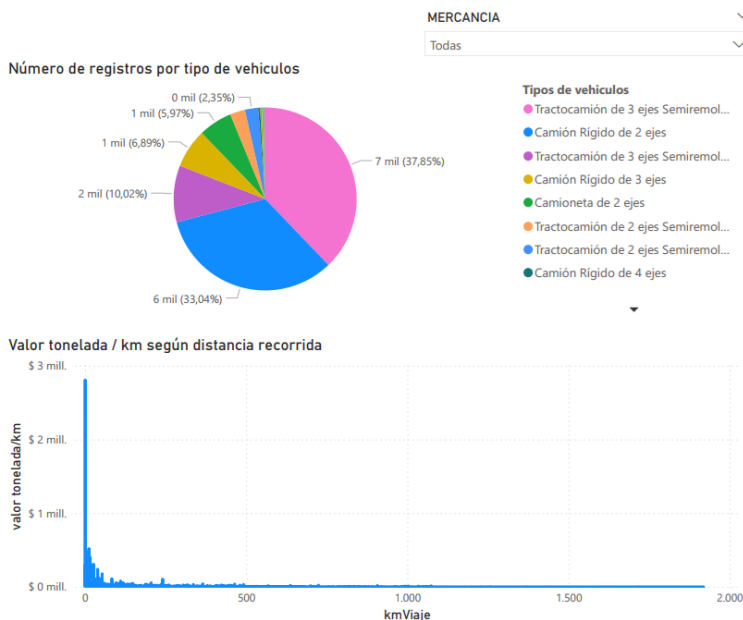


Figura 12 Registro nacional de despacho carga – RNDC. Fuente: Elaboración propia basado en información RNDC.

Otra parte fundamental para calcular el costo de transporte está relacionada con las distancias recorridas, las cuales el modelo divide en dos componentes principales. El primero corresponde al flete externo, que representa la distancia desde el centro poblado del municipio hasta el mercado más cercano donde se comercializan los productos generados por los cultivos locales. El segundo es el flete interno, que abarca la distancia desde las zonas geoeconómicas dentro del municipio hasta el centro poblado. Esta división permite un análisis más detallado y preciso de los costos de transporte asociados a las diferentes etapas de movilización de los productos agrícolas.

Para el cálculo del flete externo, se utiliza la red vial con velocidades estimadas por el Grupo de Avalúos del IGAC, como se muestra en la Figura 13 La asignación de estas velocidades se basa en un análisis detallado que considera factores como las pendientes del terreno y las áreas homogéneas de tierra, lo que garantiza mayor precisión en la modelación de los tiempos y costos de transporte.

En cuanto al flete interno, las distancias son calculadas directamente por el Grupo de Avalúos, abarcando una cobertura de 755 municipios distribuidos en los 32 departamentos del país. Este análisis incluye un total de alrededor de 10 mil zonas geoeconómicas, que generan un conjunto de 102 mil registros, como se presenta en la Figura 14.

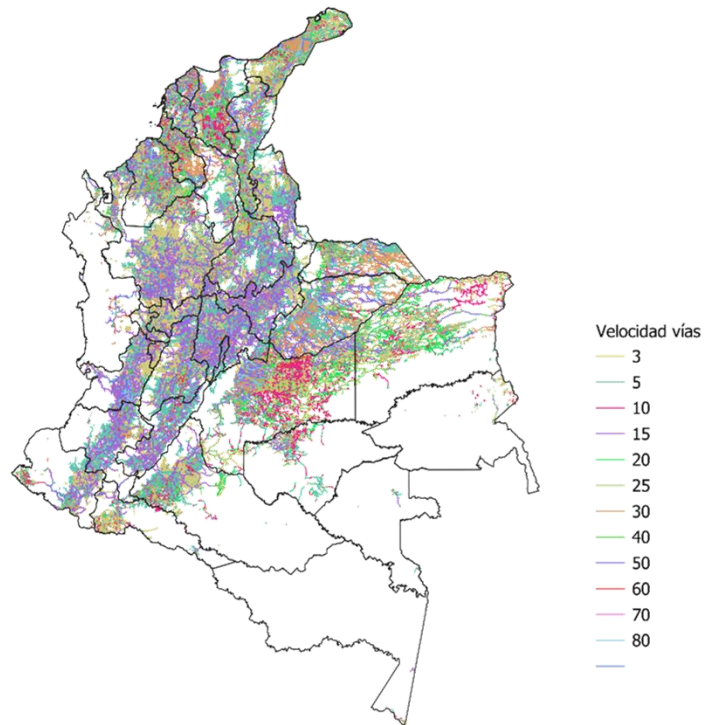


Figura 13 Red vial con velocidades asignadas.

Fuente: Elaboración propia basado en información grupo de Avalúos IGAC.

Distancias de las zonas geoeconómicas a los centros poblados - grupo de avalúos IGAC

Número de departamentos	Número de municipios
32	755
Número de zonas geoeconómicas teniendo en cuenta el municipio	
10 mil	
Número de registros	
102 mil	

Promedio de distancia de zonas geoeconómicas a centro poblado del municipio

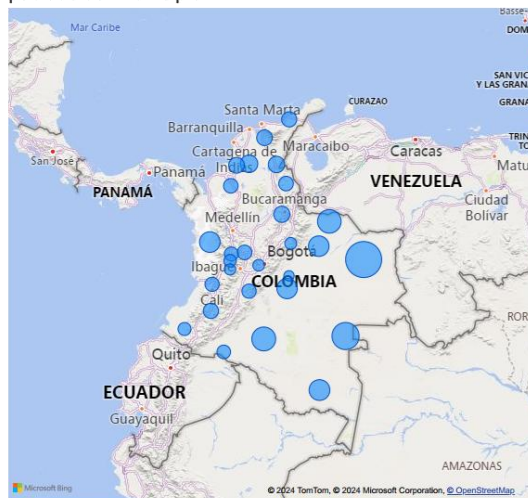


Figura 14 Distancias zonas geoeconómicas a centros poblados.
Fuente: Elaboración propia basado en información grupo de Avalúos IGAC.

5.3 Preparación y transformación de los datos

En las siguientes secciones se detalla el proceso de preparación y transformación de la información utilizada en el modelo de capitalización, dividido en tres etapas. La primera describe el proceso realizado sobre las capas insumo para reducir dimensionalidad de estos archivos; la segunda presenta los filtros realizados a varias de las bases de datos utilizadas en los diferentes módulos del modelo; y la tercera describe el cargue de la información a partir de una estructura a nivel de municipio.

Preparación de información espacial

A la información espacial utilizada en el modelo, la cual proviene en formato gdb o archivos tipo shape, se aplica diferentes procesos para: reducir su dimensionalidad, ajustar límites municipales, corregir problemas de geoformas y llevar todo a un sistema de coordenadas homogéneo.

El primer proceso se enfoca en reducir las dimensiones de los archivos, para esto a cada una de las siguientes capas se les realiza un proceso de simplificado incluyendo conservación de la topología: áreas homogéneas de tierra, aptitud de los diferentes cultivos utilizados y zonas geoeconómicas.

Varias de las capas utilizadas presentan límites municipales con versiones anteriores a la división actual o no presentan una división de sus polígonos por municipio. A estas capas se les realiza un proceso de geoespacial para posteriormente poder filtrar la información a nivel de municipio.

Los siguientes dos procesos se realizan dentro del programa R. El primero se enfoca en corregir problemas en los tipos de geometría de las capas utilizadas y así evitar problemas en los posteriores cruces que se hacen entre ellas. Para esto dentro del código se verifica que tipo de geometrías tienen las capas y se llevan todos los elementos al tipo multipolígono. Una vez ajustado esto en las capas, estas se llevan a un mismo sistema de coordenadas, en este caso se trabaja con magna sirgas origen nacional EPSG 9377.

Filtro de bases

Las diferentes bases utilizadas contienen una gran cantidad de información, por esta razón se realiza un filtro obteniendo así únicamente la información pertinente para el modelo. Para esto se trabaja con los cultivos seleccionados en el módulo de caracterización y los productos asignados a estos cultivos para las bases del SIPSA y RNDC (se detalla en la sección 5.4).

Cada una de las bases pasa por un filtro de datos atípicos y valores incoherentes que puedan afectar en los diferentes módulos que son utilizados. En las bases EVAs se revisan valores atípicos en los rendimientos, especialmente aquellos muy altos que posteriormente son filtrados en el proceso de generar los rendimientos base; dentro de la base SIPSA, se revisan las series de precios que tengan una continuidad y se sigan reportando hasta la fecha; en las bases del registro nacional de despacho de carga se genera la variable costo por kilómetro por tonelada transportada y a partir de esta y los kilómetros totales recorridos, se realiza un filtro de valores atípicos y no coherentes con los costos de transporte que se manejan en el país.

Cargue de información.

El modelo de capitalización está planteado para ejecutarse por municipio por lo cual se realiza el cargue de la información mediante quearys que permiten importar de las bases globales únicamente la información necesaria para procesar el municipio. Debido a esto la preparación de toda la información debe contener el código municipal que termina siendo el parámetro principal para las consultas y cargue de la información. La estructura que se plantea permite procesar un municipio rápidamente sin tener que cargar toda la información del modelo.

5.4 Desarrollo del modelo, reporte, script y/o visualización y/o metodología

A continuación, se describe la implementación del modelo de capitalización el cual se desarrolla principalmente en R; el modelo de redes está implementado en Qgis y la visualización o visor de los resultados se generó en Arcgis. Las siguientes secciones detallan el proceso generado y los modelos internos de cada uno de los módulos que integran al modelo de capitalización.

5.4.1 Códigos de homologación

Los códigos de homologación facilitan la integración de las diversas bases de datos utilizadas en el modelo de capitalización. Este proceso implica identificar los códigos específicos presentes en cada base de datos para definir claves primarias, lo que permite realizar los cruces y vinculaciones necesarios de manera eficiente (ver Anexo 1).

Dado que el modelo selecciona los cultivos a partir de la información proporcionada por las Evaluaciones Agropecuarias (EVAs), las cuales se actualizan anualmente a nivel municipal, se decidió utilizar el código de las EVAs como clave principal para realizar el cruce con las demás fuentes de información. Este enfoque garantiza una integración precisa y coherente de los datos en el modelo.

La primera homologación que se realizó fue con las bases del censo nacional agropecuario – CNA y la encuesta nacional agropecuaria – ENA. Si bien esta información no se utilizó en esta versión del modelo, contar con el cruce de estas fuentes permite incorporar fácilmente estos datos para futuros análisis.

Una de las principales homologaciones que utiliza el modelo, es la realizada para integrar los mapas de aptitud o zonificación generados por la UPRA. Se incorporan un total de 41 capas de zonificación, a cada una de estas se les asocia el código de los cultivos EVA relacionados, para los pecuarios donde las EVAs no manejan código se utiliza el código CPC APSP del sistema estadístico nacional.

De la misma manera a cada una de las estructuras de costos generadas por agrología para cultivos permanentes y transitorios, se les asigna un código EVA, se resalta que algunas estructuras principalmente de pastos y plantaciones forestales, no se tuvieron en cuenta en esta versión del modelo, ya que las EVAs no contienen información de este tipo.

Para asociar la información de precios de productos mayoristas con los cultivos, se realizó un análisis detallado de los productos registrados en la base del Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario (SIPSA). A los productos correspondientes se les asignó un código EVA vinculado a un cultivo específico. En casos

donde un cultivo estuviera asociado a múltiples productos mayoristas, se identificó el producto principal para ser utilizado como referencia dentro del modelo.

De manera similar, la información del Registro Nacional de Despacho de Carga (RNDC) se utiliza para asociar cada cultivo trabajado en esta versión del modelo con un producto transportado registrado en la base de datos del RNDC. Esta información constituye un insumo fundamental para los modelos de transporte, que a su vez alimentan el análisis y la estimación en el modelo de precios.

5.4.2 Módulo de caracterización

El módulo de caracterización tiene como objetivo principal describir de manera integral los municipios evaluados, utilizando diversas fuentes de información que permiten construir un perfil detallado de sus características agropecuarias. Sin embargo, el principal resultado de este módulo es la definición de los cultivos a utilizar para calcular el avalúo por hectárea en cada municipio. Este proceso se basa en los datos del área sembrada reportados por cultivo en cada municipio.

Los cultivos se organizan de mayor a menor según el área sembrada, y se calcula el porcentaje que representa cada uno con respecto al total. A partir de esta información, se determina el porcentaje acumulado hasta alcanzar aproximadamente el 80 % del área sembrada total. De este modo, se seleccionan los cultivos con mayor representación en el municipio.

A manera de ejemplo, la Figura 15 ilustra los cultivos seleccionados para el municipio de Agua de Dios, Cundinamarca. En esta figura se destacan los cinco cultivos principales, representados por barras que indican el porcentaje de área sembrada que cada cultivo aporta al total del municipio, mientras que la línea refleja el porcentaje acumulado.

En este caso, el cultivo denominado mango (demás variedades) lidera con un 33% del total del área sembrada, seguido por plátano para consumo interno (14%), mandarina (11 %), naranja (9%) y cacao (7%). En conjunto, estos cinco cultivos alcanzan un porcentaje acumulado del 75 % del área total sembrada en el municipio.

Este ejemplo refleja cómo se priorizan los cultivos más representativos en cada municipio, considerando su contribución a la superficie total sembrada. El anexo en powerbi permite observar gráficos similares para otros municipios, facilitando la comparación y el análisis a nivel territorial.

Como se observa en el ejemplo de la figura, el objetivo es identificar y utilizar los cultivos principales de cada municipio, es decir, aquellos que más contribuyen al total del área sembrada. En el gráfico de la figura, se puede apreciar que la curva del porcentaje acumulado tiene una pendiente más pronunciada al incluir los primeros cultivos, lo que indica una alta contribución al total. Sin embargo, a medida que el porcentaje acumulado se acerca al 80%, la curva comienza a aplanarse, adoptando un comportamiento más

asintótico hacia el eje X. Esto sugiere que los cultivos adicionales aportan cada vez menos al porcentaje acumulado.

Con base en esta dinámica, el modelo actual define tomar los cultivos con mayor área sembrada hasta alcanzar aproximadamente el 80% del total del área sembrada del municipio. Esta estrategia permite capturar los cultivos más representativos en términos de superficie, optimizando el análisis.

En la aplicación de este criterio, se observan variaciones significativas entre municipios: en algunos casos, un solo cultivo es suficiente para alcanzar el 80%, mientras que en otros se requieren hasta 14 cultivos diferentes para lograrlo.

Cultivos seleccionados por municipio según el área sembrada reportada por las evaluaciones agropecuarias - EVA

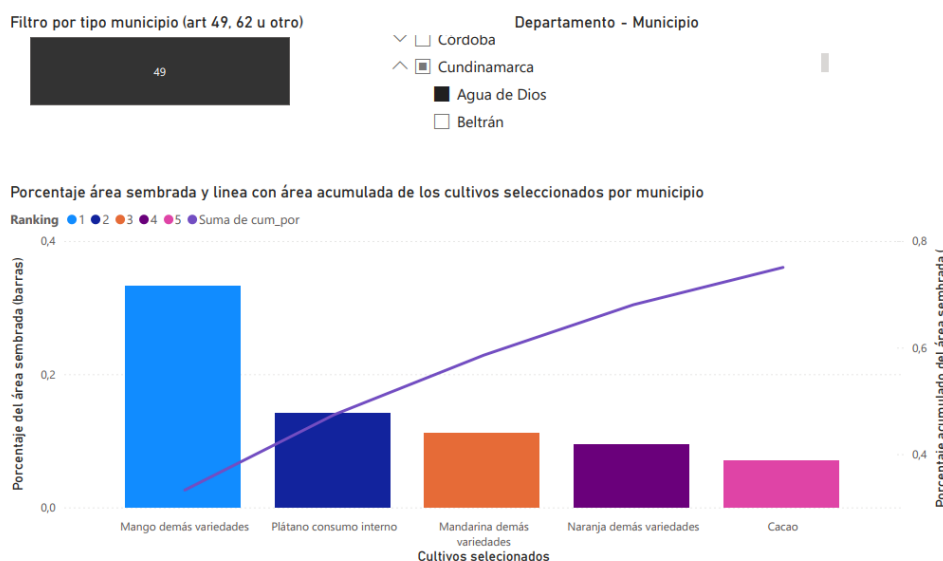


Figura 15 Cultivos seleccionados por municipio, ejemplo municipio Agua de Dios. Fuente: elaboración propia basado en análisis información EVA.

5.4.3 Módulo de rendimientos

La implementación del módulo de rendimientos se lleva a cabo en dos etapas principales. La primera consiste en una construcción masiva nacional de estructuras de rendimientos para cada cultivo, utilizando la información proveniente de las Evaluaciones Agropecuarias (EVAs). Esta construcción asocia los cultivos con categorías de aptitud del suelo y las clases de áreas homogéneas de tierra, lo que permite generar un marco general de rendimientos aplicable a nivel nacional.

La segunda etapa implica un ajuste específico de las estructuras de rendimientos. Este ajuste adapta las estructuras generales al valor particular de rendimiento reportado para cada cultivo en cada municipio.

Estructuras de rendimientos base

Para los cultivos reportados por las EVAs se generó una estructura base de rendimiento que se relaciona con las categorías de aptitud (para los cultivos que aplique) y las clases de área homogénea de tierra. Esta estructura está basada en el análisis realizado por el grupo de agrología a los cultivos de cacao, maíz tradicional y tecnificado, y palma; bajo este análisis la matriz que relaciona los rendimientos a las categorías de aptitud y clase de AHT, se rige por siete valores que se distribuyen según las combinaciones de estas categorías (ver Figura 6).

Con el objetivo de implementar esto de manera masiva a los 122 cultivos reportados por las EVAs para el año 2022, se replica el análisis realizado por agrología y se asignan siete valores para cada cultivo teniendo en cuenta diferentes percentiles de la distribución que se genera a partir de los valores de rendimiento por cultivo a nivel nacional.

El valor más alto está definido por el límite superior, de esta manera permite eliminar datos atípicos de municipios que reportan valores muy altos de rendimientos. Los siguientes cinco valores están definidos por los percentiles 75, 62.5, 50, 37.5 y 25. Y finalmente el menor valor se toma bajo tres criterios: 1) si el límite inferior es mayor a un 10 % del valor tomado como con el límite superior, se toma el límite inferior; 2) si el 10 % del límite superior es menor que el percentil 25, entonces se toma el 10 % del límite superior; y 3) si no se cumple las anteriores condiciones se toma el percentil 20 como el menor valor. Las anteriores condiciones, se generan para que el menor valor tomado no sea tan bajo y para que no supere el valor de la siguiente categoría.

Estos siete valores, se asignan a las combinaciones de categorías de aptitud y clase, siguiendo la misma estructura definida por Agrología. Esto genera las estructuras de rendimientos base para ser implementadas para los cultivos seleccionados en cada municipio. En la Figura 15, se presenta un ejemplo para el cultivo de café, donde se puede observar los siete valores asignados y la estructura de rendimientos que estos generan.

Estructuras de rendimientos base para 122 cultivos

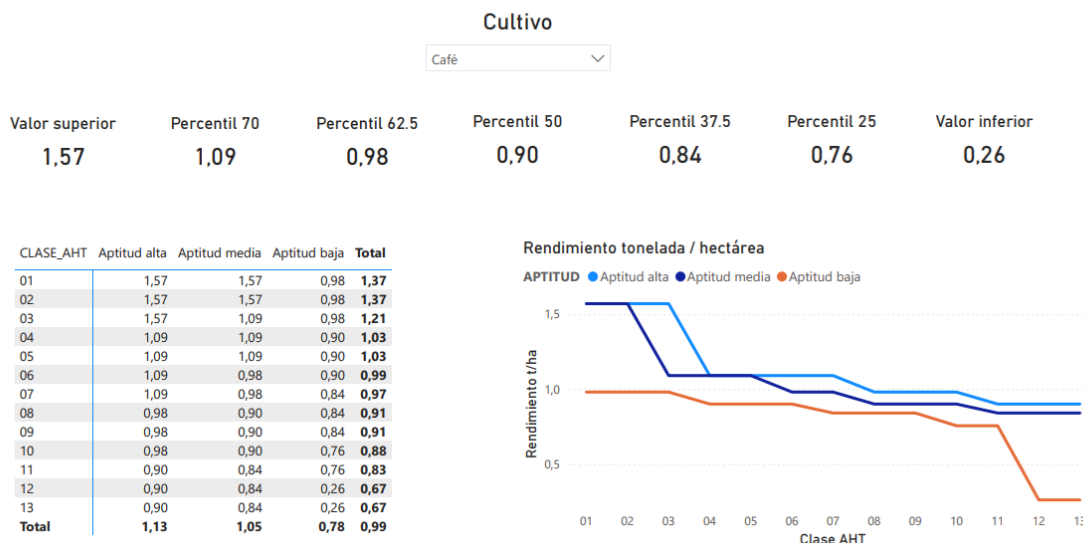


Figura 16 Estructuras de rendimiento base, ejemplo cultivo café.
Fuente: Elaboración propia.

Ajuste de rendimientos a nivel municipal

Una vez generadas las estructuras base a nivel nacional para cada cultivo, el siguiente paso consiste en ajustar estas estructuras de rendimiento a las condiciones específicas de cada municipio. Este proceso considera el valor de rendimiento reportado por el municipio para cada cultivo y las áreas de aptitud y clase de AHT.

La Figura 17 muestra el proceso de ajuste para el cultivo de maíz tradicional en el municipio de Simijaca Cundinamarca. El mapa superior de la figura presenta los polígonos generados por las combinaciones de las capas de aptitud y área homogéneas de tierra, para cada uno de estos polígonos se asigna el valor de la estructura base de rendimiento como se observa en el mapa inferior izquierdo de la figura. El promedio ponderado teniendo en cuenta el área de cada polígono y su valor inicial de rendimiento da un valor de 2.07 toneladas por hectárea, este valor es comparado con el reporte de la EVA para el municipio el cual se encuentra en 2.94 t/ha para el 2022.

Para corregir las diferencias entre los valores iniciales de la estructura de rendimientos y los datos reportados por las EVAs, se aplica un proceso de ajuste que preserva la misma estructura de distribución, pero modifica la media ponderada para que coincida exactamente con el valor reportado.

En la Figura 18, este proceso se representa mediante dos curvas de densidad. La curva azul corresponde a los valores de la estructura base de rendimientos, mientras que la curva roja muestra los valores ajustados. Como se observa, la curva ajustada mantiene la forma de la estructura original, pero se desplaza hacia la derecha, logrando que el promedio ponderado coincida con el valor proporcionado por la EVA.

Además, los resultados de este ajuste pueden visualizarse de manera espacial en el mapa del inferior derecho de la Figura 17, lo que permite observar cómo se distribuyen los rendimientos ajustados en las distintas áreas del municipio.

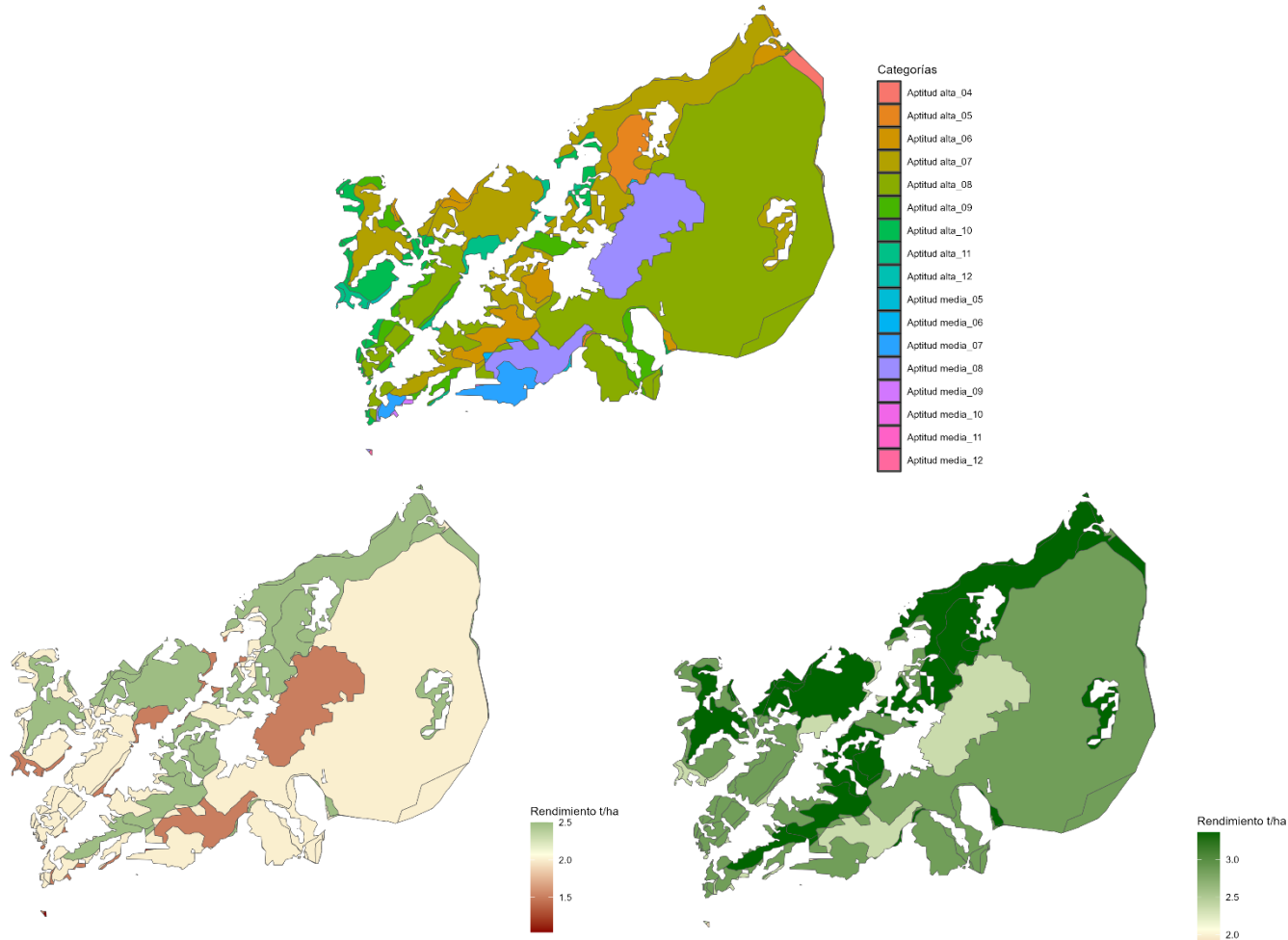


Figura 17 Proceso ajuste de rendimientos, ejemplo cultivo maíz tradicional municipio de Simijaca Cundinamarca.
Fuente: Elaboración propia

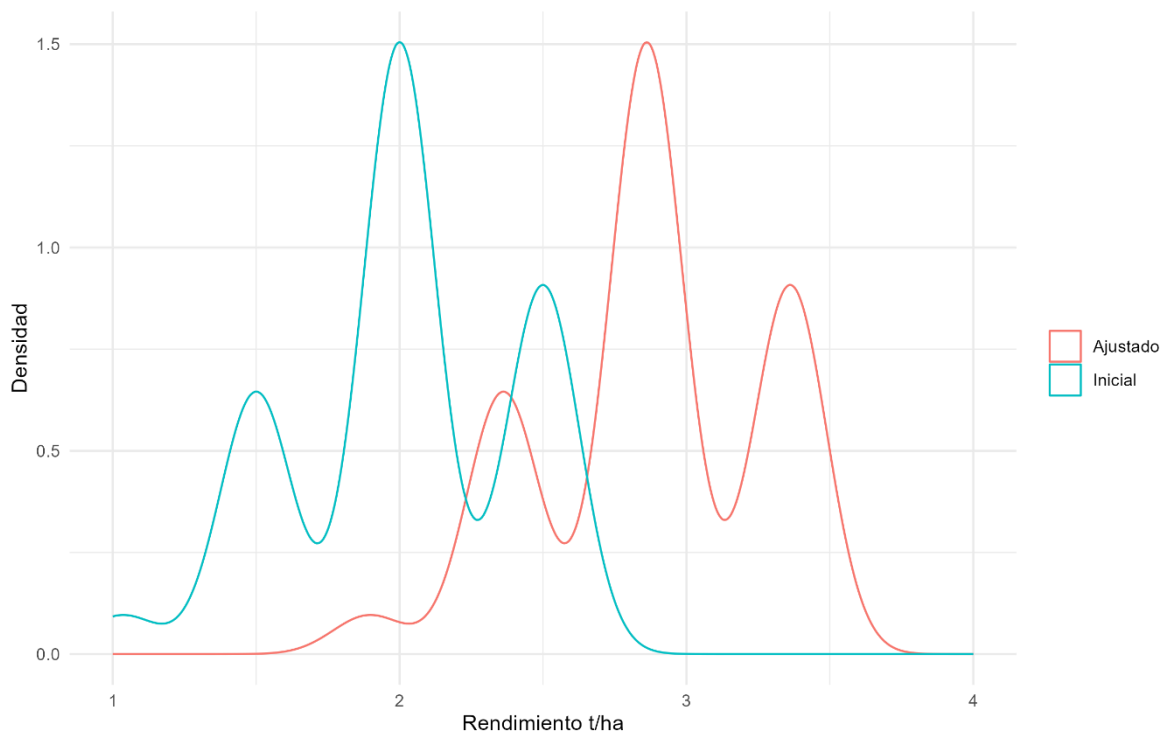


Figura 18 Curva de densidad de los valores iniciales y ajustados de rendimiento, para maíz tradicional municipio de Simijaca Cundinamarca.

Fuente: elaboración propia.

5.4.4 Módulo de costos

El módulo de costos consta de dos componentes principales. El primero se enfoca en la actualización de las estructuras de costos normalizadas para cada cultivo, considerando la ubicación específica del municipio. El segundo introduce premisas basadas en polígonos de aptitud y clima, permitiendo diferenciar los costos por hectárea de un cultivo según su ubicación dentro del municipio.

Actualización de estructuras de costos

Para actualizar las estructuras de costos, se asigna a cada municipio la central de abastecimiento de insumos más cercana, utilizando la información del SIPSA. Este proceso se realiza mediante un análisis de Thiessen o polígonos de Voronoi, que permite definir el área de influencia de cada central mayorista. En la Figura 19, se observan los polígonos generados, los cuales se basan en las 187 centrales reportadas por el SIPSA para el año

2023 (mapa izquierdo) y las ciudades capitales (mapa derecho). Cada polígono representa el área de influencia de una central o ciudad capital.

Posteriormente, los centroides de los municipios del artículo 49 se superponen sobre estos polígonos, lo que permite determinar cuál es la central de insumos y la ciudad capital más cercana a cada municipio.

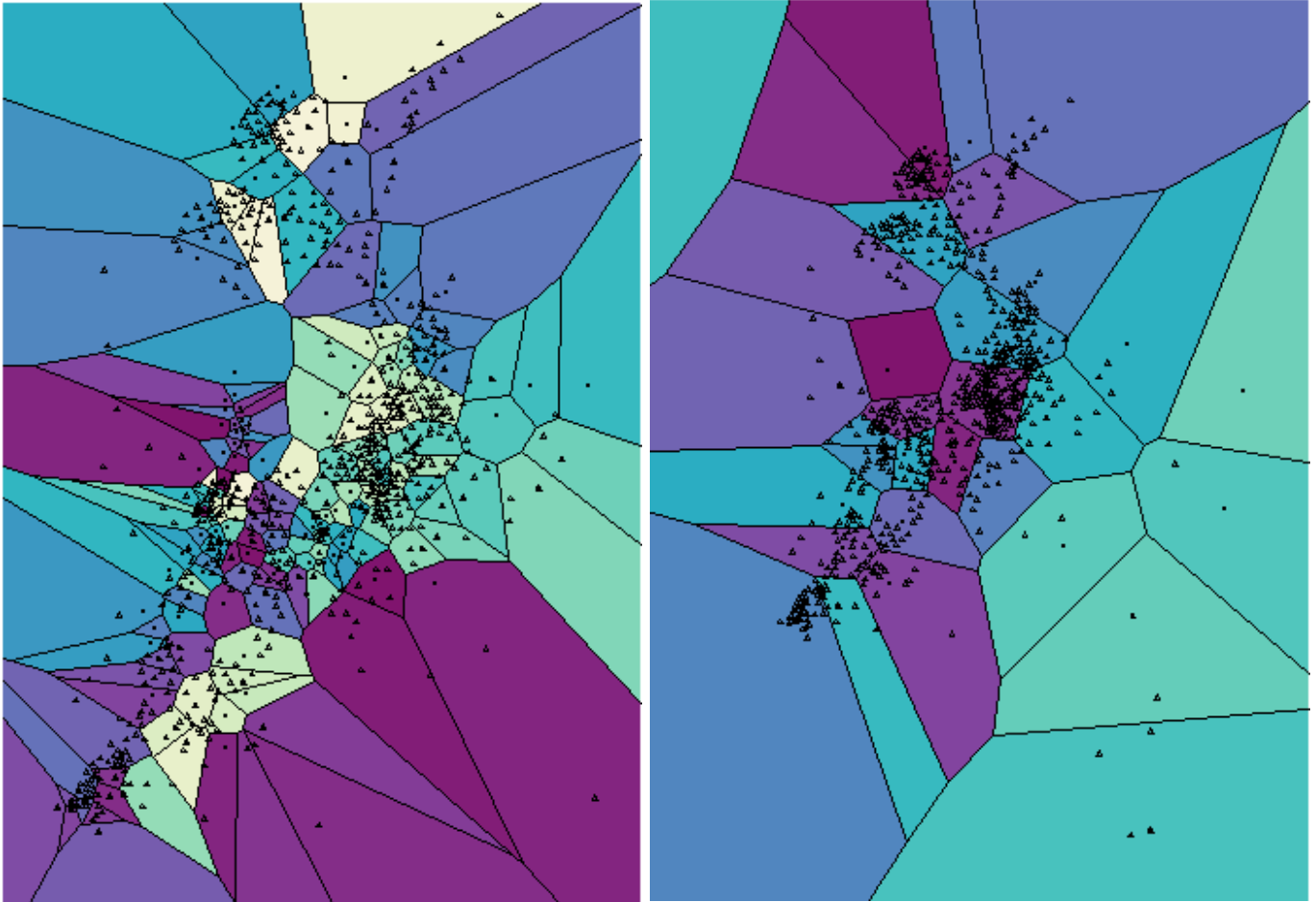


Figura 19 Distancias Thiessen para asignación de mercado de insumos SIPSA más cercano. Izquierda utilizando todos los municipios reportados por SIPSA; Derecha utilizando solo ciudades capitales.

Fuente: elaboración propia.

Debido a que no todos los insumos se encuentran en todas las centrales reportadas, el algoritmo generado para actualizar las estructuras de costos evalúa ítem por ítem verificando disponibilidad del producto en la central SIPSA más cercana, posteriormente en

la ciudad capital más cercana y finalmente si no encuentra el producto toma como precio el promedio nacional.

Aplicación de premisas

Con las estructuras de costos actualizadas para cada cultivo teniendo en cuenta la ubicación del municipio se procede a aplicar las premisas que permiten diferenciar el costo del cultivo al interior del municipio teniendo en cuenta los polígonos de aptitud y clima.

El equipo de Agrología define un conjunto de factores de ajuste que incrementan o disminuyen los costos de ciertos rubros en las estructuras de costos, dependiendo del sistema productivo, la provincia de humedad y la aptitud del suelo para cada cultivo. La lógica detrás de estos factores se basa en que un suelo con alta aptitud implica menores costos debido a su calidad intrínseca, mientras que un suelo con baja aptitud requiere mayores insumos y prácticas mejoradas, lo que se traduce en costos más elevados. De manera similar, en algunas provincias de humedad, como las zonas perhúmedas, ciertos rubros presentan costos más altos debido a las condiciones particulares del entorno.

Con base en estos factores, se construye un archivo de parámetros diferenciales para cultivos transitorios y permanentes. El proceso consiste en tomar las tablas de costos de cada rubro, actualizadas por municipio según la información del SIPSA, y aplicar los factores correspondientes a cada rubro. Los distintos rubros se totalizan para obtener un único costo para el cultivo pero diferenciados y adaptados a las condiciones específicas de cada municipio.

El detalle de los parámetros definidos para este procedimiento se encuentra en el Anexo 4.

5.4.5 Módulo de precios

La asignación del precio para cada cultivo se lleva a cabo en dos etapas. La primera consiste en determinar un precio por cultivo a nivel municipal, utilizando como base el precio al productor proporcionado por las federaciones correspondientes al cultivo o, en su defecto, los precios generados por las series del SIPSA.

La segunda etapa se enfoca en los costos de transporte, los cuales se dividen en dos componentes:

1. Transporte interno, que abarca el traslado desde las zonas geoeconómicas dentro del municipio hasta el centro poblado.

2. Transporte externo, que se refiere al traslado entre municipios, desde el municipio productor hasta el mercado mayorista más cercano⁴.

Asignación de precio por cultivo

El primer paso para asignar el precio a cada cultivo consiste en identificar, dentro de las series del SIPSA, el producto que puede utilizarse como referencia para generar dicho precio. Una vez identificado el producto, se evalúa si es necesario aplicar algún factor de transformación para ajustar las unidades y alinearlas con las utilizadas en los rendimientos de los cultivos.

Posteriormente, con los productos asociados a cada cultivo y la información de precios al productor proporcionada por las federaciones, se aplica un filtro de Hodrick-Prescott a las series de precios. Este filtro permite suavizar las fluctuaciones en los datos de precios y obtener un valor representativo para cada cultivo en cada municipio.

Este método permite descomponer la serie de precio en un componente tendencial y otro cíclico, y de esta manera analizar la parte cíclica para identificar un periodo adecuado del cual extraer el precio a utilizar. Para identificar este periodo se identifican los últimos picos y se toma el último periodo de pico a pico que pase por el valor cero. El precio final utilizado se obtiene a partir de un promedio en este periodo de tiempo definido.

La Figura 20 ilustra la aplicación del filtro de Hodrick-Prescott a las series de precios del producto Borojó en los diferentes mercados reportados por el SIPSA. En los gráficos se muestran tres elementos clave: la serie original de precios, su descomposición en la tendencia y el ciclo, y el periodo seleccionado para calcular el precio promedio, representado por las líneas azules horizontales.

Este análisis permite identificar las fluctuaciones de corto plazo (ciclo) y el comportamiento estructural (tendencia) en los precios reportados, eliminando las variaciones estacionales o transitorias. El precio promedio obtenido en este periodo seleccionado se utiliza como referencia para asignar un valor representativo al cultivo en el modelo.

Para poder implementar este método de manera masiva, se trabaja en R con el paquete mFilter para realizar el filtro Hodrick-Prescott a cada una de las series obtenidas en las federaciones (5 series) y cada serie por producto y mercado del SIPSA (6914 series). Una vez implementada la descomposición, el periodo de tiempo se identifica mediante un algoritmo de máximos locales, en el cual se identifican todos los picos máximos y se seleccionan los últimos para generar el periodo de tiempo en el cual se obtiene el precio promedio.

⁴ Los costos de transporte solo aplican a los cultivos que utilizan precios de productos de las series SIPSA, ya que el precio de las federaciones es precio al productor y se asume que es el precio pagado en finca.

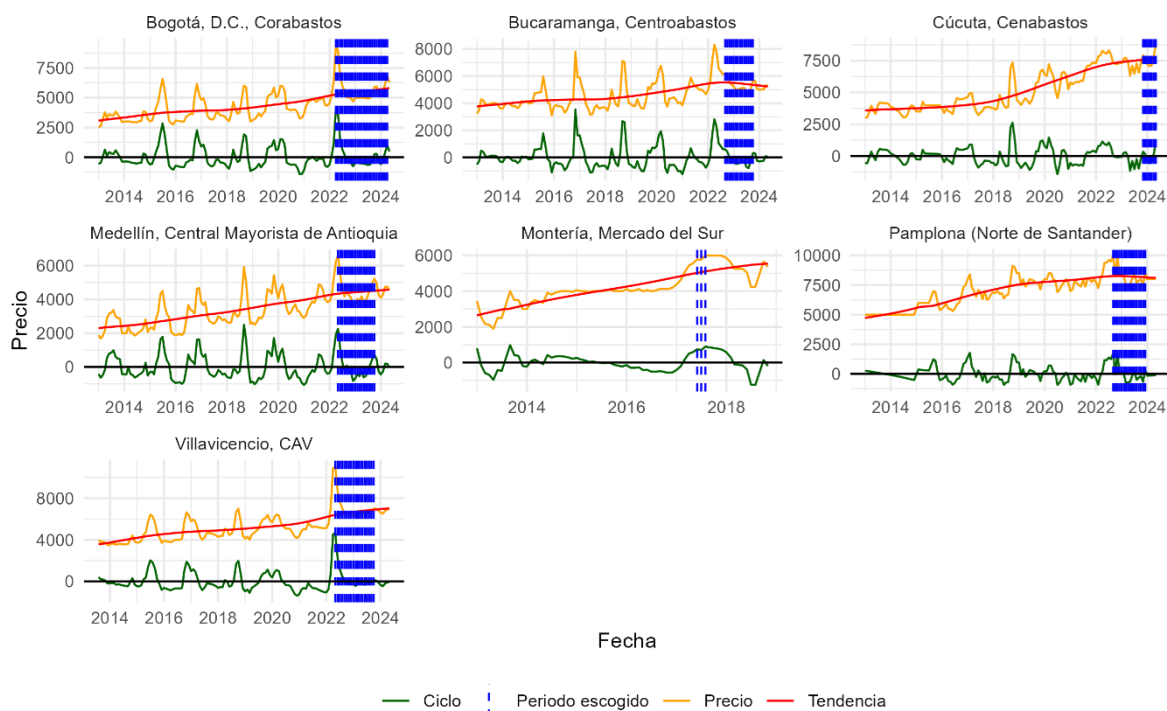


Figura 20. Filtro Hodrick-Prescott para los diferentes mercados del producto Borojó.

Modelo de redes viales.

El modelo de redes viales desempeña un papel clave en la integración espacial del análisis, al asignar un mercado específico a cada municipio. Aunque el proceso previo genera una base sólida de precios por mercado y producto para todos los cultivos utilizados, es este modelo el que permite incorporar la dimensión territorial al modelo.

El modelo de redes viales se desarrolló a partir de la consolidación de información de múltiples fuentes sobre las redes viales del país, en un proceso liderado por el IGAC, específicamente por el Grupo de Avalúos. Este modelo incluye un análisis detallado de las velocidades de las diferentes vías, basado en un cruce entre la información de las áreas homogéneas de tierra (AHT) y los datos de velocidades reportados por el Ministerio de Transporte.

Este enfoque permite no solo identificar la red vial más eficiente para conectar municipios con mercados, sino también considerar factores geográficos y logísticos, como las características del terreno y las condiciones de las vías.

A partir de esta información vial, el centroide de los centros poblados de los municipios del país y los municipios con centrales mayoristas SIPSA (67), se genera un modelo de redes utilizando la herramienta QNEAT3 del software Qgis (Figura 21). En esta se utiliza las velocidades de las vías para encontrar la ruta más rápida entre los municipios productores

y los mercados, permitiendo que el modelo no tome vías terciarias sino las principales vías, generando así un modelo más cercano a la realidad.

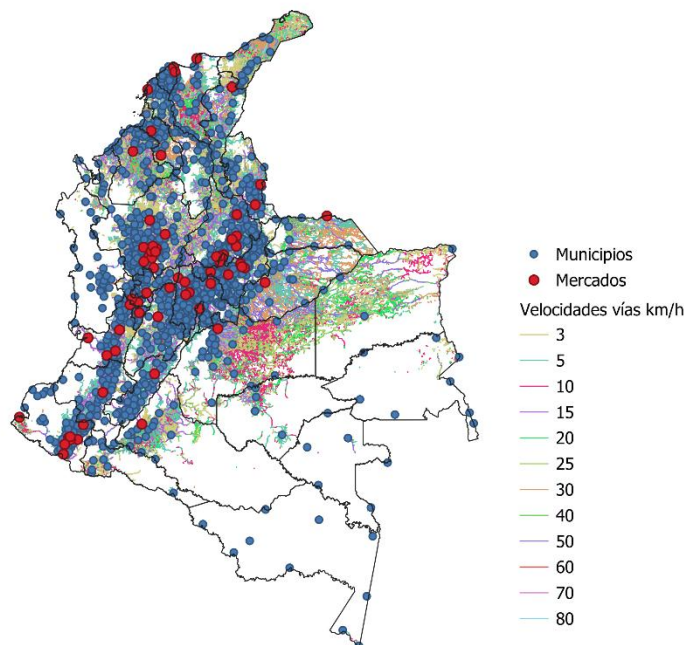


Figura 21 Modelo de red vial.
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, el modelo proporciona una matriz de distancias entre los municipios productores y mercados mayoristas, permitiendo no solo asignar a cada municipio su mercado más cercano que contenga el producto asociado al cultivo, sino que también proporciona la distancia que debe recorrer lo cual es un insumo base para el modelo de costos que se describe a continuación.

Costos de transporte

Los modelos diseñados para calcular el transporte interno y externo se desarrollan utilizando los datos del Registro Nacional de Despacho de Carga (RNDC). Para cada cultivo, se asigna un producto reportado en esta base de datos, asegurando que la relación entre cultivos y productos sea consistente con la realidad logística.

Una vez asociado el producto correspondiente, se verifica si es necesario aplicar un factor de transformación que permita homologar las unidades de medida a las utilizadas en el reporte de las Evaluaciones Agropecuarias (EVAs) para los cultivos.

Utilizando la relación que existe entre los kilómetros recorridos y el precio por tonelada por kilómetro, se ajusta un modelo lineal generalizado de efectos mixtos para cada cultivo. En

total se cuenta con el ajuste de 40 modelos para los diferentes cultivos seleccionados. La Tabla 2 presenta un resumen del número de observaciones y parámetros ajustados para cada modelo.

Cultivo	Número de observaciones	intercepto	pendiente
Aguacate demás variedades	394	10,011	- 0,608
Aguacate Hass	394	10,011	- 0,608
Algodón	106	10,190	- 0,637
Arracacha	10	8,917	- 0,447
Arroz Riego	3900	9,424	- 0,578
Arroz Secano Manual	3900	9,424	- 0,578
Arroz Secano Mecanizado	3900	9,424	- 0,578
Arveja	660	9,576	- 0,611
Banano consumo interno	183	8,814	- 0,395
Borojó	394	10,011	- 0,608
Cacao	709	9,502	- 0,558
Caña de Azúcar	1994	9,326	- 0,538
Caña Panelera	1994	9,326	- 0,538
Cebolla De Bulbo	121	9,444	- 0,530
Cebolla De Rama	227	8,092	- 0,339
Chontaduro	394	10,011	- 0,608
Coco	208	8,791	- 0,356
Curuba	859	9,527	- 0,503
Durazno o Albaricoque	37	7,353	- 0,198
Fique	105	10,717	- 0,700
Frijol	660	9,576	- 0,611
Lechuga	7	8,632	- 0,477
Limón Pajarito	837	10,081	- 0,572
Lulo	837	10,081	- 0,572
Maíz Amarillo Tecnificado	2090	9,177	- 0,561
Maíz Amarillo Tradicional	2090	9,177	- 0,561
Maíz Blanco Tecnificado	2090	9,177	- 0,561
Mango demás variedades	394	10,011	- 0,608
Mora	394	10,011	- 0,608
Naranja demás variedades	394	10,011	- 0,608
Ñame demás variedades	650	10,340	- 0,600

Otras hortalizas	71	8,405	-	0,351
Papa todas las variedades	650	10,340	-	0,600
Pera	178	9,019	-	0,450
Plátano consumo interno	183	8,814	-	0,395
Tomate Invernadero	286	8,649	-	0,359
Uva	78	8,773	-	0,434
Yuca consumo en fresco	56	10,130	-	0,667
Yuca Industrial	56	10,130	-	0,667
Zanahoria	10	8,917	-	0,447

Tabla 2 Parámetros modelos de transporte.
Fuente: elaboración propia a partir de datos RNDC

Estos modelos de transporte se basan en la distancia recorrida, que se determina a partir de dos fuentes clave. Para el costo interno, el Grupo de Avalúos estimó la distancia desde el centroide de la zona geoeconómica hasta el centro poblado del municipio, proporcionando una medida específica para el transporte dentro del municipio. Por otro lado, para el costo externo, la distancia se calcula utilizando el modelo de redes viales, previamente explicado, que conecta el municipio productor con el mercado mayorista más cercano.

A partir de la Ecuación 1 se calculan los costos internos y externos para cada cultivo en cada municipio evaluado.

$$Costo_{ij} = \beta_0 + \beta_1 \log(D_{ij}) + u_j + \varepsilon_{ij} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

$Costo_{ij}$: costo del transporte para el recorrido i en el tipo de transporte j .

β_0 : intercepto fijo.

β_1 : coeficiente asociado al logaritmo de la distancia.

u_j : efecto aleatorio del tipo de transporte.

ε_{ij} : término de error residual.

5.4.6 Módulo de avalúos

Los módulos anteriores proporcionan los insumos necesarios para el proceso final desarrollado en este último módulo. Las diferentes unidades espaciales generadas en los módulos de rendimientos, costos y precios se integran para formar una unidad final. En esta

unidad consolidada se calcula la utilidad bruta y, posteriormente, el avalúo por hectárea para cada uno de los cultivos seleccionados en cada municipio.

La Figura 22 ilustra el proceso de conformación de la unidad espacial de análisis final para el cultivo de maíz tradicional en el municipio de Simijaca. Como se muestra, este proceso integra las salidas de los módulos de rendimiento, costos y precios, combinando sus respectivas unidades espaciales.

- El módulo de rendimiento genera una unidad espacial basada en los polígonos de aptitud y las áreas homogéneas de tierra (AHT), delimitando las zonas donde el cultivo tiene potencial productivo.
- El módulo de costos amplía esta unidad espacial al integrar las capas de aptitud y AHT con la capa de provincia de humedad, creada por el equipo de Agrología.
- Por último, el módulo de precios define su unidad espacial a partir de los polígonos de zonas geoeconómicas, permitiendo modelar las variaciones en los costos de transporte interno dentro del municipio.

La intersección de estas tres unidades espaciales genera la unidad espacial final, que en este ejemplo contiene un total de 97 categorías únicas, para las cuales se calcula un valor único de utilidad bruta y un avalúo por hectárea.

Cabe destacar que, aunque las capas de AHT, humedad y zonas geoeconómicas abarcan prácticamente toda el área del municipio, la capa de aptitud (aplicable únicamente a los cultivos que disponen de esta información) actúa como una restricción adicional. Esto delimita las zonas donde el modelo de capitalización no genera valores, ya que están fuera del área apta para el cultivo.

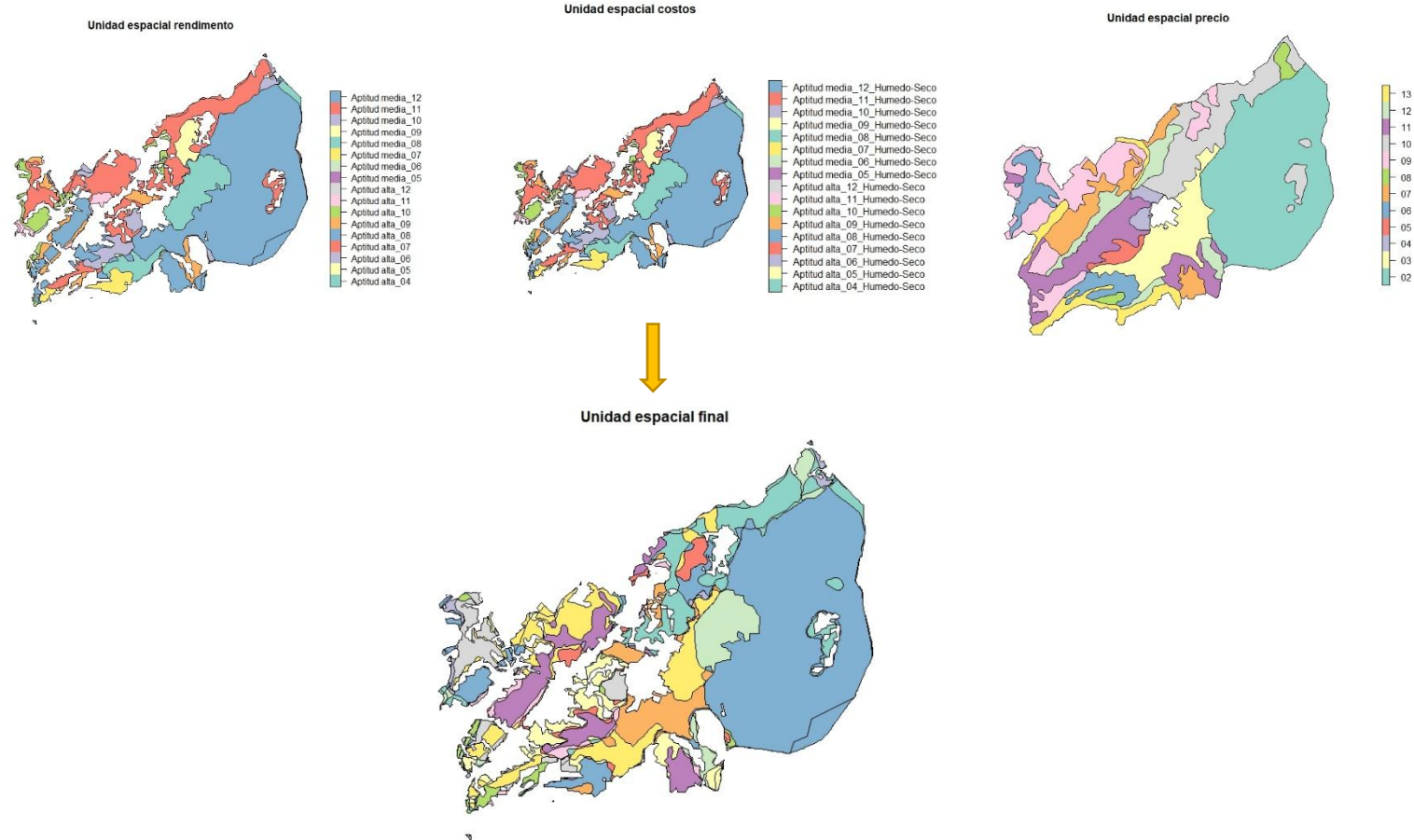


Figura 22 Unidad espacial del modelo de capitalización
Fuente: elaboración propia 2024.

Una vez conformadas las unidades de análisis espacial con toda la información generada de los diferentes módulos, se calcula la utilidad por hectárea mediante la Ecuación 2:

Ecuación 2 Utilidad por hectárea para cultivos.

$$UB = R \times P - C$$

Donde:

UB: utilidad bruta por hectárea

R: rendimiento en toneladas por hectárea

P: precio en pesos por tonelada, descontando transporte interno y externo

C: costo en pesos por hectárea.

Se utilizan factores de conversión en los diferentes cultivos para que las unidades sean coherentes entre los diferentes módulos, especialmente en cultivos donde se presentan procesos de transformación y el precio es tomado del SIPSA.

A partir de la utilidad y de diferentes ejercicios financieros realizados por expertos donde se analizan los valores de terreno hallados por el método de capitalización de ingresos y valores del suelo de mercado, se implementan las siguientes ecuaciones para obtener el avalúo por hectárea comercial:

Ecuación 3 Avalúos por hectárea cultivos transitorios

$$VH = \frac{50 \% \times UB}{i}$$

Ecuación 4 Avalúos por hectárea cultivos permanentes

$$VH = \frac{25 \% \times UB}{i}$$

Donde:

VH: valor de la hectárea

UB: utilidad bruta por hectárea

i: tasa de capitalización, la cual se fija en 7.3%

6 RESULTADOS Y DISCUSIONES

El siguiente capítulo presenta los resultados obtenidos a partir del modelo de capitalización agropecuaria y posteriormente se describe brevemente la implementación de estos resultados en un visor geográfico desarrollado por el grupo de geomática, el cual integra varias metodologías de avalúos masivos.

6.1 Evaluación y/o presentación de los resultados

Costos de transporte

El modelo permite estimar los porcentajes que representan los costos de transporte sobre el precio total de los cultivos, un análisis que se realiza en el módulo de precios. Las Figura 23 y Figura 24 presentan esta información, mostrando la distribución de estos porcentajes en los municipios del artículo 49 y destacando las variaciones según el tipo de cultivo.

Los valores no solo dependen del tipo de cultivo, sino también de las distancias involucradas, ya sean internas (dentro del municipio) o externas (hacia los mercados mayoristas). Los costos de flete externo, que abarcan el traslado desde el centro poblado del municipio productor hasta el municipio con la central mayorista más cercana, varían ampliamente, desde 1% hasta 57% del precio total del cultivo. Este rango está influenciado tanto por la naturaleza del cultivo como por la proximidad de los mercados de destino.

Como se observa en la Figura 23, para la mayoría de los cultivos y municipios productores, el costo de transporte externo representa entre 3% y 20% del precio total. Sin embargo, cultivos como la caña panelera y la caña azucarera destacan por presentar costos de transporte más elevados en proporción a su precio. En particular, para la caña panelera, más del 75% de los municipios productores registran porcentajes superiores al 20%, alcanzando hasta el 57% en algunos casos. Esto refleja la importancia de considerar tanto las características del cultivo como la ubicación geográfica en el análisis de costos de transporte, especialmente para cultivos con márgenes sensibles a estos costos.

Por otro lado, el costo de flete interno, desde las zonas geoeconómicas al centro poblado del municipio, representan porcentajes más bajos, los cuales en su mayoría oscilan entre valores menores a un 1% hasta valores del 15 % del precio del producto (excluyendo los valores de caña panelera) (Figura 24).

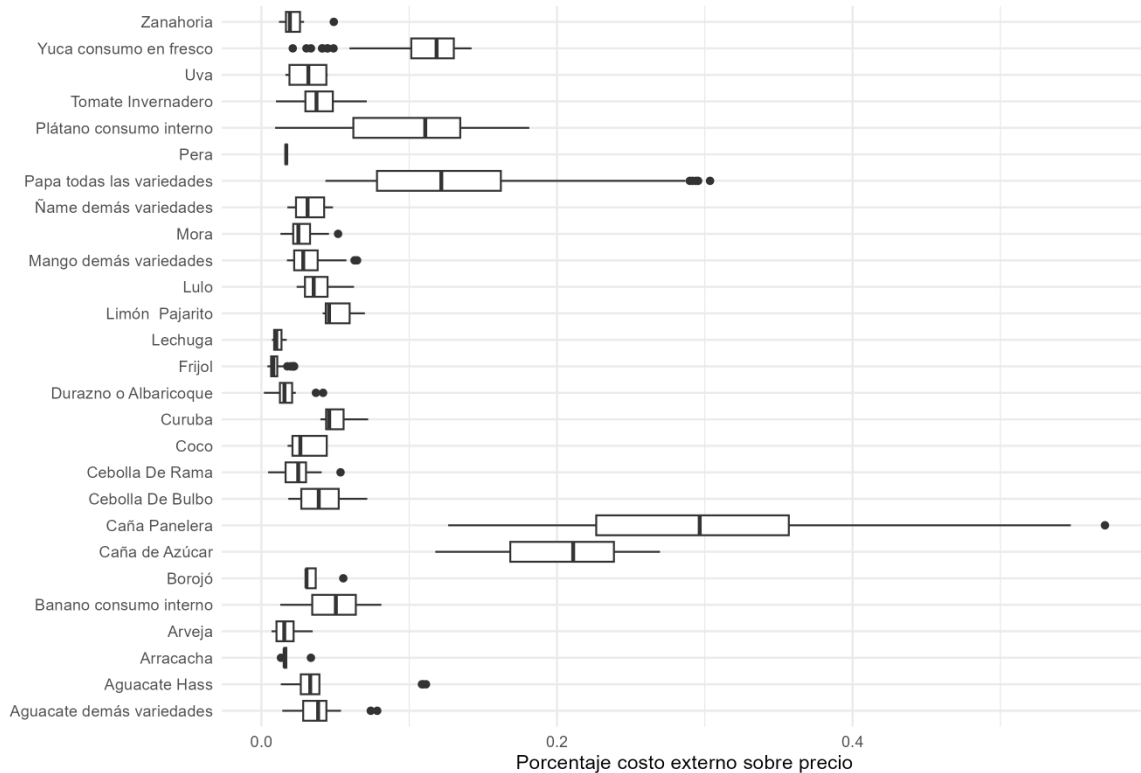


Figura 23 Porcentaje del costo externo sobre el precio del cultivo.
Fuente: elaboración propia, 2024.

Utilidad bruta

La utilidad estimada mediante los resultados de los módulos de rendimientos, costos y precios y la Ecuación 2 presentan valores desde 25 millones en pérdidas hasta 153 millones de utilidad. La mediana de todos los valores calculados se encuentra en 3.9 millones mientras que la media está en 6.4 millones. Estos valores de dispersión son para todos los valores generados para las unidades espaciales descritas anteriormente.

En la Figura 25, se agrupan estos valores por los diferentes cultivos utilizados en el modelo⁵, lo que permite identificar patrones de rendimiento económico según el tipo de cultivo. Entre los cultivos con los valores más bajos de utilidad se encuentran arveja, fique, papa y los distintos tipos de maíz, los cuales presentan promedios de utilidad negativos, indicando las zonas donde el método de capitalización no podría ser adoptado debido a que se tendrían valores de hectárea negativos.

Por otro lado, los cultivos que muestran las mayores utilidades promedio son pera, cebolla de rama y lulo, alcanzando valores medios de 71 millones, 61 millones y 45 millones por

⁵ Los valores de dispersión y la figura 25 no tienen en cuenta el cultivo de Tomate invernadero, ya que presento valores demasiado altos, entre 81 a 302 millones de utilidad.

hectárea al año, respectivamente. Este análisis evidencia la importancia de las características específicas de cada cultivo y su contexto productivo en la generación de utilidades.

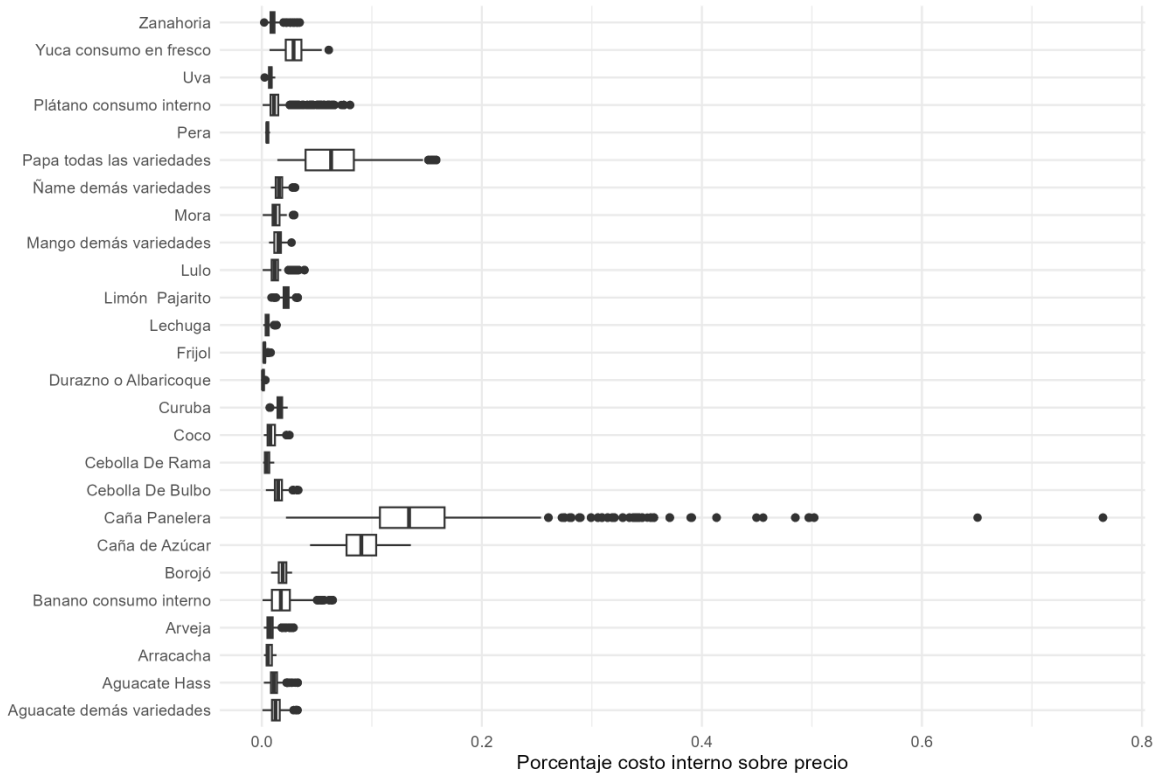


Figura 24 Porcentaje del costo interno sobre el precio del cultivo.

Fuente: elaboración propia, 2024.

A partir de la Figura 25, se observa que varios cultivos presentan valores atípicos, en su mayoría asociados a utilidades extremadamente altas. Entre estos se destacan lulo, durazno, mora y mango, que registran valores considerablemente superiores al promedio. Por el contrario, cultivos como café, cacao y palma de aceite también muestran valores atípicos, pero en este caso asociados a utilidades negativas (por debajo de cero).

Además, se resalta que los cultivos cuyos precios provienen de las federaciones productoras (como café, palma, arroz, cacao y maíz) presentan una menor dispersión en sus datos. Esto se debe a que los precios establecidos por las federaciones son precios al productor uniformes a nivel nacional, lo que reduce significativamente la variabilidad. En contraste, los cultivos cuyo precio depende de las series del SIPSA presentan mayor dispersión, ya que estas series consideran las diferencias entre los precios en los mercados locales y los costos de transporte externo, lo que introduce variabilidad según la ubicación geográfica y la proximidad a los mercados.

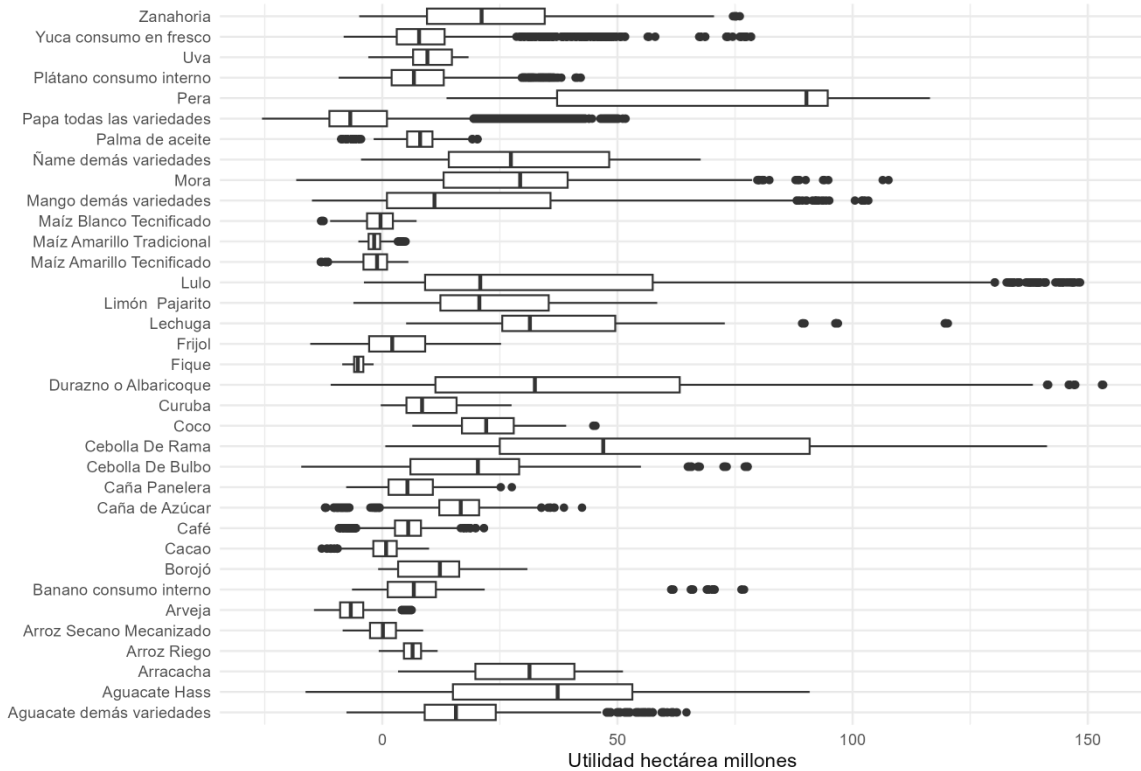


Figura 25 Utilidad bruta por tipo de cultivo
Fuente: elaboración propia, 2024.

Los rendimientos, costos, precios y la utilidad son la base para calcular el valor por hectárea final en el modelo. Estos resultados están integrados en un tablero de soporte creado en Power BI, que permite la visualización interactiva de las variables generadas.

En la Figura 26, se muestra un ejemplo de esta visualización para el cultivo de arroz riego, donde se presentan los promedios de rendimiento, precio, costo, utilidad y valor por hectárea para cada departamento donde este cultivo fue seleccionado. Además, se incluye un mapa a nivel departamental que ilustra el promedio del valor por hectárea, facilitando la comparación entre los departamentos.

El diseño del tablero permite realizar análisis tanto agregados como detallados. Por un lado, es posible seleccionar un cultivo específico para comparar sus resultados entre los diferentes departamentos. Por otro lado, también se puede escoger un departamento particular para visualizar los valores asociados a todos los cultivos presentes en dicho territorio. Esta flexibilidad en la visualización proporciona una herramienta poderosa para interpretar y comparar los resultados del modelo, identificando patrones y diferencias regionales que pueden ser útiles para la toma de decisiones.

Resultados modelo de capitalización

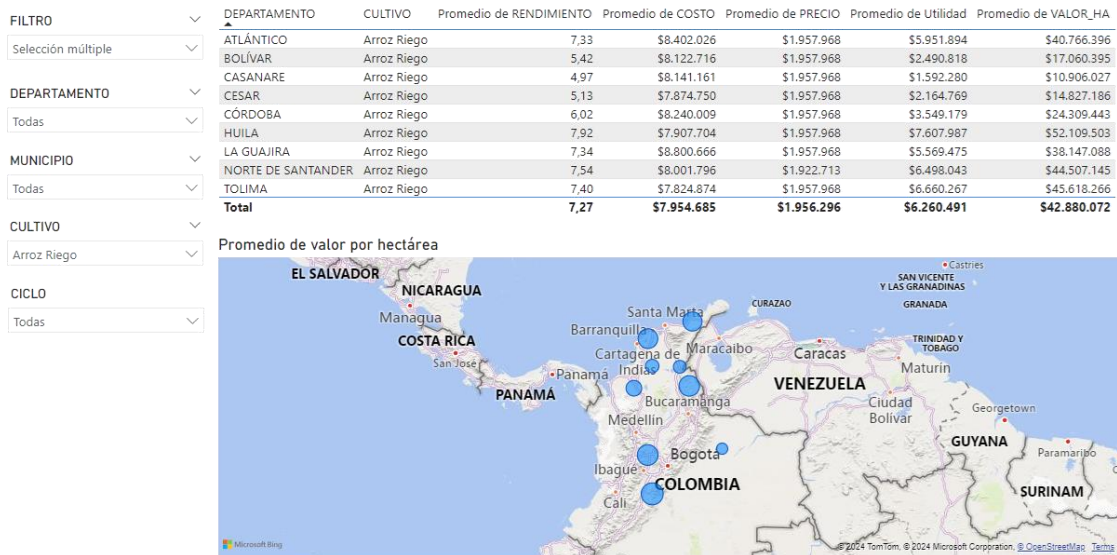


Figura 26 Resultados agregados por departamento, cultivo y ciclo.
Fuente: elaboración propia, 2024.

Finalmente, se presentan los valores por hectárea calculados para las diferentes unidades espaciales y cultivos incluidos en el modelo. En la Figura 27, se muestra la dispersión de estos valores, diferenciados por tipo de cultivo.

Entre los cultivos transitorios, los valores más altos por hectárea corresponden a cebolla de rama, ñame, lechuga y arracacha, mientras que, en los cultivos permanentes, destacan pera, lulo, durazno y aguacate Hass como los de mayor valor.

Por otro lado, se observan cultivos con valores por hectárea mayoritariamente negativos. En los transitorios, esto ocurre principalmente con arveja, los diferentes tipos de maíz, papa y arroz seco mecanizado, mientras que, entre los cultivos permanentes, los más afectados son fique y cacao.

Esta dispersión refleja las diferencias en la rentabilidad de los cultivos según sus características y las condiciones productivas de las unidades espaciales, destacando la importancia de factores como costos, rendimientos y precios en la estimación final de los valores por hectárea.

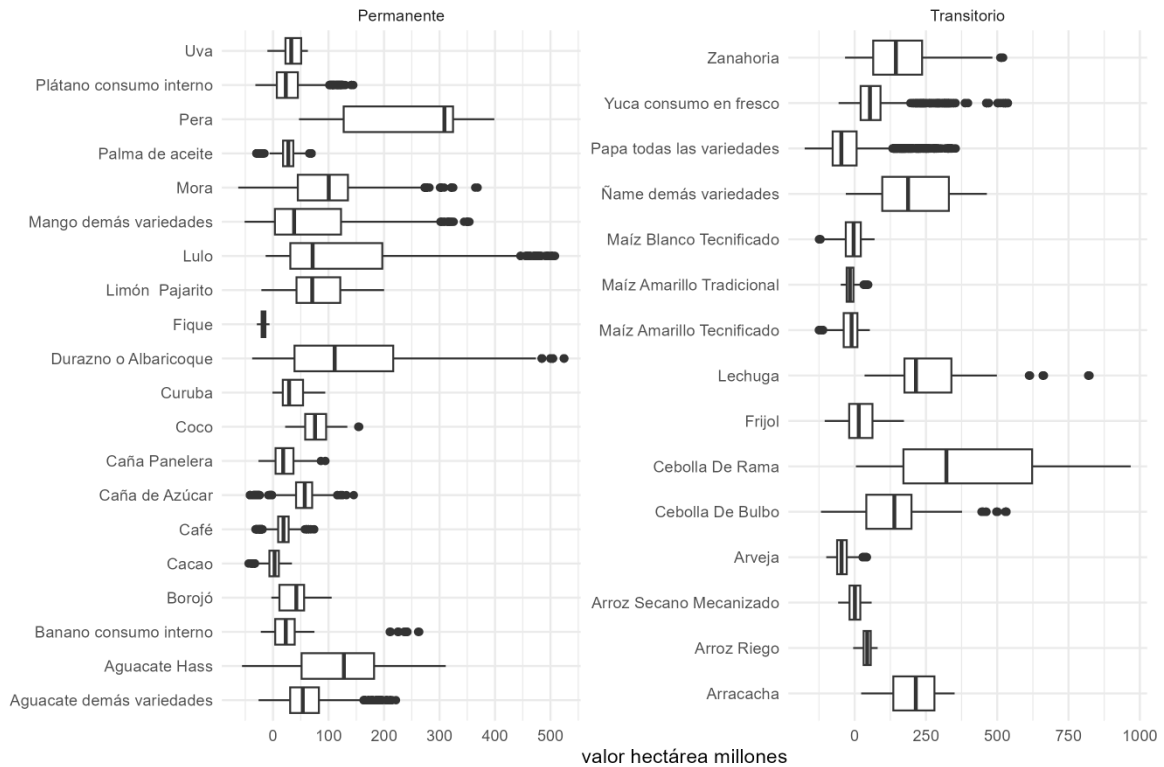


Figura 27 Valor por hectárea por tipo de cultivo y ciclo.
Fuente: Elaboración propia, 2024.

Para generar un análisis más profundo de estos resultados, es necesario revisarlos de manera espacial. Para esto se ha desarrollado un visor el cual contiene todas las unidades espaciales generadas con la información y resultados del modelo. En la siguiente sección se describe este visor el cual también integra información de valores comerciales del OIC y la metodología masiva de modelos econométricos.

6.2 Implementación y/o difusión de resultados

Los resultados obtenidos a través del modelo de capitalización sirvieron como insumo para el artículo 49, posicionándolo como una de las metodologías masivas clave para reducir el rezago en los avalúos catastrales del país. En este contexto, la principal difusión de los resultados del modelo se realiza mediante el establecimiento de incrementos en los valores de referencia de las zonas geoeconómicas, y que entrarán en vigor en 2025.

Adicionalmente, se desarrollaron dos plataformas para presentar los resultados del modelo. La primera, mencionada en varias secciones de este documento, es un tablero de control que contiene información clave del modelo de capitalización, incluyendo datos base, información procesada y resultados agregados. La Figura 28 ilustra la tabla de contenido de este tablero, mientras que en el Anexo 3 se proporciona el enlace de acceso.

Modelo de capitalización agropecuaria Artículo 49



Figura 28 Tablero de control del documento del modelo de capitalización de renta.
Fuente: elaboración propia 2024.

La segunda plataforma fue desarrollada por el equipo de geomática del artículo 49 y se implementó utilizando *ArcGIS Experience*. A diferencia del tablero de control, que presenta resultados agregados, este visor permite explorar los resultados a nivel de la unidad espacial generada por el modelo. Para cada unidad espacial, el visor incluye diversas variables del modelo y ofrece la posibilidad de aplicar filtros por departamento, municipio y tipo de cultivo.

Además, el visor integra otras metodologías masivas utilizadas en el artículo 49, lo que permite contrastar los resultados de capitalización con otros valores. La Figura 29 presenta una imagen del visor y su configuración.

7 CONCLUSIONES

- La metodología aquí expuesta permitió hallar de manera masiva valores comerciales de terreno en función de su productividad y uso agropecuario, empleando el método de capitalización de ingresos en su variante de renta perpetua.
- Más que una metodología, el desarrollo propuesto constituye una solución innovadora en el ámbito catastral. El modelo de capitalización se consolidó no solo como una herramienta clave para abordar los requerimientos del artículo 49, sino también como un instrumento aplicable a la actualización catastral rural habitual. Además, este desarrollo dejó como legado no solo la metodología en sí, sino también la identificación de fuentes de información y estrategias para su uso, como la integración en modelos y cruces espaciales. Estas fuentes pueden recopilarse periódicamente, asegurando la actualización continua del modelo.
- El modelo de capitalización también podría emplearse para generar análisis adicionales en el sector agropecuario, permitiendo evaluar el impacto de diversos escenarios mediante simulaciones de choques en variables clave como rendimientos, costos y precios. Esta capacidad de análisis prospectivo amplía su utilidad más allá del ámbito catastral, ofreciendo una herramienta versátil para la planificación y toma de decisiones en el sector.
- La estructura modular del modelo facilita la actualización y mejora de los modelos internos que lo componen. Además, las bases de datos empleadas pueden ser alimentadas o actualizadas de manera continua, lo que permite optimizar y enriquecer los resultados del modelo de forma dinámica y adaptable a nuevos contextos.
- En el contexto actual de Colombia, donde se está llevando a cabo una reforma agraria que incluye la compra de tierras, el método de comparación de mercado presenta una susceptibilidad significativa a influencias especulativas del mercado. En contraste, el método de capitalización ofrece una alternativa más objetiva, ya que se fundamenta exclusivamente en la productividad de la tierra, evitando así los sesgos asociados a la especulación y garantizando una valoración más estable y basada en el rendimiento real del suelo.
- La inclusión de plataformas como el tablero de control y el visor geoespacial garantiza la accesibilidad de la información para los actores interesados, promoviendo la toma de decisiones informada.
- Debido a la magnitud del proyecto y al horizonte de tiempo para su desarrollo, no fue posible realizar una validación independiente de cada uno de los componentes del modelo ni de sus resultados finales a nivel de cultivo y municipios específicos. Para futuras aplicaciones del modelo, se recomienda involucrar a expertos temáticos y

evaluadores en el proceso de validación. Esto permitiría evaluar los resultados de manera continua y establecer alertas ante posibles valores incoherentes, garantizando así una mayor precisión y robustez en las estimaciones.

- Los resultados del modelo llegan al nivel de detalle de valor por hectárea para cada cultivo en cada polígono. Sin embargo, para definir un único valor de hectárea por polígono, es necesario desarrollar una metodología que combine los valores de los distintos cultivos.

8 ANEXOS

- Anexo 1 Archivo con códigos de homologación entre diferentes bases de datos
- Anexo 2 Archivo con resultados finales del modelo de capitalización de renta.
- Anexo 3 Tablero soporte del documento desarrollado en powerbi.
<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiYzExYjQ1OTQzMjE1ZS00YTg1LTkxMjEtMjA2ZWJiNDc1YjE2IiwidCI6ImVkNDImZTlhLTZlZWEtNDdlni1iZjUyLWVlOWVjYjVkyTgwNyJ9>
- Anexo 4 Archivos con los parámetros para la estructura de costos.
- Anexo 5 Carpeta con códigos finales para ejecutar el modelo.
Carpeta: [src](#)
- Anexo 6 Carpeta con inputs para ejecutar el modelo.
Carpeta: [input](#)

9 BIBLIOGRAFÍA

Aguilar, D., Rodríguez, A., Gómez, L., Acosta, C., Cortés, C., Enciso, F., & Vergara, J. (2018). *Metodología de evaluación de tierras para la zonificación con fines agropecuarios a escala general*.

IGAC. (2008). *Resolución 620 de 2008*.

IGAC. (2023a). *Instructivo Actualización de Áreas Homogéneas de Tierras a Nivel Municipal con Fines Multipropósito*.

IGAC. (2023b). *Resolución N 1040 de 2023*.

PND. (2023). *El Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026: Colombia, Potencia Mundial de la Vida* (Número 189).