



Unidad de Planeación
Minero Energética



CORPOEMA



20
25

Estimación de Potenciales, Metas y Medidas **de Eficiencia Energética para los Sectores** Agropecuario y Agroindustrial Colombianos





Unidad de Planeación Minero Energética



© UPME

Av. Calle 26 # 69 D-91 Torre 1 - Piso 9

Bogotá - Colombia

Tel.: +57 6012220601

upme.gov.co

EDWIN PALMA EGEA

Ministro de Minas y Energía

MANUEL PEÑA SUÁREZ

Director General UPME (E)

JOHANNA STELLA CASTELLANOS ARIAS

Subdirectora de Demanda UPME (E)

Elaboró Subdirección de Demanda UPME:

OLGA VICTORIA GONZÁLEZ GONZÁLEZ

Asesora Subdirección de Demanda

RUTH ADRIANA NAVAS CONTRERAS

Profesional Especializado

Asesores Externos:

CORPOEMA

ERIKA JOHANNA FLÓREZ CHALA

BOLÍVAR ANDRÉS MONROY

MATALLANA

Comunicaciones UPME:

JEIMMY POSOS RAMÍREZ

Asesora de Comunicaciones

DIEGO PEÑARANDA JUYÓ

Diseño y Diagramación



CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	4
FASE 1 PLANEACIÓN	5
Línea base- Caracterización energética 2023	5
FASE 2 INVESTIGACIÓN	11
Entrevistas	11
Información de entidades financieras.....	13
Línea base proyectada.....	14
Medidas pre-priorizadas.....	16
CONCLUSIONES	32
BIBLIOGRAFÍA.....	34

Estimar los potenciales, metas y medidas asociadas de eficiencia energética de los sectores agropecuario y agroindustrial y realizar su respectivo análisis beneficio costo, a partir de la caracterización energética del 2023; en el marco del PAI PROURE 2022.2030 (Resolución MME 40156 de abril 2022) y de la transición energética justa

En este estudio se identificaron las tendencias en innovación de tecnologías y equipos, así como las mejores prácticas y energéticos para el sector agropecuario¹ y agroindustrial² (llamado sector APAI³ de ahora en adelante) y se aplicó la metodología PAI-PROURE para identificar las mejores medidas de eficiencia para este sector.

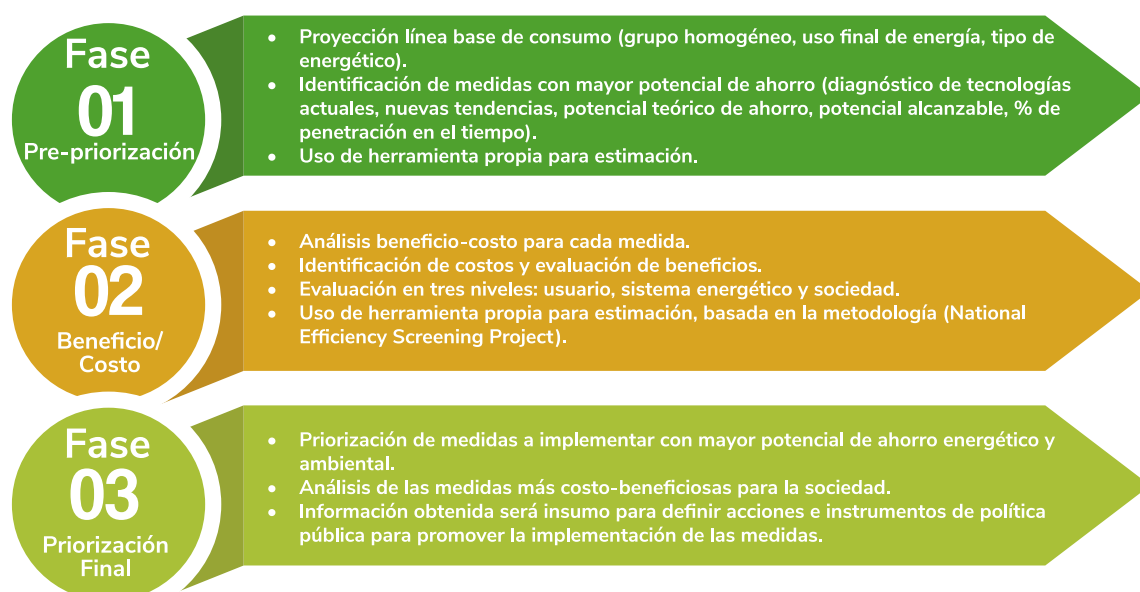


Figura 1. Metodología PAI-PROURE
Fuente: Elaboración propia

Como se ve en la **Figura 1** se analizaron las medidas con mejor eficiencia energética y ambiental, con el fin de pre-priorizar medidas con mayor potencial de ahorro (o mayor gap de eficiencia) y así calcular los potenciales y metas de ahorro al aplicar cada una de estas teniendo en cuenta el uso final de energía (fuerza motriz, climatización, calor directo y refrigeración), el tipo de energético (diésel, gasolina, energía eléctrica, GLP), el tamaño de productor según el número de UPA⁴ por grupo homogéneo⁵ y el subproceso involucrado. Adicionalmente, se aplicaron los análisis de costo/beneficio para las medidas pre-priorizadas, identificando aquellas que resultaron costo-beneficiosas para la sociedad. Después para estas medidas priorizadas se definirán las acciones y medidas que contribuirán a la actualización del Plan de Acción Indicativo del Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía (PAI PROURE) estableciendo lineamientos de política pública y así promover un mejor uso de los recursos energéticos para el sector APAI.

Se desarrollaron tres fases basadas en la planeación, la investigación y la propuesta final de apuestas, medidas y acciones de eficiencia energética.

¹ **Sector agropecuario:** involucran los procesos productivos que incluyen la siembra de cualquier tipo de cultivo agrícola, plantación forestal o pastos, y la cría, levante y/o engorde de animales para el consumo o para la venta (DANE, 2014).

² **Sector agroindustrial:** es el sistema integrado de actividades económicas en las que se combinan los procesos productivos pecuarios y los procesos productivos industriales (DANE, 2012).

³ **APAI:** sector agropecuario y agroindustrial.

⁴ **UPA:** Unidad de Producción Agrícola, definida como la unidad de producción agropecuaria, gerenciada por una sola persona natural o jurídica, en donde se producen bienes agrícolas, forestales, pecuarios y acuícolas (DANE, 2019). Es la unidad de censo y de análisis que utiliza el DANE para cuantificar la información relacionada con el sector APAI, así como los productores agropecuarios

⁵ **Grupo homogéneo:** grupo que integra diferentes cultivos con una similitud en los procesos mecanizados entre diferentes cadenas productivas.

FASE 1: PLANEACIÓN

En la fase 1 de planeación (ver **Figura 2**), se definió el plan de trabajo, retomando la información base del estudio “Caracterización del consumo final de energía en los sectores agropecuario y agroindustrial, identificando los principales usos, equipos o tecnologías y energéticos; como insumo para la formulación de las estrategias y medidas de eficiencia energética” (UPME, CORPOEMA, 2024).

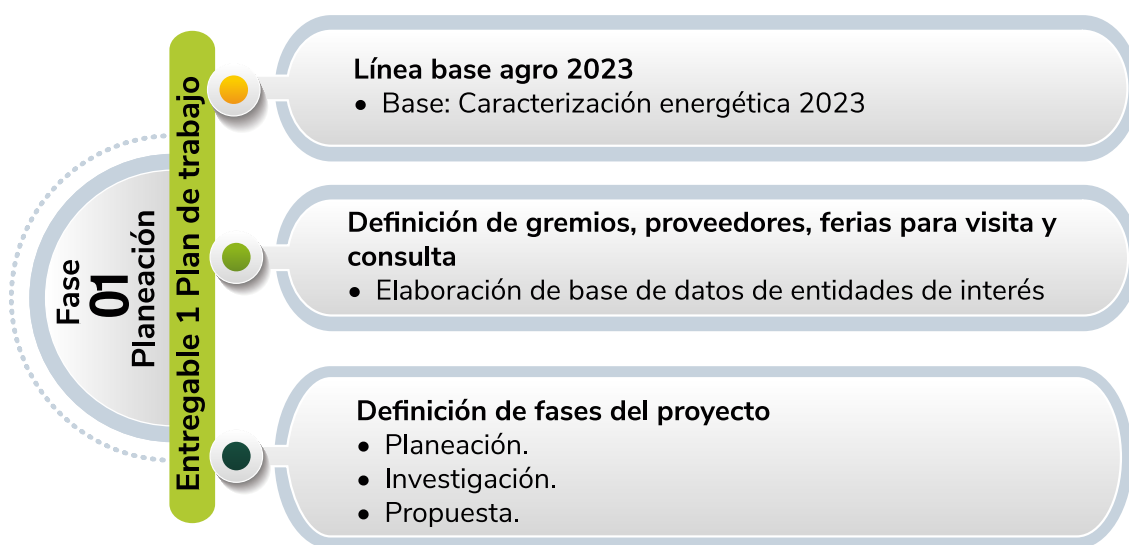


Figura 2. Fase 1 de la metodología desarrollada- Planeación.
Fuente: Elaboración propia.

Línea base- Caracterización energética 2023

Este estudio fue realizado por CORPOEMA para la UPME en el 2023, tuvo por objetivo estimar los consumos energéticos del sector APAI, desagregando el análisis por subsectores, pisos térmicos, usos, equipos o tecnologías, tipo de energéticos y prácticas de operación a partir de información primaria y secundaria. Esta caracterización del consumo final de energía se realizó teniendo en cuenta los subsectores y la clasificación CIIU determinada por el DANE (CCB, Centro de Servicios Registrales, 2024) en donde los procesos productivos agropecuarios, forestales y piscícolas están contemplados en las divisiones 01, 02 y 03 de la sección A (Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca), y los procesos productivos industriales están incluidos en las divisiones 10 y 11 de la sección C (Industria manufacturera), sin embargo, la caracterización energética de las divisiones 10 y 11 hace parte de la caracterización realizada del sector manufacturero y no se analizaron en estos estudios (ver **Figura 3**).

Producción Agrícola Primaria

Germinación - Plantulación	- Manual - Mecanizado: mezcla de sustrato, sistema de riego	Sistema de Riego y Drenaje	- Gravedad/Inundación - Mecanizado: goteo, nebulización, aspersión, cañones, pivotante
Preparación del terreno	- Manual - Mecanizado: limpieza terreno, descepada, arado, rastra, surcada, caballoneador, arado/cinzel, nivelador	Cosecha	- Manual - Mecanizado: cosecha asistida, cosecha, recolección, cosecha por derribamiento
Fertilización	- Manual - Mecanizado: fertilizantes sólidos, fertilizantes líquidos	Transporte interno	Mecanizado: transporte de personal y de carga
Siembra	- Manual - Mecanizado: siembra con semilla, siembra con plántulas	Postcosecha	- Manual - Mecanizado: manejo de cosecha, limpieza/lavado, transporte, desinfección/esterilización, secado, almacenamiento/refrigeración
Mantenimiento	- Manual - Mecanizado: control mecánico, control químico	Proceso de Manufactura	
		Procesamiento/Beneficiamiento	Mecanizado: despulpado, separación, trillado, pulido, desfrutado, prensado, filtrado, secado, molienda, tamizado, cocción, congelación, picado, refrigeración

Fuente: Caracterización del consumo final de energía en los sectores agropecuario y agroindustrial, identificando los principales usos, equipos o tecnologías energéticos; como insumo para la formulación de las estrategias y medidas de eficiencia energética, 2023.

Figura 3. Alcance de subsectores analizados para el sector APAI.
Fuente: Elaboración propia

Considerando que los procesos productivos incluidos en el sector APAI consumen energía en función de la actividad y tecnología implementada para la obtención de alimentos, forraje, fibra y otras materias primas que anteceden el proceso de transformación y agregación de valor, existe un gran número de equipos y procesos mecanizados implementados en estos procesos productivos, aunque, varios de estos son los mismos o tienen características de operación similar en un cultivo u otro, independientemente del producto final que se obtiene. Por esta razón y con el fin de realizar una caracterización energética más eficiente y sistemática, se conformaron grupos homogéneos y se clasificaron los procesos productivos con características y comportamientos similares, consolidando conjuntos de procesos que presentan similitud en las actividades y procedimientos mecanizados relevantes para obtener un producto determinado.

Para la conformación de los grupos homogéneos se tomaron en cuenta criterios relacionados con los procesos que implican el uso de equipos y consumos energéticos para la obtención de un determinado producto final, el cual se considera como la materia prima de un **próximo proceso** de manufactura. Uno de los principales criterios para la conformación de grupos homogéneos fue la similitud de los procesos mecanizados entre diferentes cadenas productivas. Es decir, más allá de definir un grado de mecanización o un porcentaje de mecanización, los grupos homogéneos se conformaron por una combinación específica de los procesos mecanizados considerados para cada sector.

Para el caso del sector agrícola, se tuvo en cuenta el tipo de cultivo, es decir, si se trata de un cultivo transitorio⁶ o un cultivo permanente⁷, según la clasificación del DANE. Esto debido a que a pesar de que puedan existir similitudes en los procesos mecanizados entre dos cultivos de estos dos grupos, el consumo energético anual es muy diferente, debido a las diferentes temporalidades de estos dos tipos de cultivos. Se resalta que, existen casos particulares como el café o la palma de aceite, en donde se tuvieron en cuenta procesos adicionales como el despulpado y secado del café, la esterilización y prensado del fruto de palma

⁶ **Cultivo transitorio:** Cultivo cuyo ciclo de crecimiento es menor de un año y después de la cosecha debe volverse a sembrar.

⁷ **Cultivo permanente:** Cultivo que después de plantados llegan en un tiempo relativamente largo a la edad productiva, dan muchas cosechas y terminada su recolección no se los debe plantar de nuevo.

para obtener aceite crudo de palma, ya que estos procesos se suelen realizar dentro de la misma UPA. En el caso del sector de silvicultura y actividades forestales, aunque los procesos son similares al proceso agrícola, la periodicidad de los cultivos y el tipo de equipos varía considerablemente. Y para el sector pesquero se agruparon los sectores de pesca y acuicultura en una sola cadena productiva, sin embargo, se debe tener en cuenta el proceso de pesca marítima o de agua dulce, como lo considera el DANE, inicia en este caso con el proceso designado como pesca/cosecha.

En la **Tabla 1** se observan los grupos homogéneos conformados, así como el CIU asociado y el tipo de producto de cada grupo.

Tabla 1. Grupos homogéneos conformados para el sector APAI según la caracterización energética 2023.

Nº	CIU	Grupo Homogéneo	Cultivo	Producto
1	0149	Abejas	Apicultura	Miel cruda y polen
2	0321; 0322	Acuicultura	Cría de peces, crustáceos y bivalvos en agua de mar, incluida la cría de peces ornamentales marinos. Cría de peces, crustáceos y bivalvos en agua dulce, incluida la cría de peces ornamentales de agua dulce	Pescado fresco
3	0121	Aguacate	Aguacate	Aguacate seleccionado
4	0115	Algodón	Algodón	Algodón crudo
5	0112	Arroz mecanizado	Arroz seco mecanizado, Arroz riego mecanizado	Arroz paddy verde
6	0145 0149	Aves de corral	Pollos, gallinas, patos, pavos	Gallina en pie, pato en pie, pavo en pie
7	0127	Cacao	Cacao	Grano de cacao seco
8	0123	Café	Café	Grano de café seco (Café verde)
9	0124	Caña de azúcar	Caña panelera, caña de azúcar	Caña cortada y lista para proceso de transformación
10	0144	Cerdos	Ganado porcino	Cerdo en pie
11	0111	Cereales y granos	Trigo, cebada, sorgo, centeno, avena, quinoa, maní, girasol, ajonjolí, maíz amarillo, maíz blanco, soya	Grano con cascara y con impurezas de la cosecha, mazorca fresca, grano
12	0220	Corte de árboles	Extracción y transformación de madera en bruto, producción de troncos de madera para su utilización en bruto, producción de madera para industrias manufactureras que utilizan productos forestales	Madera cortada

Nº	CIIU	Grupo Homogéneo	Cultivo	Producto
13	0128 0210 0230 0240	Cultivo de árboles	Caucho, explotación de madera en pie	Caucho crudo, madera sin procesar
14	0125	Cultivo de flores	Rosas, claveles, crisantemo, hortensia, alstroemeria, solidago, hortensia, girasol, ave del paraíso, limonium, ruscus	Flores cortadas y seleccionadas
15	0115	Fique	Fique	Fibra de fique
16	0121	Frutas poca mecanización	Durazno, manzana, feijoa, ciruela, anón, guanábana, chirimoya, mamoncillo, tamarindo, frutos de palma, pera, tomate de árbol, marañón, mora, pitaya, mango, uva, arándano, limón, mandarina, naranja, guayaba, coco	Fruto seleccionado y limpio
17	0121	Frutas con mecanización	Granadilla, curuba, maracuyá, gulupa, piña, fresa, papaya, uchuva	Fruto seleccionado y limpio
18	0141 0142 0143 0150 0162 0170	Ganado	Ganado bovino, bufalino, cría de caballos, ovinocultura, caprinocultura	Ganado en pie, leche cruda, lana cruda
19	0113 0115 0128 0150 0163 0164	Hortalizas, raíces y tubérculos	Lechuga, espinaca, rúgula, acelga, espárrago, alcachofa, apio, repollo, coliflor, brócoli, berenjena, tomate, pimentón, pepino, zuquini, melón, sandía, cebolla bulbo, cebolla larga, ajo, puerro, remolacha, zanahoria, jengibre, papa, yuca, ñame, arracacha, perejil, cilantro, mostaza, aromáticas, especias, sábila, jengibre	Hortaliza fresca y limpia, tubérculo fresco y seleccionado
20	0145	Huevos	Producción de huevo	Huevo para consumo
21	0111	Legumbres	Arveja, fríjol, habichuela, habas, fríjol blanco	Grano, vaina fresca
22	0126	Palma de aceite	Palma de aceite	Fruto de palma
23	0311 0312	Pesca	Pesca marítima comercial, pesca comercial en aguas interiores	Pescado fresco
24	0122	Plátano y banano	Banano, plátano	Fruto seleccionado y limpio

N°	CIIU	Grupo Homogéneo	Cultivo	Producto
25	0114	Tabaco	Tabaco	Hoja de tabaco seca
26	0130	Viveros	Ornamentales, agrícolas	Plántulas y plantas en bolsa

Para el sector APAI se identificaron seis energéticos comunes en los cultivos y actividades pecuarias del país, los cuales son: diésel, gasolina, GLP, energía eléctrica, biomasa secundaria y gas natural. El uso de cada energético se asoció al tipo de tecnología al cual el agricultor tuviera acceso según sus medios económicos, el precio de los combustibles, la posición geográfica de los cultivos influyendo en la condición de estar o no conectados a la red eléctrica nacional.

Tabla 2. Consumo de energía según el tipo de energético para el sector APAI para el año 2023

Energético	Consumo energía [TJ/año]	% de participación
Diésel	27.126	66,87
Gasolina	12.243	30,18
GLP	912	2,25
Energía Eléctrica	282	0,69
Biomasa secundaria	0,46	0.00
Gas Natural	$3,22 \times 10^{-4}$	0,00
Total	40.564	100,00

En la **Tabla 2** se observa el consumo total de cada energético, identificando que el diésel (66,87%) y la gasolina (30,18%) son los principales combustibles utilizados. En el caso del GLP (2,25%) se evidencia una baja participación, esto se explica a que los equipos y tecnologías utilizadas en cada proceso productivo funcionan con motores de combustión que usan combustibles líquidos como el diésel y la gasolina. Teniendo en cuenta la clasificación de los tipos de uso finales de la energía del Balance Útil de Energía en Colombia de la UPME, para cada grupo homogéneo se identificaron los principales usos de la energía mayormente usados en sus procesos productivos.

Tabla 3. Consumo de energía según el tipo de uso final de la energía para el sector APAI para el año 2023

Uso final	Consumo energía [TJ/año]	% de participación
Fuerza motriz	39.564	97,54
Climatización	715	1,76
Calor directo	220	0,54
Iluminación	56,35	0,14
Refrigeración	6,86	0,02
Otros	1,49	0,004
Total	40.564	100,00

Como se ve en la **Tabla 3** los principales usos finales de la energía se concentran especialmente en fuerza motriz (97,54 %), climatización (1,76 %) y calor directo (0,54%). En el caso de la fuerza motriz (97,54%), los equipos asociados a este uso fueron: tractores, cosechadoras, bombas, guadañas, entre otros, en donde los energéticos descritos anteriormente, se requieren para alimentar un dispositivo o sistema mecánico y así generar movimiento y realizar un trabajo. En el caso de la climatización (1,76%) el uso fue asociado

principalmente a los grupos de cría de animales como los cerdos, acuicultura y aves de corral para el crecimiento de estos. Así mismo, el uso de equipos de refrigeración (0,02%) fue importante para los grupos homogéneos del sector pecuario especialmente, en los procesos de refrigeración de leche y en el sector de flores.

Considerando que los grupos homogéneos pertenecen a diferentes sectores productivos, se realizó una agrupación según los sectores productivos presentados a continuación:

- Producción primaria agrícola.
- Producción primaria pecuaria.
- Producción primaria de silvicultura y extracción de madera.
- Producción primaria de pesca y acuicultura.

En la **Tabla 4** se presentan los consumos de energía de los grupos homogéneos según la anterior agrupación, evidenciando que el sector primario agrícola integrado por cultivos, representa el consumo más alto de energía con 25.952,06 TJ/año (63,98%). Esto se explica por los procesos involucrados en estos grupos homogéneos, en donde se encuentra la preparación de suelos, fertilización y fumigación, sistemas de riego, mantenimiento y cosecha.

Tabla 4. Clasificación de los grupos homogéneos según el sector productivo y su consumo energético asociado para el año 2023

Grupo Homogéneo	Sector productivo	Consumo Energía (TJ/año)	% de participación
Aguacate, algodón, arroz mecanizado, cacao, café, caña de azúcar, cereales y granos, cultivo de flores, cultivo de hortalizas, raíces y tubérculos, fique, frutas con mecanización, frutas con poca mecanización, legumbres, palma de aceite, plátano y banano, tabaco y viveros	Producción primaria agrícola	25.952	63,98
Abejas, ganado, aves de corral, huevos, cerdos	Producción primaria pecuaria	13.769	33,94
Corte de árboles y cultivo de árboles	Producción primaria de silvicultura y extracción de madera	439	1,08
Acuicultura y pesca	Producción primaria de pesca y acuicultura	403	0,99

En segundo lugar, respecto a consumo de energía por sector, se presenta en el pecuario con un 33,94%, seguido por la producción de silvicultura y extracción de madera con un 1,08% y finalmente el sector de pesca y acuicultura con un 0,99%.

FASE 2: INVESTIGACIÓN

En la fase 2 de investigación (ver **Figura 4**), se realizó un análisis de equipos y maquinaria en el sector, de buenas prácticas operacionales (BPO) y técnicas de submedición para los grupos homogéneos base de la caracterización energética del sector APAI de 2023, a partir de información disponible en fuentes secundarias, censos, informes técnicos de federaciones y proveedores.

Entrevistas

Se actualizó la base de datos de federaciones y agremiaciones con el fin de recopilar información sobre las medidas de eficiencia energética que se implementan actualmente y que se podrían aplicar en el sector APAI, se realizaron entrevistas con diferentes actores para indagar sobre las tendencias de innovación, mecanismos de financiamiento, retos y barreras.

De manera paralela, se estableció contacto con entidades públicas de interés como el Ministerio de Agricultura, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Agrosavia y la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria-(UPRA), con el fin de entender sus líneas de acción, conocer sus trabajos actuales en el sector y encontrar puntos comunes de trabajo entorno a los avances de eficiencia energética en el sector APAI; así mismo se contactaron entidades financieras como Finagro y el Banco Agrario con el fin de conocer cómo funciona el financiamiento del sector APAI, identificar los principales retos y barreras que enfrentan los pequeños, medianos y grandes productores a la hora de acceder a créditos de financiación para sus procesos y conocer cuáles son las líneas de crédito financiables. Además, se estableció contacto con proveedores de tecnología en distintas aplicaciones para el sector APAI, con el fin de identificar el grado de madurez y la penetración, así como el nivel de innovación y las lecciones aprendidas basadas en su experiencia.

Estas entrevistas se desarrollaron en espacios virtuales con Federaciones, Gremios, Entidades Públicas, Entidades financieras y proveedores, previa invitación. Adicionalmente, se realizó la visita a la Feria Expo-Agrofuturo que se desarrolló en Corferias-Bogotá, entre el 23 y 25 de octubre de 2024, allí se reunieron proveedores del sector APAI con el fin de presentar sus portafolios y fomentar el crecimiento de sus negocios. En este sentido, se realizó una selección de proveedores enfocados en la venta de maquinaria agrícola, equipos de medición, entre otros.

Como resultado del proceso descrito en este apartado se realizaron 20 entrevistas y 1 visita como se detalla en la **Tabla 5**.

Tabla 5. Resumen de entidades entrevistadas. Corte 30-10-2024

Nº	Entidad	Dependencia	Tipo Entidad
1	Ministerio de Agricultura	Dirección de Financiamiento	Entidad Pública
2	Acosemillas	Gerencia	Federación
3	Fedecacao	Gerencia	Federación
4	Fedearroz	Dirección Investigaciones Económicas	Federación
5	Finagro	Dirección de Sostenibilidad	Entidad Financiera
6	Ministerio de Agricultura	Despacho Asuntos Agropecuarios	Entidad Pública
7	Asoleche	Gerencia	Federación
8	Grupo SYS	Gerencia	Proveedor
9	Sistema Bio	Gerencia	Proveedor
10	Emergente	Gerencia	Proveedor
11	Banco Agrario	Jefatura Técnica Agropecuaria	Entidad Financiera
12	Ignacio Gómez IHM	Dependencia Técnica	Proveedor
13	Casa Toro	Gerencia de Maquinaria	Proveedor

14	Ministerio de Agricultura	Cadena Pecuaria, Pesquera y Acuicola	Entidad Pública
15	Agrosavia	Dirección de Innovación	Entidad Pública
16	Ministerio de Agricultura	Cadena Láctea	Entidad Pública
17	Ministerio de Agricultura	Cadena Apícola	Entidad Pública
18	UPRA	Planificación	Entidad Pública
19	Usosaldaña	Gerencia	Federación
20	UPRA	Mesa Estadística Agropecuaria	Entidad Pública
21	Expo Agrofuturo	Feria	Proveedor

Se identificaron proveedores que cuentan con maquinaria agrícola más eficiente, implementación de sistemas inteligentes de control, software de predicción nutricional, climáticos y de consumo eficiente de agua que pueden contribuir al ahorro energético y aumento de la productividad del sector APAI, ejemplo de ellos son:

- a)** Uso de maquinaria con motores turbocargados que disminuyen el consumo de combustible y aumentan la productividad del proceso.
- b)** Uso de motores eléctricos en aplicaciones estacionarias que pueden ser alimentados con fuentes de energía renovable como los sistemas fotovoltaicos.
- c)** Uso de drones guiados para las actividades de aspersiones agrícolas (fumigación y fertilización), reduciendo tiempo de operación, promoviendo una agricultura de precisión. Sin embargo, existen retos en temas de la durabilidad de la carga de la batería de los drones, costos y manejo de las tecnologías.
- d)** Amplia promoción del uso de biodigestores en el sector porcícola y avícola para pequeños y medianos productores. Estas tecnologías ofrecen al productor una alternativa viable para un manejo ambientalmente responsable de sus residuos, usando el biogás como combustible para sus actividades domésticas, calentamiento de agua, calentamiento de cría de animales usando campanas para calentamiento, quemadores, estufas, abonos orgánicos (biol), entre otros.
- e)** Instalación de sistemas fotovoltaicos para el uso de energía eléctrica en aplicaciones de iluminación, bombas o cualquier otra actividad que requiera de energía eléctrica.
- f)** Uso de software para análisis de datos y predicción como K-Climate: que cuantifica los efectos del cambio climático en los ríos de Colombia, utilizando modelos climáticos globales e información instrumental; o K-Meteo: software para refinar modelos meteorológicos de pronóstico de radiación solar en regiones tropicales.
- g)** Se evidenció la necesidad de tener mejores prácticas operacionales con los equipos que permitan reducir el consumo de combustible, reducir las emisiones de estos y prolongar la vida útil de los mismos.
- h)** Entidades como Agrosavia y los centros de innovación e investigación para algunos sectores (ejemplo: Cenipalma, Ceniflores, Cenicafe, Fondo Nacional del Arroz) trabajan en diversos proyectos que buscan fortalecer la investigación técnica de los sectores, algunos temas de interés se centran en: buen manejo agronómico de los cultivos, fitomejoramiento, aumento de eficiencia térmica, fomento de medidas pasivas para el aprovechamiento de la energía, entre otros.

Un factor común en todos los entrevistados, referenció la necesidad de agregar procesos de educación financiera y uso de tecnologías eficientes en los procesos productivos para los productores, especialmente los pequeños y medianos productores, ya que el desconocimiento en los beneficios obtenidos vs costo de implementación inhibe la solicitud de nuevos créditos. Para trabajar en este objetivo existen alternativas como:

- a)** Banca de las Oportunidades es quien lidera la comisión intersectorial de educación económica y financiera.
- b)** Servicios de capacitación de los proveedores al cliente para el uso adecuado de los equipos, herramientas o tecnologías adaptadas a las necesidades del productor.
- c)** FINAGRO EDUCA: Dirigida al productor. Cuenta con cerca de 120.000 personas.
- d)** CREAGRO: para entidades financieras

Información de entidades financieras:

Existen múltiples estrategias, mecanismos o líneas de financiación que promuevan la inversión en maquinaria o tecnologías. Esto por medio de:

- a) Crédito verde.
- b) Programa: misión de ganadería sostenible para la reforma agraria.
- c) Plan indicativo de crédito agropecuario y rural (tasas de subsidio o préstamos) y tasa de línea de descuento – Resolución 011-2023
 - I. Crédito de fomento agropecuario.
 - II. Subsidio a tasa.

Sobre las líneas de financiamiento, de acuerdo con la información compartida por la Dirección de Financiamiento y Riesgo Agropecuarios del Ministerio de Agricultura, se resalta lo siguiente (Ministerio de Agricultura, 2024):

- **Crédito de fomento agropecuario y rural:** es otorgado a favor de personas naturales o jurídicas para utilizarse en distintas fases del proceso de producción o comercialización de la explotación de las actividades agropecuarias, piscícolas, avícolas, forestales, acuicultura, zoocría y pesquera. Busca fomentar la producción en sus diferentes fases, capitalizar el sector agropecuario, incrementar el empleo, promover la transferencia tecnológica.
- **Actividades financiadas del crédito de fomento Agropecuario y Rural:** a continuación, se listan las principales actividades financiadas relacionadas con eficiencia energética:
 - La siembra, sostenimiento y cosecha de productos agrícolas. En especial las que se hagan bajo esquemas de agroecología, agricultura regenerativa u otras técnicas que promuevan la adaptación al cambio climático y el respeto a los ecosistemas.
 - La producción agropecuaria y su sostenimiento. En especial las que fomenten la reconversión productiva para el desarrollo sostenible y la adaptación al cambio climático.
 - Adquisición, reparación, construcción o mantenimiento de infraestructura, o de maquinaria y equipo para el desarrollo de la producción primaria o transformación agroindustrial de las actividades agropecuarias y el establecimiento de cadenas de frío.
 - Adecuación de tierras e infraestructura de riego, drenaje y/o control de inundaciones.
 - Investigación en aspectos relacionados con actividades agropecuarias y aquellas relacionadas con insumos agropecuarios.
 - Estudios de factibilidad de proyectos agroindustriales.
 - La asistencia técnica y la adquisición de tecnologías para el desarrollo de las actividades agropecuarias, especialmente las relacionadas con tecnología de precisión, que incluyan las de adaptación y mitigación a los efectos del cambio climático.
 - Arreglos para la generación de energías alternativas en beneficio de proyectos productivos agropecuarios.



Figura 4. Fase 2 de la metodología desarrollada - Investigación.
Fuente: Elaboración propia.

A partir de esto, se aplicó la primera parte de la metodología PAI-PROURE, en la cual se identifican las medidas de eficiencia energética; teniendo como referencia la información resultado de la caracterización, en primer lugar, se proyectó la línea base de consumo del sector APAI, para cada uno de los grupos homogéneos, por uso final de la energía y por energético, para el período 2024-2034.

Línea base proyectada

Con el fin de establecer la línea base de consumo energético para el sector APAI, se realizó un análisis desde dos escenarios: el primero basado en los datos de producción de cada grupo homogéneo en el tiempo y el segundo basado en la tasa de crecimiento PIB del sector APAI. En el escenario de los datos de producción se tomaron los datos históricos de producción reportados en Agronet para los 26 grupos homogéneos, excepto: pesca, corte de árboles y viveros, ya que los datos de producción de estos grupos no estaban reportados en esta base de datos.

En la mayoría de los grupos homogéneos, los datos de producción estaban publicados desde el año 2010 hasta el año 2022. Después de analizar las tendencias y evidenciar que no todos los casos tenían comportamientos lineales y se presentaban múltiples tendencias polinómicas, se decidió hacer un ajuste estadístico para todos los datos con el fin de tener uniformidad en la información. Es importante hacer las siguientes aclaraciones:

- La información de los grupos de animales se tomó del sector pecuario. Para el grupo de ganado, se analizó la producción de carne y leche de manera separada.
- Para el caso de Cereales y granos se tomaron los datos de los cultivos: soya y sorgo. No se consideraron los datos de maíz ya que los reportes para este grupo solo se encontraban para los años 2021 y 2022.
- En el grupo de hortalizas se consideraron las producciones de: Tubérculos, hortalizas de fruto, cebolla.
- En el grupo de legumbres se tomaron en cuenta las producciones de Arveja, fríjol.
- En el grupo de frutos con mecanización se tomaron los datos de producción de: Piña, pasifloras, fresa y sandía. En el grupo de frutos con poca mecanización se tomaron las producciones de: cítricos (limón, mandarina y naranja), mango y mora.
- En el caso de los grupos: pesca, corte de árboles y viveros, se tomaron como base los datos de producción reportados para la Caracterización Energética del sector APAI 2023 como punto inicial del análisis.

Finalmente, para realizar dicha proyección se utilizó la tasa de crecimiento de producción. Con excepción de los grupos homogéneos Cerdos (CIIU 0144), Ganado (CIIU 0141, 0142, 0143, 0150, 0162, 0170), Flores (CIIU 0125), Pesca (CIIU 0311, 0312), Café (CIIU 0123), Tabaco (CIIU 0114), Viveros (CIIU 0130), Corte de árboles (CIIU 0220) y Fique (CIIU 0115), para los cuales, se realizó la proyección de la línea base según datos históricos de la tasa de crecimiento del PIB para cada uno; debido a que se presentaban comportamientos atípicos en los datos históricos de producción.

Una vez aplicado el modelo se obtuvieron los datos de tendencia de crecimiento de la producción según la **Tabla 6**.

Tabla 6. Datos de tendencia de crecimiento para cada grupo homogéneo según los datos de producción y PIB para el período 2024-2034

N°	Grupo	Línea base **	Tasa de crecimiento (%)	Origen de datos para pronóstico
1a	Ganado (Carne)	7.581	2,41	PIB
1b	Ganado (Leche)	5.054	2,41	PIB
2	Arroz mecanizado	7.530	4,07	Producción
3	Café	3.411	2,02	PIB
4	Caña de azúcar	2.793	2,47	Producción
5	Palma de aceite	2.733	3,99	Producción
6	Cereales y granos	2.493	3,87	Producción
7	Hortalizas, raíces y tubérculos	2.270	1,58	Producción
8	Plátano y banano	2.067	2,32	Producción
9	Aves de corral	1.003	3,03	Producción
10	Frutas con mecanización	934	3,81	Producción
11	Frutas con poca mecanización	536	9,49	Producción
12	Legumbres	455	1,99	Producción
13	Cultivo de árboles	403	5,13	Producción
14	Cacao	374	5,99	Producción
15	Pesca	302	2,81	PIB
16	Aguacate	216	7,91	Producción
17	Huevos	105	2,99	Producción
18	Acuicultura	101	8,02	Producción
19	Flor de corte	73,66	2,84	PIB
20	Fique	51,75	2,15	PIB
21	Corte de árboles	35,85	0,96	PIB
22	Cerdos	26,66	2,41	PIB
23	Algodón	8,68	14,52	Producción
24	Tabaco	4,12	2,15	PIB
25	Viveros	0,86	2,84	PIB
26	Abejas	0,12	3,20	Producción
TOTAL		40.564		

**** Tomada de la Caracterización Energética 2023.**

A partir de estos, se generó la proyección de la línea base de los consumos energéticos para todos los grupos homogéneos para el período 2024-2034.

Medidas pre-priorizadas

Del comportamiento de los consumos, el diagnóstico de las tecnologías usadas y las nuevas tendencias aplicables al caso colombiano se identificaron 25 medidas con potencial de implementación, teniendo en cuenta el potencial teórico de ahorro⁸. Posteriormente, para cada una de estas medidas y teniendo en cuenta características específicas de cada grupo homogéneo, se propuso el potencial técnico de ahorro alcanzable⁹ y el porcentaje de penetración¹⁰, obteniendo de estos los ahorros en términos del energético (TJ/año) y de emisiones evitadas (ton CO_{2eq}/PJ) y con ello el comportamiento de consumo esperado de la aplicación de la medida para el período de análisis (10 años).

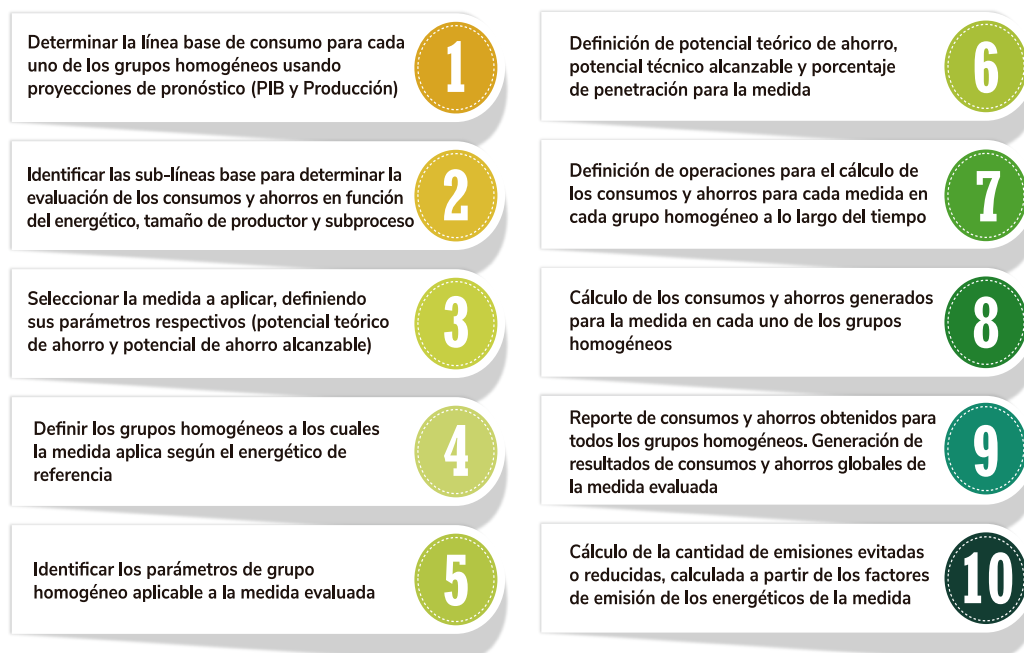


Figura 5. Metodología implementada para estimación de consumos y ahorros de medidas pre-priorizadas

Tomando como guía la metodología del Plan de Acción del PAI PROURE 2022-2030 el cual propone acciones de eficiencia energética para todos los sectores asociadas a cambio tecnológico, adopción de buenas prácticas, sustitución de combustibles y digitalización, se realizó un análisis de las medidas que pueden ser implementadas en el sector APAI. A continuación, se definen estas categorías según (UPME, 2022):

- **Reconversión tecnológica:** tiene en cuenta la incorporación de equipos y maquinaria que tiene mejores eficiencias en el uso de la energía en comparación con las tecnologías actualmente en operación. En esta categoría se contemplan medidas desde la compra de equipos complementarios para la optimización del uso de energía, hasta la sustitución de aquellos que usan la energía.
- **Sustitución de combustible:** involucra las acciones en las que hay un cambio de combustible para aumentar la energía útil de proceso y reducir emisiones de gases de efecto invernadero.
- **Buenas prácticas:** esta categoría hace referencia a las acciones asociadas a la forma en cómo se usan, operan y mantienen los equipos de uso final, que se han identificado como efectivas y eficaces para reducir el consumo de energía, validado por la experiencia conjunta de muchos usuarios y expertos especializados.
- **Digitalización:** se refiere al uso de métodos y dispositivos digitales para aumentar y optimizar el consumo de energía. Para el sector APAI esta categoría está en auge y podría combinarse con reconversión tecnológica.

En aplicación de la primera parte de la metodología PAI-PROURE, se obtuvieron ahorros y emisiones evitadas para cada una de las medidas, lo que permitió identificar las medidas de mayor potencial de ahorro (o mayor gap de eficiencia), así como estimar la línea meta por grupo homogéneo y la total del sector. Este resultado es el principal insumo en la aplicación de la segunda parte de la metodología PAI-PROURE.

⁸ Potencial teórico de ahorro: corresponde a la diferencia de eficiencia entre la tecnología actual y la tecnología propuesta por la medida.

⁹ Potencial técnico de ahorro alcanzable: corresponde al potencial propuesto por el equipo consultor según la validación con expertos, considerando los retos que conlleva la implementación de la medida. Siempre debe ser menor o igual al potencial de ahorro.

¹⁰ Porcentaje de penetración: se define como el grado de avance de la medida en el tiempo. Considera la madurez tecnológica de las tecnologías adoptadas, características de los grupos homogéneos, etc.

En la **Tabla 7** se presenta la clasificación de las medidas pre-priorizadas según el tipo de medida definida en el PAI-PROURE.

Tabla 7. Clasificación de medidas pre-priorizadas según tipo de medida PAI-PROURE

Uso final	Tipo de medida				
	Reconversión tecnológica	Sustitución combustible	Buenas prácticas	Digitalización	Total
Fuerza motriz	2	8	3	--	13
Climatización	--	1	--	2	3
Calor directo	2	1	--	--	3
Refrigeración	6	--	--	--	6
Total	10	10	3	2	25

Las medidas pre-priorizadas se presentan en la **Tabla 8**, **Tabla 9**, **Tabla 10** y **Tabla 11**. Adicionalmente en la **Tabla 12** se presentan los ahorros y emisiones evitadas para todas las medidas después de aplicar la metodología descrita anteriormente.

Tabla 8. Medidas pre-priorizadas de reconversión tecnológica para el sector APAI.

Codificación Medida	Uso final	Medida	Energético Base	Energético propuesto	Potencial de ahorro teórico (%)	Potencial de ahorro alcanzable (%)	Año Inicio aplicación medida	Año Finalización aplicación medida	Tamaño al que aplica
M1-DSL-FM-RT	Fuerza motriz	Adaptación de turbocargadores a motores diésel menores de 50 HP en la maquinaria agrícola.	Diésel	Diésel	10%	10%	2025	2030	Pequeños y medianos
M6-GSL-FM-RT	Fuerza motriz	Sustitución de fumigadoras a gasolina por el uso de drones en actividades de fumigación y fertilización en el sector APAI	Gasolina	Energía Eléctrica	75%	50%	2025	2034	Pequeño, medianos, grandes
M12-GLP-CD-RT	Calor directo	Aprovechamiento de la energía solar obtenida a partir de calentadores solares para aplicaciones en el sector APAI.	GLP	Energía Eléctrica	80%	50%	2026	2032	Pequeño, medianos, grandes
M12-ELE-CD-RT	Calor directo	Aprovechamiento de la energía solar obtenida a partir de calentadores solares para aplicaciones en el sector APAI.	Energía Eléctrica	Energía Eléctrica	80%	50%	2026	2032	Pequeño, medianos, grandes
M13-ELE-RF-RT	Refrigeración	Reemplazo de neveras y neverones con etiqueta C por neveras y neverones eficientes con etiqueta A, usadas en el sector APAI.	Energía Eléctrica	Energía Eléctrica	37%	14%	2025	2034	Pequeño, medianos, grandes
M14-ELE-RF-RT	Refrigeración	Ajustar y adaptar el control de válvula de expansión para control del superheat y buenas prácticas en unidades condensadoras de cuartos fríos usados en el sector APAI	Energía Eléctrica	Energía Eléctrica	5%	2%	2025	2034	Pequeños, medianos

M15-ELE-RF-RT	Refrigeración	Implementación de sistemas con válvula de expansión electrónica y control de sistemas, en unidades condensadoras de cuartos fríos usados en el sector APAI.	Energía Eléctrica	Energía Eléctrica	10%	4%	2025	2034	Pequeño, medianos, grandes
M16-ELE-RF-RT	Refrigeración	Implementación de unidades condensadoras en cuartos fríos del sector APAI, adaptadas con variador en el compresor.	Energía Eléctrica	Energía Eléctrica	20%	6%	2025	2034	Pequeño, medianos, grandes
M17-ELE-RF-RT	Refrigeración	Implementación de unidades condensadoras en cuartos fríos del sector APAI, con compresor con variador, y válvula de expansión electrónica con control de sistemas.	Energía Eléctrica	Energía Eléctrica	25%	8%	2025	2034	Pequeño, medianos, grandes
M18-ELE-RF-RT	Refrigeración	Implementación de sistemas de refrigeración con bajo GWP (<100GWP) Propano, en unidades condensadoras de cuartos fríos usados en el sector APAI.	Energía Eléctrica	Energía Eléctrica	15%	1%	2025	2034	Pequeño, medianos, grandes

Tabla 9. Medidas pre-priorizadas de sustitución de combustible para el sector APAI.

Codificación Medida	Uso final	Medida	Energético Base	Energético propuesto	Potencial de ahorro teórico (%)	Potencial de ahorro alcanzable (%)	Año Inicio aplicación medida	Año Finalización aplicación medida	Tamaño al que aplica
M2-GSL-FM-SC	Fuerza motriz	Adaptación de motores gasolina a motores con GLP en maquinaria agrícola del sector APAI	Gasolina	GLP	20%	10%	2025	2034	Pequeños, medianos y grandes
M3-GSL-FM-SC	Fuerza motriz	Sustitución de combustible en motores a gasolina por bioetanol en maquinaria agrícola	Gasolina	Bioetanol	15%	10%	2027	2034	Medianos y grandes
M4-DSL-FM-SC	Fuerza motriz	Reemplazo de motores diésel y gasolina por motores eléctricos en aplicaciones estacionarias en el sector APAI.	Diésel	Energía Eléctrica	54%	25%	2025	2030	Pequeños, medianos y grandes
M4-GSL-FM-SC	Fuerza motriz	Reemplazo de motores diésel y gasolina por motores eléctricos en aplicaciones estacionarias en el sector APAI.	Gasolina	Energía Eléctrica	63%	30%	2025	2030	Pequeños, medianos y grandes
M5-DSL-FM-SC	Fuerza motriz	Suministro de energía eléctrica para procesos del sector APAI, a partir de energía solar	Diésel	Energía Eléctrica	40%	20%	2026	2034	Pequeño, medianos, grandes
M5-GSL-FM-SC	Fuerza motriz	Suministro de energía eléctrica para procesos del sector APAI, a partir de energía solar	Gasolina	Energía Eléctrica	32%	20%	2026	2034	Pequeño, medianos, grandes

M5-ELE-FM-SC	Fuerza motriz	Suministro de energía eléctrica para procesos del sector APAI, a partir de energía solar	Energía Eléctrica	Energía Eléctrica	100%	60%	2026	2034	Pequeño, medianos, grandes
M8-DSL-FM-SC	Fuerza motriz	Sustitución de combustible en motores diésel por biodiésel-B20 en maquinaria agrícola	Diésel	Biodiesel	0%	0%	2025	2032	Pequeño, medianos, grandes
M10-GLP-CL-SC	Climatización	Sustitución de combustible GLP usado en procesos de calefacción de animales en el sector APAI por biogás.	GLP	Biogás	0%	8%	2025	2034	Pequeño, medianos, grandes
M11-GLP-CD-SC	Calor directo	Sustitución de combustible GLP usado en procesos de calefacción en el sector APAI por biogás.	GLP	Biogás	0%	8%	2025	2034	Pequeño, medianos, grandes

Tabla 10. Medidas pre-priorizadas de buenas prácticas para el sector APAI.

Codificación Medida	Uso final	Medida	Energético Base	Energético propuesto	Potencial de ahorro teórico (%)	Potencial de ahorro alcanzable (%)	Año Inicio aplicación medida	Año Finalización aplicación medida	Tamaño al que aplica
M7-DSL-FM-BP	Fuerza motriz	Implementación de acciones de mantenimiento de los motores en la maquinaria agrícola del sector APAI	Diésel	Diésel	10%	8%	2025	2034	Pequeño, medianos, grandes
M7-GSL-FM-BP	Fuerza motriz	Implementación de acciones de mantenimiento de los motores en la maquinaria agrícola del sector APAI	Gasolina	Gasolina	10%	8%	2025	2034	Pequeño, medianos, grandes
M7-ELE-FM-BP	Fuerza motriz	Implementación de acciones de mantenimiento de los motores en la maquinaria agrícola del sector APAI	Energía Eléctrica	Energía Eléctrica	10%	8%	2025	2034	Pequeño, medianos, grandes

Tabla 11. Medidas pre-priorizadas de digitalización para el sector APAI

Codificación Medida	Uso final	Medida	Energético Base	Energético propuesto	Potencial de ahorro teórico (%)	Potencial de ahorro alcanzable (%)	Año Inicio aplicación medida	Año Finalización aplicación medida	Tamaño al que aplica
M9-GLP-CL-DG	Climatización	Implementación de sistemas de control inteligente para aplicaciones de climatización en el sector APAI	GLP	GLP	10%	8%	2025	2030	Medianos y grandes
M9-ELE-CL-DG	Climatización	Implementación de sistemas de control inteligente para aplicaciones de climatización en el sector APAI	Energía Eléctrica	Energía Eléctrica	10%	8%	2025	2030	Medianos y grandes

Tabla 12. Resumen de ahorros y emisiones evitadas para cada medida en un período de 10 años

Medida	Uso final	Ahorro acumulado por medida en 10 años (TJ)	Emisiones ahorradas (t CO ₂ /10 años)
M4-DSL-FM-RT	Fuerza Motriz	19.364	1.436.706
M7-DSL-FM-BP	Fuerza Motriz	14.929	1.107.601
M5-DSL-FM-RT	Fuerza Motriz	12.515	928.562
M1-DSL-FM-RT	Fuerza Motriz	11.103	823.752
M5-GSL-FM-RT	Fuerza Motriz	6.582	456.288
M7-GSL-FM-BP	Fuerza Motriz	6.527	452.462
M6-GSL-FM-RT	Fuerza Motriz	5.794	401.690
M2-GSL-FM-SC	Fuerza Motriz	5.538	383.941
M4-GSL-FM-RT	Fuerza Motriz	4.896	339.416
M3-GSL-FM-SC	Fuerza Motriz	2.808	194.693
M12-GLP-CD-RT	Calor Directo	267	17.947
M5-ELE-FM-RT	Fuerza Motriz	208	6.476
M7-ELE-FM-BP	Fuerza Motriz	85	2.631
M9-GLP-CL-DG	Climatización	77,29	5.193
M12-ELE-CD-RT	Calor Directo	28,05	873
M9-ELE-CL-DG	Climatización	5,58E-01	1,73E+01
M17-ELE-RF-MD	Refrigeración	1,05E-02	3,27E-01
M16-ELE-RF-MD	Refrigeración	8,42E-03	2,62E-01
M15-ELE-RF-MD	Refrigeración	5,16E-03	1,60E-01
M14-ELE-RF-OP	Refrigeración	3,26E-03	1,01E-01
M18-ELE-RF-AC	Refrigeración	1,83E-03	5,70E-02
M13-ELE-RF-AC	Refrigeración	2,49E-04	7,73E-03
M8-DSL-FM-SC	Fuerza Motriz	0,00E+00	1.547.662
M10-GLP-CL-SC	Climatización	0,00E+00	-94.772
M11-GLP-CD-SC	Calor Directo	0,00E+00	-14.615

Cabe resaltar que las 25 medidas pre-priorizadas no pueden aplicarse de forma simultánea en todo el sector APAI, ya que algunas implican un reemplazo de tecnología y/o tipo de combustible lo cual hace que sean excluyentes en su aplicación. Considerando los consumos de energía y los ahorros de energía acumulados para los 10 años de análisis (período 2025-2034), se estimó el porcentaje (%) de ahorro de energía en el período de tiempo evaluado para cada uso final de la energía.

Para seleccionar las medidas se realizó el ordenamiento de las medidas calculadas, en términos del ahorro de la medida, organizando de mayor a menor ahorro generado por las 25 medidas. La **Tabla 12** presenta las medidas organizadas por ahorro en los 10 años evaluados (2024-2034). Las medidas que más ahorran por cada uso final se presentan en la **Tabla 13**:

Tabla 13. Medidas pre-priorizadas que presentan mayor ahorro por energético y uso final

Nomenclatura medida	Nombre de la medida	Ahorro acumulado en 10 años (TJ)	Uso final
M4-DSL-FM-SC	Reemplazo de motores diésel y gasolina por motores eléctricos en aplicaciones estacionarias en el sector APAI. Escenario: diésel.	19.364	Fuerza Motriz
M5-GSL-FM-SC	Suministro de energía eléctrica para procesos del sector APAI, a partir de energía solar. Escenario: gasolina	6.582	Fuerza Motriz

Nomenclatura medida	Nombre de la medida	Ahorro acumulado en 10 años (TJ)	Uso final
M5-ELE-FM-SC	Suministro de energía eléctrica para procesos del sector APAI, a partir de energía solar. Escenario: energía eléctrica	208	Fuerza Motriz
M12-GLP-CD-RT	Aprovechamiento de la energía solar obtenida a partir de calentadores solares para aplicaciones en el sector APAI.	267	Calor Directo
M9-GLP-CL-DG	Implementación de sistemas de control inteligente para aplicaciones de climatización en el sector APAI. Escenario: GLP	77,29	Climatización
M17-ELE-RF-RT	Implementación de unidades condensadoras en cuartos fríos del sector APAI, con compresor con variador, y válvula de expansión electrónica con control de sistemas.	0,01	Refrigeración

A partir de la categorización anterior y tomando como base la clasificación de las medidas por grupos homogéneos y por cada uso final de energía, se realiza la verificación de si las medidas organizadas por ahorro se solapan en dos o más grupos homogéneos. Para ello, se identifican los grupos homogéneos a los cuales afecta cada medida de manera individual. Si las medidas listadas anteriormente se solapan en grupos homogéneos, se toma como base la medida con mayor ahorro.

En el caso de las medidas de fuerza motriz, las tres medidas listadas anteriormente se solapan en la aplicación de grupos homogéneos, por lo cual sólo es posible aplicar la medida M4-DSL-FM-SC (Reemplazo de motores diésel y gasolina por motores eléctricos en aplicaciones estacionarias en el sector APAI) sin que se solapen grupos homogéneos en otras medidas. Se escoge esta medida sobre la M5-GSL-FM-SC y M5-ELE-FM-SC ya que presentan el mayor ahorro.

Para el caso de calor directo sólo es posible aplicar la medida M12-GLP-CD-RT (Aprovechamiento de la energía solar obtenida a partir de calentadores solares para aplicaciones en el sector APAI), sin que se solapen grupos homogéneos en otras medidas del mismo uso. En el uso final de climatización es posible aplicar las medidas M9-GLP-CL-DG (Implementación de sistemas de control inteligente para aplicaciones de climatización en el sector APAI) y M9-ELE-CL-DG (Implementación de sistemas de control inteligente para aplicaciones de climatización en el sector APAI), sin que se solapen grupos homogéneos en otras medidas del mismo uso.

De igual forma para el uso de refrigeración sólo es posible aplicar las medidas M17-ELE-RF-RT (Implementación de unidades condensadoras en cuartos fríos del sector APAI, con compresor con variador, y válvula de expansión electrónica con control de sistemas) y M13-ELE-RF-RT (Reemplazo de neveras y nevecones con etiqueta C por neveras y nevecones eficientes con etiqueta A, usadas en el sector APAI), sin que se solapen grupos homogéneos en otras medidas del mismo uso.

En la **Tabla 14** se presenta la selección y la consolidación de la línea meta con base en las 6 medidas seleccionadas, se reporta el porcentaje de aplicación de las medidas por uso final y porcentaje de ahorro respecto al consumo de energía acumulado en 10 años para cada uso final de la energía.

Considerando los consumos de energía y los ahorros de energía evitados acumulados para los 10 años de análisis, se estimó el porcentaje (%) de ahorro de energía en el período de tiempo si se aplicaran 14 medidas en forma simultánea como se ve en la **Tabla 14**.

Tabla 14. Resumen de ahorros para las medidas propuestas en un período de 10 años

Uso final	Consumo Energía 2023 (TJ)	% participación 2023*	Consumo energía acumulado en 10 años (TJ) Período (2025-2034)	Ahorro acumulado por medida en 10 años (TJ) Período (2025-2034)	% ahorro si se aplican las mejores medidas en ahorros** Línea meta	N° de grupos homogéneos al que aplica
Fuerza motriz	39.564	97,54	485.579	19.364	3,99	15
Calor directo	220	0,54	2.688	267	9,92	3
Climatización	715	1,76	8.762	77,85	0,89	3
Refrigeración	7	0,02	99,57	0,01	0,01	2

*El % faltante corresponde a los otros usos de la energía que no se consideraron en este estudio.

** Se consideran las mejores medidas en ahorros energéticos por uso final de la energía.

Se evidencia que para las aplicaciones de fuerza motriz se podría alcanzar un 3,99% de ahorro de energía si se aplica la medida M4-DSL-FM-SC, mientras que para las aplicaciones de calor directo se podría alcanzar un 9,92 % de ahorro si aplica la medida M12-GLP-CD-RT. Estas diferencias se atribuyen al número de grupos homogéneos que se consideran en cada uso final de energía, mientras en fuerza motriz se evaluaron entre 10 a 20 grupos homogéneos por medida, para calor directo solo se tuvieron en cuenta 2 grupos homogéneos. De igual forma los ahorros para climatización alcanzarían el 0,89% aplicando las medidas M9-GLP-CL-DG y M9-ELE-CL-DG y para el caso de refrigeración se alcanzaría un 0,01% aplicando las medidas M17-ELE-RF-RT y M13-ELE-RF-RT.

En la **Figura 6**, **Figura 7**, **Figura 8** y **Figura 9** se presenta la comparación de los ahorros alcanzados para cada medida según el tipo de energético.

Figura 6. Comparación de ahorros obtenidos para las medidas basadas en diésel

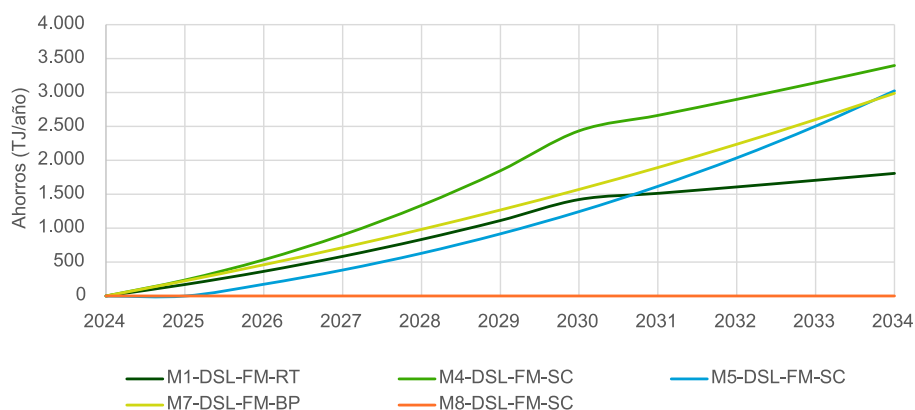


Figura 7. Comparación de ahorros obtenidos para las medidas basadas en gasolina

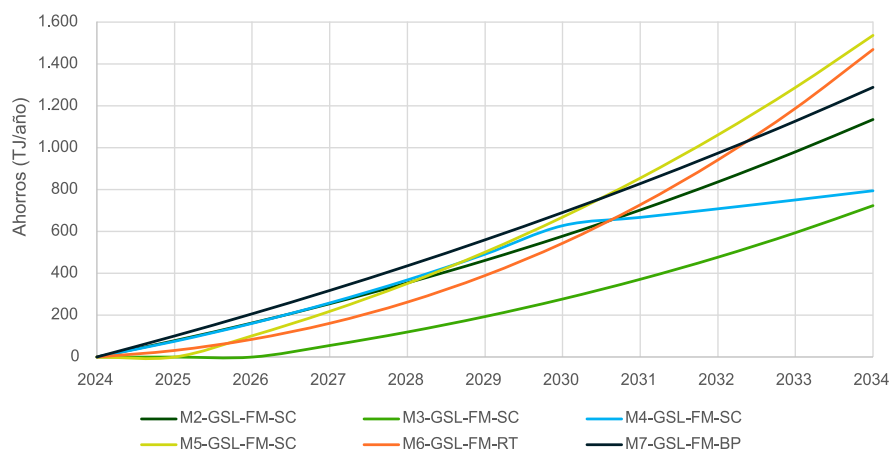


Figura 8. Comparación de ahorros obtenidos para las medidas basadas en energía eléctrica

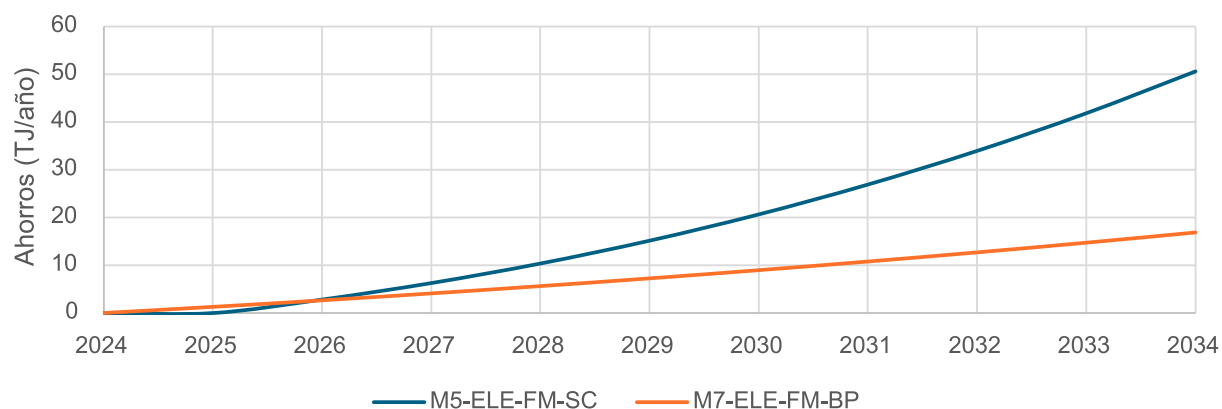
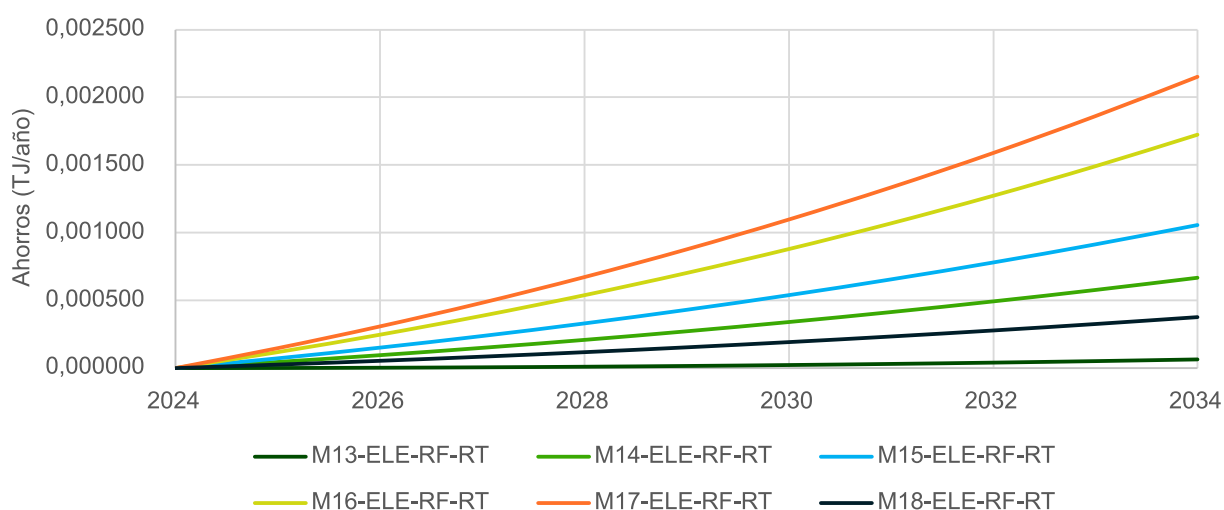


Figura 9. Comparación de ahorros obtenidos para las medidas basadas en energía eléctrica (refrigeración)



En la **Tabla 15** se presentan las tres medidas que presentaron el mayor ahorro de energía según el tipo de energético.

Tabla 15. Medidas con más ahorros obtenidos por energético

Tipo de energético	Medida	Uso final	Tipo de medida	Consumo energía acumulado en 10 años (TJ)	Ahorro acumulado por medida en 10 años (TJ)	% Ahorro
Diésel	M4-DSL-FM-RT	Fuerza motriz	Reconversión Tecnológica	99.035	19.364	19,55
Gasolina	M5-GSL-FM-RT	Fuerza motriz	Reconversión Tecnológica	62.731	6.582	10,49
Energía Eléctrica	M5-ELE-FM-RT	Fuerza motriz	Reconversión Tecnológica	633	208	32,86

FASE 3: PROPUESTA

Finalmente, en la fase 3 (ver **Figura 10**) se desarrolló la segunda parte de la metodología PAI-PROURE, en la cual se realizó el análisis beneficio costo para cada una de las medidas propuestas. Con este fin, se identificaron los costos, se valoraron los beneficios y se realizó la evaluación beneficio costo en tres niveles: usuario, sistema energético y sociedad; usando una herramienta de cálculo de elaboración propia, con base en la metodología del National Efficiency Screening Project, utilizada en la formulación de planes y programas previamente adelantados por la UPME y cuya principal finalidad es evidenciar sobre qué tipo de actor recaen los costos y beneficios y qué limita desde el punto de vista económico, la aplicación de la medidas analizadas.

Con base en los resultados obtenidos se realiza una priorización de las medidas a implementar, teniendo como criterios: mayor potencial de ahorro energético y ambiental en término de emisiones evitadas, medidas costo beneficiosas desde el punto de vista de la sociedad. Dicha información será el insumo para definir acciones e instrumentos de política pública que promuevan la implementación de las medidas que beneficien a la sociedad.

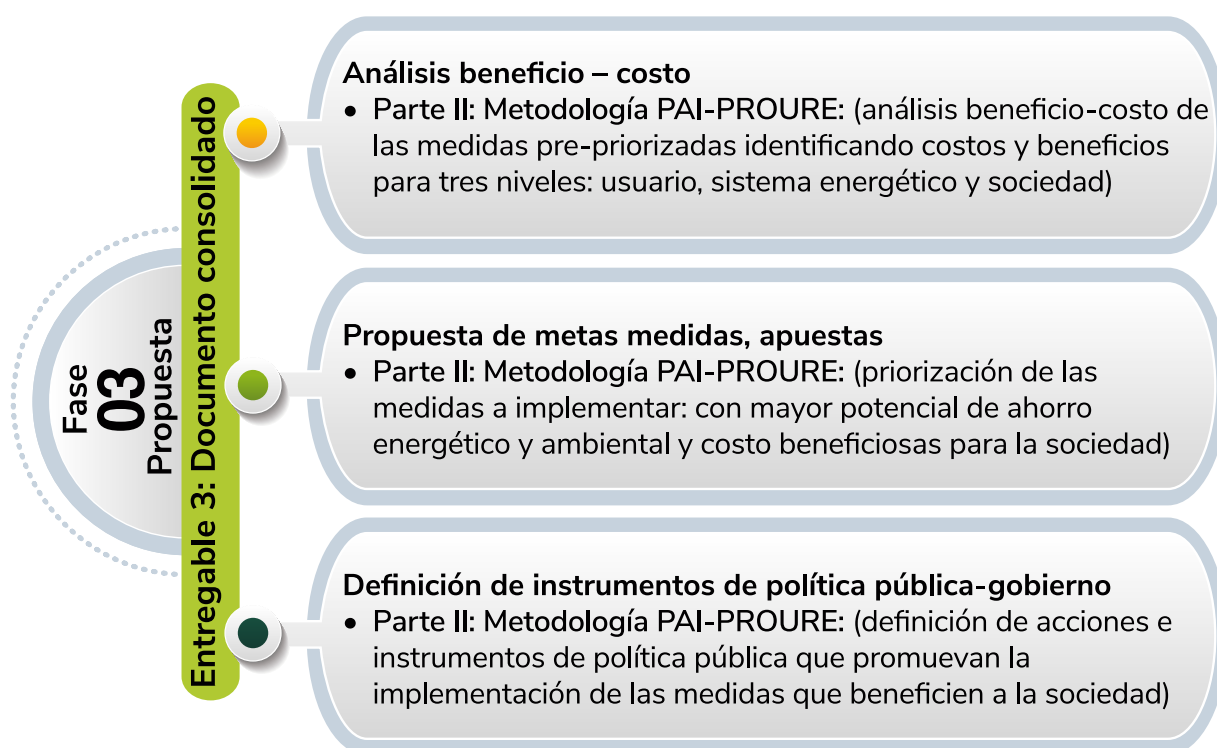


Figura 10. Fase 3 de la metodología desarrollada - Propuesta.
Fuente: Elaboración propia.

Para realizar el análisis de beneficio costo de las medidas de eficiencia energética propuestas para ser implementadas en el sector APAI, se parte de la metodología utilizada previamente por la UPME en evaluaciones de medidas de eficiencia energética, la cual a su vez parte de la propuesta del “Manual de prácticas estándar nacionales para evaluar la relación costo-efectividad de los recursos de eficiencia energética” del National Efficiency Screening Project (NSPM, 2017), en la cual se analizan las medidas o políticas desde el punto de vista del regulador, y es posible tener una aproximación a la rentabilidad de los recursos de eficiencia con respecto a los objetivos de política, y a las inversiones que los usuarios deben realizar para lograr las reducciones esperadas en el consumo de energía.

Como herramienta para la evaluación beneficio costo, se maneja una estructura general para todas las medidas, en la cual se diferenciarán los costos y beneficios para los usuarios, el sistema energético y la sociedad. Dado que cada medida tiene unas características particulares en términos de energéticos utilizados

y tipo de medida (buenas prácticas, reconversión tecnológica, sustitución de combustible y digitalización), se adaptaron en cada caso las variables consideradas para que correspondan a las características de cada medida evaluada. En general, el análisis partió de un escenario tendencial, razón por la cual los resultados de la Caracterización del consumo final de energía en los sectores agropecuario y agroindustrial (UPME, CORPOEMA, 2024) realizada por la UPME fue imprescindible, para tener un escenario de línea base con respecto al cual considerar la implementación de las medidas propuestas.

Como fuentes para la estimación del valor presente de los costos y beneficios identificados para los actores que intervienen en la implementación de la política (usuarios, sistema energético y sociedad) para cada medida, se partió de información secundaria, de documentos y análisis realizados previamente por otras entidades del sector y de las consideraciones establecidas por los consultores del equipo de trabajo. En la **Figura 11** se presentan los principales pasos que contempló este análisis.

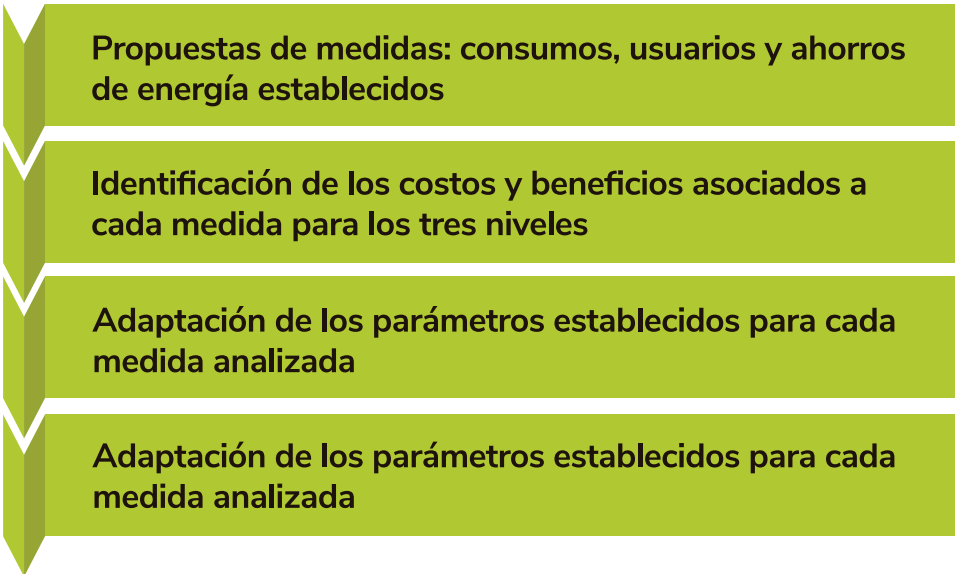


Figura 11. Metodología para el análisis beneficio de las medidas

En la **Tabla 16** se presentan los parámetros generales definidos para el análisis beneficio/costo, los parámetros de entrada, la estructura de la base para el análisis y la clasificación de las medidas. Si bien en cada medida, de acuerdo con sus objetivos y los energéticos considerados, se definieron ciertos supuestos o parámetros para el análisis, estos parámetros muestran un panorama general del análisis.

Tabla 16. Parámetros generales definidos para el análisis beneficio costo

Parámetro	Valor
Costo de mantenimiento	5%
Costo de disposición final	1%
Tarifa de energía eléctrica (COP/kWh)	794
Tarifa de Diésel (COP/gal)	10.248
Tarifa de gasolina (COP/gal)	15.577
Tarifa de GLP (COP/kg)	1.638
Tarifa de bioetanol (COP/gal)	13.981
Tarifa de Biogás (COP/kWh)	126
Tarifa de biodiésel (COP/gal)	16.349
Tasa de descuento empresas de energía eléctrica	11,36 %
Tasa de descuento empresas combustibles líquidos	13,25%

Parámetro	Valor
Tasa de descuento GLP	11,23%
Tasa de descuento usuario	6,92%
Tasa de descuento social	9,00 %
Tasa de financiación usuario	20,05%
Valor de las emisiones evitadas (COP/t CO ₂)	23.395
Percepción de contribución al medio ambiente	5%
Mejora en competitividad	3%
Porcentaje de recuperación en costos de materiales	5%
Valor salvamento equipos antiguos	20%
Factor de emisión del SIN (tCO ₂ /MWh)	0,112
Factor de emisión del diésel (tCO _{2eq} /PJ)	74.194
Factor de emisión de la gasolina (tCO _{2eq} /PJ)	69.324

Fuente: Elaboración propia con base en la herramienta de cálculo beneficio costo.

De acuerdo con las medidas pre-priorizadas para el sector APAI, se presenta a continuación el resultado del análisis beneficio/costo del impacto que se estima podrían tener dichas medidas en los usuarios, el sistema energético y la sociedad. Los resultados del análisis permiten conocer qué tan rentable es una medida, considerando qué tan mayores son los beneficios que se pueden obtener con respecto a los costos de obtenerlos. En este sentido, cuando el indicador obtenido es mayor a 1, se interpreta que los beneficios de implementar una medida son mayores a los costos de llevarla a cabo. Esto en referencia al actor que se esté analizando en cada caso (usuarios, sistema energético o sociedad).

Se evaluaron todas las medidas propuestas considerando tres niveles: usuario, sistema energético, y sociedad. En la **Tabla 17** se presenta el resumen de los resultados del análisis para cada medida.

De este resumen se puede inferir que dos medidas resultaron costo beneficiosas para los usuarios:

- **M11-GLP-CD-SC:** Sustitución de combustible GLP usado en procesos de calefacción en el sector APAI por biogás.
- **M8-DSL-FM-SC:** Sustitución de combustible en motores diésel por biodiesel-B20 en maquinaria agrícola.

Estas son las medidas que demostraron tener mayores beneficios como ahorros en el consumo de energía y otros factores, con respecto a los costos de inversión y otros costos en los que pueden incurrir los usuarios para implementarlas. En teoría, lo que se requeriría para que los usuarios las implementaran, es que tengan conocimiento sobre los beneficios que pueden generar en sus unidades agropecuarias.

Tabla 17. Análisis beneficio- costo para las medidas pre-priorizadas del sector APAI

Código medida	Medida	Ahorro energético (PJ)	Emisiones Evitadas (t CO ₂)	Capex MM COP	B/C usuario	B/C sistema	B/C social	B/C total
M1-DSL-FM-RT	Adaptación de turbocargadores a motores diésel menores de 50 HP en la maquinaria agrícola.	11,10	823.752	\$ 8.000.577	0,15	N/A*	3,5	0,2

Código medida	Medida	Ahorro energético (PJ)	Emisiones Evitadas (t CO ₂)	Capex MM COP	B/C usuario	B/C sistema	B/C social	B/C total
M2-GSL-FM-SC	Sustitución de combustible en motores a gasolina por bioetanol en maquinaria agrícola	5,54	383.941	\$ 10.337.605	0,22	1,18	0,3	0,4
M3-GSL-FM-SC	Sustitución de combustible en motores a gasolina por bioetanol en maquinaria agrícola	2,81	194.692	\$ 2.860.167	0,22	1,56	0,3	0,6
M4-DSL-FM-SC	Reemplazo de motores diésel y gasolina por motores eléctricos en aplicaciones estacionarias - escenario diésel	19,36	1.436.704	\$ 24.654.860	0,08	1,73	20,0	0,7
M4-GSL-FM-SC	Reemplazo de motores diésel y gasolina por motores eléctricos en aplicaciones estacionarias - escenario gasolina	4,90	339.419	\$ 24.654.860	0,13	0,44	15,0	0,7
M5-DSL-FM-SC	Suministro de energía eléctrica para procesos del sector APAI, a partir de energía solar - escenario diésel	12,52	928.562	\$ 25.256.294	0,08	N/A*	20,8	0,6
M5-GSL-FM-SC	Suministro de energía eléctrica para procesos del sector APAI, a partir de energía solar - escenario gasolina	6,58	456.289	\$ 34.268.082	0,13	N/A*	12,9	0,6
M5-ELE-FM-SC	Suministro de energía eléctrica para procesos del sector APAI, a partir de energía solar - escenario energía eléctrica	0,21	6.476	\$ 9.669.670	0,04	1,05	0,01	0,04
M6-GSL-FM-RT	Sustitución de fumigadoras a gasolina por el uso de drones en actividades de fumigación y fertilización	5,79	401.690	\$ 123.142.425	0,05	N/A*	0,2	0,05
M7-DSL-FM-BP	Implementación de acciones de mantenimiento de los motores en la maquinaria agrícola - escenario diésel	0,00	0,00	\$ 18.739.343	0,10	N/A*	0,1	0,1

Código medida	Medida	Ahorro energético (PJ)	Emisiones Evitadas (t CO ₂)	Capex MM COP	B/C usuario	B/C sistema	B/C social	B/C total
M7-GSL-FM-BP	Implementación de acciones de mantenimiento de los motores en la maquinaria agrícola - escenario gasolina	6,53	0,45	\$ 23.442.922	0,07	N/A*	0,2	0,1
M7-ELE-FM-BP	Implementación de acciones de mantenimiento de los motores en la maquinaria agrícola - escenario energía eléctrica	0,08	0,00	\$ 10.874.470	0,04	0,58	497,9	0,1
M8-DSL-FM-SC	Sustitución de combustible en motores diésel por biodiesel-B20 en maquinaria agrícola	0,00	1.438.704,00	\$ 10.138.092	1,45	0,00**	0,1	0,6
M9-GLP-CL-DG	Implementación de sistemas de control inteligente para aplicaciones de climatización - escenario GLP	0,08	5.359	\$ 4.016	0,65	N/A	10,2	0,7
M9-ELE-CL-DG	Implementación de sistemas de control inteligente para aplicaciones de climatización - escenario energía eléctrica	0,00	17,42	\$ 281.160	0,04	0,83	0,7	0,04
M10-GLP-CL-SC	Sustitución de combustible GLP usado en procesos de calefacción de animales en el sector APAI por biogás	0,00	-87.559	\$ 1.029.965	0,23	0,04	2,0	0,2
M11-GLP-CD-SC	Sustitución de combustible GLP usado en procesos de calefacción en el sector APAI por biogás	0,00	-13.483	\$ 12.103	2,37	0,04	2,0	1,0
M12-GLP-CD-RT	Aprovechamiento de la energía solar obtenida a partir de calentadores solares para aplicaciones en el sector APAI - escenario GLP	0,27	17.947	\$ 1.943.024	0,04	N/A	0,03	0,04
M12-ELE-CD-RT	Aprovechamiento de la energía solar obtenida a partir de calentadores solares para aplicaciones en el sector APAI - escenario energía eléctrica	0,03	873	\$ 27.431	0,11	194,24	0,3	8,7

Código medida	Medida	Ahorro energético (PJ)	Emisiones Evitadas (t CO ₂)	Capex MM COP	B/C usuario	B/C sistema	B/C social	B/C total
M13-ELE-RF-DG	Reemplazo de refrigeradores con etiqueta C por refrigeradores eficientes con etiqueta A	0,00	0,01	\$ 2.425	0,20	194,49	3,7	0,5
M14-ELE-RF-BP	Ajustar y adaptar el control de válvula de expansión para control del superheat y buenas prácticas en unidades condensadoras de cuartos fríos	0,00	0,10	\$ 261	0,21	194,49	1,4	0,4
M15-ELE-RF-DG	Implementación de sistemas con válvula de expansión electrónica y control de sistemas, en unidades condensadoras de cuartos fríos	0,00	0,16	\$ 7.478	0,19	194,49	1,4	0,3
M16-ELE-RF-DG	Implementación de unidades condensadoras en cuartos fríos, adaptadas con variador en el compresor	0,00	0,26	\$ 24.203	0,19	194,49	1,4	0,3
M17-ELE-RF-DG	Implementación de unidades condensadoras en cuartos fríos, con compresor con variador, y válvula de expansión electrónica con control de sistemas	0,00	0,33	\$ 29.955	0,19	194,49	1,4	0,3
M18-ELE-RF-RT	Implementación de sistemas de refrigeración con bajo GWP (<100GWP) Propano, en unidades condensadoras de cuartos fríos	0,00	0,06	\$ 115.055	0,19	194,49	3,5	0,5

*N/A: Hay costos, pero no beneficios, sin embargo, si se logran identificar beneficios se podrían calcular.

** Estos valores son igual a cero porque los ingresos al sistema por biodiésel son muy pequeños con respecto a los costos.

Como se observa de la tabla anterior, las medidas costo beneficiosas para la sociedad se listan a continuación:

- **M1-DSL-FM-RT:** Adaptación de turbocargadores a motores diésel menores de 50 HP en la maquinaria agrícola.
- **M4-DSL-FM-SC:** Reemplazo de motores diésel y gasolina por motores eléctricos en aplicaciones estacionarias - escenario diésel.
- **M4-GSL-FM-SC:** Reemplazo de motores diésel y gasolina por motores eléctricos en aplicaciones estacionarias - escenario gasolina.
- **M5-DSL-FM-SC:** Suministro de energía eléctrica para procesos del sector APAI, a partir de energía solar - escenario diésel.
- **M5-GSL-FM-SC:** Suministro de energía eléctrica para procesos del sector APAI, a partir de energía solar - escenario gasolina.

- **M7-ELE-FM-BP:** Implementación de acciones de mantenimiento de los motores en la maquinaria agrícola - escenario energía eléctrica
- **M9-GLP-CL-DG:** Implementación de sistemas de control inteligente para aplicaciones de climatización escenario GLP.
- **M10-GLP-CL-SC:** Sustitución de combustible GLP usado en procesos de calefacción de animales en el sector APAI por biogás.
- **M11-GLP-CD-SC:** Sustitución de combustible GLP usado en procesos de calefacción en el sector APAI por biogás.
- **M13-ELE-RF-RT:** Reemplazo de refrigeradores con etiqueta C por refrigeradores eficientes con etiqueta A.
- **M14-ELE-RF-RT:** Ajustar y adaptar el control de válvula de expansión para control del superheat y buenas prácticas en unidades condensadoras de cuartos fríos
- **M15-ELE-RF-RT:** Implementación de sistemas con válvula de expansión electrónica y control de sistemas, en unidades condensadoras de cuartos fríos.
- **M16-ELE-RF-RT:** Implementación de unidades condensadoras en cuartos fríos, adaptadas con variador en el compresor.
- **M17-ELE-RF-RT:** Implementación de unidades condensadoras en cuartos fríos, con compresor con variador, y válvula de expansión electrónica con control de sistemas.
- **M18-ELE-RF-RT:** Implementación de sistemas de refrigeración con bajo GWP (<100GWP) Propano, en unidades condensadoras de cuartos fríos.

Todas estas medidas presentan beneficios para la sociedad que son más altos que los costos que se derivan de su implementación. Dentro de los beneficios se consideran factores como las emisiones de GEI evitadas, los ahorros por gastos en salud y las mejoras en la competitividad; y dentro de los costos factores como el impacto fiscal de los impuestos o el costo de la disposición final de los equipos que se sustituyen.

Algunos datos obtenidos del análisis beneficio presentaron comportamientos particulares. Es el caso de la medida M7-ELE-FM-BP de implementación de acciones de mantenimiento de los motores en la maquinaria agrícola para el escenario energía eléctrica, para la cual se obtiene como resultado un costo beneficio muy alto (497,85) debido al ahorro fiscal por menores subsidios derivados de la reducción de consumo de energía eléctrica, ya que esta reducción de la carga fiscal es aproximadamente de 60 mil pesos por usuario. Otro caso es el de las medidas de refrigeración, para las cuales se obtuvo una misma relación beneficio costo para el sistema con un valor alto (194,49), esto debido a los bajos ahorros de energía, muy cercanos a 0, lo que hace que el sistema no cuente con una reducción en sus ingresos y además se refleja un aumento de los costos evitados por mayor capacidad, lo que se traduce en un claro beneficio para el sistema. Debido a esta similitud las medidas de refrigeración cuentan con una misma proporción en dicha diferencia.

De las medidas que generan mayores ahorros energéticos, las cinco primeras son también costo beneficio para la sociedad, sin embargo, esta relación no es lineal entre los ahorros energéticos y los resultados de la evaluación beneficio/costo, ya que algunos beneficios de la sustitución de combustibles o la reducción del consumo energético, como los costos evitados en salud o las mejoras en productividad no cuentan con estimaciones precisas para la sociedad, que permitan monetizar los beneficios y contrastarlos con los costos.

Tabla 18. Medidas con los mayores ahorros energéticos

Código medida	Medida	Ahorro energético (PJ)	Emisiones Evitadas (t CO ₂)	Inversión (MM COP)	B/C usuario	B/C sistema	B/C social	B/C total
M4-DSL-FM-SC	Reemplazo de motores diésel y gasolina por motores eléctricos en aplicaciones estacionarias - escenario diésel	19,36	1.436.704	\$ 24.654.860	0,08	1,73	20,00	0,7

M5-DSL-FM-SC	Suministro de energía eléctrica para procesos del sector APAI, a partir de energía solar - escenario diésel	12,52	928.562	\$ 25.256.294	0,08	N/A	20,81	0,6
M1-DSL-FM-RT	Adaptación de motores diésel menores a 50 hp a motores turbocargados en la maquinaria agrícola	11,10	823.752	\$ 8.000.577	0,15	N/A	3,47	0,2
M5-GSL-FM-SC	Suministro de energía eléctrica para procesos del sector APAI, a partir de energía solar - escenario gasolina	6,58	456.289	\$ 34.268.082	0,13	N/A	12,86	0,6
M7-GSL-FM-BP	Implementación de acciones de mantenimiento de los motores en la maquinaria agrícola - escenario gasolina	6,53	0,45	\$ 23.442.922	0,07	N/A	0,2	0,1
M6-GSL-FM-RT	Sustitución de fumigadoras a gasolina por el uso de drones en actividades de fumigación y fertilización	5,79	401.690	\$ 123.142.425	0,05	N/A	0,2	0,05
M2-GSL-FM-SC	Sustitución de combustible en motores a gasolina por bioetanol en maquinaria agrícola	5,54	383.941	\$ 10.337.605	0,22	1,18	0,3	0,4
M4-GSL-FM-SC	Reemplazo de motores diésel y gasolina por motores eléctricos en aplicaciones estacionarias - escenario gasolina	4,90	339.420	\$ 24.654.860	0,13	0,44	14,97	0,7
M3-GSL-FM-SC	Sustitución de combustible en motores a gasolina por bioetanol en maquinaria agrícola	2,81	194.692	\$ 2.860.167	0,22	1,56	0,3	0,6
M12-GLP-CD-RT	Aprovechamiento de la energía solar obtenida a partir de calentadores solares para aplicaciones en el sector APAI - escenario GLP	0,27	17.947	\$ 1.943.024	0,04	N/A	0,03	0,04

También es importante considerar que en el análisis se pudieron identificar algunas medidas que generan altos ahorros energéticos, sin embargo, no son costo beneficiosas para la sociedad o en total. Esto se puede deber a diversos factores, como la falta de información disponible y completa sobre los efectos de algunas tecnologías o energéticos en la salud y los costos que estos pueden tener; sobre las mejoras en competitividad que pueden generar algunas medidas; o a la valoración económica de la reducción de las emisiones, que es muy baja con respecto al impacto fiscal de recibir menos impuestos.

Todas estas medidas presentan beneficios para la sociedad que son más altos que los costos que se derivan de su implementación. Dentro de los beneficios se consideran factores como las emisiones de GEI evitadas, los ahorros por gastos en salud y las mejoras en la competitividad; y dentro de los costos factores como el impacto fiscal de los impuestos o el costo de la disposición final de los equipos que se sustituyen. Al ser medidas costo beneficiosas para la sociedad, pero en el caso de la mayoría no costo beneficiosas para los usuarios, es posible que se requiera de incentivos adicionales para promover su implementación, ya que los beneficios percibidos por los usuarios no necesariamente son mayores que los costos que implican.

CONCLUSIONES

- Se estimó el ahorro energético y el beneficio-costo para 25 medidas relacionadas a los usos de energía de fuerza motriz (13 medidas), calor directo (3 medidas), climatización (3 medidas) y refrigeración (6 medidas).
- La medida 10 que relaciona como energético a la energía eléctrica sólo se consideró para aplicaciones estacionarias teniendo en cuenta los grandes desafíos que representa su implementación en aplicaciones móviles.
- Se determinó que las medidas evaluadas no pueden ser aplicadas todas de forma simultánea ya que son excluyentes entre sí por el reemplazo de tecnología o energético propuesto, el tipo de uso final de la energía y los grupos homogéneos al que aplica.
- Para el uso de fuerza motriz la medida que mayor ahorro energético presentó fue M4-DSL-FM-SC (Reemplazo de motores diésel y gasolina por motores eléctricos en aplicaciones estacionarias - escenario diésel), con un ahorro acumulado en 10 años de 19.364 TJ, equivalente al 3,99% del consumo total de energía proyectado en 10 años para fuerza motriz, aplicando a 15 grupos homogéneos.
- Para el uso de calor directo la medida que mayor ahorro energético presentó fue M12-GLP-CD-RT, aprovechamiento de la energía solar obtenida a partir de calentadores solares para aplicaciones en el sector APAI; con un ahorro acumulado en 10 años de 267 TJ, equivalente al 9,92% del consumo total de energía proyectado en 10 años para calor directo, aplicando a 3 grupos homogéneos.
- Para el uso de climatización las medidas que mayor ahorro energético presentaron fueron M9-GLP-CL-DG (Implementación de sistemas de control inteligente para aplicaciones de climatización en el sector APAI) y M9-ELE-CL-DG (Implementación de sistemas de control inteligente para aplicaciones de climatización en el sector APAI), con un ahorro acumulado en 10 años de 78 TJ, equivalente al 0,89% del consumo total de energía proyectado en 10 años para climatización, aplicando a 3 grupos homogéneos.
- Para el uso de refrigeración las medidas que mayor ahorro energético presentaron fueron M17-ELE-RF-RT (implementación de unidades condensadoras en cuartos fríos del sector APAI, con compresor con variador, y válvula de expansión electrónica con control de sistemas) y M13-ELE-RF-RT (Reemplazo de neveras y nevecones con etiqueta C por neveras y nevecones eficientes con etiqueta A, usadas en el sector APAI) con un ahorro acumulado en 10 años de 0,01 TJ, equivalente al 0,01% del consumo total de energía proyectado en 10 años para refrigeración, aplicando a 2 grupos homogéneos.
- Una vez se identificaron los ahorros potenciales de la implementación de las medidas priorizadas, se realizó una evaluación beneficio costo de las veinticinco (25) medidas priorizadas, en la cual se consideraron tres niveles: usuario, sistema energético, y sociedad.
- Se identificaron y valoraron los costos y beneficios de cada medida en estos tres niveles, considerando, entre otros, los siguientes factores para cada nivel:
-

Tabla 19. Factores generales analizados como beneficios y costos para cada nivel

B/C	Usuario	Sistema energético	Sociedad
Costos	● Inversión requerida ● Costo del financiamiento ● Disposición final de la tecnología base ● Costo del mantenimiento de nuevos equipos	● Reducción de los ingresos por causa de la reducción de los consumos ● Costos de ampliación del sistema del nuevo energético	● Impacto fiscal de la reducción de impuestos a sobretasas de combustibles o carbono
Beneficios	● Ahorro en los consumos de energía ● Percepción de contribución ambiental ● Mejoras en calidad de vida	● Reducción de costos por pérdidas ● Mejora financiera de las empresas por menor cartera	● Reducción de emisiones ● Mejoras en competitividad ● Costos evitados en salud

- Para el sector APAI se encontró que la valoración o cuantificación de algunos costos y beneficios no cuenta con múltiples fuentes de información, o requiere análisis más profundos, como es el caso de los impactos en la salud, las mejoras en competitividad, o la baja valoración económica de la reducción de emisiones, imposibilitando en muchos casos estimar un valor.
- Para siete medidas no fue posible identificar beneficios valorables para el sistema, lo cual no permitió obtener un resultado en la relación beneficio/costo desde el punto de vista del sistema.
- Para dos (2) medidas se identificaron beneficios valorables para la sociedad muy pequeños respecto a los costos, por lo cual se obtiene un resultado muy bajo en la relación beneficio/costo.
- Para todas las medidas se identificaron beneficios para el usuario permitiendo obtener una relación beneficio/costo.
- Se identificaron dos (2) medidas con beneficios mayores a los costos para los usuarios (sustitución de combustible GLP en calefacción por biogás; sustitución de combustible en motores diésel por biodiésel-B20 en maquinaria agrícola), y quince (15) medidas cuyos beneficios para la sociedad son mayores a los costos en los que incurre la sociedad para implementarlas.
- Aunque el uso de refrigeración es bajo actualmente en el sector APAI, se espera que en los próximos años el sistema de conservación de alimentos del sector mejore y por ende aumente la participación de este uso en los distintos grupos homogéneos.

Tabla 20. Medidas con relación beneficio/costo mayor a 1 para la sociedad

Nomenclatura	Descripción medida
M1-DSL-FM-RT	Adaptación de turbocargadores a motores diésel menores de 50 HP en la maquinaria agrícola.
M4-DSL-FM-SC	Reemplazo de motores diésel y gasolina por motores eléctricos en aplicaciones estacionarias - escenario diésel.
M4-GSL-FM-SC	Reemplazo de motores diésel y gasolina por motores eléctricos en aplicaciones estacionarias - escenario gasolina.
M5-DSL-FM-SC	Suministro de energía eléctrica para procesos del sector APAI, a partir de energía solar - escenario diésel.
M5-GSL-FM-SC	Suministro de energía eléctrica para procesos del sector APAI, a partir de energía solar - escenario gasolina.
M7-ELE-FM-BP	Implementación de acciones de mantenimiento de los motores en la maquinaria agrícola - escenario energía eléctrica.
M9-GLP-CL-DG	Implementación de sistemas de control inteligente para aplicaciones de climatización - escenario GLP.
M10-GLP-CL-SC	Sustitución de combustible GLP usado en procesos de calefacción de animales en el sector APAI por biogás- Climatización
M11-GLP-CD-SC	Sustitución de combustible GLP usado en procesos de calefacción en el sector APAI por biogás- Calor Directa
M13-ELE-RF-RT	Reemplazo de refrigeradores con etiqueta C por refrigeradores eficientes con etiqueta A.
M14-ELE-RF-RT	Ajustar y adaptar el control de válvula de expansión para control del superheat y buenas prácticas en unidades condensadoras de cuartos fríos.
M15-ELE-RF-RT	Implementación de sistemas con válvula de expansión electrónica y control de sistemas, en unidades condensadoras de cuartos fríos.
M16-ELE-RF-RT	Implementación de unidades condensadoras en cuartos fríos, adaptadas con variador en el compresor.
M17-ELE-RF-RT	Implementación de unidades condensadoras en cuartos fríos, con compresor con variador, y válvula de expansión electrónica con control de sistemas.
M18-ELE-RF-RT	Implementación de sistemas de refrigeración con bajo GWP (<100GWP) Propano, en unidades condensadoras de cuartos fríos.

- Las medidas que son positivas para la sociedad, pero no necesariamente para los usuarios, pueden requerir de incentivos para motivar su implementación por parte de los usuarios, para obtener así los beneficios sociales esperados.

BIBLIOGRAFÍA

- CCB, Centro de Servicios Registrales. (2024). Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las Actividades Económicas. Revisión 4 adaptada para Colombia - CIIU Rev. 4 A.C. <https://biblioteca-digital.ccb.org.co/server/api/core/bitstreams/7bad475f-bf8a-44b1-a021-52ca01b99502/content>: Cámara de Comercio Bogotá.
- DANE. (2019). Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA). Obtenido de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/enda/ena/2019/boletin_ena_2019.pdf
- Ministerio de Agricultura. (2024). Dirección de Financiamiento y Riesgos Agropecuarios. Información compartida en entrevista.
- NSPM. (2017). National Standard Practice Manual for Assessing Cost-Effectiveness of Energy Efficiency Resources. Obtenido de https://www.nationalenergyscreeningproject.org/wp-content/uploads/2017/05/NSPM_May-2017_final.pdf
- UPME. (2022). Plan de Acción Indicativo PROURE- Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía. Obtenido de https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PROURE/Documento_PROURE_2022-2030_v4.pdf
- UPME, CORPOEMA. (2024). Caracterización del consumo final de energía en los sectores agropecuario y agroindustrial. https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Doc_Hemeroteca/Informe_final_Caracterizacion_energetica_AGRO_Version_final.pdf.



Unidad de Planeación
Minero Energética



© UPME

AV. CALLE 26 # 69 D-91 TORRE 1 - PISO 9

BOGOTÁ - COLOMBIA | +57 601 2220601

UPME.GOV.CO