



Manual de Usuario: Segundo desarrollo de proxies para la implementación de la Taxonomía Verde de Colombia

Dimensiones ambientales de Residuos y Recurso Hídrico

Proxies para el sector agricultura con enfoque en pequeños y medianos productores



Bogotá, Colombia

Diciembre 2024

Tabla de contenido

ACRÓNIMOS.....	6
GLOSARIO.....	8
INTRODUCCIÓN.....	13
1. ANTECEDENTES.....	14
Identificación y priorización de proxies para pequeños y medianos productores del sector agricultura	14
2. Herramienta de segundo desarrollo de <i>proxies</i> para la implementación de la Taxonomía Verde de Colombia. Pequeños y medianos productores del sector agricultura.....	17
2.1 Pasos previos para el uso de la herramienta.....	20
3. <i>Proxies</i> para la dimensión ambiental de residuos	23
3.1 Marco de referencia.....	23
3.2 Guía metodológica y manual del usuario.....	24
3.2.1 Herramienta de cálculo para el dimensionamiento de biodigestores o pilas de compostaje (HC_Valoración_Orgánicos) para residuos orgánicos agropecuarios	25
3.2.2 Listado de Tecnologías para biodigestores.....	35
3.3 <i>Proxies</i> en acción para la dimensión ambiental de Residuos – casos de estudio y resumen de tecnologías	36
3.3.1 Casos de estudio para los resultados para la pestaña “HC_Valoración_Orgánicos”	36
3.3.2 Adaptación de los resultados para la pestaña “Tecnologías_biodigestores”	38
3.4 Aproximación de usos y posibles usuarios	42
4. <i>Proxies</i> de la dimensión ambiental del recurso hídrico.....	43
4.1 Marco de referencia.....	43
4.2 Guía metodológica y manual del usuario.....	44
4.2.1 Herramienta de búsqueda para identificación del Estrés hídrico en Colombia (IUA 2022)	44
4.2.2 Herramienta de cálculo para el dimensionamiento de un sistema de captación de aguas lluvias (HC_SCALL) para pequeños y medianos productores.....	46
4.2.3 Tecnologías de Uso Eficiente de Agua (UEA).....	59
4.3 <i>Proxies</i> en acción para la dimensión ambiental del Recurso Hídrico – casos de estudio y resumen de tecnologías	60
4.3.1 Caso de estudio para los resultados para la pestaña “Estrés hídrico (IUA)”, presentados en la pestaña “IUA_Recomendaciones Inversión”	61
4.3.2 Casos de estudio para los resultados para la pestaña “HC_SCALL”	61
4.3.3 Adaptación de los resultados para la pestaña “Tecnologías UEA”	65

4.4	Aproximación de usos y posibles usuarios	71
ANEXO 1. BRECHAS IDENTIFICADAS PARA LAS DIMENSIONES AMBIENTALES DE RESIDUOS Y RECURSO HÍDRICO		72
	Brechas identificadas para la dimensión ambiental de Residuos.....	72
	Brechas identificadas para la dimensión ambiental de Recurso Hídrico.....	73
ANEXO 2. ECUACIONES EMPLEADAS PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LA HERRAMIENTA HC_SCALL.....		74
ANEXO 3. SUPUESTOS DE CÁLCULO PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS: USO DOMÉSTICO.....		78
ANEXO 4. INFORMACIÓN DE PRECIPITACIÓN MENSUAL		79
ANEXO 5. SUPUESTOS DE CÁLCULO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL FILTRO LENTO DE ARENA (FLA).....		81
ANEXO 6. LISTADO DE CULTIVOS POR DEPARTAMENTO.		82
ANEXO 7. INFORMACIÓN DE EVAPORACIÓN ANUAL		90
ANEXO 8. ASUNCIONES DE CÁLCULO PARA EL DISEÑO DE LA LAGUNA DE ALMACENAMIENTO DE AGUA LLUVIA/JAGÜEY		91
ANEXO 9. PROYECTOS DE BIOGÁS DESARROLLADOS EN COLOMBIA A DICIEMBRE DE 2024		92
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		106

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Listado de proxies propuestos dentro de la Nota Conceptual en orden de priorización descendente	14
Tabla 2. Segunda fase de desarrollo de <i>proxies</i> para la implementación de la TVC.....	16
Tabla 3. Descripción de las herramientas incluidas en la segunda fase de <i>proxies</i> para implementación de la TVC	17
Tabla 4. Posibles usuarios de la herramienta y ejemplos de aplicación (lista no exhaustiva)	20
Tabla 5. Datos generales requeridos para el funcionamiento de la pestaña HC_valoración_Orgánicos.....	25
Tabla 6. Diferentes tipos de residuos vinculados al sector agropecuario	26
Tabla 7. Datos generales requeridos para el sector pecuario de la pestaña HC_valoración_Orgánicos.....	27
Tabla 8. Tipos de tamaño vinculados al sector pecuario.....	29
Tabla 9. Datos generales requeridos para el sector agrícola de la pestaña HC_valoración_Orgánicos.....	29
Tabla 10. Interpretación de resultados generales para el sector pecuario de la pestaña HC_valoración_Orgánicos.....	31
Tabla 11. Relación C/N y Sólidos totales (%) empleados para el sector pecuario	32
Tabla 12. Interpretación de resultados para el sector pecuario de la pestaña HC_valoración_Orgánicos	32
Tabla 13. Consumo específico de biogás para diferentes dispositivos	33
Tabla 14. Interpretación de los resultados para el sector agrícola de la pestaña HC_valoración_Orgánicos	33
Tabla 15. Principales supuestos para el cálculo de compostaje en pilas.....	33

Tabla 16. Escenarios de línea base para el planteamiento de las emisiones de GEI en la herramienta HC_Valoración_Orgánicos.....	34
Tabla 17. Escenarios proyectados para el planteamiento de las emisiones de GEI en la herramienta HC_Valoración_Orgánicos.....	34
Tabla 18. Descripción de la información presentada en la pestaña “Tecnologías_biodigestores”	35
Tabla 19. Adaptación del listado de tecnologías de biodigestores para residuos agropecuarios	39
Tabla 20. Categorías e interpretación del Índice de Uso del Agua 2022	45
Tabla 21. Datos generales requeridos para el funcionamiento de la pestaña HC_SCALL	47
Tabla 22. Opciones sobre tipo de captación y usos potenciales de las aguas lluvias recolectadas para la pestaña HC_SCALL.....	48
Tabla 23. Datos generales requeridos de captación en techo para agua cruda en la pestaña “HC_SCALL” ...	49
Tabla 24. Datos generales requeridos captación en techo para uso agrícola en la pestaña “HC_SCALL”	53
Tabla 25. Datos generales requeridos captación en laguna de almacenamiento de agua lluvia/jagüey para uso agrícola en la pestaña “HC_SCALL”	55
Tabla 26. Interpretación de los resultados para SCALL a través de estructura en techo de la pestaña HC_SCALL	56
Tabla 27. Interpretación de los resultados para SCALL a través de lagunas de almacenamiento de agua lluvia/jagüey de la pestaña HC_SCALL.....	58
Tabla 28. Descripción de la información presentada en la pestaña “Tecnologías UEA”	59
Tabla 29. Listado de alternativas de sistemas urbanos y rurales de drenaje	65
Tabla 30. Brechas identificadas en la dimensión ambiental de residuos frente a la TVC.....	72
Tabla 31. Brechas identificadas en la dimensión ambiental del recurso hídrico frente a la TVC	73
Tabla 32. Coeficiente de esorrentía según tipos de tejados.....	78
Tabla 33. Información general para el funcionamiento de HC_SCALL	78
Tabla 34. Datos promedio de precipitación mensual por departamentos en Colombia para el período entre 1993 y 2023.....	79
Tabla 35. Supuestos de cálculo para el filtro lento de arena	81
Tabla 36. Listado de Cultivos por departamento y su requerimiento anual de agua.....	82
Tabla 37. Datos de Evaporación promedio anual.....	90
Tabla 38. Asunciones de cálculo para el diseño de la laguna de almacenamiento de agua lluvia/jagüey	91
Tabla 39. Proyectos de biogás en Colombia.....	92

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2. Vista inicial de la herramienta de cálculo para el diseño de biodigestores y/o pilas de compostaje para residuos sólidos.....	26
Ilustración 3. Solicitud de ingreso de información - sector pecuario	28
Ilustración 4. Solicitud de información: Tamaño de ganado.	28
Ilustración 5. Solicitud de información: Número de cabezas de ganado	28
Ilustración 6. Solicitud de ingreso de información – Sector agrícola.....	30
Ilustración 7. Solicitud de información: Tipo de cultivo	30

Ilustración 8. Solicitud de información: Área de tierra cultivada por cultivo	30
Ilustración 9. Ilustración de los resultados para el caso de estudio de la dimensión ambiental de residuos, sector pecuario	37
Ilustración 10. Ilustración de los resultados para el caso de estudio de la dimensión ambiental de residuos, sector agrícola.....	38
Ilustración 11. Diagrama Estrés Hídrico (IUA)	45
Ilustración 12. Vista general de la herramienta de cálculo para sistemas de captación de aguas lluvias (HC_SCALL).....	47
Ilustración 13. Diagrama captación en techo para uso doméstico (agua cruda)	49
Ilustración 14. Diagrama captación en techo para uso doméstico (agua con pretratamiento físico).....	51
Ilustración 15. Diagrama captación en techo para uso agrícola (riego de cultivo).....	52
Ilustración 16. Diagrama de captación mediante laguna de almacenamiento de agua lluvia/jagüey para uso agrícola (riego de cultivo).....	54
Ilustración 17. Resultados herramienta de búsqueda para el caso de estudio	61
Ilustración 18. Ilustración de los resultados para el caso de estudio de la dimensión del Recurso hídrico, Captación por techo de uso doméstico (agua cruda)	62
Ilustración 19. Ilustración de los resultados para el caso de estudio de la dimensión del Recurso hídrico, Captación por techo de uso doméstico (agua con pretratamiento físico)	62
Ilustración 20. Ilustración de los resultados para el caso de estudio de la dimensión del Recurso hídrico, Captación por techo de uso agrícola.....	63
Ilustración 21. Ilustración de los resultados para el caso de estudio de la dimensión del Recurso hídrico, Captación por laguna <i>de almacenamiento de agua lluvia/jagüey</i> con geomembrana de uso agrícola	63

Acuse de responsabilidad: La información contenida en esta comunicación no constituye asesoramiento de inversión de ningún tipo y Climate Bonds Initiative ni Ambire Global (el consorcio) son asesores de inversión. Cualquier referencia a una organización financiera o a un instrumento de deuda o producto de inversión se hace únicamente con fines informativos. Los enlaces a sitios web externos son sólo para fines informativos. El consorcio no acepta ninguna responsabilidad por el contenido de sitios web externos. El consorcio no respalda, recomienda o asesora sobre los méritos financieros o de otro tipo de cualquier instrumento de deuda o producto de inversión y ninguna información contenida en esta comunicación debe ser tomada como tal, ni debe confiarse en cualquier información contenida en esta comunicación para tomar cualquier decisión de inversión. La certificación según el Estándar de Climate Bonds sólo refleja los atributos climáticos del uso de los ingresos de un instrumento de deuda designado. No refleja la solvencia del instrumento de deuda designado, ni su conformidad con las leyes nacionales o internacionales. La decisión de invertir en algo es exclusivamente suya. El consorcio no acepta responsabilidad de ningún tipo, por cualquier inversión que un individuo u organización realice, ni por cualquier inversión realizada por terceros en nombre de un individuo u organización, basada total o parcialmente en cualquier información contenida en esta o cualquier otra comunicación pública de Climate Bonds Initiative.

ACRÓNIMOS

I. Generales

CAWST	Centro de Tecnologías Asequibles de Agua y Saneamiento
CAF	Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe
CBI	Climate Bonds Initiative
CONPES	Consejo Nacional de Política Económica y Social
CRA	Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico
CIAT	Centro Internacional de Agricultura Tropical
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística de Colombia
DNP	Departamento Nacional de Planeación de Colombia
ENA	Encuesta Nacional Agropecuaria de Colombia
EPA	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (Environment Protection Agency, por sus siglas en inglés)
FECOC	Factores de emisión de los combustibles colombiano
GEI	Gases de efecto invernadero
GIZ	Sociedad Alemana de Cooperación Internacional
GTC	Guía Técnica Colombiana
GWP	Potencial de Calentamiento Global (Global Warming Potential, por sus siglas en inglés)
ICA	Instituto Colombiano Agropecuario
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia
IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura de Colombia
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
INIA	Instituto Nacional de Innovación Agraria de Colombia
ITDG	Technology Development Group
MADS	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia
MAG	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural
MINCIT	Ministerio de Comercio, Industria y Turismo
MHCP	Ministerio de Hacienda y Crédito Público de Colombia
MTV	Mesa de Taxonomía Verde
MVCT	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio
OPS	Organización Panamericana de la Salud
ORARBO	Observatorio Regional, Ambiental y de Desarrollo Sostenible del Río Bogotá
PEAD	Polietileno de alta densidad
PFPAS	Programa de fomento de la producción agropecuaria sostenible de Colombia
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
SARAS	Sistemas de Administración de Riesgos Ambientales y Sociales

SCALL	Sistema de captación de aguas lluvias de Colombia
SCAPT	Sistema de captación de agua pluvial en techos de Colombia
SDA	Secretaria Distrital de Ambiente
SENARA	Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento de Colombia
SFC	Superintendencia Financiera de Colombia
TVC	Taxonomía Verde de Colombia
UAESP	Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos
UE	Unión Europea
UNGRD	Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres de Colombia
UPME	Unidad de Planeación Minero-Energética de Colombia
UPRA	Unidad de Planificación Rural Agropecuaria
UK PACT	Partnering for Accelerated Climate Transition
Waste MAP	Waste Methane Assessment Platform

II. Unidades de medición

Adimensional	Sin unidades métricas
CH ₄	Metano
C/N	Relación Carbono/Nitrógeno
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
Cm	Centímetros
g	Gramo
ha	Hectárea
h/día	Horas al día
kg	Kilogramo
kg/año	Kilogramos al año
kg/mes	Kilogramos al mes
kg/ m ³ :	Kilogramo por metro cúbico
kgN	Kilogramo de Nitrógeno
km	Kilómetro
kWh	Kilovatios hora
kWh/día	Kilovatios hora al día
l/día	Litros al día
l/año	Litros al año
l/ m ² . día	Litro por metro cuadrado al día
l/ p . día	Litro por metro por persona al día
m	Metro
m/h	Metros por hora

mm/mes	Milímetros al mes
mm/año	Milímetros al año
m ²	Metro cuadrado
m ³	Metro cúbico
m ³ /año	Metro cúbico por kilogramo
m ³ /kg	Metro cúbico por kilogramo
m ³ /h	Metro cúbico por hora
MJ/m ³	Mega Julio por metro cúbico
MWh	Megavatio por hora
N ₂ O	Óxido Nitroso
NO _x	Óxidos de nitrógeno
SO _x	Óxidos de azufre
t	Tonelada
t CO ₂ e	Toneladas de Dióxido de Carbono Equivalente
t CO ₂ e/año	Toneladas de Dióxido de Carbono Equivalente por año
t CO ₂ e/t CO ₂	Toneladas de Dióxido de Carbono Equivalente por tonelada de dióxido de carbono
t CO ₂ e/t CH ₄	Toneladas de Dióxido de Carbono Equivalente por tonelada de metano
t CO ₂ e/GWh	Toneladas de Dióxido de Carbono Equivalente por gigavatios hora
t CO ₂ e/t N ₂ O	Toneladas de Dióxido de Carbono Equivalente por tonelada de óxido nitroso
TJ	Terajulios
W	vatios

GLOSARIO

Ácidos húmicos	Mezcla de moléculas orgánicas complejas que se forman por descomposición y oxidación de la materia orgánica (FAO, 2013).
Ácidos fúlvicos	Mezcla de ácidos orgánicos que se disuelven en el agua con todos niveles de pH (FAO, 2013).
Agricultura sostenible	Sistema de producción agropecuaria que permite obtener producciones estables de forma económicamente viable y socialmente aceptable, en armonía con el medio ambiente y sin comprometer las potencialidades presentes y futuras del recurso del suelo (SFC, s.f.).
Año Medio	Es un año en el que la cantidad de lluvia es cercana al promedio o lo que se espera en un año típico. En este caso, el agua disponible suele ser suficiente para las necesidades normales, sin grandes escaseces ni excesos (IDEAM, 2023).
Año Seco	Años en los que llueve mucho menos de lo normal según el promedio de la región. Esto significa que hay menos agua disponible en ríos, lagos y otras fuentes, lo que puede afectar el suministro de agua para el consumo, la agricultura y otras actividades (IDEAM, 2023).

Aprovechamiento forestal sustentable	La extracción realizada de los recursos forestales del medio en que se encuentren, incluyendo los maderables y los no maderables, en forma que se respete la integridad funcional y las capacidades de carga de los ecosistemas de los que forman parte dichos recursos por períodos indefinidos (CONAFOR, 2024).
Biodigestor	Contenedor en el que se produce la degradación anaeróbica de la materia orgánica, conocido también como digestor, reactor o fermentador (Ambiente, 2020).
Biogás	Mezcla de gases con elevado contenido de metano (FAO, 2011).
Biol	Es un abono orgánico líquido que se origina a partir de la descomposición de materiales orgánicos, como estiércoles de animales, plantas verdes, frutos, entre otros, en ausencia de oxígeno (FAO, 2024).
Biometano	Gas combustible, con propiedades similares al gas natural, que se obtiene a partir del tratamiento de residuos (MITECO, 2024).
Cambio Climático	La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático usa el término sólo para referirse al aumento de temperatura de la superficie terrestre originado por causa antropogénica. El calentamiento global actual es un tipo de cambio climático sin precedentes, y está generando una cascada de efectos secundarios en nuestro sistema climático. Se debe principalmente al aumento de los gases de efecto invernadero (GEI) por la quema de combustibles fósiles (SFC, s.f.). Según el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), el cambio climático puede identificarse (p.ej., mediante pruebas estadísticas) por cambios que persisten durante largos períodos de tiempo (decenios o períodos más prolongados) en el valor medio de las propiedades del clima y/o por la variabilidad de estas. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales, a forzamientos externos o a cambios antropogénicos persistentes en la composición de la atmósfera o en el uso de la tierra (IPCC, 2013).
Captación de agua	El proceso mediante el cual se recoge agua de fuentes naturales como ríos, lagos, acuíferos subterráneos o lluvia para diferentes usos, como consumo humano, agrícola o industrial. Esta actividad es fundamental para garantizar el acceso al agua y forma parte de una gestión integral del recurso hídrico que incluye objetivos de sostenibilidad y conservación del medio ambiente (MADS, Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, 2010).
Demanda de agua	Volumen de agua en cantidad y calidad que los usuarios están dispuestos a adquirir para satisfacer sus necesidades (IDEAM, 2024).
Desarrollo Sostenible	Se refiere a la búsqueda de un equilibrio armonioso entre el crecimiento económico, la preservación del medio ambiente y la promoción de aspectos sociales y de gobernanza. En este contexto, las finanzas sostenibles, según la perspectiva de la Corporación Financiera Internacional (IFC), se fundamentan en cinco pilares interrelacionados. Estos pilares comprenden el abordaje de la sostenibilidad desde diversas dimensiones, abarcando tanto los aspectos ambientales, como los sociales y de gobernanza (SFC, s.f.).

Distritos de riego	Es una infraestructura diseñada para captar, almacenar, y distribuir agua con el objetivo de garantizar su uso en actividades agropecuarias. Estos distritos son gestionados principalmente por la Agencia de Desarrollo Rural (ADR).
Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)	Son aquellos componentes gaseosos de la atmósfera, de origen natural o antropogénico, que absorben y emiten la energía solar reflejada por la superficie de la tierra, la atmósfera y las nubes. Los principales gases de efecto invernadero son el dióxido de carbono (CO ₂), el óxido nitroso (N ₂ O), el metano (CH ₄), los hidrofluorocarbonos (HFC), los perfluorocarbonos (PFC) y el hexafluoruro de azufre (SF ₆), (SFC, s.f.).
Escorrentía	Es el agua que se mueve por la superficie o bajo el suelo, como consecuencia de las lluvias o del deshielo, y que llega a los cauces superficiales.
Estrés hídrico	Situación que se da cuando la demanda de agua es más alta que la cantidad disponible durante un período determinado. Cuanto más cerca está la demanda de la oferta, mayor es el estrés, lo que hace que el área sea más vulnerable a la escasez. Niveles elevados de estrés indican una mayor competencia entre los usuarios por el acceso al agua (CEPLAN, 2023).
Filtro lento de arena (FLA)	Es un tipo de sistema de purificación de agua centralizado o semicentralizado. Un filtro de arena lento bien diseñado y debidamente mantenido elimina eficazmente la turbiedad y los organismos patógenos a través de diversos procesos biológicos, físicos y químicos en un único paso de tratamiento (SSWM, s.f.).
Fertilizantes sintéticos	Es el abono manufacturado mediante un proceso industrial (CORPOICA, s.f.).
Frontera agrícola	La zona de división entre las tierras ocupadas con cultivos y aquellas que nunca fueron cultivadas, donde se desarrollan actividades no agrícolas y sólo crece vegetación natural, que puede ser aprovechada para la caza, la recolección de frutos o alguna otra actividad (MADR, 2018).
Geomembrana	Son una solución sostenible e inteligente para optimizar recursos naturales y mejorar la calidad del medio ambiente. Forman parte de los geosintéticos que son materiales de origen industrial que se usan en obras de ingeniería civil, ambiental y geotécnica. Su principal característica es que sirven para asegurar la estanquidad de un suelo natural o la superficie de una obra que por sí sola no es impermeable en forma duradera y segura, para remediar las pérdidas de agua por infiltración o para evitar la migración de los contaminantes al suelo (G&G).
Greenwashing/Lavado verde	Para los fines de la reglamentación financiera, el lavado verde es una tergiversación de las características de sostenibilidad de un producto financiero y/o de los compromisos y/o logros sostenibles de un emisor que sea intencionada o debida a un comportamiento flagrante de un emisor. (ICMA, 2023).
Laguna de almacenamiento de aguas lluvia/Jagüey	es un cuerpo de agua diseñado o natural que se utiliza para recolectar y almacenar agua de lluvia o escorrentía superficial. Estas lagunas suelen emplearse en zonas rurales o agrícolas para gestionar recursos hídricos, reducir inundaciones y garantizar un suministro de agua para usos específicos como riego, consumo animal o recarga de acuíferos. El jagüey es un término

	ampliamente utilizado en zonas rurales del país, particularmente en regiones como la Costa Caribe, para referirse a depósitos construidos o adaptados para recolectar agua de lluvia (FAO, 2013).
Lignina	Es una de las principales estructuras de la pared celular de las plantas y varía en su composición entre los grupos taxonómicos (Maceda, Soto, Peña, Trejo, & Terrazas, 2022).
Línea base	Punto de referencia con el que se puede comparar y evaluar el desempeño y el progreso real de un proyecto (CEPAL, 2015).
Mediano productor	Según la <u>Resolución No. 8 de 2023 de la Comisión Nacional de Crédito Agropecuario</u> , se entiende por mediano productor (CNCA, 2023): <ul style="list-style-type: none"> • Aquellos que tengan ingresos brutos anuales superiores a 14.844 Unidades de Valor Básico (UVB) e inferiores o iguales a 288.402 UVB, y cuyos activos totales no superen 530.150 UVB. • Aquellos que tengan ingresos brutos anuales iguales o inferiores a 14.844 UVB, y cuyos activos totales sean superiores a 47.714 UVB e inferiores o iguales a 530.150 UVB. UVB: Herramienta que permite medir el valor real de las cosas sin las fluctuaciones propias de la inflación o las variaciones del mercado. Es un indicador complementario al Índice de Precios al Consumidor (IPC).
Oferta de agua	Volumen disponible de agua para satisfacer la demanda generada por las actividades del hombre (MAVDT, 2004).
Pequeño productor	Según la <u>Resolución No. 8 de 2023 de la Comisión Nacional de Crédito Agropecuario</u> , se entiende por pequeño productor (CNCA, 2023): <ul style="list-style-type: none"> • Aquellos con ingresos brutos anuales mayores a 5.302 UVB y hasta 14.844 UVB; y cuyos activos totales no superen 47.714 UVB.
Potencial de valoración de residuos orgánicos	La valoración de residuos orgánicos es el proceso mediante el cual se aprovechan los desechos biodegradables para convertirlos en productos útiles y beneficiosos. En lugar de ser desechados en vertederos o incinerados, estos residuos se transforman en recursos a través de distintos métodos. Las principales formas de valoración son: el compostaje, la digestión anaeróbica, la producción de biocombustibles líquidos y la extracción de compuestos de valor agregado como nutrientes, enzimas, compuestos bioactivos, entre otros (UAESP, 2014).
Pretratamiento físico	Se refiere a los procesos iniciales utilizados para remover sólidos gruesos, partículas sedimentables, residuos flotantes y aceites presentes en las aguas pluviales antes de que estas sean conducidas a sistemas de almacenamiento, tratamiento posterior o disposición final (MVCT, 2000).
Proxy/proxies	Puede ser entendido como un intermediario conceptual que simplifica la comprensión de un proceso o sistema más complicado. En el contexto de las Taxonomías se refiere al proceso de aplicación de uno o varios de los criterios de elegibilidad para ejemplificar su uso y simplificar la implementación de los documentos (Gobierno de Colombia, 2022).

Separación en la fuente	Consiste en clasificar los residuos sólidos en el lugar donde se generan. Esta actividad es importante para reducir el impacto de los residuos en el medio ambiente y prolongar la vida útil de los rellenos sanitarios (DNP, 2022).
Sistema de captación de aguas lluvias (SCALL)	Es la captación de agua de lluvia para su uso. Puede ser recolectada de techos y otras áreas impermeables, almacenada, tratada (cuando se requiera) y luego se utiliza como suministro de agua para uso doméstico, comercial, industrial o institucional (MADS, 2022).
Sólidos totales	Representan la suma de los sólidos disueltos y en suspensión presentes en una muestra de agua, incluidas partículas orgánicas e inorgánicas.
Tasa de infiltración	Es la medida de la rapidez con la que el suelo absorbe la precipitación o la irrigación. Se expresa en pulgadas o milímetros por hora.
Tiempo de retención	Período promedio que el agua permanece en un sistema, como un lago, embalse, humedal o cualquier otra estructura de almacenamiento de agua, antes de ser descargada o utilizada. Es un concepto clave en la gestión de recursos hídricos, ya que influye en la calidad del agua y en los procesos biogeoquímicos del ecosistema.
Valoración de residuos orgánicos	Es el proceso técnico mediante el cual los desechos orgánicos (p.ej: los restos de alimentos, podas, lodos de depuradoras, entre otros) son transformados en productos útiles o en recursos de valor económico, mediante tecnologías de recuperación y aprovechamiento (como la digestión anaeróbica, el compostaje, entre otros). El objetivo principal es reducir el impacto ambiental de los residuos, minimizando su disposición final en vertederos y maximizando su reutilización o reciclaje (Ática, s.f.).

INTRODUCCIÓN

El presente documento describe la herramienta del segundo desarrollo de *proxies*, la cual responde a las necesidades de implementación de la Taxonomía Verde de Colombia (TVC) para el sector de uso del suelo, relacionadas con las buenas prácticas del sector agrícola que se presentan en las tablas 3.5 a la 3.9¹ de la TVC. Los *proxies* se desarrollan con un enfoque diferencial que prioriza alternativas para los pequeños y medianos productores, pero no se limita a este enfoque, ya que puede ser utilizado también por micro y grandes productores. Esta herramienta apoyará en la toma de decisiones informadas por parte tanto del sector real como financiero, para canalizar recursos hacia inversiones o proyectos verdes, es decir, que tengan una contribución sustancial o impacto positivo en los objetivos ambientales.

El documento consta de cuatro capítulos. El primero describe los antecedentes de este proxy, en particular cómo se hizo la identificación y priorización de las herramientas a desarrollar para pequeños y medianos productores del sector agrícola y la selección de la herramienta con los tres *proxies* que se describen en este manual. El segundo capítulo hace un bosquejo de la herramienta general, los *proxies* que incluye y una descripción de cada uno. Los capítulos 3 y 4 hace un zoom para los tres *proxies* de la herramienta, desarrollado para la dimensión ambiental de residuos y la dimensión ambiental del recurso hídrico, respectivamente. Estos dos últimos capítulos describen para cada dimensión, el marco de referencia, una guía paso a paso de cómo usar la herramienta, explicación sobre cómo interpretar los resultados, unos estudios de caso con ejemplos, y los potenciales usos y usuarios de los *proxies*.

¹ Las tablas referencias en la TVC son:

- Tabla 3.5: criterios de elegibilidad sectorial – Inversiones y prácticas para la transición hacia la agricultura ecológica.
- Tabla 3.6: criterios de elegibilidad para la reconversión de cultivos de café.
- Tabla 3.7: criterios de elegibilidad para la reconversión de cultivos de arroz.
- Tabla 3.8: criterios de elegibilidad para la reconversión de cultivos de frutales.
- Tabla 3.9: criterios de elegibilidad para la reconversión de cultivos de cacao.

1. ANTECEDENTES

Identificación y priorización de proxies para pequeños y medianos productores del sector agricultura

Con el fin de realizar un diagnóstico teórico sobre las brechas e implicaciones de la implementación de la TVC por parte del sector agricultura con enfoque en los pequeños y medianos productores, se desarrolló una nota conceptual en la que se analizaron las buenas prácticas e inversiones relacionadas dentro de la TVC. Estas prácticas se clasificaron en seis (6) dimensiones ambientales: uso del suelo, eficiencia energética, recurso hídrico, calidad del aire, residuos y biotecnología.

A partir de esta clasificación se identificaron brechas del sector para cada dimensión en el contexto nacional. Después se relacionaron, para cada una de las buenas prácticas de la TVC de las tablas 3.5 a la 3.9, las dimensiones ambientales asociadas y se desarrollaron planteamientos teóricos, validados con las partes interesadas, sobre los posibles desarrollos, herramientas y tecnologías que podrían responder a las buenas prácticas y a la vez contribuir al cierre de las brechas. De este ejercicio se obtuvo un listado de dieciséis (16) *proxies* potenciales a desarrollar, los cuales fueron priorizados a través de una metodología cuantitativa que ponderó la importancia de cada dimensión ambiental y de cada *proxy* propuesto para clasificar su relevancia de desarrollo. El listado de *proxies* presentado se muestra a continuación:

Tabla 1. Listado de proxies propuestos dentro de la Nota Conceptual en orden de priorización descendente

No. de Proxy	Listado de <i>proxies</i> propuestos	Dimensiones ambientales
1	a. Listado de tipos de tecnologías para biodigestores. b. Calculadora de potencial energético de residuos provenientes de las actividades agropecuarias para biodigestores.	<ul style="list-style-type: none"> • Calidad del aire • Eficiencia energética • Residuos • Uso del suelo
2	Tecnologías o prácticas para la reducción de emisiones de metano en cultivos por inundación.	<ul style="list-style-type: none"> • Calidad del aire • Recurso hídrico • Uso del suelo
3	Calculadora de beneficios de alternativas de riego por inundación.	<ul style="list-style-type: none"> • Calidad del aire • Recurso hídrico • Uso del suelo
4	Listado de tipos de tecnologías para la reutilización o tratamiento de aguas residuales.	<ul style="list-style-type: none"> • Recurso hídrico • Uso del suelo
5	a. Identificación de las zonas de estrés hídrico en Colombia. b. Calculadora para el diseño de sistemas de captación de aguas lluvia o de otras tecnologías para distritos de riego. c. Listado de tecnologías para captación de agua y sistemas de riego en zonas con estrés hídrico.	<ul style="list-style-type: none"> • Recurso hídrico • Uso del suelo

No. de Proxy	Listado de <i>proxies</i> propuestos	Dimensiones ambientales
6	Calculadora de compostaje.	<ul style="list-style-type: none"> Residuos Uso del suelo
7	Calculadora para diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales.	<ul style="list-style-type: none"> Recurso hídrico Residuos
8	Calculadora de fertilizante necesario según hectáreas y tipo de cultivo.	<ul style="list-style-type: none"> Uso del suelo
9	Listado de formulaciones y moléculas para agro insumos biológicos.	<ul style="list-style-type: none"> Uso del suelo
10	Listado de buenas prácticas para rotación de cultivos, diversificación de cultivos, permacultura y agroforestería.	<ul style="list-style-type: none"> Uso del suelo
11	Calculadora de beneficios rotación de cultivo y/o producción más sostenible.	<ul style="list-style-type: none"> Uso del suelo
12	Listado de buenas prácticas o alternativas tecnológicas para el control de la erosión del suelo.	<ul style="list-style-type: none"> Uso del suelo
13	Calculadora de consumo de agua demandada por cultivo según zonas climáticas (priorización de cultivos de la TVC).	<ul style="list-style-type: none"> Recurso hídrico
14	Calculadora para estimar beneficios a alternativas de sistemas con eficiencia hídrica para la producción de café.	<ul style="list-style-type: none"> Recurso hídrico
15	Listado de tipos de tecnologías para sensores de bajo costo para el cálculo de demanda hídrica de los cultivos.	<ul style="list-style-type: none"> Recurso hídrico
16	Listado de tipos de tecnologías de eficiencia energética que sirvan para el agro en los cultivos priorizados por la TVC.	<ul style="list-style-type: none"> Eficiencia energética

La nota conceptual fue socializada en octubre de 2024 con la MTV (MHCP, MADS, DNP, DANE y SFC) y con actores del sector privado (p. ej: el Protocolo Verde representado por Asobancaria), ejercicio del cual se derivaron una serie de reuniones para priorizar el desarrollo de tres de los 16 posibles *proxies* listados que responderían a las necesidades del sector agricultura y facilitarían a entidades financieras, entidades de gobierno y usuarios de productos bancarios su alineación bajo las buenas prácticas contempladas para el sector de agricultura en la TVC.

A partir de la nota conceptual desarrollada se adelantaron diferentes procesos de priorización de los *proxies* propuestos a desarrollar para pequeños y medianos productores del sector. Durante estos procesos, entidades o instancias como la MTV, el Protocolo Verde de Asobancaria y el Ministerio de agricultura realizaron una revisión del listado y presentaron propuestas de priorización individuales.

Buscando atender el sustento teórico de priorización desarrollado dentro de la nota conceptual y las necesidades del sector real representado por el Protocolo Verde y las Partes Interesadas, para esta segunda fase se dio prioridad a tres de los *proxies* presentados dentro del listado para el sector agricultura. Los *proxies* priorizados para su desarrollo son los que se muestran a continuación y sobre los que se desarrolla el presente manual.

Tabla 2. Segunda fase de desarrollo de *proxies* para la implementación de la TVC

No. de Proxy	Proxies propuestos	Dimensiones ambientales
1	a. Listado de tipos de tecnologías para biodigestores. b. Calculadora de potencial energético de residuos provenientes de las actividades agropecuarias para biodigestores.	<ul style="list-style-type: none"> • Calidad del aire • Eficiencia energética • Residuos • Uso del suelo
5	a. Identificación de las zonas de estrés hídrico en Colombia. b. Calculadora para el diseño de sistemas de captación de aguas lluvia o de otras tecnologías para distritos de riego. c. Listado de tecnologías para captación de agua y sistemas de riego en zonas con estrés hídrico.	<ul style="list-style-type: none"> • Recurso hídrico • Uso del suelo
6	Calculadora de compostaje.	<ul style="list-style-type: none"> • Residuos • Uso del suelo

2. Herramienta de segundo desarrollo de *proxies* para la implementación de la Taxonomía Verde de Colombia. Pequeños y medianos productores del sector agricultura

En este capítulo se introducen los dos *proxies* desarrollados e incluidos en la herramienta de Excel. La tabla 3 describe los *proxies* disponibles en la herramienta por dimensión ambiental principal.

Tabla 3. Descripción de las herramientas incluidas en la segunda fase de *proxies* para implementación de la TVC

Pestaña en la herramienta	Descripción de la herramienta
Dimensión ambiental de Residuos	
<p>HC Valoración Orgánicos</p>	<p>Esta pestaña corresponde a la herramienta de cálculo (HC) para estimar el potencial de valoración de residuos orgánicos² provenientes de la actividad agropecuaria. Está diseñada para apoyar proyectos enfocados en tecnologías de tratamiento biológico, como la digestión anaeróbica y el compostaje.</p> <p>La herramienta permite evaluar el impacto del tratamiento de residuos orgánicos de origen pecuario, proporcionando una estimación de la cantidad de biogás que podría utilizarse en procesos como la cocción o la cantidad de energía eléctrica que podría generarse a través de la cogeneración.</p> <p>Para los residuos orgánicos provenientes de actividades agrícolas, también permite calcular la cantidad de abono orgánico que podría generarse a través de su tratamiento. Esta última estimación también es posible conocerla para la tecnología de digestión anaerobia mencionada anteriormente.</p> <p>Asimismo, la herramienta ofrece la posibilidad de estimar los beneficios de reducción de emisiones al tratar estos residuos mediante digestión anaeróbica u otros sistemas mencionados, en comparación con un escenario convencional donde no se realiza ningún tipo de tratamiento.</p>

² La valoración de residuos orgánicos es el proceso mediante el cual se aprovechan los desechos biodegradables para convertirlos en productos útiles y beneficiosos. En lugar de ser desechados en vertederos o incinerados, estos residuos se transforman en recursos a través de distintos métodos, contribuyendo a la economía circular y reduciendo el impacto ambiental. Las principales formas de valoración son: el compostaje, la digestión anaeróbica, la producción de biocombustibles líquidos y la extracción de compuestos de valor agregado como nutrientes, enzimas, compuestos bioactivos, entre otros (UAESP, 2014).

	<p>El usuario deberá ingresar información específica del proyecto para la estimación del potencial de biogás y la reducción de Gases de Efecto Invernadero (GEI), considerando las siguientes secciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> Selección del tipo de proyecto: Escoger el tipo de proyecto de valoración que desea evaluar. Ingreso de datos del proyecto: Ingresar manualmente los datos clave del proyecto, los cuales alimentarán los cálculos de biogás y reducción de GEI. Visualización de resultados: Los resultados de las estimaciones, como el potencial de valoración y la reducción de GEI, se mostrarán al finalizar el cálculo.
<p>Tecnologías Biodigestores</p>	<p>Listado de tipos de biodigestores que incluyen información de las fichas técnicas de las tecnologías para facilitar al usuario la elección de la tecnología que supla sus necesidades.</p> <p>Adicionalmente, se habilita una pestaña adicional que brinda recomendaciones para el diseño y construcción de biodigestores siguiendo los lineamientos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) para este tipo de equipos. Ambos desarrollos complementan y soportan los cálculos presentados en la pestaña “HC Valoración Orgánicos”.</p>
<p>Dimensión Ambiental de Recurso Hídrico</p>	
<p>Estrés Hídrico (IUA)</p>	<p>Esta pestaña presenta la introducción a la herramienta para identificar el estado del uso del agua por municipio para año seco y año medio, mediante los datos del Índice de Uso de Agua (IUA) presentados en el Estudio Nacional del Agua (ENA) 2022.</p> <p>Este apartado no es para realizar cálculos, y se presenta al usuario a modo de información básica para comprender las categorías de clasificación del IUA y los parámetros para comprender las diferencias entre año medio y año seco. Al final de la pestaña se encuentra el botón que direcciona a la herramienta de cálculo.</p> <p>La herramienta permite identificar el estado del recurso hídrico a escala municipal, con el objetivo de brindar información detallada sobre aquellas regiones que presentan mayor vulnerabilidad para responder a la demanda hídrica.</p>
<p>IUA_Recomendaciones Inversión</p>	<p>Esta pestaña es la continuación de la pestaña “Estrés hídrico IUA” y corresponde a la interfaz para la identificación del estado del uso de agua, relacionando la oferta y demanda hídrica, mediante los datos del IUA para año medio y seco del ENA 2022. Consiste en 3 pasos donde el usuario debe seleccionar el departamento y municipio de interés para obtener la categoría en la que fue clasificada la localización de interés. Adicionalmente, se presentan al usuario las recomendaciones de inversiones viables, con base en la categoría de mayor cuantificación para año seco de la(s) subzonas hidrográficas(s) contenidas para el emplazamiento seleccionado.</p>

	<p>Las categorías de clasificación para año seco que se consideraron de alto, muy alto y crítico adicionan la recomendación de priorizar inversiones que hagan uso de aguas lluvias, incluyendo un botón de acceso directo a la herramienta de diseño de sistema de captación de aguas lluvia "HC_SCALL".</p>
HC_SCALL	<p>La herramienta de Cálculo (HC) para diseño de sistemas de aguas lluvia en zonas rurales con enfoque en pequeños y medianos productores para uso doméstico (agua cruda o con pretratamiento físico) o uso agrícola (para riego) a través de la estimación de la captación en de dos medios:</p> <ol style="list-style-type: none"> El volumen de almacenamiento de un tanque de aguas lluvia por captación a través de estructura en techo. El volumen de almacenamiento de una laguna de almacenamiento de agua lluvia/jagüey. <p>Adicionalmente, se brinda un estimado del volumen de agua de lluvia a recolectar anualmente, el volumen del tanque de primer lavado en el caso de captación por estructura en techo y brinda recomendaciones para el diseño de cualquiera de los dos tipos de captación.</p> <p>Esta herramienta permite identificar si la implementación de un sistema de captación de aguas lluvias tiene el potencial de suplir la necesidad o demanda hídrica del usuario.</p>
Tecnologías UEA	<p>Listado de alternativas de sistemas urbanos y rurales de drenaje para incentivar el uso eficiente del recurso hídrico mediante la optimización de las aguas lluvia. Estos listados incluyen información de la Guía de Lineamientos para Potenciar el Uso del Agua Lluvia desarrollada por el MADS en 2022.</p> <p>Adicionalmente, la herramienta relaciona o ejemplifica en cuál/cuales de los 16 departamentos priorizados como vulnerables al desabastecimiento hídrico (IVDH) en el ENA 2022³ es factible la implementación de cada alternativa.</p>

A continuación, se brindan algunos ejemplos de aplicación/uso de los segundos proxies para la implementación de la TVC.

³ Los departamentos priorizados dentro del IVDH dentro del ENA 2022 fueron: Magdalena, Cesar, La Guajira, Risaralda, Bolívar, Sucre, Córdoba, Guaviare, Tolima, Atlántico, Norte de Santander, Santander, Valle del Cauca, Quindío, Boyacá, y el departamento de San Andrés, Providencia y Santa Catalina.

Tabla 4. Posibles usuarios de la herramienta y ejemplos de aplicación (lista no exhaustiva)

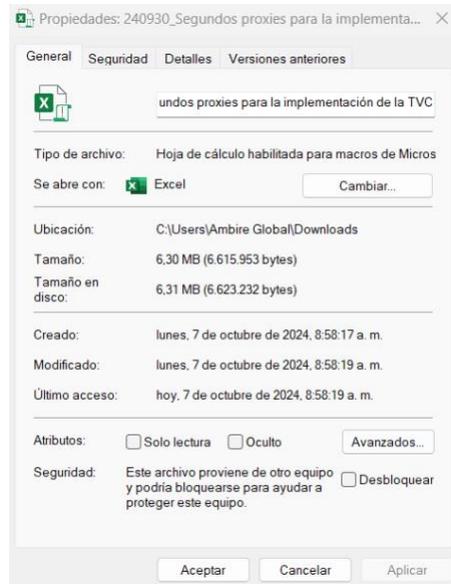
Usuarios de las herramientas <i>proxies</i>	Lista no exhaustiva de usos de los <i>proxies</i> para pequeños y medianos productores del sector AFOLU
Micro, pequeños, medianos y grandes productores agrícolas.	<ul style="list-style-type: none"> Revisión de viabilidad técnica de proyectos que impliquen implementación de tratamientos biológicos de residuos orgánicos y sistemas de captación de aguas lluvias. Alineación de los proyectos con la TVC, posibilitando y facilitando el acceso a financiamiento.
Entidades bancarias y entidades financieras.	<ul style="list-style-type: none"> Identificación de variables, métricas y criterios técnicos a considerar para la creación de productos. Creación de líneas de crédito diferenciales enfocadas en tecnologías particulares (como: biodigestores, proyectos de compostaje, SCALLs), que están alineados con la TVC. Articulación con los SARAS de las entidades financieras, para reducción y gestión de riesgos climáticos.
Empresas aseguradoras.	<ul style="list-style-type: none"> Identificar zonas con mayor vulnerabilidad hídrica mediante la relación del indicador IUA de la oferta y demanda hídrica. Creación de productos de suscripción que prioricen riesgos climáticos para municipios con alta vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico.
Entidades de gobierno.	<ul style="list-style-type: none"> Articulación de los ministerios y la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) para priorizar esfuerzos en municipios con alta vulnerabilidad al estrés hídrico en año seco a través de la información relacionada en el IUA del ENA 2022. Identificación de la necesidad del desarrollo de políticas públicas para gestión de riesgos y desastres, actualización conjunta de Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCAS). Identificación de la necesidad del desarrollo de incentivos para promover y facilitar el acceso a tecnologías de tratamiento biológico de residuos orgánicos.
Usuarios particulares.	<ul style="list-style-type: none"> Identificación de regiones y municipios con mayor oferta hídrica para inversión en finca raíz. Identificación de inversiones en SCALL para uso doméstico, con el fin de disminuir el consumo de agua.

2.1 Pasos previos para el uso de la herramienta

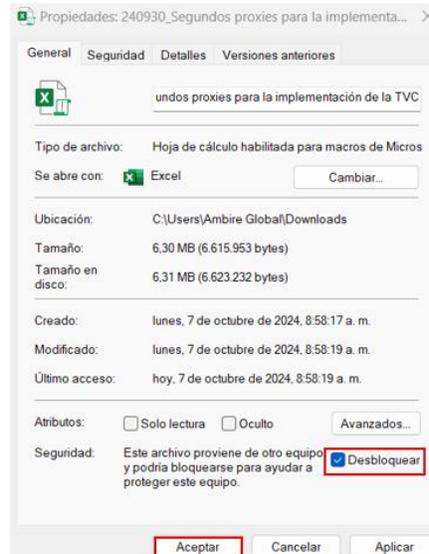
Los *proxies* se desarrollan en herramientas Excel que requieren habilitar la ejecución de macros para acceder a los instrumentos. El proceso recomendado para habilitar las macros después de descargar la herramienta en el ordenador es el siguiente:

- a. De clic derecho sobre el nombre del archivo desde su ordenador, se desplegará un menú de opciones.

- b. De clic en la opción “Propiedades” o siga el comando “Alt+Enter”, se desplegará la ventana mostrada a continuación:



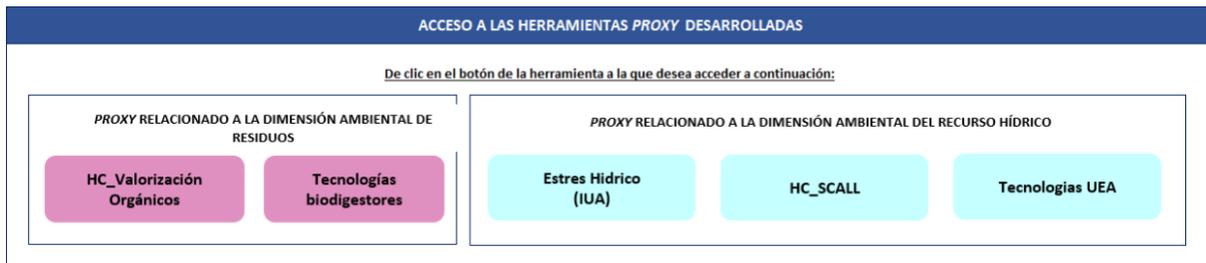
- c. En la parte inferior marque la opción “desbloquear” y de clic en el botón aceptar.



- d. Al abrir el documento verá el siguiente mensaje en la parte superior de la herramienta, de clic en el botón “habilitar edición”.

La herramienta cuenta con cinco (5) pestañas principales donde se encuentran las herramientas, el acceso a estas se realiza a través de los botones ubicados en la parte inferior de la pestaña “Introducción”. Desde dicha localización el usuario puede elegir la herramienta de su interés y acceder fácilmente a esta.

Cada una de las pestañas cuentan con instrucciones sencillas para guiar al usuario en el paso a paso del diligenciamiento de la herramienta para simplificar su experiencia de uso. Todas las celdas de la herramienta están protegidas para evitar alteraciones que comprometan su funcionamiento. Únicamente estarán en opción editable aquellas celdas en las que el usuario deba registrar información, las cuales se identifican por estar resaltadas en azul claro.



Los capítulos 3 y 4 del presente documento abordan las herramientas *proxies* desarrolladas para el sector agricultura relacionando un marco de referencia general a la dimensión ambiental principal (Residuos o Recurso Hídrico), una guía metodológica para el funcionamiento de los *proxies*, una visualización a través de casos de estudio de los resultados de las herramientas y finalmente una generalidad sobre las rutas de uso de las herramientas por tipo de usuario.

3. *Proxies* para la dimensión ambiental de residuos

3.1 Marco de referencia

La gestión de residuos agrícolas en Colombia es un aspecto crucial para el desarrollo sostenible y la preservación del medio ambiente. Los residuos agrícolas, como los restos de cultivos, los desechos de cosechas y otros subproductos, pueden tener impactos significativos en la tierra, el agua y el aire si no se gestionan adecuadamente. Según el IDEAM, el sector residuos es responsable por el 6% de GEI del país. Adicionalmente, según el estudio realizado por la UPME-UNAL (2018) solo entre el sector de caña de azúcar, caña panelera y plátano se producen anualmente 6.8 millones de toneladas de residuos orgánicos con respecto a los 175 millones de toneladas anuales que se generan entre residuos provenientes del sector pecuario, agrícola, urbano e industrial (UPME-UNAL, 2018).

El panorama actual de la gestión de residuos agrícolas en Colombia evoluciona gradualmente, con una creciente conciencia sobre la importancia de abordar este tema para promover la sostenibilidad ambiental y agrícola. A continuación, se destacan algunos aspectos relevantes:

Normativas y políticas: Colombia ha establecido normativas y políticas para la gestión de residuos agrícolas, incluyendo disposiciones en [la Ley No. 1259 de 2008](#), el [Decreto No. 1071 de 2015](#), el [Decreto No. 1076 de 2015](#), la [ley No. 1715 de 2014](#) y en la [Política Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos \(CONPES 3874 de 2016\)](#). Estas normativas proporcionan un marco legal para la gestión adecuada de los residuos agrícolas y promueven prácticas sostenibles.

Enfoque en la Economía Circular: Se está promoviendo un enfoque de economía circular para la gestión de residuos agrícolas, que busca maximizar el valor de los recursos y minimizar los impactos ambientales. Esto incluye la promoción del compostaje, la separación de residuos en la fuente y la valoración de los subproductos agrícolas.

En ese sentido el país ha desarrollado varias medidas para aumentar el nivel de separación de residuos en la fuente, tales como:

- La [norma GTC 24:3](#) del año 2009 Guía para la separación en la fuente.
- La obligatoriedad de la separación en la fuente establecida en el [Título 2 del Decreto No. 1077 de 2015](#).
- Campañas educativas en los niveles municipales y por parte de operadores y sector productivo.
- Incentivos a la separación en la fuente como el definido en el marco tarifario de aseo, [Resolución CRA No. 720 de 2015](#), el cual corresponde a un descuento de hasta el 4% para los suscriptores de aquellas macro rutas de recolección de residuos aprovechables que tengan niveles de rechazo inferiores al 20% de los residuos presentados.

Adicionalmente, el MADS ha creado las [Mesas Regionales de Información de Economía Circular](#), las cuales son administradas por las corporaciones autónomas y. Actualmente la mesa está conformada por 23 entidades representativas de diversos sectores ambientales, económicos y sociodemográficos en Colombia. Entre las entidades se encuentran el MADS, responsable de la gestión ambiental y el ordenamiento territorial; el MINCIT, que promueve la competitividad y sostenibilidad empresarial y turística; el MVCT, encargado de políticas de vivienda, desarrollo urbano y ordenamiento territorial; el MADR, responsable del sector agropecuario y rural; y el DANE. Además, participan entidades como la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, que supervisa servicios públicos; institutos de investigación para promover la ciencia y tecnología y gremios de sectores agropecuarios e industriales.

Adicionalmente, el MADS como parte de la Estrategia Nacional de Economía Circular ha creado la [Mesa Nacional para el Aprovechamiento de Biomasa Residual](#) donde participan además de los actores ya mencionados estos otros actores como: el DNP, la UPRA, la UPME, el ICA, la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, la CRA, la UAESP, La SDA y la SAC (MADS, 2021).

A pesar de estos avances, siguen existiendo desafíos en la gestión de residuos agrícolas en Colombia. Estos incluyen la falta de infraestructura adecuada, la limitada capacidad técnica y financiera, y la necesidad de abordar la contaminación por agroquímicos y otros contaminantes. Específicamente se han identificado las siguientes brechas:

- Instalaciones inadecuadas para la disposición final de residuos: Más de 100 municipios rurales no cuentan con un sitio de disposición final adecuado, dichos municipios se concentran principalmente en Bolívar, Chocó, Magdalena y Cauca.
- Separación de residuos insuficiente en la fuente: Los niveles de aprovechamiento de residuos en el país son de apenas el 11%, esto debido a la no separación de residuos en la fuente (Gobierno de Colombia, 2016).
- Número de biodigestores en el país: Según el mapa de proyectos de biogás en Latinoamérica y el Caribe (LAC) generado por LEDS LAC, Colombia cuenta con un total de 62 proyectos de biodigestión de pequeña, mediana y gran escala en los sectores avícola, porcícola; entre otros (LEDS LAC, s.f.). La Tabla 39 muestra los diferentes proyectos desarrollados en el país en materia de biodigestión.
- Alto valor del CAPEX para biodigestores: Para que el modelo financiero de un biodigestor cierre positivamente es necesario que se maneje un volumen alto de tratamiento de residuos orgánicos.

Para más información sobre las brechas identificadas para la dimensión ambiental de Residuos ver [Anexo 1](#).

3.2 Guía metodológica y manual del usuario

La dimensión ambiental de residuos fue abordada mediante dos desarrollos principales, una herramienta de cálculo para el dimensionamiento de sistemas de tratamiento biológico de residuos orgánicos (biodigestores

y pilas de compostaje) y un listado de tecnologías de biodigestores, cuya metodología y guía de uso se presenta a continuación:

3.2.1 Herramienta de cálculo para el dimensionamiento de biodigestores o pilas de compostaje (HC_Valoración_Orgánicos) para residuos orgánicos agropecuarios

En la hoja denominada “Introducción”, el usuario tendrá la opción de navegar la herramienta de cálculo denominada “HC_Valoración_Orgánicos”. Esta fue estructurada en tres secciones para el ingreso de información y dos secciones donde se visualizan los resultados al usuario. La solicitud de información al usuario comprende el ingreso de información general (p.ej: la ubicación del proyecto), ingreso de información específica del sector agropecuario la cual se encuentra dividida en sector pecuario y sector agrícola.

Las dos secciones de resultados comprenden los resultados por tecnología (digestión anaeróbica o compostaje) los cuales se visualizarán dependiendo del ingreso de información en los pasos previos, y un resultado final donde se muestran las emisiones de GEI tanto respecto de una línea base como en el escenario del proyecto (el cual corresponde a los datos ingresados por el usuario para el tratamiento biológico de los residuos), así como la reducción de emisiones de GEI, si existe. A continuación, se brinda más información sobre los apartados contemplados en la herramienta:

Paso 1 y 2. Ingreso de información general y de información por tipo de residuo:

Inicialmente, la herramienta de Excel “HC_Valoración_Orgánicos” solicita al usuario el ingreso de información general en tres celdas, las cuales se describen a continuación⁴:

Tabla 5. Datos generales requeridos para el funcionamiento de la pestaña HC_Valoración_Orgánicos

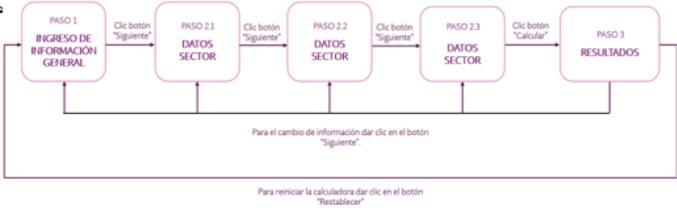
Dato solicitado al usuario	Descripción
Departamento	Entidad territorial de primer nivel de la división político administrativa del Estado que agrupa municipios y áreas no municipalizadas. Goza de autonomía para la administración de los asuntos seccionales y la planificación y la promoción del desarrollo económico y social dentro de su territorio en los términos establecidos por la Constitución y las leyes. Los departamentos ejercen funciones: administrativas, de coordinación, de complementariedad de la acción municipal, de intermediación entre la Nación y los municipios y de prestación de los servicios que determinen la Constitución y las leyes (DANE, 2018).

⁴ Los datos solicitados en cada sección son de **obligatoria digitación** para el funcionamiento de la herramienta de cálculo, ya que la herramienta HC_Valoración_Orgánicos no cuenta con supuestos de cálculo para funcionar sin los datos solicitados. Estos datos son criterios mínimos que deben conocer los interesados en un proyecto o los aplicantes a créditos verdes interesados en este tipo de sistemas.

Municipio	Entidad territorial fundamental de la división políticoadministrativa del Estado, con autonomía política, fiscal y administrativa dentro de los límites que le señalen la Constitución y las leyes de la República y cuya finalidad es el bienestar general y el mejoramiento de la calidad de vida de la población en su respectivo territorio (DANE, 2018).
Tipo de residuos	Selección del tipo de residuo proveniente de la finca el cual dependerá del tipo de sector agropecuario ingresado. Dentro de las opciones está el sector pecuario (p. ej: excretas) o el sector agrícola (p. ej: fruto rechazo de banano, hojas de tomate, bagazo de la caña panelera).

La ilustración 2 muestra este primer paso de ingreso de la información general del proyecto vinculado a la valoración de los residuos generados en el sector agropecuario.

Ilustración 1. Vista inicial de la herramienta de cálculo para el diseño de biodigestores y/o pilas de compostaje para residuos sólidos.

 Gobierno de Colombia	HERRAMIENTA DE CÁLCULO PARA EL POTENCIAL ENERGÉTICO Y DISEÑO DE BIODIGESTORES Y/O CELDAS DE COMPOSTAJE PARA RESIDUOS SÓLIDOS PRODUCTO DE LA ACTIVIDAD AGROPECUARIA Y DOMÉSTICA DE PEQUEÑOS Y MEDIANOS PRODUCTORES			
<p>Instrucciones de diligenciamiento</p> <p>Bienvenido a la herramienta de cálculo para estimar el potencial de valorización de residuos orgánicos producto de la actividad agropecuaria. Las celdas en color AZUL corresponden a celdas con listas desplegables donde el usuario debe seleccionar una opción según el tipo de proyecto de su interés. El usuario debe ingresar manualmente los datos del proyecto en cada celda que se encuentre resaltada en color AMARILLO. Estos datos serán usados para la estimación del potencial de biogás de los residuos valorizados así como la estimación de los Gases Efecto Invernadero (GEI) por el tratamiento biológico de los residuos a través de las tecnologías de digestión anaeróbica o compostaje. Los resultados de los cálculos serán visibles en las celdas resaltadas en color VERDE.</p> <p>NOTA: Es:</p>  <p style="text-align: center;">Para el cambio de información dar clic en el botón "Siguiente"</p> <p style="text-align: center;">Para reiniciar la calculadora dar clic en el botón "Restablecer"</p>	<p>Botones para el funcionamiento de la herramienta</p> <p style="text-align: center;"> <input type="button" value="Restaurar"/> <input type="button" value="Siguiente"/> <input type="button" value="Calcular"/> </p>			
<p>0. Ingreso de información general</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 25%;">Paso 0. Información general</td> <td style="width: 50%;"> Seleccione el departamento donde se desarrollará el proyecto Seleccione el municipio donde se desarrollará el proyecto ¿Qué tipo de residuos orgánico tiene en su finca? </td> <td style="width: 25%;"> Seleccione un departamento Manizales Residuo agrícola </td> </tr> </table>		Paso 0. Información general	Seleccione el departamento donde se desarrollará el proyecto Seleccione el municipio donde se desarrollará el proyecto ¿Qué tipo de residuos orgánico tiene en su finca?	Seleccione un departamento Manizales Residuo agrícola
Paso 0. Información general	Seleccione el departamento donde se desarrollará el proyecto Seleccione el municipio donde se desarrollará el proyecto ¿Qué tipo de residuos orgánico tiene en su finca?	Seleccione un departamento Manizales Residuo agrícola		

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 6 muestra los diferentes tipos de residuos sólidos orgánicos a valorizar provenientes de los animales vinculados al sector pecuario (p. ej: vacas, cerdos, pollos) así como los cultivos provenientes del sector agrícola.

Tabla 6. Diferentes tipos de residuos vinculados al sector agropecuario

Tipo de animal/cultivo	Sector	Residuo	Nombre completo
Bovino	Pecuario	Estiércol	Estiércol de bovino
Porcino	Pecuario	Estiércol	Estiércol de porcino

Tipo de animal/cultivo	Sector	Residuo	Nombre completo
Gallinas	Pecuario	Gallinaza	Gallinaza de gallinas
Café	Agrícola	Pulpa	Pulpa de café
Banano	Agrícola	Fruto rechazo	Fruto rechazo de banano
Caña de Azúcar	Agrícola	Bagazo	Bagazo de caña de azúcar
Plátano	Agrícola	Fruto rechazo	Fruto rechazo de plátano
Caña Panelera	Agrícola	Bagazo	Bagazo de caña panelera
Trigo	Agrícola	Paja	Paja de trigo
Maíz	Agrícola	Paja	Paja de maíz
Arroz	Agrícola	Paja	Paja de arroz
Papas	Agrícola	Hojas	Hojas de papas
Tomate	Agrícola	Hojas	Hojas de tomate
Cebolla	Agrícola	Hojas	Hojas de cebolla
Cacao	Agrícola	Cáscara	Cáscara de cacao

Fuente: (FAO, 2011), (UPME & UNAL, 2018).

a. Ingreso de información base - Sector pecuario

Las ilustraciones 3, 4 y 5 muestran la solicitud de ingreso de información referente al sector pecuario en caso de que el usuario hubiera ingresado previamente en la celda “Tipo de residuos” la opción: “Sector pecuario” y las diferentes opciones de ingreso de información para el sector, las cuales se detallan en la tabla 7:

Tabla 7. Datos generales requeridos para el sector pecuario de la pestaña HC_Valoración_Orgánicos

Dato solicitado al usuario	Descripción
Tipo de sector pecuario	Solicitud de ingreso de información relacionada a los tipos de ganado vinculados al sector pecuario tales como ganado bovino, ganado porcícola y ganado avícola.
Tipo de tamaño	Solicitud de ingreso de información asociada al tamaño de ganado pecuario, ya sea ganado bovino, porcícola o avícola. En la Ilustración 3 se muestra un ejemplo de tamaño de ganado para el sector bovino.
Ingreso número de cabezas de ganado	Solicitud de ingreso de información relacionado al número de cabezas de ganado pecuario dependiendo de su tamaño. En la Ilustración 4 se presenta un ejemplo para el ingreso de número de cabezas de ganado, tamaño ternera pertenecientes al sector bovino.

Ilustración 2. Solicitud de ingreso de información - sector pecuario

1. Ingreso de información - Sector agropecuario											
DATOS SECTOR PECUARIO											
<p>Instrucciones:</p> <p>Seleccione los tipos de ganado con los que cuenta en su finca y el correspondiente tamaño (varía dependiendo si es bovino, porcino o avícola). Una vez ingresados estos datos favor ingrese el número de cabezas tanto por tipo de ganado como por tamaño seleccionado.</p> <p>Listado de tipos de ganado y tamaños:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Ganado bovino</i>: ternera (<i>menor 1 año</i>), ganado pequeño (<i>entre 1 a 2 años</i>), ganado mediano (<i>entre 2 a 3 años</i>) y ganado grande (<i>mayor a 3 años</i>). - <i>Ganado porcino</i>: ganado pequeño (<i>lechón 1-60 días</i>), ganado mediano (<i>levante 61-120 días</i>) y ganado grande (<i>ceba 121-180 días, hembras reemplazo 120-240 días, hembras cría más 240 días, machos reproductores más 180 días</i>). - <i>Avícola</i>: aves pequeñas (<i>levante</i>), aves medianas (<i>engorde</i>) y aves grandes (<i>postura y reproductoras</i>). 											
Información general del sector	¿Cuál es el tipo de sector pecuario presente en su finca?	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Seleccione el sector</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Seleccione el sector</td></tr> <tr><td>Sector bovino</td></tr> <tr><td>Sector porcicola</td></tr> <tr><td>Sector avícola</td></tr> <tr><td>Sector bovino + porcicola</td></tr> <tr><td>Sector bovino + avícola</td></tr> <tr><td>Sector porcicola + avícola</td></tr> <tr><td>Sector bovino + porcicola + avícola</td></tr> </tbody> </table>	Seleccione el sector	Seleccione el sector	Sector bovino	Sector porcicola	Sector avícola	Sector bovino + porcicola	Sector bovino + avícola	Sector porcicola + avícola	Sector bovino + porcicola + avícola
Seleccione el sector											
Seleccione el sector											
Sector bovino											
Sector porcicola											
Sector avícola											
Sector bovino + porcicola											
Sector bovino + avícola											
Sector porcicola + avícola											
Sector bovino + porcicola + avícola											

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 3. Solicitud de información: Tamaño de ganado.

Información general del sector	¿Cuál es el tipo de sector pecuario presente en su finca?	Sector bovino													
	¿Qué tamaño(s) de ganado bovino tiene?	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Seleccione un tamaño</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Seleccione un tamaño</td></tr> <tr><td>Ternera</td></tr> <tr><td>Pequeño</td></tr> <tr><td>Mediano</td></tr> <tr><td>Grande</td></tr> <tr><td>Ternera + Pequeño</td></tr> <tr><td>Ternera + Mediano</td></tr> <tr><td>Ternera + Grande</td></tr> <tr><td>Pequeño + Mediano</td></tr> <tr><td>Pequeño + Grande</td></tr> <tr><td>Mediano + Grande</td></tr> <tr><td>Ternera + Pequeño + Mediano</td></tr> </tbody> </table>	Seleccione un tamaño	Seleccione un tamaño	Ternera	Pequeño	Mediano	Grande	Ternera + Pequeño	Ternera + Mediano	Ternera + Grande	Pequeño + Mediano	Pequeño + Grande	Mediano + Grande	Ternera + Pequeño + Mediano
Seleccione un tamaño															
Seleccione un tamaño															
Ternera															
Pequeño															
Mediano															
Grande															
Ternera + Pequeño															
Ternera + Mediano															
Ternera + Grande															
Pequeño + Mediano															
Pequeño + Grande															
Mediano + Grande															
Ternera + Pequeño + Mediano															

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 4. Solicitud de información: Número de cabezas de ganado

Información general del sector	¿Cuál es el tipo de sector pecuario presente en su finca?	Sector bovino
	¿Qué tamaño(s) de ganado bovino tiene?	Ternera
Información ganado bovino	¿Cuántos bovinos de tamaño ternera tiene en su finca?	

Fuente: Elaboración propia

La Ecuación 1. a continuación, muestra cómo calcular la cantidad de estiércol generado por tipo de ganado pecuario. El factor de generación de estiércol varía dependiendo del tipo y tamaño del ganado. La tabla 8 muestra los diferentes tamaños dependiendo del tipo de ganado pecuario.

Ecuación 1.

$$\text{Producción de estiércol}_{(\text{bovino, porcícola, avícola})} = \text{Generación estiércol} \times \# \text{ cabezas ganado} \times 365$$

Descripción variables:

$$\begin{aligned} \text{Producción de estiércol} &= \text{kg} / \text{año} \\ \text{Generación estiércol} &= \text{kg} / \text{día} * \text{cabeza} \\ \# \text{ cabezas ganado} &= \text{cabeza} \end{aligned}$$

Tabla 8. Tipos de tamaño vinculados al sector pecuario

Tamaño	Sector pecuario
Tenera ⁵	Sector bovino
Pequeño	Sector bovino, porcícola y avícola
Mediano	Sector bovino, porcícola y avícola
Grande	Sector bovino, porcícola y avícola

b. Ingreso de información base - Sector agrícola

Las

⁵ La herramienta HC_Valoración_Orgánicos brinda información al momento del diligenciamiento sobre la diferencia entre los tamaños de ganado para facilidad del usuario.

Ilustración 5, 7 y 8 muestran la solicitud de ingreso de información referente al sector agrícola, en caso de que el usuario hubiera ingresado previamente en la celda “Tipo de residuos” la opción: “Sector agrícola” y las diferentes opciones de ingreso de información para el sector, las cuales serán detalladas a continuación:

Tabla 9. Datos generales requeridos para el sector agrícola de la pestaña HC_Valoración_Orgánicos

Dato solicitado al usuario	Descripción
Selección de la cantidad de cultivos en el área sembrada	Solicitud de ingreso de información relacionada con la cantidad de cultivos en un área específica (ver Ilustración 5).
Seleccione el tipo de cultivo	Solicitud de ingreso de información relacionada con el tipo de cultivo en el área sembrada de interés. En la Ilustración 6 se muestra un ejemplo de selección del tipo de cultivo asumiendo la elección de un solo cultivo en el área de análisis.
Ingrese la cantidad de producción anual por cultivo	Solicitud de ingreso de información relacionada a la cantidad de producción anual en kilogramos por tipo de cultivo.
Ingrese el área de tierra cultivada anual por cultivo	Solicitud de ingreso de información relacionada con el área de tierra cultivada anual por cultivo. En la Ilustración 7 se muestra un ejemplo de área de tierra cultivada de arroz.

Ilustración 5. Solicitud de ingreso de información – Sector agrícola

DATOS SECTOR AGRÍCOLA		
<p>Instrucciones: En esta sección del sector agrícola el usuario deberá seleccionar el tipo de cultivo sembrado en su finca o área de cultivo. Dependiendo del tipo de cultivo, el usuario podrá ingresar la cantidad de producción anual por cultivo de café como el área de tierra cultivada anual de los cultivos seleccionados.</p>		
<p>Listado de cultivos por producción anual:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>café</i> - <i>banano</i> - <i>caña de azúcar</i> - <i>caña panelera</i> - <i>plátano</i> 	<p>Listado de cultivos por área cultivada al año:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>arroz</i> - <i>maíz</i> - <i>trigo</i> - <i>papa</i> - <i>tomate</i> - <i>cebolla</i> - <i>cacao</i> 	
<p>Información general sobre número y tipos de cultivos existentes en la finca</p>	<p>Del listado mencionado en el recuadro anterior blanco, ¿Cuántos tiene en su finca? Favor seleccione una opción del listado entre 1 y 12.</p>	1
	<p>Seleccione el tipo de cultivo No. 1 que existe en su finca:</p>	<p>1</p> <p>2</p> <p>3</p> <p>4</p> <p>5</p> <p>6</p> <p>7</p> <p>8</p> <p>9</p> <p>10</p> <p>11</p> <p>12</p>

Ilustración 6. Solicitud de información: Tipo de cultivo

<p>Información general sobre número y tipos de cultivos existentes en la finca</p>	<p>Del listado mencionado en el recuadro anterior blanco, ¿Cuántos tiene en su finca? Favor seleccione una opción del listado entre 1 y 11.</p>	1
	<p>Seleccione el tipo de cultivo No. 1 que existe en su finca:</p>	<p>Seleccione el tipo de cultivo</p> <p>Café</p> <p>Arroz</p> <p>Banano</p> <p>Plátano</p> <p>Caña de Azúcar</p> <p>Caña Panelera</p> <p>Tomate</p> <p>Cebolla</p> <p>Trigo</p> <p>Maíz</p> <p>Papas</p> <p>Cacao</p>

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 7. Solicitud de información: Área de tierra cultivada por cultivo

<p>Información general sobre número y tipos de cultivos existentes en la finca</p>	<p>Del listado mencionado en el recuadro anterior blanco, ¿Cuántos tiene en su finca? Favor seleccione una opción del listado entre 1 y 12.</p>	1
	<p>Seleccione el tipo de cultivo No. 1 que existe en su finca:</p>	Arroz
<p>Producción anual estimada de cada cultivo seleccionado</p>	<p>¿Cuántas hectáreas de cultivo de arroz siembra al año?</p>	<p>hectáreas</p> <p>metros cuadrados</p> <p>hectáreas</p>

Fuente: Elaboración propia

Las ecuaciones 2 y 3 a continuación, muestran como determinar la cantidad de residuos provenientes de cada cultivo seleccionado:

Ecuación 2.

$$\text{Cantidad residuos} = \text{Producción cultivo} \\ \times \text{Factor residuos}_{(\text{cant. cultivo})}$$

Ecuación 3.

$$\text{Cantidad residuos} = \text{Producción cultivo} \\ \times \text{Factor residuos}_{(\text{área cultivada})}$$

Descripción variables:

Cantidad residuos = kg cultivo/año

Producción de cultivo = kg cultivo/año

Factor residuos (*cant. cultivo*) = kg residuo/kg producto principal

Factor residuos (*área cultivada*) = kg residuo/ha de tierra cultivada

Paso 3. Interpretación de los resultados de la herramienta HC_Valoración_Orgánicos:

La herramienta calcula los resultados presentados al usuario conforme las opciones seleccionadas, a continuación, se brinda la interpretación de las celdas de resultados que presenta la herramienta HC_Valoración_Orgánicos posteriormente a dar clic en el botón “calcular”:

- a. Interpretación de los resultados que genera la herramienta HC_Valoración_Orgánicos para el sector pecuario

Tabla 10. Interpretación de resultados generales para el sector pecuario de la pestaña HC_Valoración_Orgánicos

Datos de salida	Descripción
Volumen de biogás generado	Muestra la cantidad de biogás generado con el año en metros cúbicos producto, de la valoración de los residuos orgánicos del sector pecuario.
Cantidad de abono orgánico seco	Muestra la cantidad de abono orgánico seco con el año en kilogramos.
Volumen de carga diaria del biodigestor	Muestra la cantidad de la mezcla estiércol-agua en el biodigestor en litros por día.
Tiempo de retención en el biodigestor	Muestra el tiempo de retención del biodigestor, el cual dependerá de la temperatura del municipio donde se desarrollará el proyecto. Este tiempo puede tener dos posibles valores: 35 o 50 días.
Volumen estimado del biodigestor	Muestra el volumen del biodigestor en metros cúbicos para un sistema de carga diaria o régimen semicontinuo ⁶ .

⁶ Se refiere a un modo de operación donde se alimenta el biodigestor con materia orgánica de manera periódica, en intervalos regulares, mientras que una parte del material digerido se extrae simultáneamente o después de cierto tiempo. Este régimen es una mezcla entre los modos de operación discontinuo y continuo.

Datos de salida	Descripción
Relación Carbono-Nitrógeno (C/N) de los residuos orgánicos entrantes	Muestra la relación C/N de las materias primas entrantes al biodigestor. En general, se considera que una relación con rangos entre 30:1 y 20:1 es una mezcla óptima para facilitar la producción adecuada de biogás a un ritmo constante.
Porcentaje de Sólidos Totales (%ST) de los residuos orgánicos entrantes	Muestra el %ST contenidos en la materia prima empleada para cargar el digestor.

La Tabla 11 muestra los factores empleados para la determinación de la relación C/N y el porcentaje de sólidos totales para el sector pecuario.

Tabla 11. Relación C/N y Sólidos totales (%) empleados para el sector pecuario

Tipo de animal	Residuo	Relación C/N	Sólidos Totales (%)
Bovino	Estiércol	25.0	34.8
Porcino	Estiércol	16.0	32.0
Gallinas	Gallinaza	23.0	59.0

Fuente: (FAO, 2011).

La tabla 12 muestra la interpretación de los resultados que presenta la herramienta al usuario al realizar la valoración de los residuos orgánicos provenientes del sector pecuario a través de un biodigestor, donde se compara el volumen de biogás generado respecto de su uso para cocción o mediante el proceso de cogeneración de electricidad para abastecer electrodomésticos típicos de uso en zona rural, dichos dispositivos junto con sus requerimientos de consumo de biogás, tiempo de operación y actividad de uso son presentados en la tabla 13.

Tabla 12. Interpretación de resultados para el sector pecuario de la pestaña HC_Valoración_Orgánicos

Datos de salida	Descripción
Volumen del biogás generado	Cantidad de biogás generado por día en metros cúbicos, producto del tratamiento de residuos orgánicos del sector pecuario.
Cantidad de estufas de dos hornillas	Muestra la cantidad de estufas de dos hornillas abastecidas con el uso del biogás generado diariamente para la actividad de cocción.
Cantidad de electricidad generada por cogeneración	Cantidad de energía eléctrica generada por día en kWh producida a través de un motor con potencia de 600W.
Cantidad de lámparas abastecidas con electricidad	Muestra la cantidad de lámparas abastecidas con la producción de energía eléctrica.
Cantidad de calentadores de agua abastecidos con electricidad	Muestra la cantidad de calentadores de agua abastecidos con la producción de energía eléctrica.

Cantidad de refrigeradores promedio abastecidos con electricidad	Muestra la cantidad de refrigeradores de agua abastecidos con la producción de energía eléctrica.
--	---

Tabla 13. Consumo específico de biogás para diferentes dispositivos

Dispositivo	Actividad	Consumo de gas (m ³ /h)	Tiempo operación (h)
Estufa de dos hornillas	Cocción	1.65	5
Lámparas a biogás	Iluminación	0.28	4
Calentador de agua	Calefacción	4.4	2
Generador eléctrico (600W)	Generación electricidad	6.0	8
Refrigerador (Capacidad 1 m ³)	Refrigeración	2.2	24

Fuente: (FAO, 2011)

b. Interpretación de los resultados que genera la herramienta HC_Valoración_Orgánicos para el sector agrícola

La tabla 14 muestra la interpretación de los resultados que presenta la herramienta al usuario al realizar la valoración de los residuos orgánicos provenientes del sector agrícola a través de pilas de compostaje.

Tabla 14. Interpretación de los resultados para el sector agrícola de la pestaña HC_Valoración_Orgánicos

Datos de salida	Descripción
Cantidad de abono orgánico generado	Muestra la cantidad de abono orgánico generado producto del tratamiento de los residuos orgánicos por compostaje.
Área de descomposición de residuos requerida	Muestra el área requerida para la descomposición de los residuos orgánicos en metros cuadrados.
Área de maduración de residuos requerida	Muestra el área requerida para la maduración de los residuos orgánicos en metros cuadrados.
Área de postratamiento de residuos requerida	Muestra el área requerida para el postratamiento de los residuos orgánicos en metros cuadrados.
Número de pilas para proceso de compostaje	Muestra la cantidad de pilas requeridas para el proceso de compostaje en el área de descomposición.
Longitud de cada pila de compostaje requerida	Muestra la longitud en metros por pila de compostaje en el área de descomposición.

Los supuestos de cálculo principales se muestran en la Tabla 15:

Tabla 15. Principales supuestos para el cálculo de compostaje en pilas

Supuestos de cálculo	Valor	Unidad
----------------------	-------	--------

Densidad de residuos orgánicos	0.4	t/m ³
Densidad de residuos compostados	0.6	t/m ³
Forma de la pila	Triangular	-
Base de la pila	2.5	m
Ancho de la pila	1.5	m
Tiempo de descomposición	6	semanas

Fuente: RAS 2000, Título F

c. Interpretación de los resultados que genera la herramienta HC_Valoración_Orgánicos para el sector agropecuario sobre las reducciones de emisiones de GEI:

La herramienta de cálculo brinda información sobre la reducción de emisiones de GEI por el tratamiento biológico de los residuos orgánicos (pecuarios o agrícolas) respecto de escenarios de línea base específicos. La tabla 16 brinda información sobre el supuesto de cálculo para las líneas base de cada sector y la tabla 17 presenta la información del escenario del proyecto si se procesan los residuos orgánicos en alguno de los sistemas de tratamiento propuestos en la herramienta:

Tabla 16. Escenarios de línea base para el planteamiento de las emisiones de GEI en la herramienta HC_Valoración_Orgánicos

Sector	Descripción
Bovino	El estiércol se descompone anaeróticamente ⁷ (lagunas anaeróbicas) dentro de los límites del proyecto y se utiliza como abono orgánico sin tratamiento. Además, no se recupera biogás ni se realiza ningún tratamiento adicional.
Porcino	El estiércol se descompone anaeróticamente (lagunas anaeróbicas) y luego se usa como abono orgánico sin tratamiento. No se contempla la recuperación de biogás.
Avícola	La gallinaza se almacena y se utiliza después como abono orgánico sin tratamiento. No se realiza la recuperación de biogás ni tratamiento previo a su uso.
Agrícola	Los residuos agrícolas se almacenan en pilas sin generar abono orgánico. No se contempla la generación de biogás ni el tratamiento de los residuos orgánicos.

Tabla 17. Escenarios proyectados para el planteamiento de las emisiones de GEI en la herramienta HC_Valoración_Orgánicos

Sector	Descripción
Bovino	Los residuos orgánicos son tratados mediante un digestor anaeróbico para producir energía eléctrica a partir del biogás. Se produce digestato que puede ser empleado como abono orgánico.
Porcino	El estiércol se trata mediante un digestor anaeróbico, produciendo biogás que genera energía eléctrica. Se produce digestato que puede ser empleado como abono orgánico.

⁷ Organismo que puede subsistir pese a la falta de oxígeno.

Sector	Descripción
Avícola	La gallinaza ⁸ se trata en un sistema de digestión anaeróbica que produce energía eléctrica a partir del biogás. Se produce digestato que puede ser empleado como abono orgánico.
Agrícola	Los residuos agrícolas se valorizan mediante compostaje en pilas con volteo manual, produciendo abono. No se genera energía a partir de estos residuos.

Adicionalmente, dependiendo de cual haya sido la selección del usuario sobre el tipo de residuos orgánicos a tratar biológicamente, posterior a dar clic en el botón calcular, el usuario encontrará una nueva pestaña habilitada que lista algunos de los parámetros recomendados a considerar para el diseño e implementación de los sistemas de tratamiento biológicos como los biodigestores o las pilas de compostaje.

3.2.2 Listado de Tecnologías para biodigestores

En la pestaña “Tecnologías_biodigestores” se presenta un listado de seis (6) tipos de biodigestores para implementación. Este listado busca contextualizar al usuario sobre las diferentes opciones posibles de desarrollar, brindando información sencilla que le permita seleccionar la tecnología que mejor responda a las características de su terreno y que atienda sus necesidades. Los listados son una herramienta informativa, no requieren el ingreso de datos por parte del usuario. Una descripción de la información contenida en el listado de tecnologías para biodigestores se presenta a continuación:

Tabla 18. Descripción de la información presentada en la pestaña “Tecnologías_biodigestores”

Información	Descripción
Tipo de biodigestor	Incluye los modelos: indio, chino, de bolsa plástica, de laguna, tropicalizado y horizontal.
Tipo de material entrante	Muestra dos tipos de material entrante: material de tipo agrícola y mixto, este último relaciona la mezcla de residuos de tipo: agrícola, pecuario, domésticos y/o residuos de poda.
Tamaño	Este apartado varía en función de la cantidad de residuos (flujo de entrada) con que vaya a ser alimentada la unidad. Se mantuvo como un apartado dentro del listado para relacionar la relevancia de la corriente o flujo de entrada de residuos orgánicos.
Material de construcción	Relaciona los materiales de construcción más comunes para cada una de las tecnologías de biodigestores señaladas.
Principales características	Señala características típicas del tipo de tecnología, que diferencia de otras en el mercado.
Principios de funcionamiento	Brinda un resumen sobre el mecanismo de funcionamiento del biodigestor para clarificar sus diferencias respecto de otras tecnologías.

⁸ Excremento o estiércol de las gallinas.

Diagrama de referencia

Brinda una imagen de soporte para contextualizar al usuario de la herramienta sobre la visualización típica de la tecnología propuesta.

3.3 Proxies en acción para la dimensión ambiental de Residuos – casos de estudio y resumen de tecnologías

Para los *proxies* de la dimensión ambiental de Residuos se desarrolló este apartado que permite visualizar a través de casos de estudio (para la pestaña HC_Valoración_Orgánicos) y adaptación del listado de tecnologías (para la pestaña Tecnologías_biodigestores) los resultados que obtendrá el usuario tras el uso de la herramienta Excel. La tabla de contenidos para la navegación sencilla de esta sección se presenta a continuación:

Tabla de contenidos – Casos de estudio para los resultados de la dimensión ambiental de Residuos

3.3.1 HC Valoración Orgánicos

- a. Caso de estudio para residuos pecuarios (digestión anaeróbica)
- b. Caso de estudio para residuos agrícolas (pilas de compostaje)

3.3.2 Tecnologías biodigestores

3.3.1 Casos de estudio para los resultados para la pestaña “HC_Valoración_Orgánicos”

Para la visualización de los resultados que puede generar la herramienta de valoración de residuos orgánicos a través del tratamiento biológico se plantean dos casos de estudio a continuación:

a. Caso de estudio para residuos pecuarios:

Para este escenario se planteó un caso de estudio que toma como ubicación de la finca del productor el municipio de Manizales en el departamento de Caldas. El productor tiene 50 cabezas de ternera. Los resultados esperados que genera la herramienta de cálculo se presentan en la Ilustración 9.

Ilustración 8. Ilustración de los resultados para el caso de estudio de la dimensión ambiental de residuos, sector pecuario

Información general del sector	¿Cuál es el tipo de sector pecuario presente en su finca?	Sector bovino	
	¿Qué tamaño(s) de ganado bovino tiene?	Tertera	
Información ganado bovino	¿Cuántos bovinos de tamaño tertera tiene en su finca?	50	
2. Digestión anaerobia con biodigestores tipo rurales- Resultados			
RESULTADOS: Digestión Anaeróbica de residuos pecuarios	Volumen de biogás generado	2,920.0	m ³ /año
	Cantidad de abono orgánico seco	29,200.0	kg/mes
	Volumen de carga diaria del biodigestor	400.0	l/día
	Tiempo de retención en el biodigestor	35.0	días
	Volumen estimado del biodigestor	14.0	m ³
	Relación Carbono-Nitrógeno (C/N) de los residuos orgánicos entrantes	25.0	C/N
	Porcentaje de Sólidos totales de los residuos orgánicos entrantes	63.5	%
Nota aclaratoria: Las equivalencias mostradas a continuación representan los equipos que podrían ser abastecidos diariamente por el uso del biogás para una familia colombiana de cinco (5) personas. Si se desea emplear una parte del biogás directamente para cocción , este podrá ser empleado para una estufa de dos hornillas. Además, otra parte del biogás podrá ser empleado para la generación de electricidad con autoconsumo del propio hogar en equipos como: lámparas, calentador de agua, refrigerador, entre otros.			
RESULTADOS: Dos métodos de empleo del biogás generado: Biogás para cocción ó Generación de energía eléctrica	Volumen de biogás generado	8,00	m ³ /día
	El biogás generado alcanza para alimentar este número de estufas de dos hornillas: <i>(Asumiendo un consumo de biogás de 0.33 m³/h por estufa de dos hornillas)</i>	4,00	estufa(s) de dos hornillas
	El biogás generado alcanza para generar esta cantidad de electricidad: <i>(Asumiendo una capacidad instalada de 600W en la finca)</i>	1,33	kWh/día de electricidad generada
	El biogás generado alcanza para alimentar esta cantidad de lámparas con electricidad: <i>(Asumiendo un consumo de biogás 0.03 m³/hr por lámpara)</i>	28,00	lámpara(s)
	El biogás generado alcanza para alimentar esta cantidad de calentadores de agua promedio con electricidad: <i>(Asumiendo un consumo de biogás de 2.2 m³/h por calentador)</i>	1,00	calentador(es) de agua
	El biogás generado alcanza para alimentar esta cantidad de refrigeradores promedio con electricidad: <i>(Asumiendo un consumo de biogás de 0.092 m³/h por refrigerador)</i>	3,00	refrigerador(es)
	4. Estimación de las emisiones de GEI		
RESULTADOS: Reducción de emisiones de GEI respecto un escenario base	Emisiones de GEI - Escenario base	144,72	t CO2e/año
	Emisiones de GEI - Escenario proyecto	28,63	t CO2e/año
	Potencial reducción de emisiones de GEI	116,09	t CO2e/año

b. Caso de estudio para residuos agrícolas:

Para este escenario se planteó un caso de estudio que toma la misma ubicación del caso anterior. El productor tiene una finca con 4 cultivos que generan residuos post cosecha. Al año genera 5 toneladas de residuos del cultivo de banano, 2 toneladas de residuos del cultivo de caña de azúcar, 6 toneladas de residuos del cultivo de plátano y cuenta con 2 hectáreas sembradas de cultivo de arroz. Los resultados mostrados por la herramienta de cálculo se presentan en la Ilustración 10.

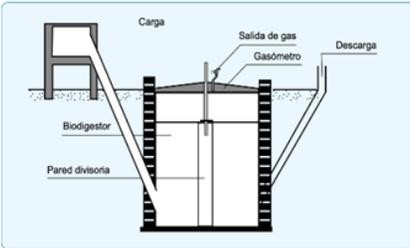
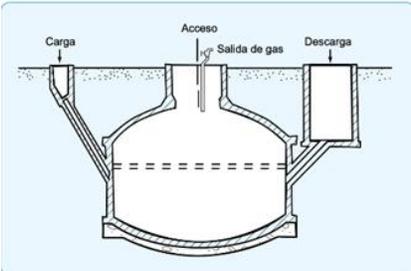
Ilustración 9. Ilustración de los resultados para el caso de estudio de la dimensión ambiental de residuos, sector agrícola

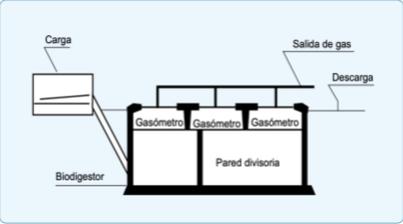
Información general sobre número y tipos de cultivos existentes en la finca	Del listado mencionado en el recuadro anterior blanco, ¿Cuántos tiene en su finca? Favor seleccione una opción del listado entre 1 y 12.	4	
	Seleccione el tipo de cultivo No. 1 que existe en su finca:	Banano	
	Seleccione el tipo de cultivo No. 2 que existe en su finca:	Caña de Azúcar	
	Seleccione el tipo de cultivo No. 3 que existe en su finca:	Platano	
	Seleccione el tipo de cultivo No. 4 que existe en su finca:	Arroz	
Producción anual estimada de cada cultivo seleccionado	Aproximadamente, ¿cuántos kilogramos produce su cultivo de banano al año?	5.000,0	kg/año
	Aproximadamente, ¿cuántos kilogramos produce su cultivo de caña de azúcar al año?	2.000,0	kg/año
	Aproximadamente, ¿cuántos kilogramos produce su cultivo de platano al año?	6.000,0	kg/año
	¿Cuál es el área del cultivo de arroz que siembra al año?	2,0	hectáreas
3. Compostaje en pilas con volteo manual - Resultados			
RESULTADOS: Compostaje de residuos agrícolas	Cantidad de abono orgánico generado	2.883,00	kg/mes
	Área de descomposición de residuos requerida	717,55	m ²
	Área de maduración de residuos requerida	390,70	m ²
	Área de post-tratamiento de residuos requerida	96,74	m ²
	Número pilas para proceso de compostaje	18,00	Pilas de compostaje
	Longitud de cada pila de compostaje requerida	20,00	m
4. Estimación de las emisiones de GEI			
RESULTADOS: Reducción de emisiones de GEI respecto un escenario base	Emisiones de GEI - Escenario base	3,13	t CO2e/año
	Emisiones de GEI - Escenario proyecto	1,30	t CO2e/año
	Potencial reducción de emisiones de GEI	1,83	t CO2e/año

3.3.2 Adaptación de los resultados para la pestaña “Tecnologías_biodigestores”

La tabla 19 relaciona una adaptación del listado de tecnologías identificadas para el desarrollo e implementación del tratamiento biológico de residuos orgánicos por digestión anaeróbica en biodigestores:

Tabla 19. Adaptación del listado de tecnologías de biodigestores para residuos agropecuarios

Tipo de biodigestor	Tipo de material entrante	Material de construcción	Principales características	Principios de funcionamiento	Diagrama de referencia
Modelo indio: Cúpula flotante	El tamaño del biodigestor puede variar en función de la cantidad de residuos disponible.	Mampostería o estructura de concreto y un depósito de gas móvil en forma de campana.	Son enterrados y verticales, asemejando a un pozo. Se cargan por gravedad una vez al día, con un volumen de mezcla que depende del tiempo de fermentación o retención y producen una cantidad diaria más o menos constante de biogás si se mantienen las condiciones de operación.	<p>Cúpula flotante que sube con la acumulación de biogás. Genera un abastecimiento continuo de biogás y fertilizante, caracterizándose por funcionar como depósito del gas producido, es decir, es el único tipo de biodigestores que tienen un depósito de biogás interior.</p> <p>Este tipo de digestor presenta una buena eficiencia de producción de biogás, generándose entre 0.5 y 1.0 volumen de gas/volumen de digestor por día.</p>	
Modelo chino: Cúpula fija de volumen constante	Agrícola	Mampostería y un domo fijo e inmóvil cerrado donde se almacena el biogás.	Tanques cilíndricos con el techo y el piso en forma de domo y se construyen totalmente enterrados.	<p>El digestor se llena con residuos agrícolas compostados mezclados con lodos activos de otro digestor, a través de la cubierta superior, que es removible. Una vez cargado, es alimentado diariamente con los residuos que se encuentren disponibles, provenientes de la letrina y de los animales domésticos, a través del tubo de carga el cual llega a la parte media del digestor. Se generan entre 0.15 y 0.20 volúmenes de gas por volumen de digestor/día.</p>	
Biodigestor de bolsa plástica	Mixto	Polietileno o PVC	Bolsa flexible que almacena biogás.	<p>Tubos largos que pueden ir enterrados o sobre el piso. Esta característica alargada permite que, cuando se carga, toda la masa de líquido dentro del biodigestor se mueva hacia la salida, lo que provoca que la misma carga constituya una forma de agitación.</p> <p>Estos biodigestores son de fácil instalación y movilidad. El grosor de la membrana que se</p>	

Tipo de biodigestor	Tipo de material entrante	Material de construcción	Principales características	Principios de funcionamiento	Diagrama de referencia
				utilizará debería ser inferior a 0.80 mm, y el tipo de material y aditivos empleados en su fabricación deben ser resistentes al ataque químico y los rayos ultravioleta (UV).	
Biodigestor de laguna	Mixto	Impermeable, PVC, cubierta flotante	Tapa flotante que permite el control de olores y aprovechamiento de los subproductos. Es un sistema integral de tratamiento de los residuos orgánicos.	El aprovechamiento de los subproductos puede realizarse a través de un generador eléctrico de biogás, para producir energía eléctrica que puede ser usada para iluminación o cercas, Equipos de ordeño, cámara de vacío, cuartos fríos, calentadores de agua, calderas, entre otros.	
Biodigestor Tropicalizado	Mixto	PVC, cubierta, sistemas de mezcla	Son construcciones de bajo costo, eficientes y fáciles de operar. La dimensión y diseño de los biodigestores tropicalizados se realiza en base a normas técnicas y de seguridad industrial vigentes en Alemania.	Los biodigestores tienen una cubierta de membrana de caucho de 2 mm de espesor, sistema mecánico de agitación, extracción de lodos, control de proceso, extracción y aprovechamiento de biogás, laguna de descarga y lecho de secado de lodos para la producción de fertilizante orgánico.	
Biodigestor horizontal	Mixto	Concreto, acero	Flujo continuo con orientación horizontal para grandes volúmenes	Estos digestores se construyen generalmente enterrados, son poco profundos y alargados, semejando un canal, con relaciones de largo a ancho de 5:1m hasta 8:1m y sección transversal circular, cuadrada o en "V". Se operan a régimen semi continuo, entrando la carga por un extremo del digestor y saliendo los lodos por el extremo opuesto. La cúpula puede ser	

Tipo de biodigestor	Tipo de material entrante	Material de construcción	Principales características	Principios de funcionamiento	Diagrama de referencia
				<p>rígida o de algún material flexible que no presente fugas de gas y que resista las condiciones de la intemperie.</p> <p>Este tipo de digestores se recomiendan cuando se requiere trabajar con volúmenes mayores de 15 m³, para los cuales, la excavación de un pozo vertical comienza a resultar muy problemática.</p>	

3.4 Aproximación de usos y posibles usuarios

Este *proxy* tiene multiplicidad de actores susceptibles de beneficiarse por su aplicación. En primer lugar, su alcance no solo es funcional para productores agrícolas de todo tipo (desde micro hasta grandes productores) sino también es susceptible de ser usado por ganaderos de toda escala, los cuales se encuentren interesados en desarrollar sistemas de tratamiento de residuos orgánicos mediante tecnologías de biodigestores o compostaje, según sea el caso. La herramienta les brinda información estimada sobre los rendimientos de las tecnologías en términos de producción de biogás y su equivalencia respecto de electrodomésticos de uso común en zonas rurales, lo cual les brinda una idea clara sobre la favorabilidad de implementación del proyecto.

En segundo lugar, las entidades financieras como usuarios de la herramienta podrán conocer la información y documentación a nivel técnico necesaria para evaluar la viabilidad de un proyecto de tratamiento biológico para la asignación de un crédito. Adicionalmente, contarán con información técnica sobre tecnologías alineadas con las buenas prácticas agrícolas (tablas 3.5 a la 3.9 de la TVC) para desarrollar nuevas líneas de crédito diferenciales que respondan a la demanda por parte de productores y agremiaciones interesadas en la implementación de la tecnología.

En tercer lugar, la herramienta desarrollada brinda información a entidades aseguradoras sobre nuevas tecnologías susceptibles de inclusión en productos de suscripción y en portafolios de inversión, por tanto, brinda insumos sobre la información climática relevante de considerar al momento de formular nuevos productos de suscripción o de actualizar los ya existentes.

Por último, a una escala pública, brinda insumos a las entidades competentes del gobierno nacional para el desarrollo de estrategias que busquen promover la implementación de sistemas de tratamientos biológicos de residuos orgánicos, alineándose con la Estrategia Nacional de Economía Circular, buscando reducir la generación de emisiones de metano, respondiendo de esta forma al objetivo ambiental de mitigación del cambio climático y por tanto alineándose con los criterios de elegibilidad del sector residuos y las buenas prácticas para la agricultura ecológica de la TVC.

4. *Proxies* de la dimensión ambiental del recurso hídrico

4.1 Marco de referencia

El recurso hídrico desempeña un papel crucial en la producción agrícola. Sin embargo, el acceso equitativo y sostenible al agua es un desafío significativo, especialmente para los pequeños y medianos productores agrícolas donde muchas regiones enfrentan escasez estacional o problemas de calidad del agua por contaminación. La demanda de agua en Colombia está aumentando debido al crecimiento de la población, la expansión urbana y el desarrollo industrial, lo que ejerce presión adicional sobre los recursos hídricos disponibles. El sector agrícola es el mayor consumidor de agua en el país con cerca de 16.000 millones metros cúbicos anuales (MADS, 2022), en el cual los pequeños y medianos productores enfrentan una serie de dificultades en cuanto al acceso al recurso hídrico para el normal desarrollo de sus actividades. Estas dificultades incluyen, pero no se limitan a: la falta de infraestructura de riego adecuada, la competencia por el acceso al agua, la ineficiencia en el uso del recurso y la contaminación de fuentes de abastecimiento.

La falta de infraestructura de riego adecuada es un problema común en muchas áreas rurales de Colombia. Según datos del Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe, actualmente la infraestructura de riego y drenaje en Colombia solo cubre el 6% del potencial del país (CAF, 2021). Esto limita la capacidad de los agricultores para regar sus cultivos de manera eficiente y suficiente. Además, la competencia con otros sectores, como la minería y la industria, por el acceso al agua sitúa a los agricultores en una posición de desventaja.

Los pequeños y medianos productores agrícolas en Colombia a menudo tienen un vínculo estrecho con sus fuentes de agua locales, que pueden incluir: ríos, arroyos, lagos y acuíferos. Para muchos agricultores, el agua más que un recurso natural, es una parte integral de su identidad cultural y su forma de vida. Sin embargo, la presión sobre los recursos hídricos puede generar tensiones entre diferentes usuarios del agua, como: agricultores, comunidades urbanas, comunidades indígenas, desarrollos industriales, entre otros.

Para optimizar el uso del recurso hídrico en la agricultura y reducir la vulnerabilidad a la escasez de este, es fundamental migrar a un modelo de agricultura sostenible que promueva prácticas de gestión del agua sostenibles y tecnologías de riego eficientes. Esto puede incluir la implementación de sistemas de riego por goteo, la captación y almacenamiento de aguas lluvias, la construcción de lagunas y pequeñas represas, y la promoción de prácticas agrícolas que reduzcan la erosión del suelo y mejoren la infiltración del agua.

Desde la perspectiva estatal es evidente la necesidad de fortalecer la regulación y supervisión de los recursos hídricos, la inversión en infraestructura y desarrollos de ingeniería que posibiliten el acceso equitativo al recurso hídrico y el acompañamiento a las comunidades y usuarios desde los gobiernos locales para asegurar la adecuada gestión y uso eficiente del agua. Al abordar estos desafíos y aprovechar estas oportunidades, Colombia puede avanzar hacia una gestión del agua más equitativa, eficiente y sostenible que beneficie a todos los sectores de la sociedad (para más información sobre las brechas identificadas para la dimensión ambiental del Recurso hídrico ver [Anexo 1](#)).

4.2 Guía metodológica y manual del usuario

La dimensión ambiental del recurso hídrico fue abordada mediante tres desarrollos principales:

- Herramienta de búsqueda para identificación del estrés hídrico en Colombia a partir del IUA 2022.
- Herramienta de cálculo para el dimensionamiento de sistemas de captación de aguas lluvias (a través de estructura en techo o de lagunas de almacenamiento de agua lluvia/jagüey con geomembrana).
- Listado de tecnologías y alternativas para el uso eficiente del agua en entornos urbanos y rurales.

La metodología desarrollada para las tres herramientas de esta dimensión ambiental se presenta a continuación:

4.2.1 Herramienta de búsqueda para identificación del Estrés hídrico en Colombia (IUA 2022)

La pestaña “Estrés Hídrico (IUA)” expuesta en la herramienta Excel presenta el contexto y la información relacionada con el Índice de Uso de Agua, un indicador que relaciona la oferta y demanda del recurso hídrico dentro del [Estudio Nacional del Agua \(ENA\) del año 2022](#). La información presentada dentro del IUA 2022 para año medio y seco se relaciona a través de las subzonas hidrográficas con los municipios de influencia de cada cuerpo hídrico contemplado dentro del indicador.

La base de datos con información municipal fue alimentada a partir de la información de los [Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas \(POMCAS\)](#) disponibles para las cinco macrocuencas hidrográficas del territorio nacional (Caribe, Magdalena-Cauca, Pacífico, Orinoco y Amazonas), [los Planes Estratégicos de Cuencas Hidrográficas](#), los [Catálogos de Subzonas Hidrográficas disponibles para las macrocuencas Caribe Magdalena y Cauca](#); y los datos geospaciales disponibles en los [Geo visores del IDEAM](#). A partir del cruce de información se alimentó una base de datos de 1496 datos disponibles para 1039 municipios en el país.

La pestaña Estrés hídrico (IUA) cumple la función de introducción y contextualización al usuario sobre como leer y analizar la información presentada en el índice, y orienta al usuario sobre el uso de la herramienta de búsqueda. Esta a su vez se habilita al dar clic en el botón ubicado en la parte final de la pestaña, redirigiendo al usuario a la pestaña “IUA_Recomendaciones Inversión”, donde podrá identificar el estado de uso del agua de un municipio en particular.

4.2.1.1 IUA - Recomendaciones Inversión

Esta pestaña permite al usuario la posibilidad de verificar el estado de uso del recurso hídrico en el municipio de elección al listar todas las subzonas hidrográficas con influencia en el municipio seleccionado, a la vez que proporciona un listado de recomendaciones de inversiones favorables de realización en el municipio, con base a la categoría para año seco del IUA 2022. La tabla 22 muestra la categorización del IUA 2022.

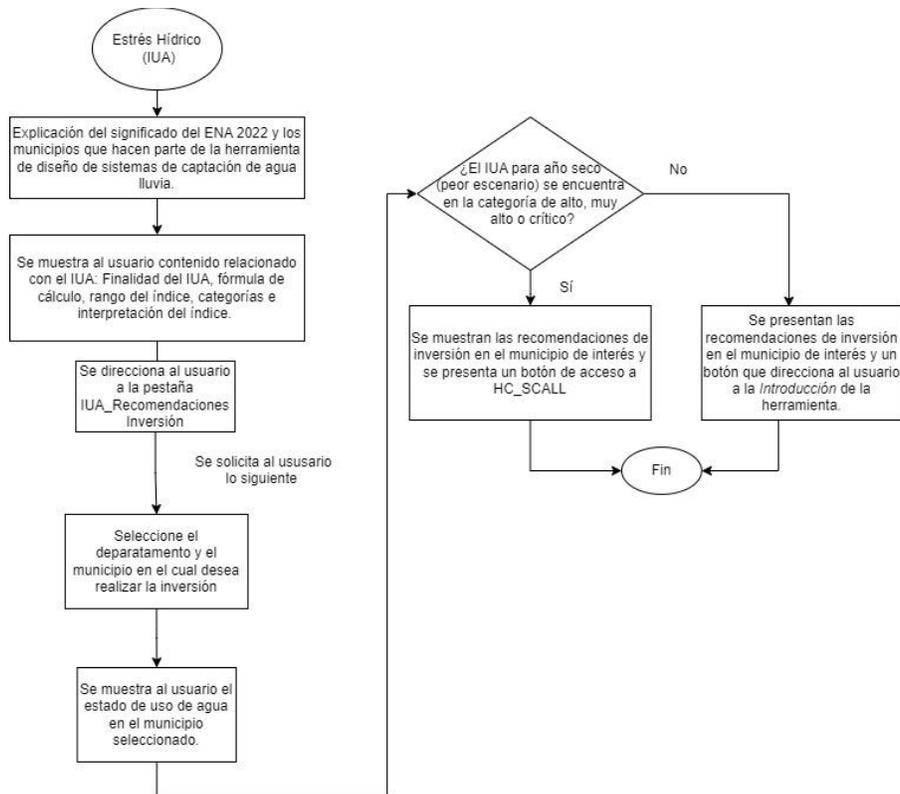
Tabla 20. Categorías e interpretación del Índice de Uso del Agua 2022

Rangos del IUA	Categoría	Interpretación del Índice de Uso del Agua
>100	Crítico	Se hace uso de la totalidad del recurso disponible. Las situaciones de escasez son inminentes o ya están ocurriendo.
50.01 - 100	Muy Alto	Se está utilizando casi la totalidad del agua disponible. Se requiere tomar medidas urgentes para optimizar y hacer un uso eficiente del recurso.
20.01 - 50	Alta	Se está usando un alto porcentaje del agua disponible. Se requiere tomar medidas para evitar un impacto sostenido sobre el recurso que lleve a situaciones de escasez si se continúa consumiendo en el mismo ritmo.
10.01 - 20	Moderada	Se realiza uso racional del agua. Existe una buena disponibilidad del recurso disponible, sin embargo, es importante mantener un uso consciente y responsable para no alcanzar niveles altos de consumo.
1.0 - 10	Baja	El uso de agua representa solo una pequeña fracción de la cantidad total de agua disponible en la región.
≤ 1	Muy Baja	Se hace uso de una cantidad mínima del agua disponible, lo cual puede estar asociado a regiones que no son densamente pobladas.
Sin Información	S.I	No fue clasificado dentro del ENA 2022.

Fuente: (IDEAM, 2023)

A continuación, se presenta un diagrama sobre la ruta de navegación de la herramienta de búsqueda:

Ilustración 10. Diagrama Estrés Hídrico (IUA)



Fuente: Elaboración propia.

Siguiendo el flujo mostrado en la Ilustración 11, el funcionamiento de la herramienta de búsqueda responde a los pasos señalados a continuación:

- **Paso 1:** Seleccionar el departamento en el que desea realizar la inversión en el desarrollo de sistemas de recolección de agua lluvia.
- **Paso 2:** Seleccionar el municipio de interés de la lista desplegable.⁹

Finalmente, el usuario podrá visibilizar los resultados para el IUA en el municipio de elección. Estos resultados se presentan para año medio y año seco. Sin embargo, la herramienta analiza los resultados obtenidos en el peor escenario, que corresponde al año seco¹⁰.

Si el municipio seleccionado presenta un IUA categorizado para año seco como: Alto, Muy Alto o Crítico, la herramienta le mostrará al usuario una serie de recomendaciones para invertir en sistemas de captación de aguas lluvias (SCALL) y un botón de acceso directo a la pestaña “HC_SCALL”. En dicha pestaña el usuario podrá calcular los parámetros más importantes que se requieren para diseñar un sistema de captación de agua lluvia, dependiendo del uso final del agua recolectada. Por otro lado, si la categoría del IUA para año seco es de: Bajo, Muy Bajo o Moderado se explica el significado de dicha categoría y se brindan algunas recomendaciones de inversión que potencian el uso de las aguas lluvias.

4.2.2 Herramienta de cálculo para el dimensionamiento de un sistema de captación de aguas lluvias (HC_SCALL) para pequeños y medianos productores

La herramienta de cálculo presenta un diseño simple y compacto donde, a partir de la selección de opciones y la digitación de datos simples el usuario obtiene el dimensionamiento de un sistema de captación de aguas lluvias (enfocado en el tanque de almacenamiento del recurso).

El proceso de captación puede ocurrir a partir del uso de estructuras en techo o de lagunas de almacenamiento de agua lluvia/jagüey con barrera de impermeabilización (geomembrana). Los resultados del dimensionamiento del sistema de captación también dependerán del uso que el usuario dé a las aguas lluvias recolectadas, el cual podrá ser: uso doméstico (agua cruda), uso doméstico con pretratamiento físico o uso agrícola.

La ilustración 12 presenta el esquema general de la herramienta, posteriormente se ahondará en los detalles técnicos de las opciones posibles:

⁹ El listado de municipios desplegado responde a la información disponible en la base de datos creada. La base de datos contiene información del 94.4% de los municipios del país (1039 municipios), por esta razón algunos municipios del territorio disponible no contarán con información disponible sobre el estado de uso del recurso hídrico.

¹⁰ Si un municipio presenta más de una categoría, situación que solo ocurre cuando el municipio hace parte de más de una subzona hidrográfica, la herramienta analizará cual es el IUA más alto y a partir de dicho valor mostrará las recomendaciones pertinentes.

Ilustración 11. Vista general de la herramienta de cálculo para sistemas de captación de aguas lluvias (HC_SCALL)

 Gobierno de Colombia	HERRAMIENTA DE CÁLCULO PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIA (A PEQUEÑA ESCALA) PARA ACTIVIDADES DOMÉSTICAS Y AGRÍCOLAS EN ZONAS RURALES						
<p>Instrucciones de diligenciamiento:</p> <p>Bienvenido a la herramienta de cálculo para estimar el volumen para la construcción de sistemas de captación de aguas lluvias para uso doméstico y agrícola en Colombia. Las celdas en color AZUL corresponden a celdas con listas desplegables donde el usuario debe seleccionar una opción según el tipo de proyecto de su interés. El usuario debe ingresar manualmente los datos del proyecto en cada celda que se encuentre resaltada en color AMARILLO. Los resultados de los cálculos serán visibles en las celdas resaltadas en color VERDE. Estos datos serán usados para la estimación de las dimensiones de sistemas de captación de aguas lluvias a través de techos rurales o lagunas de precipitación. A continuación se muestra la ruta de navegación general de la herramienta de cálculo:</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>NOTA: Recuerde habilitar la ejecución de macros para el funcionamiento de la herramienta de cálculo de emisiones, sin estas la calculadora NO funcionará.</p>							
PASO 1. INGRESO DE DATOS	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="background-color: #4F81BD; color: white;">¿En qué departamento de Colombia se encuentra ubicado el terreno donde se emplazará el sistema de captación de agua lluvia?</td> <td style="background-color: #D9E1F2;">Seleccione un departamento de Colombia</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #4F81BD; color: white;">¿Qué tipo de captación de agua lluvia busca realizar?</td> <td style="background-color: #D9E1F2;">Seleccione una opción</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #4F81BD; color: white;">¿Qué tipo de uso le dará al agua lluvia recolectada?</td> <td style="background-color: #D9E1F2;">Seleccione una opción</td> </tr> </table>	¿En qué departamento de Colombia se encuentra ubicado el terreno donde se emplazará el sistema de captación de agua lluvia?	Seleccione un departamento de Colombia	¿Qué tipo de captación de agua lluvia busca realizar?	Seleccione una opción	¿Qué tipo de uso le dará al agua lluvia recolectada?	Seleccione una opción
¿En qué departamento de Colombia se encuentra ubicado el terreno donde se emplazará el sistema de captación de agua lluvia?	Seleccione un departamento de Colombia						
¿Qué tipo de captación de agua lluvia busca realizar?	Seleccione una opción						
¿Qué tipo de uso le dará al agua lluvia recolectada?	Seleccione una opción						

Fuente: Elaboración propia

La herramienta consta de tres (3) pasos para el dimensionamiento del sistema de captación y el uso respectivo que seleccione el usuario. Los cuales se describen a continuación:

PASO 1: Ingreso de información general:

Inicialmente, la herramienta de Excel “HC_SCALL” solicita al usuario el ingreso de información general en tres celdas las cuales se describen a continuación¹¹:

Tabla 21. Datos generales requeridos para el funcionamiento de la pestaña HC_SCALL

Dato solicitado al usuario	Descripción
Departamento	Lugar geográfico donde se desarrollará el proyecto de valoración de residuos orgánicos provenientes del sector pecuario o del sector agrícola.
Tipo de captación	Selección del tipo de captación que desea realizar el usuario. Dentro de las opciones está la captación a través de estructura en techo y la captación a través de laguna de almacenamiento de agua lluvia/jagüey.
Tipo de uso de las aguas lluvias	La selección del tipo de uso de las aguas lluvias proveniente de la finca dependerá del tipo de captación ingresado. Para más información ver la tabla 22.

¹¹ Los datos solicitados en cada sección son de **obligatoria digitación** para el funcionamiento de la herramienta de cálculo, ya que la herramienta HC_SCALL no cuenta con supuestos de cálculo para funcionar sin los datos solicitados. Estos datos son criterios mínimos que deben conocer los interesados en un proyecto o los aplicantes a créditos verdes interesados en este tipo de sistemas.

El tipo de captación de las aguas lluvias condiciona el tipo de uso posible que se puede dar al recurso, las opciones para las cuales fue diseñada la herramienta se muestran en la tabla 22:

Tabla 22. Opciones sobre tipo de captación y usos potenciales de las aguas lluvias recolectadas para la pestaña HC_SCALL

Tipo de captación de agua lluvia	Uso que se le dará a las aguas lluvias recolectadas
Captación por techo	Doméstico (agua cruda)
	Doméstico (agua con pretratamiento físico)
	Agrícola (riego de cultivo)
Captación con laguna impermeabilizada	Agrícola (riego de cultivo)

Posterior a la selección de las opciones de cálculo, el usuario debe dar clic en el botón “Siguiente paso” para que la herramienta actualice los campos del segundo paso. Los datos de ingreso contemplados en el **segundo paso**, al igual que los resultados presentados en el tercer paso, son específicos para cada tipo de captación y para cada uso que el usuario haya seleccionado. A continuación, se relacionan por tipo de captación los pasos que el usuario debe seguir.

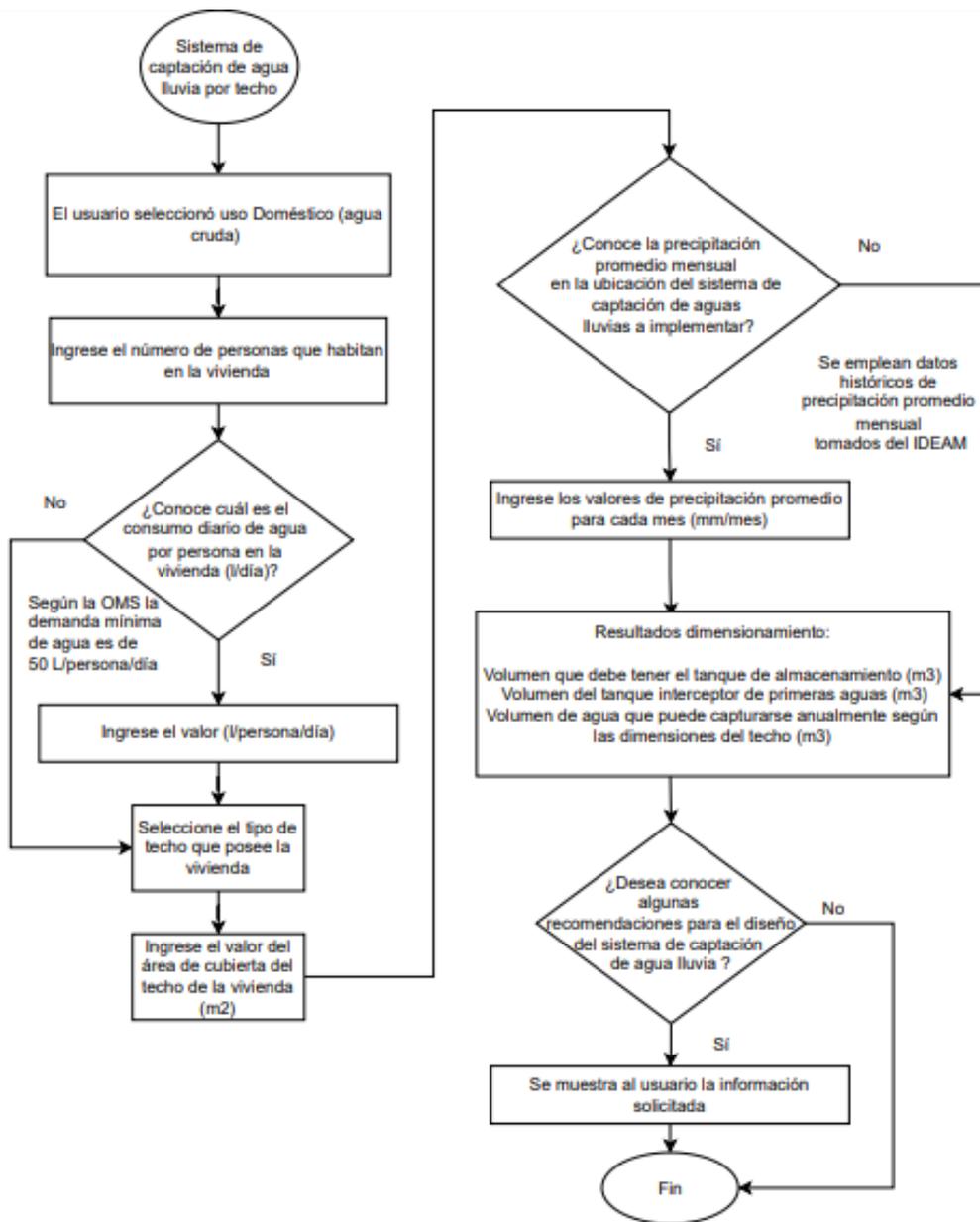
PASO 2A: Para captación por estructura en techo

La captación de aguas lluvias a través de estructura en techo para la herramienta HC_SCALL presenta dos tipos posibles de uso de agua: uso doméstico (agua cruda y agua con pretratamiento físico) y uso agrícola (riego de cultivos). La metodología del diligenciamiento de la herramienta en cada escenario se muestra a continuación:

a. Escenario 1: Uso doméstico (agua cruda):

La Ilustración 13 presenta un diagrama del **segundo paso** para el ingreso de información para la captación de aguas lluvia a través de estructuras en techo para uso doméstico como agua cruda:

Ilustración 12. Diagrama captación en techo para uso doméstico (agua cruda)



Fuente: Elaboración propia.

La descripción de los datos solicitados al usuario durante el segundo paso de este escenario se muestra en la Tabla 23:

Tabla 23. Datos generales requeridos de captación en techo para agua cruda en la pestaña “HC_SCALL”

Dato solicitado al usuario	Descripción
Número de personas	Número de personas que habitan la vivienda donde se instalará el SCALL.

Dato solicitado al usuario	Descripción
Consumo diario de agua por persona (l/día)	Consumo diario de agua por persona en la vivienda. Si el usuario no conoce esta información se asumirá un valor de 50 l/persona/día, dato recomendado por la OMS (OMS, s.f.).
Tipo de techo	Tipo de techo que posee la vivienda donde se emplazará el sistema de captación de agua lluvia (para más información relacionada con supuestos de cálculo ver Anexo 3).
Área de cubierta del techo de la vivienda (m ²)	Corresponde a las dimensiones que posee el techo que será empleado como superficie de captación de las aguas lluvias.
Precipitación promedio mensual del terreno (mm/mes)	Precipitación promedio mensual en la ubicación del sistema de captación de aguas lluvias a implementar. Si el usuario no conoce esta información se emplearán datos históricos de precipitación mensual reportados por el IDEAM para el período 1993 - 2023, dado que por acuerdos internacionales el análisis de variables climatológicas debe realizarse durante un período de por lo menos 30 años para tener una comprensión realista de las características climáticas de la zona (IDEAM, 2018) (para más información ver Anexo 4).

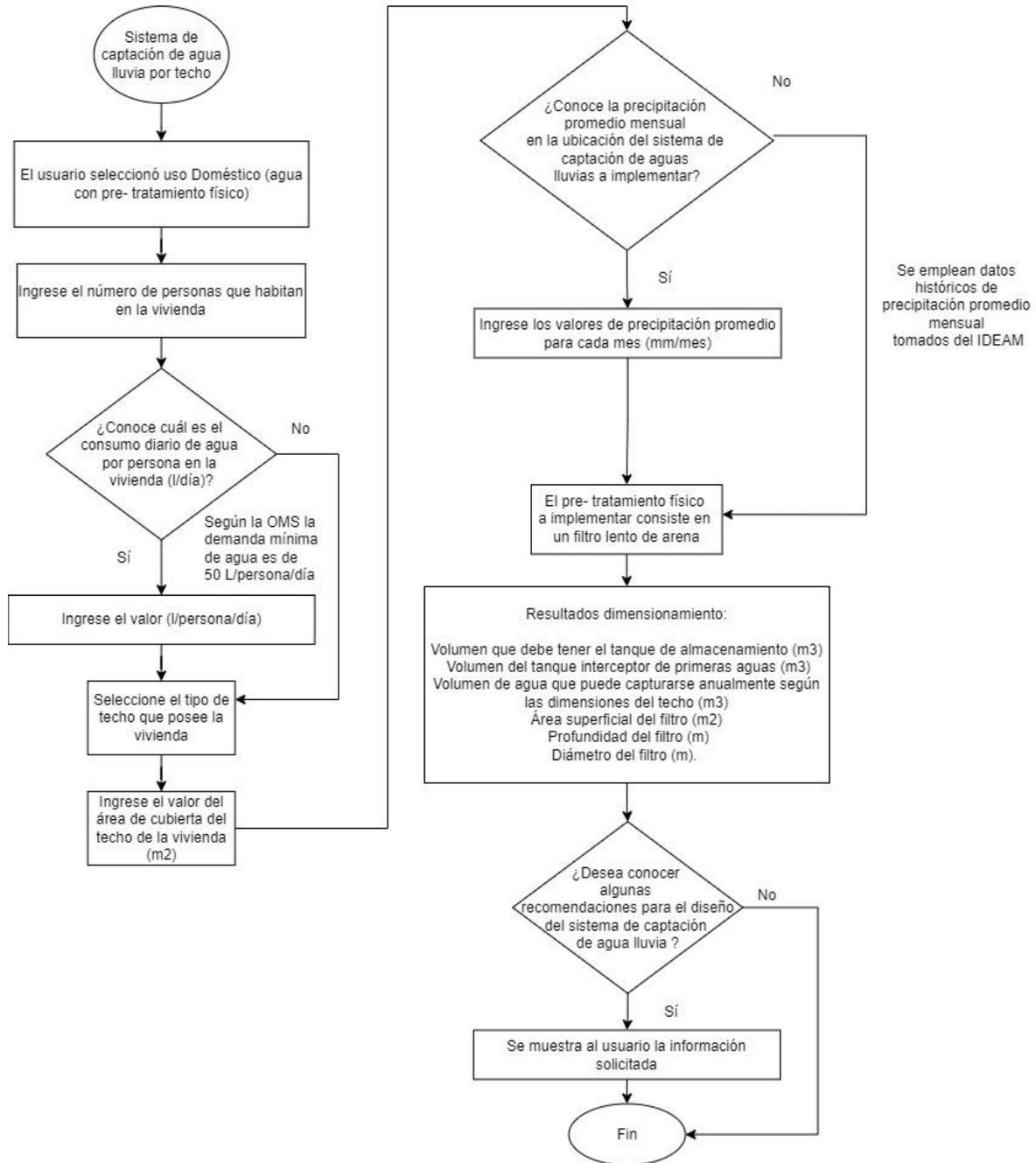
b. Escenario 2: Uso doméstico (pretratamiento físico)

Para el desarrollo de este escenario se contempló el dimensionamiento de un sistema de pretratamiento físico mediante filtros lentos de arena (FLA)¹², con el objetivo de mejorar la calidad del agua recolectada. En este escenario se incluye la información solicitada en el escenario 1, la diferencia se evidencia en los resultados donde se muestra la información relacionada al FLA, para conocer más información sobre el diseño de este sistema ver el [Anexo 5](#).

La Ilustración 14 presenta un diagrama del **segundo paso** de ingreso de información para la captación de aguas lluvia a través de estructuras en techo para uso doméstico con pretratamiento físico:

¹² Proceso de separación de agentes contaminantes que se utiliza para la separación de sólidos en el agua. Generalmente este método es aplicado en el tratamiento de aguas residuales, piscinas, filtración de aguas subterráneas, etc. Para disminuir la presencia de sedimentos y partículas en suspensión que contaminan el agua.

Ilustración 13. Diagrama captación en techo para uso doméstico (agua con pretratamiento físico)

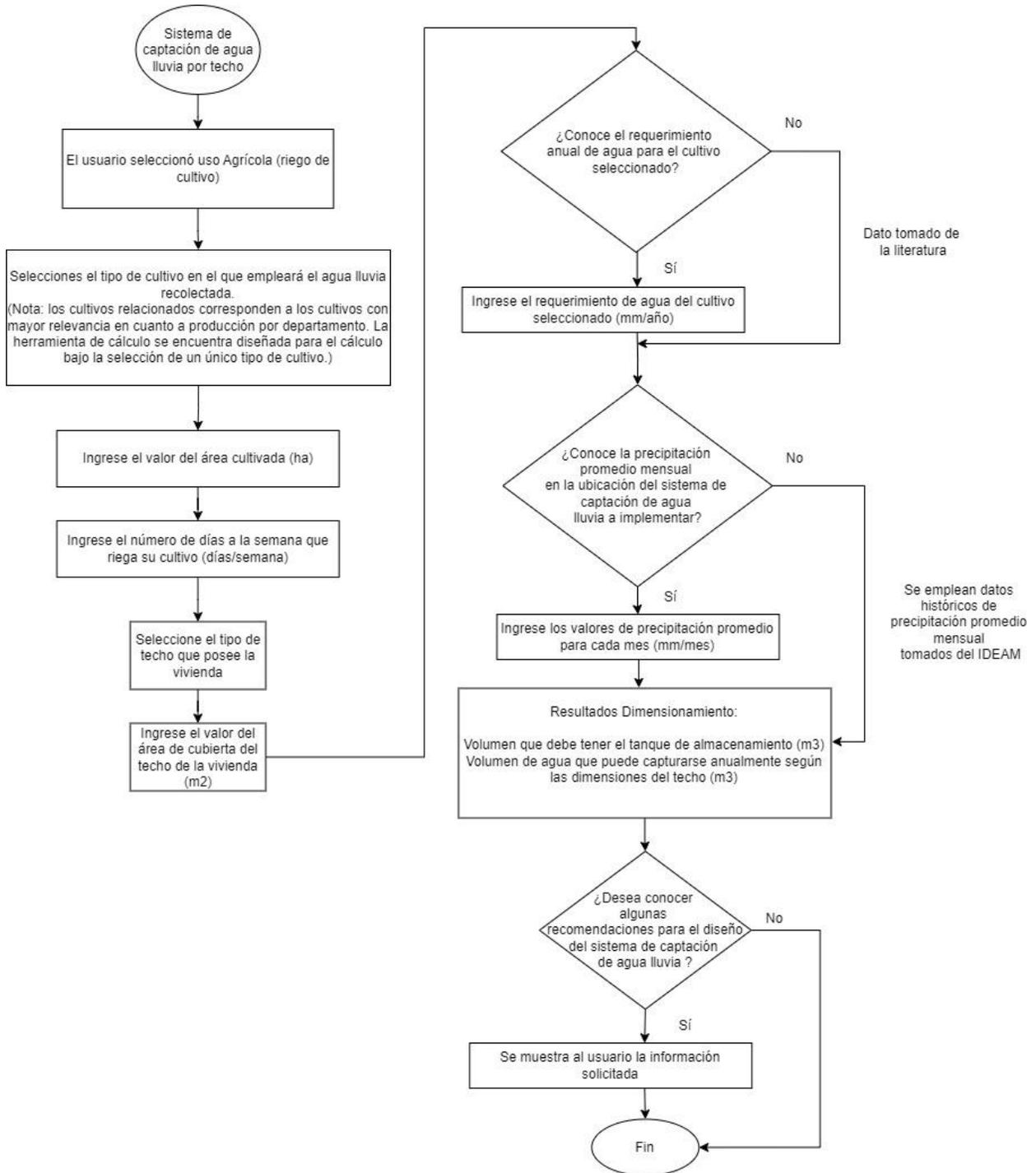


Fuente: Elaboración propia.

c. Escenario 3: Uso agrícola

La Ilustración 15 presenta un diagrama del **segundo paso** de ingreso de información para la captación de aguas lluvia a través de estructuras en techo para uso agrícola:

Ilustración 14. Diagrama captación en techo para uso agrícola (riego de cultivo)



Fuente: Elaboración propia.

La descripción de los datos solicitados al usuario durante el segundo paso de este escenario se muestra en la tabla 24:

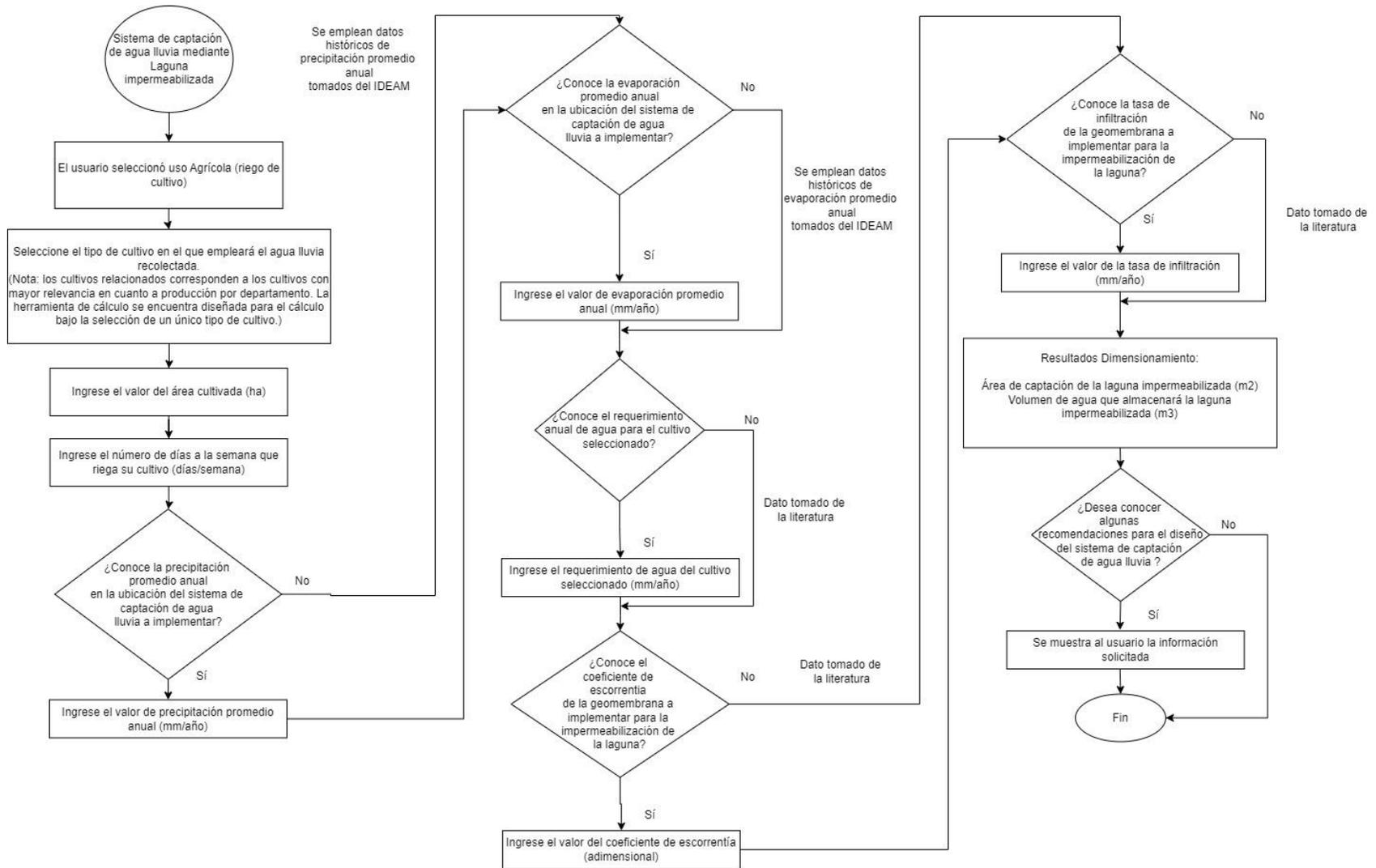
Tabla 24. Datos generales requeridos captación en techo para uso agrícola en la pestaña “HC_SCALL”

Dato solicitado al usuario	Descripción
Tipo de cultivo disponible en el terreno	Los cultivos relacionados corresponden a los cultivos con mayor relevancia en cuanto a producción por departamento, información extraída de la herramienta PlaSa Colombia desarrollada por el Centro Interamericano de Administración Tributaria (CIAT). La herramienta de cálculo se encuentra diseñada para el cálculo bajo la selección de un único tipo de cultivo (para más información sobre los supuestos de cálculo ver el Anexo 6).
Área cultivada (m ³ o ha)	Corresponde al área ocupada por el cultivo seleccionado en el ítem previo.
Días de riego (días/semana).	Número de días a la semana que requiere riego el cultivo.
Tipo de techo	Tipo de techo que posee la vivienda donde se emplazará el sistema de captación de agua lluvia (para más información relacionada con supuestos de cálculo ver Anexo 3).
Área de cubierta del techo de la vivienda (m ²)	Corresponde a las dimensiones que posee el techo que será empleado como superficie de captación de las aguas lluvias.
Requerimiento anual de agua para cultivo (l/m ² /año)	Corresponde a la cantidad de agua que el cultivo requiere a lo largo del año. Si el usuario no conoce este valor se emplearán datos tomados de literatura (para más información sobre los supuestos de cálculo ver el Anexo 6).
Precipitación promedio mensual del terreno (mm/mes)	Precipitación promedio mensual en la ubicación del sistema de captación de aguas lluvias a implementar. Si el usuario no conoce esta información se emplearán datos históricos de precipitación mensual reportados por el IDEAM para el período 1993 - 2023, dado que por acuerdos internacionales el análisis de variables climatológicas debe realizarse durante un período de por lo menos 30 años para tener una comprensión realista de las características climáticas de la zona (IDEAM, 2018), para más información ver Anexo 4 .

PASO 2B: Para captación de aguas lluvias por laguna de almacenamiento de agua lluvia/jagüey.

La captación de aguas lluvias a través de lagunas de almacenamiento de agua lluvia/jagüey con geomembrana para la herramienta HC_SCALL está dedicado al uso agrícola para el riego de cultivos. La Ilustración 16 presenta un diagrama del **segundo paso** para el ingreso de información para la captación de aguas lluvias a través de lagunas de almacenamiento de agua lluvia/jagüey para uso agrícola:

Ilustración 15. Diagrama de captación mediante laguna de almacenamiento de agua lluvia/jagüey para uso agrícola (riego de cultivo)



Fuente: Elaboración propia.

La descripción de los datos solicitados al usuario durante el segundo paso de la captación de aguas lluvias a través de lagunas de almacenamiento de agua lluvia/jagüey con geomembrana se muestra en la tabla 25:

Tabla 25. Datos generales requeridos captación en laguna de almacenamiento de agua lluvia/jagüey para uso agrícola en la pestaña “HC_SCALL”

Dato solicitado al usuario	Descripción
Tipo de cultivo tiene en el terreno donde se emplazará el sistema de captación de agua lluvia.	Los cultivos relacionados corresponden a los cultivos con mayor relevancia en cuanto a producción por departamento. La herramienta de cálculo se encuentra diseñada para el cálculo bajo la selección de un único tipo de cultivo (ver Anexo 6).
Área cultivada (m ² o ha).	Corresponde al área ocupada por el cultivo seleccionado en el ítem previo.
Días de riego (días/semana).	Número de días a la semana que requiere riego el cultivo.
Precipitación promedio anual en el predio (mm/año)	Precipitación promedio anual en la ubicación del sistema de captación de aguas lluvias a implementar. Si el usuario no conoce esta información se emplearán datos históricos de precipitación anual reportados por el IDEAM (ver Anexo 4).
Evaporación promedio anual en el predio (mm/año)	Evaporación promedio anual en la ubicación del sistema de captación de aguas lluvias a implementar (mm/año). Si el usuario no conoce esta información se emplearán datos históricos de evaporación anual reportados por el IDEAM en el Atlas Climatológico de Colombia (IDEAM & UPME, 2017). Este reporte evalúa datos de evaporación anual en el período de tiempo comprendido entre los años de 1981 y 2010, con el fin de tener una comprensión realista de las características climáticas de la zona de análisis (IDEAM, 2018) (ver Anexo 7).
Requerimiento anual de agua para cultivo (l/m ² /año)	Corresponde a la cantidad de agua que el cultivo requiere a lo largo del año. Si el usuario no conoce este valor se emplearán datos tomados de literatura (ver Anexo 6).
Coeficiente de escorrentía de la geomembrana	Valor adimensional que indica la proporción de agua de lluvia que fluye superficialmente sobre la geomembrana, en lugar de infiltrarse o ser absorbida. Si este dato no se conoce será tomado de literatura (para más información sobre supuestos de cálculo ver Anexo 8).
Tasa de infiltración de la geomembrana (mm/año)	Si este dato no se conoce será tomado de literatura (para más información sobre supuestos de cálculo ver Anexo 8).

Posterior a la digitación de la totalidad de la información el usuario debe dar clic en el botón “Calcular” para obtener los resultados del dimensionamiento del sistema de captación de aguas lluvias seleccionado.

PASO 3: Interpretación de los resultados esperados de la herramienta HC_SCALL:

La herramienta calcula los resultados presentados al usuario conforme las opciones seleccionadas. Las tablas 26 y 27 brindan la interpretación de las celdas de resultados que presenta la herramienta HC_SCALL posteriormente dar clic en el botón “calcular” (para más información respecto a la metodología de cálculos para desarrollo de la herramienta HC_SCALL ver [Anexo 2](#)):

Tabla 26. Interpretación de los resultados para SCALL a través de estructura en techo de la pestaña HC_SCALL

Tipo de uso que se le dará al agua lluvia recolectada	Resultado esperado de la HC_SCALL	Descripción
Doméstico (agua cruda)	Estimación del volumen de agua cruda requerida mensualmente para abastecer la necesidad (m ³ /mes)	Corresponde a la cantidad de agua cruda que requiere el productor para abastecerse.
	Volumen de aguas lluvias susceptibles de captar al mes (tanque de almacenamiento, m ³ /mes)	Corresponde a la cantidad de agua cruda que según la estimación se llega a captar en promedio con el SCALL.
	Porcentaje de cobertura del requerimiento de agua mensual para abastecer el consumo de agua cruda (%)	Corresponde a la relación entre la oferta de aguas lluvias susceptibles de captar y la demanda de agua cruda o requerimiento del productor (Oferta/Demanda). Un porcentaje superior al 50% brinda información de que el SCALL propuesto puede cubrir el requerimiento de agua del productor. Un porcentaje inferior al 50% requiere que el productor reevalúe el tipo de techo de la estructura de captación, considere un SCALL complementario o plantee un SCALL diferente.
	Estimación del volumen de aguas lluvias crudas a captar a través del techo anualmente (m ³ /año)	Corresponde al volumen de aguas lluvias susceptibles de captar durante un año.
	Volumen del tanque para el primer filtro de lavado (m ³)	Corresponde al volumen del tanque que se requiere para depurar los sólidos de la corriente generada de aguas lluvias de la cubierta de techo.
Doméstico (agua con pretratamiento físico)	Estimación del volumen de agua con pretratamiento requerida mensualmente para abastecer la necesidad (m ³ /mes)	Corresponde a la cantidad de agua cruda que requiere el productor para abastecerse.

Tipo de uso que se le dará al agua lluvia recolectada	Resultado esperado de la HC_SCALL	Descripción
	Volumen de aguas lluvias susceptibles de captar al mes (tanque de almacenamiento, m ³ /mes)	Corresponde a la cantidad de agua cruda que según la estimación se llega a captar en promedio con el SCALL.
	Porcentaje de cobertura del requerimiento de agua mensual para abastecer el consumo de agua cruda (%)	Corresponde a la relación entre la oferta de aguas lluvias posibles de captar y la demanda de aguas cruda del productor (oferta/demanda). Un porcentaje superior al 50% brinda información de que el SCALL propuesto puede cubrir el requerimiento de agua del productor. Un porcentaje inferior al 50% requiere que el productor reevalúe el tipo de techo de la estructura de captación, considere un SCALL complementario o plantee un SCALL diferente.
	Estimación del volumen de aguas lluvias con pretratamiento a captar a través del techo anualmente (m ³ /año)	Corresponde al volumen de aguas lluvias susceptibles de captar durante un año.
	Volumen del tanque para el primer filtro de lavado (m ³)	Corresponde al volumen del tanque que se requiere para depurar los sólidos de la corriente generada de aguas lluvias de la cubierta de techo.
	Área superficial del filtro lento de arena (cm ²)	Corresponde al tamaño de la parte superior del filtro, por donde entra el agua para depurarse. Esta área es clave para saber la capacidad del filtro, ya que afecta la cantidad de agua que puede limpiar y la velocidad con la que lo hace.
	Profundidad del filtro lento de arena (cm)	Altura total del filtro lento de arena para el pretratamiento físico del agua cruda.
	Diámetro del filtro lento de arena (cm)	Corresponde al ancho de la parte circular del filtro lento de arena. El diámetro del filtro influye directamente en la velocidad a la que el agua puede filtrarse sin comprometer la calidad de la purificación.
Agrícola (riego de cultivo)	Estimación del volumen de agua mensual requerido para el cultivo y frecuencia de riego seleccionados (m ³ /mes)	Corresponde a la cantidad de agua cruda que requiere el productor para abastecerse.
	Volumen de aguas lluvias susceptible de captar al mes (tanque de almacenamiento, m ³ /mes)	Corresponde a la cantidad de agua cruda que según la estimación se llega a captar en promedio con el SCALL.

Tipo de uso que se le dará al agua lluvia recolectada	Resultado esperado de la HC_SCALL	Descripción
	Porcentaje de cobertura del requerimiento de agua mensual para abastecer el cultivo y frecuencia de riego (%)	Corresponde a la relación entre la oferta de aguas lluvias posibles de captar y la demanda de aguas cruda del productor (Oferta/Demanda). Un porcentaje superior al 50% brinda información de que el SCALL propuesto puede cubrir el requerimiento de agua del productor. Un porcentaje inferior al 50% requiere que el productor reevalúe el tipo de techo de la estructura de captación, considere un SCALL complementario o plantee un SCALL diferente.
	Estimación del volumen de aguas lluvias a captar a través del techo para uso agrícola anualmente (m ³ /año)	Corresponde al volumen de aguas lluvias susceptibles de captar durante un año.

Tabla 27. Interpretación de los resultados para SCALL a través de lagunas de almacenamiento de agua lluvia/jagüey de la pestaña HC_SCALL

Tipo de uso que se le dará al agua lluvia recolectada	Resultado esperado de la HC_SCALL	Descripción
Agrícola (riego de cultivo)	Estimación del volumen de agua mensual requerido para el cultivo y frecuencia de riego seleccionados (m ³ /mes)	Corresponde a la cantidad de agua cruda que requiere el productor para abastecerse.
	Volumen de aguas lluvias susceptibles de captar a través de la laguna de almacenamiento de agua lluvia/jagüey al mes (m ³ /mes)	Corresponde a la cantidad de agua cruda que según la estimación se llega a captar en promedio con el SCALL.
	Porcentaje de cobertura del requerimiento de agua mensual para abastecer el cultivo y frecuencia de riego (%)	Corresponde a la relación entre la oferta de aguas lluvias posibles de captar y la demanda de aguas cruda del productor (Oferta/Demanda). Un porcentaje superior al 50% brinda información de que el SCALL propuesto puede cubrir el requerimiento de agua del productor. Un porcentaje inferior al 50% requiere que el productor reevalúe el tipo de techo de la estructura de captación, considere un SCALL complementario o plantee un SCALL diferente.

	Área de captación de la laguna de almacenamiento de agua lluvia/jagüey (m ²)	Es la superficie de terreno que recoge el agua de lluvia y la dirige hacia la laguna. Esta área incluye todas las superficies (como suelos, techos, montañas, o cualquier espacio natural) que alimentan la laguna con el agua de las precipitaciones.
	Estimación del volumen de aguas lluvias a captar con la laguna de almacenamiento de agua lluvia/jagüey anualmente (m ³ /año)	Es la capacidad que la laguna necesita tener para almacenar el agua de lluvia que recibe desde su área de captación durante un año. Este volumen se determina para evitar que la laguna se desborde cuando llueva mucho.

Adicionalmente, dependiendo cual haya sido la selección del usuario sobre el tipo de SCALL, posterior a dar clic en el botón calcular, el usuario encontrará una nueva pestaña habilitada que brinda algunas recomendaciones para el diseño de sistemas de captación de aguas lluvias a través de estructuras en techo o de lagunas de almacenamiento de agua lluvia/jagüey con geomembrana de impermeabilización.

4.2.3 Tecnologías de Uso Eficiente de Agua (UEA)

En esta sección se presenta al usuario un listado de alternativas de sistemas urbanos y rurales de drenaje para incentivar el uso eficiente del recurso hídrico mediante la optimización de las aguas lluvias. Estos listados incluyen información de la [Guía de lineamientos para potenciar el uso de las aguas lluvias](#), desarrollada por el MADS en 2022. Adicionalmente, se relacionan desde el listado de los 16 departamentos priorizados dentro del Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico (IVDH) del ENA 2022¹³ los cuales presentan favorabilidad para la implementación de cada alternativa. Una descripción de la información contenida en el listado de alternativas y tecnologías para el uso eficiente del agua se presenta a continuación:

Tabla 28. Descripción de la información presentada en la pestaña “Tecnologías UEA”

Información	Descripción
Sistema de captación	Incluye la información de los 16 sistemas de captación propuestos dentro de la Guía de lineamientos para potenciar el uso del agua lluvia, desarrollada por el MADS en 2022.
Descripción general	Información general sobre en qué consiste la alternativa.
Parámetros por controlar	Este apartado relaciona aquellos parámetros necesarios de revisar técnicamente para evaluar la favorabilidad de implementación del sistema de captación.
Ventajas	Puntos a favor del sistema de captación.
Desventajas	Puntos por considerar que podrían tener algún tipo de implicación sobre la implementación del sistema de captación.

¹³ Los departamentos relacionados dentro del IVDH 2022 son: Magdalena, Cesar, La Guajira, Risaralda, Bolívar, Sucre, Córdoba, Guaviare, Tolima, Atlántico, Norte de Santander, Santander, Valle del Cauca, Quindío, Boyacá, y el departamento de San Andrés, Providencia y Santa Catalina.

Información	Descripción
Características del territorio que hacen favorable la implementación del sistema de captación	Algunas características altamente relevantes por considerar para determinar si es favorable implementar el sistema de captación ¹⁴ .
Ejemplos de aplicación	se relaciona algunos departamentos que presentan mayor alineación con las características favorables del ítem anterior para implementación de la alternativa ¹⁴ .
Imagen de referencia del sistema de captación	brinda una imagen de soporte para contextualizar al usuario de la herramienta sobre la visualización típica de la alternativa propuesta.

4.3 Proxies en acción para la dimensión ambiental del Recurso Hídrico – casos de estudio y resumen de tecnologías

Para los *proxies* de la dimensión ambiental del Recurso Hídrico se desarrolló este apartado que permite visualizar a través de casos de estudio (para las pestañas “Estrés Hídrico (IUA)” y “HC_SCALL”) y adaptación del listado de tecnologías (para la pestaña “Tecnologías UEA”) los resultados que obtendrá el usuario tras el uso de la herramienta Excel. La tabla de contenidos para la navegación sencilla de esta sección se presenta a continuación:

Tabla de contenidos - Casos de estudio para los resultados de la dimensión ambiental del Recurso Hídrico
4.3.1 Caso de estudio para el Recurso hídrico (IUA) con resultados en la pestaña “IUA Recomendaciones Inversión”
4.3.2 HC_SCALL
a. Caso de estudio para SCALL por estructura en techo de uso doméstico (agua cruda)
b. Caso de estudio para SCALL por estructura en techo de uso doméstico (pretratamiento físico)
c. Caso de estudio para SCALL por estructura en techo de uso agrícola
d. Caso de estudio para SCALL para lagunas de almacenamiento de agua lluvia/jagüey con geomembrana
4.3.3 Tecnologías UEA

¹⁴ Las características señaladas no son de orden excluyente, solo son relacionadas como consideraciones relevantes al momento de plantear los sistemas de captación.

4.3.1 Caso de estudio para los resultados para la pestaña “Estrés hídrico (IUA)”, presentados en la pestaña “IUA_Recomendaciones Inversión”

La herramienta de búsqueda presenta información sobre las subzonas hidrográficas presentes en un determinado municipio. Para la visualización de los resultados que puede generar la herramienta de búsqueda se plantea un caso de estudio que solicita la información sobre el índice de uso de agua para la ciudad de Santiago de Cali en el departamento del Valle del Cauca. Los resultados para este caso se muestran en la Ilustración 17:

Ilustración 16. Resultados herramienta de búsqueda para el caso de estudio

ESTADO DEL USO DEL AGUA EN EL MUNICIPIO DE ELECCIÓN									
PASO 1		¿En cual departamento está interesado en realizar la inversión?						Dpto_Valle_del_Cauca	
PASO 2		¿En que municipio desea realizar la inversión?						Santiago de Cali	
RESULTADOS DEL IUA POR MUNICIPIO Y SUBZONA HIDROGRÁFICA									
Área Hidrográfica AH	Zona Hidrográfica ZH	SZH	Nombre de subzona hidrográfica	Departamento	Municipio	Índice de uso del agua (IUA) según ENA 2022			
						Año medio		Año seco	
						Valor	Categoría	Valor	Categoría
Magdalena - Cauca	Cauca	2605	Río Timba	Dpto_Valle_del_Cauca	Santiago de Cali	2,2	Baja	6,4	Baja
Magdalena - Cauca	Cauca	2629	Rios Claro y Jamundi	Dpto_Valle_del_Cauca	Santiago de Cali	7,3	Baja	22,9	Alta
Magdalena - Cauca	Cauca	2630	Rios Lili, Meléndez y Cañavalejo	Dpto_Valle_del_Cauca	Santiago de Cali	201,0	Crítico	628,9	Crítico

RECOMENDACIONES DE LOS TIPOS DE INVERSIONES FACTIBLES DE REALIZACIÓN EN EL MUNICIPIO DE ELECCIÓN	
Crítico	<p>En esta categoría los sistemas hídricos superficiales se encuentran al límite de su capacidad para satisfacer la demanda del recurso, existe competencia de la demanda respecto al caudal ambiental y es inminente la ocurrencia de periodos de desabastecimiento y escasez del recurso por bajo nivel de oferta hídrica. Esto implica que deben tomarse decisiones enfocadas en la gestión integral y sostenible del agua, articuladas con la protección, conservación y restauración de los ecosistemas, la biodiversidad y los sistemas hídricos superficiales (IDEAM, s.f.). En este sentido es recomendable hacer uso eficiente del recurso hídrico e implementar tecnologías, herramientas o sistemas para optimizar el uso del agua y disminuir la presión sobre las fuentes de abastecimiento convencionales. Considerando que el alcance de este trabajo se centra en entornos rurales, algunas herramientas que podrían emplearse son las siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> •Uso de sistemas de captación de agua lluvia para su aprovechamiento en hogares o sistemas de riego. •Implementación de herramientas que optimicen el uso de agua en hogares, como el uso de duchas y cisternas eficientes. •Reuso de aguas grises en cisternas y actividades de limpieza. •Implementación de sistemas de riego por goteo. •Implementación de sistemas de riego de alta tecnología, los cuales incluyen el uso de sensores de humedad que optimizan la distribución de agua en el cultivo. <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p>RECOMENDACIÓN: Priorizar inversiones que hagan uso de los sistemas de captación de aguas lluvia.</p> <p>Para acceder a una herramienta para el diseño de sistemas de captación de aguas lluvia por techo o por laguna de precipitación de clic en el botón HC-SCALL.</p> </div> <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px 15px; background-color: #00FFFF; display: inline-block;"> dar clic para acceder a HC-SCALL </div> </div>

La herramienta permite, para el caso de estudio en cuestión, visualizar que la ciudad de Santiago de Cali cuenta con tres subzonas hidrográficas presentes en su territorio, las cuales presentan índices de uso del agua para año seco con categorización baja, alta y crítica al año 2022. Al tener más de una subzona de influencia, la herramienta presentó las recomendaciones de inversión relacionadas con la categoría de mayor criticidad, la cual corresponde a crítico, evidenciando que para el territorio que comprende este municipio se sugieren las inversiones que optimicen el uso de las aguas lluvias.

4.3.2 Casos de estudio para los resultados para la pestaña “HC_SCALL”

Para la visualización de los resultados que puede generar la herramienta de diseño de sistemas de captación de aguas lluvias se plantean cuatro casos de estudio (según el tipo de captación y tipo de uso de las aguas lluvias) a continuación:

- a. *Caso de estudio para SCALL por estructura en techo, uso doméstico (agua cruda):*

Para este escenario se planteó un caso de estudio que toma como ubicación de la finca del productor el departamento de Antioquia. Tiene una vivienda con 5 habitantes, un área de cubierta del techo de 62 m² de tipo zinc. Además, se asume que el usuario no conoce los datos de consumo diario de agua ni la

precipitación promedio mensual en la zona de interés. Los resultados esperados que genera la herramienta de cálculo se presentan en la Ilustración 18.

Ilustración 17. Ilustración de los resultados para el caso de estudio de la dimensión del Recurso hídrico, Captación por techo de uso doméstico (agua cruda)

PASO 1. INGRESO DE DATOS	¿En qué departamento de Colombia se encuentra ubicado el terreno donde se emplazará el sistema de captación de agua lluvia?	Antioquia	
	¿Qué tipo de captación de agua lluvia busca realizar?	Captación_por_techo	
	¿Qué tipo de uso le dará al agua lluvia recolectada?	Doméstico (agua cruda)	
PASO 2. DATOS DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIA (Estructura de captación en techo para uso doméstico)	¿Cuántas personas habitan la vivienda?	5	# personas
	¿Conoce el consumo diario de agua por persona en la vivienda?	No	l/p.día
	¿Qué tipo de techo tiene la vivienda donde se emplazará el sistema de captación de aguas lluvia?	Tejas de zinc	
	¿Cuál es el área de cubierta del techo de la vivienda?	62	m ²
	¿Conoce la precipitación promedio mensual en la ubicación del sistema de captación de aguas lluvias a implementar?	No	
PASO 3: RESULTADOS (Uso doméstico - Agua cruda)	Estimación del volumen de agua cruda requerida mensualmente para abastecer la necesidad	7,50	m ³ /mes
	Volumen de agua lluvias susceptibles de captar al mes (tanque de almacenamiento)	13,59	m ³ /mes
	Porcentaje de cobertura del requerimiento de agua mensual para abastecer el consumo de agua cruda	181,19%	%
	Estimación del volumen de aguas lluvias crudas a captar a través del techo anualmente	163,07	m ³ /año
	Volumen del tanque para el primer filtro de lavado	0,06	m ³

b. *Caso de estudio para SCALL por estructura en techo, uso doméstico (agua con pretratamiento físico):*

Para este escenario los criterios relacionados a ubicación, número de habitantes de la vivienda y área de la cubierta del techo son los mismos que para el caso de estudio a. Los resultados esperados que genera la herramienta de cálculo se presentan en la Ilustración 19.

Ilustración 18. Ilustración de los resultados para el caso de estudio de la dimensión del Recurso hídrico, Captación por techo de uso doméstico (agua con pretratamiento físico)

PASO 1. INGRESO DE DATOS	¿En qué departamento de Colombia se encuentra ubicado el terreno donde se emplazará el sistema de captación de agua lluvia?	Antioquia	
	¿Qué tipo de captación de agua lluvia busca realizar?	Captación_por_techo	
	¿Qué tipo de uso le dará al agua lluvia recolectada?	Doméstico (agua con pre-tratamiento físico)	
PASO 2. DATOS DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIA (Estructura de captación en techo para uso doméstico)	¿Cuántas personas habitan la vivienda?	5	# personas
	¿Conoce el consumo diario de agua por persona en la vivienda?	No	l/p.día
	¿Qué tipo de techo tiene la vivienda donde se emplazará el sistema de captación de aguas lluvia?	Tejas de zinc	
	¿Cuál es el área de cubierta del techo de la vivienda?	62	m ²
	¿Conoce la precipitación promedio mensual en la ubicación del sistema de captación de aguas lluvias a implementar?	No	
PASO 3: RESULTADOS (Uso doméstico - pretratamiento físico)	Estimación del volumen de agua con pre-tratamiento físico requerida mensualmente para abastecer la necesidad	7,50	m ³ /mes
	Volumen de aguas lluvias susceptible de captar al mes (tanque de almacenamiento)	13,59	m ³ /mes
	Porcentaje de cobertura del requerimiento de agua mensual para abastecer el consumo de agua con pre-tratamiento físico	181,19%	%
	Estimación del volumen de aguas lluvias a captar a través del techo con pre-tratamiento anualmente	163,07	m ³ /año
	Volumen del tanque para el primer filtro de lavado	0,06	m ³
	Área superficial del filtro lento de arena	136,43	cm
	Profundidad del filtro lento de arena	114,00	cm
	Diámetro mínimo del filtro lento de arena	33,25	cm

NOTA: El sistema de captación de aguas lluvia por estructura en techo con un pre-tratamiento físico cuenta con mecanismos de depuración como el tanque de primer filtro de lavado y el filtro lento de arena (FLA), sin embargo, estos no garantizan que el agua recolectada sea apta para consumo humano. El agua recolectada se identifica como agua cruda y puede ser usada para labores domésticas y/o agrícolas, NO se recomienda el consumo humano sin la realización de análisis de agua que confirmen que cumple con los límites permisibles establecidos dentro de la Resolución 2115 de 2007.

Es importante mencionar que el diámetro para el filtro lento de arena que presenta la herramienta de cálculo

corresponde al valor mínimo recomendado. El diseñador final deberá adaptar los resultados a las condiciones reales del entorno analizado.

c. *Caso de estudio para SCALL por estructura en techo, uso agrícola (riego de cultivo):*

Para este escenario se planteó un caso de estudio que toma como ubicación de la finca del productor el departamento de Antioquia, Tiene un área de cubierta de techo de 110 m² de tipo zinc. El tipo de cultivo sembrado en la zona de interés es yuca, un área plantada de 20 m² y una frecuencia de riego de dos días por semana. Se asume que el usuario no conoce el requerimiento anual de agua para el cultivo ni la precipitación promedio mensual en la ubicación del sistema de captación de las aguas lluvias. Los resultados esperados que genera la herramienta de cálculo se presentan en la Ilustración 20.

Ilustración 19. Ilustración de los resultados para el caso de estudio de la dimensión del Recurso hídrico, Captación por techo de uso agrícola

PASO 1. INGRESO DE DATOS	¿En qué departamento de Colombia se encuentra ubicado el terreno donde se emplazará el sistema de captación de agua lluvia?	Antioquia	
	¿Qué tipo de captación de agua lluvia busca realizar?	Captación_por_techo	
	¿Qué tipo de uso le dará al agua lluvia recolectada?	Agrícola (riego de cultivo)	
PASO 2: DATOS DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN (Estructura de captación en techo de aguas lluvia, para uso agrícola)	¿Cuál tipo de cultivo tiene en el terreno donde se emplazará el sistema de captación de aguas lluvia? NOTA: los cultivos relacionados corresponden a los cultivos con mayor relevancia en cuanto a producción por departamento. La herramienta de cálculo se encuentra diseñada para el cálculo bajo la selección de un único tipo de cultivo.	Yuca	
	¿Cuál es el área plantada del cultivo seleccionado?	20	m2
	¿Cuántos días a la semana riega su cultivo?	2	días/semana
	¿Qué tipo de techo tiene la vivienda donde se emplazará el sistema de captación de aguas lluvia?	Tejas de zinc	
	¿Cuál es el área de cubierta del techo de la vivienda?	110	m ²
	¿Conoce el requerimiento anual de agua para el cultivo seleccionado?	No	l/(m ² .año)
	¿Conoce la precipitación promedio mensual en la ubicación del sistema de captación de aguas lluvias a implementar?	No	
PASO 3: RESULTADOS (captación en techo - uso agrícola)	Estimación del volumen de agua mensual requerido para el cultivo y frecuencia de riego seleccionados	11,90	m ³ /mes
	Volumen de aguas lluvias susceptible de captar al mes (tanque de almacenamiento)	24,11	m ³
	Porcentaje de cobertura del requerimiento de agua mensual para abastecer el cultivo y frecuencia de riego	202,54%	%
	Estimación del volumen de aguas lluvias a captar a través del techo para uso agrícola anualmente	289,32	m ³ /año

a. *Caso de estudio para SCALL por laguna de almacenamiento de agua lluvia/jagüey con geomembrana de uso agrícola:*

Para este escenario se planteó un caso de estudio que toma como ubicación de la finca del productor el departamento de Arauca. El productor tiene un cultivo de cacao con un área sembrada de 1000 m² y tiene un requerimiento de frecuencia de riego de 3 días por semana. Se asume que el usuario no conoce los datos de precipitación promedio anual, evaporación promedio anual, coeficiente de escorrentía de la geomembrana ni la tasa de infiltración de esta última. Los resultados esperados que genera la herramienta de cálculo se presentan en la Ilustración 21.

Ilustración 20. Ilustración de los resultados para el caso de estudio de la dimensión del Recurso hídrico, Captación por laguna de almacenamiento de agua lluvia/jagüey con geomembrana de uso agrícola

PASO 1. INGRESO DE DATOS	¿En qué departamento de Colombia se encuentra ubicado el terreno donde se emplazará el sistema de captación de agua lluvia?	Arauca	
	¿Qué tipo de captación de agua lluvia busca realizar?	Laguna_de precipitación	
	¿Qué tipo de uso le dará al agua lluvia recolectada?	Agrícola (riego de cultivo)	
PASO 2: DATOS DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN (Laguna de precipitación para uso agrícola)	¿Cuál tipo de cultivo tiene en el terreno donde se emplazará el sistema de captación de aguas lluvia? NOTA: los cultivos relacionados corresponden a los cultivos con mayor relevancia en cuanto a producción por departamento. La herramienta de cálculo se encuentra diseñada para el cálculo bajo la selección de un único tipo de cultivo.	Cacao	
	¿Cuánta área tiene plantada del cultivo seleccionado?	1000	m2
	¿Cuántos días a la semana riega su cultivo?	3	días/semana
	¿Conoce la precipitación promedio anual en la ubicación del sistema de captación de aguas lluvias a implementar?	No	mm/año
	¿Conoce la evaporación promedio anual en la ubicación del sistema de captación de aguas lluvias a implementar?	No	mm/año
	¿Conoce el requerimiento anual de agua para el cultivo seleccionado?	No	l/(m ² .año)
	¿Conoce el coeficiente de escorrentía de la geomembrana a usar en el sistema de captación de aguas lluvias a implementar?	No	adimensional
	¿Conoce la tasa de infiltración de la geomembrana a usar en el sistema de captación de aguas lluvias a implementar?	No	mm/año
PASO 3: RESULTADOS (Laguna de precipitación - uso agrícola)	Estimación del volumen de agua mensual requerido para el cultivo y frecuencia de riego seleccionados	535,68	m ³ /mes
	Volumen de aguas lluvias susceptibles de captar a través de la laguna de precipitación al mes	554,30	m ³ /mes
	Porcentaje de cobertura del requerimiento de agua mensual para abastecer el cultivo y frecuencia de riego	103%	%
	Área de captación de la laguna de precipitación	3733,67	m ²
	Estimación del volumen de aguas lluvias a captar con la laguna de precipitación anualmente	6651,62	m ³ /año

4.3.3 Adaptación de los resultados para la pestaña “Tecnologías UEA”

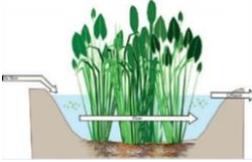
La tabla 29 relaciona una adaptación del listado de tecnologías y alternativas identificadas para el uso eficiente de las aguas lluvias en zonas urbanas y rurales:

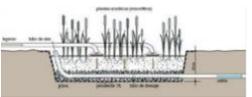
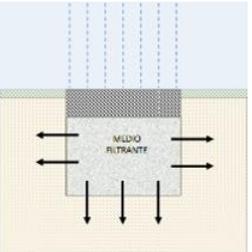
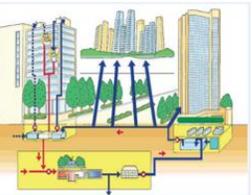
Tabla 29. Listado de alternativas de sistemas urbanos y rurales de drenaje

Sistema de captación	Ventajas	Desventajas	Características del territorio que hacen favorable la implementación del sistema de captación	Departamento sugerido de los priorizado en el IVDH 2022 ¹⁵	Imagen de referencia del sistema de captación
Canales y zanjas	<ul style="list-style-type: none"> • Alternativa de bajo costo para el control de la escorrentía. • Fácil integración a espacios verdes. • Fácil mantenimiento e integración a áreas verdes. • Permite filtración y eliminación de contaminantes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costoso en áreas escarpadas. • Uso limitado de árboles en áreas verdes. • Uso limitado de áreas densamente pobladas. 	<p>Clima con lluvias regulares.</p> <p>Terreno favorable.</p> <p>Áreas rurales o cerca de las ciudades.</p>	Risaralda, Magdalena, Cesar.	
Reservorio de agua	<ul style="list-style-type: none"> • Eficaz en retener grandes volúmenes de agua. • Favorece el tratamiento del agua. • Regula el nivel del agua. • Estimula la biodiversidad y se convierte en un elemento de paisaje. • Agua disponible para otros usos. 	<ul style="list-style-type: none"> • No se disminuye el volumen de escorrentía. • Requiere de grandes áreas. • Pueden generarse condiciones anaeróbicas o crecimiento de algas. • Riesgos por acceso de personas. 	<p>Suelo que absorbe poca agua.</p> <p>Clima con lluvias regulares.</p> <p>Espacio disponible para almacenamiento.</p> <p>Áreas rurales o cerca de las ciudades.</p>	Boyacá, Risaralda, Sucre, Cesar, Magdalena.	

¹⁵ Los departamentos señalados constituyen ejemplos representativos de regiones que cumplen con las características descritas en esta tabla, relacionadas con alternativas de sistemas urbanos y rurales de drenaje, lo que los hace aptos para la implementación de tecnologías de captación de agua. Este listado tiene un propósito ilustrativo y no debe interpretarse como exhaustivo. Los criterios utilizados para la priorización se basan en los factores evaluados y detallados en la sección correspondiente.

			Terreno favorable.		
Sistema de biorretención por infiltración/recarga	<ul style="list-style-type: none"> Bajo costo y fácil implementación. 	<ul style="list-style-type: none"> Su implementación depende de las características del medio. Requiere adecuado mantenimiento de la capa orgánica para mantener el potencial de infiltración o retención de contaminantes. Adecuado diseño de sistemas de drenaje. Ante la existencia de eventos extremos de precipitación se pueden generar desbordamientos en sistemas de biorretención/recarga. <p><i>Nota:</i> No es aplicable en áreas con nivel freático somero o muy baja pendiente</p>	<p>Centros urbanos.</p> <p>Áreas rurales o cerca de las ciudades.</p> <p>Terreno favorable.</p>	Atlántico, Cesar, Magdalena.	
Sistema de biorretención por filtración	<ul style="list-style-type: none"> Permite un mejor control de la escorrentía. Impide que se contamine el agua subterránea. 	<ul style="list-style-type: none"> Su implementación depende de las características del medio. Requiere adecuado mantenimiento de la capa orgánica para mantener el potencial de infiltración o retención de contaminantes. Adecuado diseño de sistemas de drenaje. Ante la existencia de eventos extremos de precipitación se pueden generar desbordamientos en sistemas de biorretención /recarga. <p><i>Nota:</i> No es aplicable en áreas con nivel freático somero o muy baja pendiente</p>	<p>Centros urbanos.</p> <p>Áreas rurales o cerca de las ciudades.</p> <p>Terreno favorable.</p>	Atlántico, Cesar, Magdalena.	
Superficies permeables porosas	<ul style="list-style-type: none"> Excelente reducción del caudal pico, volumen de escorrentía y mejoramiento de la calidad del agua. Aplicable en áreas desarrolladas con alta densidad. Reduce necesidad de excavación y drenajes y estructuras (manholes), lo que se traduce en beneficios de costos. 	<ul style="list-style-type: none"> La capacidad de carga de estas superficies es inferior a la de sistemas tradicionales, por ello se recomienda para áreas de bajo tráfico como estacionamientos, vías residenciales, ciclovías y vías peatonales. Los costos de instalación son más altos en relación con métodos tradicionales, esto 	<p>Centros urbanos.</p> <p>Existencia de infraestructura adecuada.</p>	Atlántico, Valle del Cauca.	

	<ul style="list-style-type: none"> Poco mantenimiento. Los costos pueden ser compensados por una disminución en las necesidades de tierra, tuberías y otros materiales. Esto reduce el costo total de instalación de sistemas de drenaje. 	<p>debido a su alto contenido de cemento y control de calidad especializado.</p> <ul style="list-style-type: none"> Estos sistemas requieren de mantenimiento para evitar taponamiento de poros o vacíos. 			
Superficies permeables a través de vacíos	<ul style="list-style-type: none"> Excelente reducción del caudal pico, volumen de escorrentía y mejoramiento de la calidad del agua. Aplicable en áreas desarrolladas con alta densidad. Reduce necesidad de excavación y drenajes y estructuras (manholes), lo que se traduce en beneficios de costos. Poco mantenimiento. Los costos pueden ser compensados por una disminución en las necesidades de tierra, tuberías y otros materiales. Esto reduce el costo total de instalación de sistemas de drenaje. 	<ul style="list-style-type: none"> La capacidad de carga de estas superficies es inferior a la de sistemas tradicionales, por ello se recomienda para áreas de bajo tráfico como estacionamientos, vías residenciales, ciclovías y vías peatonales. Los costos de instalación son más altos en relación con métodos tradicionales, esto debido a su alto contenido de cemento y control de calidad especializado. Estos sistemas requieren de mantenimiento para evitar taponamiento de poros o vacíos. 	Centros urbanos. Existencia de infraestructura adecuada.	Atlántico, Valle del Cauca.	
Techos verdes	<ul style="list-style-type: none"> Permiten eliminación de contaminantes urbanos atmosféricos. Aplicables en zonas de alta densidad urbana. Mejoran la calidad del aire, agua y clima, además de aislar estructuras de calor y el ruido. Disminuyen el consumo de energía. Pueden emplearse en producción de alimentos. 	<ul style="list-style-type: none"> Limitación por el área disponible en infraestructura, su capacidad de carga, pendiente, entre otros. 	Centros urbanos. Existencia de infraestructura adecuada.	Atlántico, Valle del Cauca.	
Humedales artificiales con superficie	<ul style="list-style-type: none"> Opera adecuadamente ante variaciones de caudal y carga contaminante. Buena remoción de materia orgánica y nitrógeno en el cuerpo de agua y remoción 	<ul style="list-style-type: none"> Requerimiento de área. El proceso no es controlado. El proceso es lento. Sistema sujeto a sobrecarga. 	Espacio disponible para almacenamiento. Áreas rurales o cerca de las ciudades.	Sucre, Cesar, Atlántico, Boyacá, Magdalena.	

<p>libre de agua</p>	<p>de fósforo y compuestos orgánicos en sistemas subsuperficiales.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fácil incorporación al paisaje y aumento de la biodiversidad. • Bajo costo de mantenimiento y energía debido a que emplea procesos naturales. • Opera como un ecosistema. 		<p>Centros urbanos.</p> <p>Suelo que absorbe poca agua.</p> <p>Terreno favorable.</p>		
<p>Humedales artificiales de flujo subsuperficial</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Opera adecuadamente ante variaciones de caudal y carga contaminante. • Buena remoción de materia orgánica y nitrógeno en el cuerpo de agua y remoción de fósforo y compuestos orgánicos en sistemas subsuperficiales. • Fácil incorporación al paisaje y aumento de la biodiversidad. • Bajo costo de mantenimiento y energía debido a que emplea procesos naturales. • Opera como un ecosistema. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requerimiento de área. • El proceso no es controlado. • El proceso es lento. • Sistema sujeto a sobrecarga. 	<p>Espacio disponible para almacenamiento.</p> <p>Áreas rurales o cerca de las ciudades.</p> <p>Centros urbanos.</p> <p>Suelo que absorbe poca agua.</p> <p>Terreno favorable.</p>	<p>Sucre, Cesar, Atlántico, Boyacá, Magdalena.</p>	
<p>Zanjas de infiltración/ drenajes de filtro (filtro francés)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Permite la remoción de contaminantes mediante la absorción, filtración y descomposición microbiana en el suelo circundante al drenaje de filtro. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere de la eliminación de excesos de sólidos para mantener su funcionalidad y prolongar su vida útil. • Se debe evaluar su uso para impedir la contaminación del suelo o del agua subterránea. 	<p>Existencia de infraestructura adecuada.</p> <p>Centros urbanos.</p> <p>Áreas rurales o cerca de las ciudades.</p> <p>Clima con lluvias regulares.</p>	<p>Valle del Cauca, Atlántico, Cesar, Risaralda.</p>	
<p>Sistemas de captación de aguas lluvias (SCALL)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuyen la demanda de agua de fuentes superficiales y subterráneas y la dependencia de suministro de sistemas centralizados y los impactos asociados a estos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Para que esta alternativa sea efectiva debe masificarse o complementarse con el uso de otros sistemas urbanos de drenaje sostenible. • El agua requiere un adecuado manejo para evitar que se contamine. 	<p>Clima con lluvias regulares.</p> <p>Centros urbanos.</p>	<p>Risaralda, Atlántico, La Guajira.</p>	

	<ul style="list-style-type: none"> Bajo costo de inversión y disminución de costos asociados al consumo de agua. El agua de lluvia tiene buena calidad fisicoquímica y microbiológica por lo que permite múltiples usos. 	<ul style="list-style-type: none"> El mantenimiento y operación son dependientes de la superficie de captación y el uso. 	<p>Áreas rurales o cerca de las ciudades.</p> <p>Poca agua (subterránea o de ríos)</p>		
Barriles de lluvia	<ul style="list-style-type: none"> Sencillo y económico de implementar. Fácil mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> El tamaño limita el volumen de almacenamiento. Poco retorno en función de la inversión. Crecimiento de algas y mosquitos. 	<p>Poca agua (subterránea o de ríos).</p> <p>Áreas rurales o cerca de las ciudades.</p>	La Guajira, Cesar.	
Sistemas de tratamiento	<ul style="list-style-type: none"> Son sistemas que pueden ser empleados para disminuir los requerimientos de tratamiento de aguas de escorrentía o para mejorar la provisión de servicios aguas abajo o para eliminar contaminantes prioritarios. 	<ul style="list-style-type: none"> Requieren de mantenimiento periódico. El mantenimiento influencia su eficacia. 	<p>Centros urbanos.</p> <p>Existencia de infraestructura adecuada.</p>	Atlántico, Valle del Cauca.	
Canales con vegetación	<ul style="list-style-type: none"> Aplicable y adaptable a las condiciones de la mayor parte de los sitios. Fácil diseño e instalación. Buena reducción de sedimentos y contaminantes. Generan bienestar, se adaptan a paisajes generando amplios corredores verdes. El mantenimiento se relaciona principalmente a la poda de la vegetación. 	<ul style="list-style-type: none"> Posibilidad de contaminación de aguas subterráneas si el suelo no tiene alto contenido de materia orgánica o arcilla, por lo tanto, debe ser tenida en cuenta la vulnerabilidad para proteger el agua subterránea. La infiltración es dependiente del terreno. Alto requerimiento de área. Requiere tratamientos adicionales dependiendo de las condiciones de calidad de la escorrentía. Puede requerirse limpieza de acumulaciones de sedimentos. 	<p>Centros urbanos.</p> <p>Áreas rurales o cerca de las ciudades.</p> <p>Terreno favorable.</p>	Atlántico, Cesar, Magdalena.	

<p>Esquemas de sistemas urbanos de drenaje sostenible que emplean árboles</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mejoran el bienestar de la población debido a su valor estético. • Tienen ventajas adicionales a la gestión de aguas superficiales (regulan el clima disminuyen el consumo energético, reducen el ruido, mejoran hábitats para vida silvestre, absorción y almacenan dióxido de carbono). 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicables en áreas de drenaje locales. • Aplicables en áreas con buena capacidad de infiltración. 	<p>Centros urbanos.</p>	<p>Atlántico.</p>	
<p>Tanques de almacenamiento para atenuación</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pueden ser empleados para cualquier sitio que requiera almacenamiento en el subsuelo. • El agua almacenada puede ser destinada para uso, generando beneficios a la población. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere pretratamiento, para evitar acumulación de sedimentos, especialmente en sistemas con acceso limitado para su remoción. • En áreas con suelos o aguas subterráneas contaminadas se debe hacer un análisis de riesgo y de medidas para reducirlo. • Deben estar instalados por encima del nivel freático o hacerse un diseño que evite problemas de flotación. 	<p>Clima con lluvias regulares.</p> <p>Existencia de infraestructura adecuada.</p> <p>Centros urbanos.</p> <p>Espacio disponible para almacenamiento.</p>	<p>Risaralda, Valle del Cauca, Atlántico, Sucre.</p>	

4.4 Aproximación de usos y posibles usuarios

La herramienta de búsqueda “Estrés Hídrico (IUA)” ligada a la pestaña “IUA_Recomendaciones Inversión” es especialmente útil para una amplia variedad de usuarios como: productores, empresas del sector real, entidades financieras, aseguradoras, usuarios particulares, organizaciones no gubernamentales y entidades de gobierno, al brindar información clara y de fácil acceso a los datos contenidos en el IUA, el indicador que tiene una relación directa para la identificación del estrés hídrico en el territorio nacional.

Al comprender la oferta de cuerpos hídricos en un municipio, la herramienta puede contribuir a la identificación por parte de las entidades del gobierno de las necesidades de formular iniciativas y/o políticas públicas orientadas a la gestión y mitigación del riesgo de desastres. También puede orientar a las entidades financieras en la creación/actualización de las líneas de crédito e inversión diferencial con productos alineados directamente a la oferta hídrica del territorio, o el diseño de productos de suscripción enfocados en regiones con alta, muy alta o crítica vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico. Asimismo, se facilita la toma de decisiones estratégicas sobre la selección de cultivos adecuados para una región o la elección de territorios para la adquisición de finca raíz con base en la disponibilidad hídrica del municipio, entre otras acciones.

Por su parte, las herramientas *proxies* “HC_SCALL” y “Tecnologías UEA” tienen multiplicidad de actores susceptibles de beneficiarse del desarrollo. En el caso de los productores (micro, pequeños, medianos y grandes productores), brinda información estimada sobre el volumen requerido para el almacenamiento de las aguas lluvias recolectadas. Esto les permite contemplar si su terreno cuenta con el área, las condiciones geomorfológicas y las condiciones idóneas para que el sistema sea favorable y cumpla con sus necesidades. De esta forma facilita la toma de decisiones al productor sobre inversiones en su propiedad.

Las entidades financieras como usuario de la herramienta podrán conocer la información y documentación a nivel técnico necesaria para evaluar la viabilidad de un proyecto para construcción de los dos tipos de SCALL propuestos, para determinar si es viable la asignación de un crédito bajo las condiciones de la TVC. Adicionalmente, contarán con información técnica sobre tecnologías alineadas con las buenas prácticas agrícolas (tablas 3.5 a la 3.9 de la TVC), estas tendrán con el objetivo de desarrollar nuevas líneas de crédito diferenciales para responder a la demanda de estos por parte de productores y agremiaciones interesadas en la implementación de la tecnología.

La herramienta brinda información a entidades aseguradoras sobre nuevas tecnologías susceptibles de inclusión en productos de suscripción y en portafolios de inversión, por tanto, brinda insumos sobre la información climática relevante de considerar al momento de diseñar nuevos productos de suscripción o de actualizar los ya existentes.

Por último, a una escala pública, la herramienta brinda insumos a las entidades competentes del gobierno nacional para el desarrollo de estrategias que busquen promover la implementación de SCALLs en entornos rurales, respondiendo a las necesidades de abastecimiento del recurso y alineándose a su vez con los POMCAS y el Plan Hídrico Nacional.

ANEXO 1. BRECHAS IDENTIFICADAS PARA LAS DIMENSIONES AMBIENTALES DE RESIDUOS Y RECURSO HÍDRICO

Brechas identificadas para la dimensión ambiental de Residuos

Tabla 30. Brechas identificadas en la dimensión ambiental de residuos frente a la TVC

Brechas de la dimensión ambiental de residuos	
Brecha	Argumento
Falta de conocimiento y sensibilidad por temáticas ambientales	Los agricultores pueden no estar informados de la importancia de una gestión adecuada de residuos agrícolas. La falta de sensibilidad y concientización respecto de la relevancia de las temáticas ambientales puede obstaculizar la adopción de las prácticas ambientales y sostenibles planteadas.
Falta de incentivos	La ausencia de incentivos económicos y beneficios claros para los agricultores que adoptan prácticas sostenibles de gestión de residuos puede disminuir la motivación para cambiar las prácticas existentes.
Limitados recursos financieros	Los agricultores, especialmente aquellos pequeños y medianos productores, pueden tener recursos financieros limitados para invertir en tecnologías y prácticas avanzadas de gestión de residuos.
Variabilidad en los residuos e inadecuada/nula separación de residuos en la fuente	La variabilidad en los tipos de residuos agrícolas, que pueden incluir desde restos de cultivos hasta envases y empaques, presenta un desafío en el diseño de sistemas de gestión que aborden todas las categorías de residuos de manera efectiva.
Infraestructura inadecuada	La falta de infraestructura adecuada (p. ej: centros de reciclaje, plantas de compostaje, estaciones de transferencia ¹⁶ , entre otros) puede dificultar la recolección y el tratamiento eficiente de los residuos agrícolas.
Normatividad fragmentada	La existencia de normativas fragmentadas o la falta de aplicación efectiva de las regulaciones puede dificultar la implementación de prácticas de gestión de residuos agrícolas de manera consistente
Ausencia de investigación	Se requiere investigación continua para desarrollar tecnologías y enfoques innovadores que mejoren la eficiencia y sostenibilidad de la gestión de residuos agrícolas, especialmente en comunidades dispersas y/o con difícil acceso a servicios de aseo y saneamiento público.

Fuente: Nota conceptual para el desarrollo de *proxies* para implementación de la TVC en el sector agricultura

¹⁶ Son instalaciones utilizadas en la gestión de residuos para optimizar los costos y la eficiencia del transporte de desechos. Su función principal es recibir los residuos de los camiones recolectores y transferirlos, a menudo mediante compactación, a contenedores más grandes (ecoembes).

Brechas identificadas para la dimensión ambiental de Recurso Hídrico

Tabla 31. Brechas identificadas en la dimensión ambiental del recurso hídrico frente a la TVC

Brechas de la dimensión ambiental de recurso hídrico	
Brecha	Argumento
Escasez y disponibilidad irregular	A pesar de tener abundantes recursos hídricos, existen áreas del país que experimentan escasez estacional o incluso prolongada (esto se ve acrecentado en los años secos). La distribución irregular de las lluvias a lo largo del año puede afectar negativamente a los agricultores, especialmente a aquellos que dependen de cultivos estacionales.
Deficiente infraestructura hidráulica	La falta de infraestructuras adecuadas, como sistemas de riego eficientes, embalses y canales de drenaje, limita la capacidad de los agricultores para gestionar y utilizar eficientemente el recurso hídrico disponible.
Contaminación del recurso hídrico	La contaminación del agua ya sea por desechos industriales, agrícolas o urbanos, afecta la calidad del agua utilizada para riego y consumo animal. La falta de sistemas efectivos de tratamiento de aguas residuales agrava esta problemática ambiental.
Conflictos por el agua	En algunas regiones, la competencia por el agua entre diferentes sectores, como la agricultura, la industria y el abastecimiento urbano, ha llevado a conflictos y tensiones.
Gestión del agua	La falta de capacidad y recursos para una gestión integrada del agua impide un uso sostenible y equitativo del recurso.
Desarrollo de capacidades sobre el uso eficiente del recurso hídrico	La conciencia sobre la importancia de conservar y utilizar responsablemente el agua en la agricultura puede ser baja. El desarrollo y construcción de capacidades sobre el uso eficiente del recurso es crucial para generar sensibilidad e interés en la población por estas temáticas.
Coordinación entre sectores	La falta de coordinación entre los sectores agrícola, industrial y urbano para la gestión del agua puede generar conflictos y afectar negativamente a los pequeños productores. Abordar estas problemáticas requiere medidas integradas que involucren a diversos actores, desde el gobierno hasta los propios agricultores, con un enfoque en la sostenibilidad y la eficiencia en el uso del agua.

Fuente: Nota conceptual para el desarrollo de *proxies* para implementación de la TVC en el sector agricultura

ANEXO 2. ECUACIONES EMPLEADAS PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LA HERRAMIENTA HC_SCALL

Sistemas de captación de aguas lluvias a través de estructura en techo

Escenario 1: Uso de agua doméstico (agua cruda)

Para el cálculo del volumen requerido para el tanque de almacenamiento de agua lluvia se consideró la guía de diseño para captación del agua lluvia propuesta por la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Los pasos empleados fueron los siguientes:

Determinación del volumen del tanque interceptor de primeras aguas: Para el dimensionamiento de este dispositivo debe considerarse que el volumen de agua requerido para lavar el techo se estima en 1 litro por m² de techo (OPS, 2004). Con base en ello se implementó lo siguiente:

Ecuación 4.

$$I = \frac{Ac * VI}{1000}$$

Descripción variables:

I: Volumen tanque interceptor de primeras aguas (m³).

Ac: área de captación (m²).

VI: Altura de agua para lavado de la cubierta (l/m²).

Determinación de la demanda de agua: A partir del consumo diario de agua por persona en la vivienda, se determina la cantidad de agua necesaria para suplir las necesidades en la vivienda de interés en cada uno de los meses del año.

Ecuación 5.

$$D_i = \frac{Nu * Nd * Dot}{1000}$$

Descripción variables:

Nu: Número de personas que habitan la vivienda.

Nd: Número de días del mes analizado.

Dot: Dotación o consumo de agua (L/persona/día).

Di: Demanda mensual (m³).

Determinación del volumen del tanque de almacenamiento: Considerando el promedio mensual de precipitación, el material del techo y el coeficiente de escurrimiento, se determina la cantidad de agua captada cada mes.

Ecuación 6.

$$A_i = \frac{Pp_i * Ce * Ac}{1000}$$

Descripción variables:

Pp_i: Precipitación promedio mensual (litros/m²).

Ce: Coeficiente de escurrentía¹⁷.

Ac: Área de captación (m²).

Ai: Oferta de agua en el mes "i" (m³).

Considerando los datos de demanda mensual de agua y oferta mensual de agua lluvia, se calcula el acumulado de cada uno de ellos mes a mes, y la diferencia entre los valores acumulados de oferta y demanda. Finalmente, el volumen del tanque de almacenamiento de agua lluvia estará determinado por la mayor diferencia acumulativa calculada.

Escenario 2: Uso de agua doméstico (agua con pretratamiento físico)

Para este escenario debe considerarse el dimensionamiento del tanque interceptor de primeras aguas, el tanque de almacenamiento y el volumen del filtro lento de arena. Para diseñar el filtro se implementó el manual técnico del filtro de rena lento intermitente desarrollado por el Centro de Tecnologías Asequibles de Agua y Saneamiento (CAWST). Las ecuaciones empleadas se presentan a continuación:

Ecuación 7.

$$Vol_D = Nu * Dot$$

Ecuación 8.

$$Qf = \frac{Vol_D}{T_{op}}$$

Descripción variables:

VolD: Volumen diario de agua a tratar (l).

Nu: Número de personas que habitan la vivienda.

Dot: Dotación o consumo de agua (L/persona/día).

Qf: Flujo o caudal del filtro (l/h).

VolD: Volumen diario de agua a tratar (l).

Top: Tiempo de operación al día (h/día).

El flujo de agua en el filtro depende de la velocidad de filtración y de la superficie del filtro, entonces debe calcularse el área y después el diámetro del filtro:

Ecuación 9.

$$Af = \frac{Qf}{Vf}$$

Ecuación 10.

$$Df = \sqrt{\frac{4 * Af}{\pi}}$$

Descripción variables:

AF: Superficie del filtro (m²).

Vf: Velocidad o tasa de filtración (m/h).

Df: Diámetro del filtro (m)

π: Constante Pi = 3.14159.

Finalmente, la profundidad del filtro estará dada por la sumatoria de los siguientes componentes: Carga hidráulica, Agua estancada, Capa de arena de filtración, Capa de drenaje de arena fina y la Capa de drenaje de arena gruesa.

¹⁷ Existen múltiples métodos para realizar el cálculo del coeficiente adimensional de escurrentía. El autor se remite para los supuestos de cálculo a los datos contenidos en el

Título D del RAS 2016 (tabla D.4.7), la cual es la fuente usada por otras fuentes, como la certificación de construcción sostenible [Casa Colombia](#).

Escenario 3: Uso de agua agrícola (riego de cultivo)

En este escenario se contempla únicamente el dimensionamiento del tanque de almacenamiento de agua lluvia. Para ello se emplea la guía de diseño para captación del agua lluvia propuesta por la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Las ecuaciones empleadas son similares a las contempladas en el escenario 1. La única diferencia radica en el cálculo de la demanda de agua:

Ecuación 11.

$$D = \frac{Au * Rc}{1000}$$

Descripción variables:

D: Demanda anual de agua (m³).

Rc: Requerimiento de agua del cultivo (l/m²/año).

Au: Área cultivada (m²).

Sistemas de captación de aguas lluvias a través de lagunas de almacenamiento de agua lluvia/jagüey con geomembrana de impermeabilización

Para el cálculo del área de captación de la laguna de almacenamiento de agua lluvia/jagüey se implementó el Compendio sobre captación de agua de lluvia para la agricultura en la subregión del Caribe elaborado por la FAO (FAO, 2014). Las ecuaciones empleadas fueron las siguientes:

Ecuación 12.

$$Ac = \frac{Rc - P}{P * Ce} * Au$$

Descripción variables:

Ac: Área de captación (m²).

P: Precipitación promedio anual (mm/año).

Rc: Requerimiento de agua del cultivo (mm/año).

Au: Área cultivada (m²).

Ce: Coeficiente de escurrentía.

Ahora bien, para estimar la capacidad de almacenamiento de la laguna es necesario considerar el volumen de agua adicional aportado por la precipitación, la tasa de infiltración de la geomembrana y el volumen de agua evaporada. Finalmente, el volumen neto en la laguna (Vn) se determinó de la siguiente forma:

Ecuación 13.

$$Pe = \frac{Ac * Ev}{1000}$$

Descripción variables:

Pe: Pérdidas por evaporación en la laguna (m³/año)

Ac: Área de captación (m²)

Ev: Evaporación anual (mm/año)

Ecuación 14.

$$Pi = \frac{Ac * Ig}{1000}$$

Pi: Pérdidas por infiltración de la geomembrana (m³/año)

Ac: Área de captación (m²)

Ecuación 15.

$$Pt = Pi + Pe$$

Ecuación 16.

$$Vp = \frac{Ac * P}{1000}$$

Ecuación 17.

$$Vn = Vp + Pt$$

Ig: Tasa de infiltración de la geomembrana (mm/año)

Pt: Pérdidas totales de agua en la laguna (m³/año).

Vp: Volumen adicional por la precipitación en la laguna (m³/año).

P: Precipitación promedio anual (mm/año).

Ac: Área de captación (m²).

Vn: Volumen neto en la laguna (m³)

ANEXO 3. SUPUESTOS DE CÁLCULO PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS: USO DOMÉSTICO

Las tablas 31 y 32 presentan los supuestos de cálculo que se consideraron para el diseño de un SCALL para uso doméstico en la herramienta de cálculo HC_SALL:

Tabla 32. Coeficiente de escorrentía según tipos de tejados

Constantes de cálculo	
Tipos de tejados	Coeficiente de escorrentía según tipos de tejados (adimensional)
Tejas de zinc	0.9
Cubierta metálica	0.9
Tejas de barro	0.8
Techo plano	0.7
Techo de paja	0.2
Techo de gravilla	0.75
Techo verde con profundidad inferior a 4 pulgadas	0.5

Fuente. (OPS, 2004).

Tabla 33. Información general para el funcionamiento de HC_SCALL

Información general para el funcionamiento de HC_SCALL	
Consumo de agua potable por persona al día (l/p.día)	50
Altura de agua para lavado de cubierta del techo (l/ m ²)	1

Fuente. (OMS, s.f.), (OPS, 2004).

ANEXO 4. INFORMACIÓN DE PRECIPITACIÓN MENSUAL.

Los datos de precipitación promedio mensual empleados en la calculadora HC_SCALL, fueron tomados de la plataforma de acceso abierto que dispone el IDEAM para la consulta y descarga de datos hidrometeorológicos. Esta plataforma permite la descarga de información de precipitación total mensual para un período de tiempo determinado y en un departamento específico.

Se estableció un período de análisis de 30 años, comprendido entre 1993 y 2023, en el cual se realizó el análisis y procesamiento de los datos históricos de precipitación mensual por departamento. Cabe mencionar que el espacio de tiempo seleccionado se realizó con base en acuerdos internacionales que establecen que el análisis de variables climatológicas debe realizarse durante una etapa de por lo menos 30 años para tener una comprensión realista de las características climáticas de la zona (IDEAM, 2018). Los resultados obtenidos se condensan en la tabla 34:

Tabla 34. Datos promedio de precipitación mensual por departamentos en Colombia para el período entre 1993 y 2023

Datos promedio de precipitación mensual (mm) por departamento para el periodo 1993 - 2023													
Departamento	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	PROM
Amazonas	265.42	261.69	344.60	393.81	386.17	329.49	303.95	228.62	233.80	260.37	260.12	287.99	296.34
Antioquia	95.29	101.81	180.76	278.94	339.69	281.17	262.07	286.79	313.34	331.38	286.53	164.69	243.54
Arauca	24.26	25.96	72.38	192.04	278.64	302.16	279.26	221.97	210.43	203.83	140.89	49.28	166.76
Atlántico	6.62	4.74	18.32	69.13	134.65	111.83	108.79	140.14	153.88	176.11	130.14	32.02	90.53
Bolívar	29.63	29.98	69.72	156.70	243.32	222.61	211.10	255.85	261.64	289.02	234.21	99.07	175.24
Boyacá	40.40	56.24	108.21	166.98	185.32	158.72	153.89	132.23	120.52	150.80	128.37	61.35	121.92
Caldas	166.92	177.07	239.65	276.46	256.73	129.19	139.38	126.48	217.71	268.35	310.78	200.47	209.10
Caquetá	132.73	190.60	320.19	404.73	438.18	408.48	347.14	256.62	248.82	258.18	222.12	160.56	282.36
Casanare	22.59	36.51	108.03	295.46	383.54	368.28	342.22	301.34	270.79	270.16	168.90	58.70	218.88
Cauca	210.02	182.98	228.03	253.89	239.76	175.18	141.94	120.71	157.47	276.42	305.03	247.19	211.55
Cesar	22.62	27.82	81.23	155.47	212.15	144.56	125.70	175.19	211.89	243.08	185.75	57.37	136.90
Chocó	392.69	325.75	381.58	474.36	563.57	519.75	555.12	584.78	530.70	549.38	575.65	495.34	495.72
Córdoba	23.60	21.51	51.61	130.89	220.91	200.55	205.43	231.42	214.45	185.86	133.78	54.88	139.57
Cundinamarca	55.26	68.88	113.42	152.30	155.25	120.60	107.77	92.12	90.81	137.21	123.64	65.17	106.87
Guainía	93.60	100.81	167.70	283.58	408.33	437.15	446.19	354.12	255.26	229.52	190.90	144.54	259.31
Guaviare	68.86	86.52	204.43	309.09	368.94	370.49	341.72	281.45	241.15	244.91	207.16	138.31	238.59
Huila	113.65	129.47	179.26	166.05	146.16	97.31	81.10	55.01	72.95	158.96	196.63	142.18	128.23
Guajira	8.56	4.06	12.88	50.36	92.81	54.03	37.22	79.98	121.47	161.63	121.73	40.54	65.44
Magdalena	14.49	14.93	43.97	106.63	182.00	161.26	139.35	190.13	210.87	257.16	176.08	58.24	129.59
Meta	59.84	80.55	214.73	424.78	491.63	437.73	384.54	306.90	283.10	314.49	270.58	124.26	282.76

Nariño	205.81	169.94	209.67	242.26	235.71	164.23	124.30	88.68	113.98	191.82	209.38	207.98	180.31
Norte_Santander	83.93	80.11	122.30	200.42	200.38	141.54	138.77	163.00	211.16	271.18	238.93	140.97	166.06
Putumayo	191.69	206.23	281.32	339.34	383.77	381.78	347.71	245.57	217.44	216.65	236.32	218.29	272.18
Quindío	117.34	73.18	167.04	142.65	125.78	55.62	29.78	34.15	71.34	173.16	210.25	74.72	106.25
Risaralda	143.60	138.99	203.20	239.54	222.15	158.17	137.49	133.82	174.75	252.14	268.41	184.28	188.05
SA_Prov_SC	79.47	35.36	18.99	18.66	116.13	149.36	137.64	145.51	167.28	286.47	271.54	128.97	129.62
Santander	66.63	95.45	169.71	228.87	233.94	155.54	141.46	164.37	203.77	250.92	211.38	98.26	168.36
Sucre	21.60	17.81	45.92	116.60	210.84	205.34	196.51	228.17	227.42	221.22	175.70	67.56	144.56
Tolima	108.85	129.61	195.00	229.69	208.71	104.33	78.14	74.72	126.42	203.68	205.17	135.84	150.01
Valle_del_Cauca	114.66	109.24	161.91	200.71	192.78	130.53	104.53	108.23	151.96	219.12	218.60	146.10	154.86
Vaupés	199.84	220.12	306.80	383.51	419.27	391.71	384.18	291.79	242.67	263.35	254.23	241.28	299.90
Vichada	40.06	40.76	92.46	230.27	335.46	403.37	384.26	301.84	242.43	225.69	163.81	78.91	211.61

Fuente. Elaboración propia.

ANEXO 5. SUPUESTOS DE CÁLCULO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL FILTRO LENTO DE ARENA (FLA).

El diseño del sistema de pretratamiento físico, mediante un Filtro Lento de Arena, se realizó con base en el [manual técnico del Filtro Lento de Arena \(FLAI\)](#) elaborado por el Centro de Tecnologías Asequibles de Agua y Saneamiento (CAWST). En dicho manual se resumen los principios y las buenas prácticas para adaptar, instalar, poner en servicio y mantener un filtro de arena lento, haciendo hincapié en los aspectos técnicos del sistema de filtración en sí.

El sistema de filtrado es considerado como una tecnología sólida y simple que funciona sin electricidad, puede construirse con materiales y mano de obra locales y puede ser manipulado por cualquier persona después de cierta capacitación (CAWST, 2017). En la tabla 35 se muestran los supuestos de cálculo usados en la herramienta HC_SCALL para su diseño:

Tabla 35. Supuestos de cálculo para el filtro lento de arena

Datos para el diseño del FLAI	
Velocidad o tasa de filtración del sustrato (m/h)	0.12
Profundidad de la capa de arena (m)	0.75
Carga hidráulica (m)	0.14
Agua estancada (m)	0.05
Capa de drenaje de grava fina (m)	0.1
Capa de separación de arena gruesa (m)	0.1
Tiempo de operación del FLA (h/día)	24

Fuente. (CAWST, 2017).

ANEXO 6. LISTADO DE CULTIVOS POR DEPARTAMENTO.

Para el diseño de un sistema de captación de agua lluvia, para uso agrícola, se le solicita al usuario seleccionar el tipo de cultivo que presenta el terreno donde se emplazará dicho sistema de captación. Este listado comprende los cultivos con mayor producción por departamento, y fue elaborado mediante el uso de la plataforma PlaSa Colombia.

La plataforma PlaSa permite el reporte, monitoreo y análisis de los sistemas alimentarios del país, como insumo para guiar a los tomadores de decisión y construir una legislación sólida en torno a la seguridad alimentaria y la acción articulada entre diversos sectores (Bioversity & CIAT, 2024). Esta plataforma es liderada por Alliance Bioversity International y CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). Tras el análisis de la información recopilada mediante la herramienta PlaSa Colombia, se elaboró la tabla 36:

Tabla 36. Listado de Cultivos por departamento y su requerimiento anual de agua

Departamento	Cultivo	Requerimiento anual de agua por cultivo (mm/año)			m ³ /ha/año
		Mínimo	Máximo	Promedio	
Amazonas	Yuca	1.000	4.000	2.500	25.000
Amazonas	Plátano	2.000	4.000	3.000	30.000
Amazonas	Chontaduro	1.000	2.000	1.500	15.000
Amazonas	Uva	400	1.100	750	7.500
Amazonas	Maíz	700	1.100	900	9.000
Amazonas	Arazá	2.500	4.000	3.250	32.500
Amazonas	Cilantro	300	2.600	1.450	14.500
Antioquia	Caña	1.500	2.500	2.000	20.000
Antioquia	Plátano	2.000	4.000	3.000	30.000
Antioquia	Tomate	400	600	500	5.000
Antioquia	Papa	1.000	1.200	1.100	11.000
Antioquia	Café	1.200	1.800	1.500	15.000
Antioquia	Arroz	1.000	4.000	2.500	25.000
Antioquia	Aguacate	665	2.000	1.332,5	13.325
Antioquia	Yuca	1.000	4.000	2.500	25.000
Antioquia	Naranja	1.100	2.000	1.550	15.500
Antioquia	Banano	1.200	2.200	1.700	17.000
Arauca	Plátano	2.000	4.000	3.000	30.000
Arauca	Yuca	1.000	4.000	2.500	25.000
Arauca	Arroz	1.000	4.000	2.500	25.000
Arauca	Cacao	1.200	1.800	1.500	15.000
Arauca	Caña	1.500	2.500	2.000	20.000
Arauca	Maíz	700	1.100	900	9.000
Arauca	Maracuyá	900	2.000	1.450	14.500
Arauca	Papaya	800	2.000	1.400	14.000

Arauca	Aguacate	665	2.000	1.332,5	13.325
Atlántico	Yuca	1.000	4.000	2.500	25.000
Atlántico	Melón	400	600	500	5.000
Atlántico	Mango	1.000	1.500	1.250	12.500
Atlántico	Guayaba	1.000	3.800	2.400	24.000
Atlántico	Arroz	1.000	4.000	2.500	25.000
Atlántico	Maíz	700	1.100	900	9.000
Atlántico	Plátano	2.000	4.000	3.000	30.000
Atlántico	Limón	900	1.200	1.050	10.500
Atlántico	Ahuyama	1,000	2.000	1.500	15.000
Atlántico	Ñame	1,000	1.500	1.250	12.500
Bolívar	Yuca	1,000	4.000	2.500	25.000
Bolívar	Arroz	1,000	4.000	2.500	25.000
Bolívar	Ñame	1,000	1.500	1.250	12.500
Bolívar	Maíz	700	1.100	900	9.000
Bolívar	Palma	2,000	2.500	2.250	22.500
Bolívar	Plátano	2,000	4.000	3.000	30.000
Bolívar	Ahuyama	1,000	2.000	1.500	15.000
Bolívar	Mango	1,000	1.500	1.250	12.500
Bolívar	Aguacate	665	2.000	1.332,5	13.325
Boyacá	Caña	1,500	2.500	2.000	20.000
Boyacá	Papa	1,000	1,200	1.100	11.000
Boyacá	Cebolla	450	800	625	6.250
Boyacá	Tomate	400	600	500	5.000
Boyacá	Zanahoria	600	1.700	1.150	11.500
Boyacá	Yuca	1.000	4.000	2.500	25.000
Boyacá	Mora	1.200	1.700	1.450	14.500
Boyacá	Pera	700	800	750	7.500
Boyacá	Plátano	2.000	4.000	3.000	30.000
Caldas	Caña	1.500	2.500	2.000	20.000
Caldas	Plátano	2.000	4.000	3.000	30.000
Caldas	Aguacate	665	2.000	1.332,5	13.325
Caldas	Café	1.200	1.800	1.500	15.000
Caldas	Banano	1.200	2.200	1.700	17.000
Caldas	Mora	1.200	1.700	1.450	14.500
Caldas	Guayaba	1.000	3.800	2.400	24.000
Caldas	Papa	1.000	1.200	1.100	11.000
Caquetá	Caña	1.500	2.500	2.000	20.000
Caquetá	Plátano	2.000	4.000	3.000	30.000
Caquetá	Yuca	1.000	4.000	2.500	25.000
Caquetá	Maíz	700	1.100	900	9.000
Caquetá	Arroz	1.000	4.000	2.500	25.000
Caquetá	Piña	1.000	1.500	1.250	12.500
Caquetá	Café	1.200	1.800	1.500	15.000

Caquetá	Banano	1.200	2.200	1.700	17.000
Caquetá	Cacao	1.200	1.800	1.500	15.000
Caquetá	Chontaduro	1.000	2.000	1.500	15.000
Casanare	Arroz	1.000	4.000	2.500	25.000
Casanare	Palma	2.000	2.500	2.250	22.500
Casanare	Piña	1.000	1.500	1.250	12.500
Casanare	Plátano	2.000	4.000	3.000	30.000
Casanare	Caña	1.500	2.500	2.000	20.000
Casanare	Yuca	1.000	4.000	2.500	25.000
Casanare	Papaya	800	2.000	1.400	14.000
Casanare	Banano	1.200	2.200	1.700	17.000
Casanare	Maíz	700	1.100	900	9.000
Casanare	Sandía	500	1.500	1.000	10.000
Cauca	Caña	1.500	2.500	2.000	20.000
Cauca	Yuca	1.000	4.000	2.500	25.000
Cauca	Papa	1.000	1.200	1.100	11.000
Cauca	Café	1.200	1.800	1.500	15.000
Cauca	Plátano	2.000	4.000	3.000	30.000
Cauca	Coco	1.500	n.d	1.500	15.000
Cauca	Piña	1.000	1.500	1.250	12.500
Cauca	Maíz	700	1.100	900	9.000
Cauca	Arroz	1.000	4.000	2.500	25.000
Cauca	Chontaduro	1.000	2.000	1.500	15.000
Cesar	Palma	2.000	2.500	2.250	22.500
Cesar	Caña	1.500	2.500	2.000	20.000
Cesar	Maíz	700	1.100	900	9.000
Cesar	Arroz	1.000	4.000	2.500	25.000
Cesar	Yuca	1.000	4.000	2.500	25.000
Cesar	Plátano	2.000	4.000	3.000	30.000
Cesar	Café	1.200	1.800	1.500	15.000
Cesar	Banano	1.200	2.200	1.700	17.000
Cesar	Aguacate	665	2.000	1.332,5	13.325
Chocó	Plátano	2.000	4.000	3.000	30.000
Chocó	Caña	1.500	2.500	2.000	20.000
Chocó	Arroz	1.000	4.000	2.500	25.000
Chocó	Yuca	1.000	4.000	2.500	25.000
Chocó	Banano	1.200	2.200	1.700	17.000
Chocó	Ñame	1.000	1.500	1.250	12.500
Chocó	Maíz	700	1.100	900	9.000
Chocó	Coco	1.500	n.d	1.500	15.000
Chocó	Borojó	3.000	4.000	3.500	35.000
Chocó	Malanga	1.000	1.600	1.300	13.000
Córdoba	Yuca	1.000	4.000	2.500	25.000
Córdoba	Plátano	2.000	4.000	3.000	30.000

Córdoba	Maíz	700	1.100	900	9.000
Córdoba	Arroz	1.000	4.000	2.500	25.000
Córdoba	Ñame	1.000	1.500	1.250	12.500
Córdoba	Papaya	800	2.000	1.400	14.000
Córdoba	Mango	1000	1.500	1.250	12.500
Córdoba	Caña	1.500	2.500	2.000	20.000
Córdoba	Sandía	500	1.500	1.000	10.000
Córdoba	Piña	1.000	1.500	1.250	12.500
Cundinamarca	Caña	1.500	2.500	2.000	20.000
Cundinamarca	Papa	1.000	1.200	1.100	11.000
Cundinamarca	Zanahoria	600	1.700	1.150	11.500
Cundinamarca	Mango	1.000	1.500	1.250	12.500
Cundinamarca	Plátano	2.000	4.000	3.000	30.000
Cundinamarca	Tomate	400	600	500	5.000
Cundinamarca	Fresa	900	1.500	1.200	12.000
Cundinamarca	Maíz	700	1.100	900	9.000
Cundinamarca	Lechuga	1.000	1.200	1.100	11.000
Cundinamarca	Cebolla	450	800	625	6.250
Guainía	Yuca	1.000	4.000	2.500	25.000
Guainía	Piña	1.000	1.500	1.250	12.500
Guainía	Plátano	2.000	4.000	3.000	30.000
Guainía	Cacao	1.200	1.800	1.500	15.000
Guainía	Maíz	700	1.100	900	9.000
Guainía	Ahuyama	1.000	2.000	1.500	15.000
Guainía	Caña	1.500	2.500	2.000	20.000
Guainía	Ají	600	1.200	900	9.000
Guainía	Naranja	1.100	2.000	1.550	15.500
Guajira	Banano	1.200	2.200	1.700	17.000
Guajira	Yuca	1.000	4.000	2.500	25.000
Guajira	Maíz	700	1.100	900	9.000
Guajira	Arroz	1.000	4.000	2.500	25.000
Guajira	Plátano	2.000	4.000	3.000	30.000
Guajira	Malanga	1.000	1.600	1.300	13.000
Guajira	Ahuyama	1.000	2.000	1.500	15.000
Guajira	Palma	2.000	2.500	2.250	22.500
Guajira	Sandía	500	1.500	1.000	10.000
Guajira	Ñame	1.000	1.500	1.250	12.500
Guaviare	Caña	1.500	2.500	2.000	20.000
Guaviare	Plátano	2.000	4.000	3.000	30.000
Guaviare	Yuca	1.000	4.000	2.500	25.000
Guaviare	Piña	1.000	1.500	1.250	12.500
Guaviare	Arroz	1.000	4.000	2.500	25.000
Guaviare	Maíz	700	1.100	900	9.000
Guaviare	Chontaduro	1.000	2.000	1.500	15.000

Guaviare	Sandía	500	1.500	1.000	10.000
Guaviare	Cacao	1.200	1.800	1.500	15.000
Huila	Caña	1.500	2.500	2.000	20.000
Huila	Café	1.200	1.800	1.500	15.000
Huila	Maíz	700	1.100	900	9.000
Huila	Arroz	1.000	4.000	2.500	25.000
Huila	Plátano	2.000	4.000	3.000	30.000
Huila	Frijol	1.000	1.500	1.250	12.500
Huila	Aguacate	665	2.000	1.332,5	13.325
Huila	Yuca	1000	4.000	2.500	25.000
Huila	Tomate	400	600	500	5.000
Huila	Banano	1200	2.200	1.700	17.000
Magdalena	Banano	1200	2.200	1.700	17.000
Magdalena	Yuca	1000	4000	2500	25000
Magdalena	Palma	2000	2.500	2.250	22.500
Magdalena	Maíz	700	1.100	900	9.000
Magdalena	Mango	1000	1.500	1.250	12.500
Magdalena	Plátano	2000	4.000	3.000	30.000
Magdalena	Naranja	1100	2.000	1.550	15.500
Magdalena	Papaya	800	2.000	1.400	14.000
Magdalena	Ahuyama	1000	2.000	1.500	15.000
Magdalena	Café	1200	1.800	1.500	15.000
Meta	Maíz	700	1.100	900	9.000
Meta	Arroz	1000	4.000	2.500	25.000
Meta	Plátano	2000	4.000	3.000	30.000
Meta	Soya	450	700	575	5.750
Meta	Caña	1500	2.500	2.000	20.000
Meta	Yuca	1000	4.000	2.500	25.000
Meta	Sandía	500	1.500	1.000	10.000
Meta	Piña	1000	1.500	1.250	12.500
Meta	Palma	2000	2.500	2.250	22.500
Nariño	Caña	1500	2.500	2.000	20.000
Nariño	Plátano	2000	4.000	3.000	30.000
Nariño	Papa	1000	1.200	1.100	11.000
Nariño	Coco	1500	n.d	1.500	15.000
Nariño	Arveja	250	380	315	3.150
Nariño	Tomate	400	600	500	5.000
Nariño	Zanahoria	600	1.700	1.150	11.500
Nariño	Cebolla	450	800	625	6.250
Nariño	Palma	2000	2.500	2.250	22.500
Nariño	Café	1200	1.800	1.500	15.000
Norte_Satander	Caña	1500	2.500	2.000	20.000
Norte_Satander	Arroz	1000	4.000	2.500	25.000
Norte_Satander	Palma	2000	2.500	2.250	22.500

Norte_Satander	Cebolla	450	800	625	6.250
Norte_Satander	Papa	1.000	1.200	1.100	11.000
Norte_Satander	Yuca	1.000	4.000	2.500	25.000
Norte_Satander	Tomate	400	600	500	5.000
Norte_Satander	Plátano	2.000	4.000	3.000	30.000
Norte_Satander	Café	1.200	1.800	1.500	15.000
Putumayo	Caña	1.500	2.500	2.000	20.000
Putumayo	Plátano	2.000	4.000	3.000	30.000
Putumayo	Yuca	1.000	4.000	2.500	25.000
Putumayo	Chontaduro	1.000	2.000	1.500	15.000
Putumayo	Maíz	700	1.100	900	9.000
Putumayo	Piña	1.000	1.500	1.250	12.500
Putumayo	Arroz	1.000	4.000	2.500	25.000
Putumayo	Cacao	1.200	1.800	1.500	15.000
Putumayo	Pimienta	1.500	2.500	2.000	20.000
Putumayo	Mora	1.200	1.700	1.450	14.500
Quindío	Plátano	2.000	4.000	3.000	30.000
Quindío	Banano	1.200	2.200	1.700	17.000
Quindío	Piña	1.000	1.500	1.250	12.500
Quindío	Aguacate	665	2.000	1,332,5	13.325
Quindío	Café	1.200	1.800	1.500	15.000
Quindío	Caña	1.500	2.500	2.000	20.000
Quindío	Tomate	400	600	500	5.000
Quindío	Yuca	1.000	4.000	2.500	25.000
Risaralda	Caña	1.500	2.500	2.000	20.000
Risaralda	Plátano	2.000	4.000	3.000	30.000
Risaralda	Café	1.200	1.800	1.500	15.000
Risaralda	Naranja	1.100	2.000	1.550	15.500
Risaralda	Aguacate	665	2.000	1.332,5	13.325
Risaralda	Maíz	700	1.100	900	9.000
Risaralda	Tomate	400	600	500	5.000
Risaralda	Mandarina	1.100	2.000	1.550	15.500
Risaralda	Yuca	1.000	4.000	2.500	25.000
Risaralda	Cebolla	450	800	625	6.250
SA_Prov_SC	Yuca	1.000	4.000	2.500	25.000
SA_Prov_SC	Plátano	2.000	4.000	3.000	30.000
SA_Prov_SC	Sandía	500	1.500	1.000	10.000
SA_Prov_SC	Coco	1.500	n.d	1.500	15.000
SA_Prov_SC	Papaya	800	2,000	1.400	14.000
SA_Prov_SC	Banano	1.200	2.200	1.700	17.000
SA_Prov_SC	Caña	1.500	2.500	2.000	20.000
SA_Prov_SC	Batata	750	2.000	1.375	13.750
SA_Prov_SC	Berenjena	600	1.200	900	9.000
SA_Prov_SC	Ahuyama	1.000	2.000	1.500	15.000

Santander	Caña	1.500	2.500	2.000	20.000
Santander	Piña	1.000	1.500	1.250	12.500
Santander	Palma	2.000	2.500	2.250	22.500
Santander	Yuca	1.000	4.000	2.500	25.000
Santander	Naranja	1.100	2.000	1.550	15.500
Santander	Mandarina	1.100	2.000	1.550	15.500
Santander	Cebolla	450	800	625	6.250
Santander	Limón	900	1.200	1.050	10.500
Santander	Plátano	2.000	4.000	3.000	30.000
Santander	Papa	1.000	1.200	1.100	11.000
Sucre	Yuca	1.000	4.000	2.500	25.000
Sucre	Arroz	1.000	4.000	2.500	25.000
Sucre	Maíz	700	1.100	900	9.000
Sucre	Ñame	1.000	1.500	1.250	12.500
Sucre	Sandía	500	1.500	1.000	10.000
Sucre	Plátano	2.000	4.000	3.000	30.000
Sucre	Caña	1.500	2.500	2.000	20.000
Sucre	Tabaco	500	1.000	750	7.500
Sucre	Palma	2.000	2.500	2.250	22.500
Sucre	Mango	1.000	1.500	1.250	12.500
Tolima	Arroz	1.000	4.000	2.500	25.000
Tolima	Maíz	700	1.100	900	9.000
Tolima	Caña	1.500	2.500	2.000	20.000
Tolima	Café	1.200	1.800	1.500	15.000
Tolima	Plátano	2.000	4.000	3.000	30.000
Tolima	Aguacate	665	2.000	1.332,5	13.325
Tolima	Mango	1.000	1.500	1.250	12.500
Tolima	Arracacha	600	1.200	900	9.000
Tolima	Limón	900	1.200	1.050	10.500
Tolima	Yuca	1.000	4.000	2.500	25.000
Valle_del_Cauca	Caña	1.500	2.500	2.000	20.000
Valle_del_Cauca	Plátano	2.000	4.000	3.000	30.000
Valle_del_Cauca	Piña	1.000	1.500	1.250	12.500
Valle_del_Cauca	Maíz	700	1.100	900	9.000
Valle_del_Cauca	Banano	1.200	2.200	1.700	17.000
Valle_del_Cauca	Aguacate	665	2.000	1.332,5	13.325
Valle_del_Cauca	Café	1.200	1.800	1.500	15.000
Valle_del_Cauca	Papaya	800	2.000	1.400	14.000
Vaupés	Yuca	1.000	4.000	2.500	25.000
Vaupés	Caña	1.500	2.500	2.000	20.000
Vaupés	Piña	1.000	1.500	1.250	12.500
Vaupés	Plátano	2.000	4.000	3.000	30.000
Vaupés	Maíz	700	1.100	900	9.000
Vaupés	Chontaduro	1.000	2.000	1.500	15.000

Vaupés	Ají	600	1.200	900	9.000
Vaupés	Arroz	1.000	4.000	2.500	25.000
Vaupés	Cacao	1.200	1.800	1.500	15.000
Vaupés	Ñame	1.000	1.500	1.250	12.500
Vichada	Palma	2.000	2.500	2.250	22.500
Vichada	Caña	1.500	2.500	2.000	20.000
Vichada	Plátano	2.000	4.000	3.000	30.000
Vichada	Yuca	1.000	4.000	2.500	25.000
Vichada	Maíz	700	1.100	900	9.000
Vichada	Cacao	1.200	1.800	1.500	15.000
Vichada	Arroz	1.000	4.000	2.500	25.000
Vichada	Algodón	500	1.800	1.150	11.500
Vichada	Limón	900	1.200	1.050	10.500
Vichada	Naranja	1.100	2.000	1.550	15.500

Fuente. Elaboración propia.

ANEXO 7. INFORMACIÓN DE EVAPORACIÓN ANUAL

Los datos de evaporación promedio anual fueron tomados del Atlas Climatológico de Colombia elaborado por el IDEAM el cual evalúa datos para el período de tiempo entre los años de 1981 y 2010 (IDEAM, 2018).

Tabla 37. Datos de Evaporación promedio anual

Datos promedio de evaporación por departamento para el periodo 1981 - 2010	
Departamento	Promedio anual (mm)
Amazonas	92.75
Antioquia	86.67
Arauca	130.83
Atlántico	153.42
Bolívar	150.58
Boyacá	102.5
Caldas	109.58
Caquetá	79.75
Casanare	104.67
Cauca	137.08
Cesar	87.58
Chocó	197.08
Córdoba	80.00
Cundinamarca	92.17
Guainía	103.25
Guaviare	90.42
Huila	171.67
Guajira	188.00
Magdalena	166.83
Meta	106.08
Nariño	92.00
Norte_Santander	184.25
Putumayo	76.50
Quindío	108.42
Risaralda	109.58
SA_Prov_SC	108.33
Santander	126.92
Sucre	133.58
Tolima	123.75
Valle_del_Cauca	113.50
Vaupés	74.42
Vichada	154.75

Fuente. (IDEAM & UPME, 2017)

ANEXO 8. ASUNCIONES DE CÁLCULO PARA EL DISEÑO DE LA LAGUNA DE ALMACENAMIENTO DE AGUA LLUVIA/JAGÜEY

Tabla 38. Asunciones de cálculo para el diseño de la laguna de almacenamiento de agua lluvia/jagüey

Datos para el diseño de la laguna de almacenamiento de agua lluvia/jagüey	
Coeficiente de esorrentía de la geomembrana HDPE (adimensional)	0.85
Tasa de infiltración HDPE Geomembrana (mm/h)	0.0031

Fuente. (FAO, 2014).

ANEXO 9. PROYECTOS DE BIOGÁS DESARROLLADOS EN COLOMBIA A DICIEMBRE DE 2024

Tabla 39. Proyectos de biogás en Colombia

No.	Ciudad/ municipio	Departamento	Escala	Sector	Biomasa	Cantidad de biodigestores	Tecnología	Capacidad de generación (m ³ /mes)	Uso	Fuente
1	Maicao	Guajira	Pequeña y mediana escala	Pecuario	Bovinaza	1	Tubular	1,200	-	Grupo de investigación INTERFASE- Escuela de Ingeniería Química Universidad Industrial de Santander
2	Valledupar	Cesar	Pequeña y mediana escala	Ganadero	Bovinaza		Taiwan		Cocina	Fedegan
3	Aracataca	Magdalena	Gran escala	Palmicultor	Efluentes del proceso de extracción de aceite de palma (POME)		Laguna cubierta	8,921	Generación eléctrica	Fedepalma
4	Barranquilla	Atlántico	Gran escala	Alimenticio	Agua residual industrial		Reactor UASB	88,170		AB InBev
5	Sabanagand e Repelon	Atlántico	Pequeña y mediana escala	Porcicola	Porcinaza	2	Taiwan	450	Cocina	Pork Colombia

No.	Ciudad/ municipio	Departamento	Escala	Sector	Biomasa	Cantidad de biodigestores	Tecnología	Capacidad de generación (m ³ /mes)	Uso	Fuente
6	Barranquilla	Atlántico	Pequeña y mediana escala	Pecuario	Porcinaza Residuos orgánicos	4	Laguna cubierta, Tubular	11,171		Grupo de investigación INTERFASE- Escuela de Ingeniería Química Universidad Industrial de Santander
7	San Marcos	Córdoba	Pequeña y mediana escala	Pecuario	Porcinaza	1	Tubular	20		Grupo de investigación INTERFASE- Escuela de Ingeniería Química Universidad Industrial de Santander
8	San Marcos	Córdoba	Pequeña y mediana escala	Porcicola	Porcinaza	2	Bolsa		Quemar en tea	Pork Colombia
9	Ocaña Chinácota	Norte de Santander	Pequeña y mediana escala	Porcicola	Porcinaza	3	66% Taiwan 33% Bolsa		Cocina	Pork Colombia
10		Norte de Santander	Pequeña y mediana escala	Pecuario	Residuos orgánicos	11				Grupo de investigación INTERFASE- Escuela de Ingeniería Química Universidad

No.	Ciudad/ municipio	Departamento	Escala	Sector	Biomasa	Cantidad de biodigestores	Tecnología	Capacidad de generación (m ³ /mes)	Uso	Fuente
										Industrial de Santander
11	San Alberto	Cesar	Gran escala	Palmicultor	Efluentes del proceso de extracción de aceite de palma (POME)		Laguna cubierta	90,792	Quemar en tea	Fedepalma
12	Sabana de Torres	Santander	Gran escala	Palmicultor	Efluentes del proceso de extracción de aceite de palma (POME)		Reactor anaerobio de contacto, con paredes en tierra	103,680	Quemar en tea	Biotec Internacional
13	Cúcuta	Norte de Santander	Pequeña y mediana escala	Pecuario	Residuos orgánicos	11				Grupo de investigación INTERFASE- Escuela de Ingeniería Química Universidad Industrial de Santander
14	Bucaramanga	Santander	Gran escala	Alimenticio	Agua residual industrial		UASB	43,260	Térmico	AB InBev

No.	Ciudad/ municipio	Departamento	Escala	Sector	Biomasa	Cantidad de biodigestores	Tecnología	Capacidad de generación (m ³ /mes)	Uso	Fuente
15		Santander	Pequeña y mediana escala	Pecuario	Porcinaza Bovinaza Caballinaza Residuos de bufalo	164	Tubular	14,824		Grupo de investigación INTERFASE- Escuela de Ingeniería Química Universidad Industrial de Santander
16		Arauca	Pequeña y mediana escala	Pecuario	Porcinaza Mezcla de residuos	51	Taiwan Tubular	40		Grupo de investigación INTERFASE- Escuela de Ingeniería Química Universidad Industrial de Santander
17		Casanare	Pequeña y mediana escala	Pecuario	Bovinaza Porcinaza	2	Tubular	16		Grupo de investigación INTERFASE- Escuela de Ingeniería Química Universidad Industrial de Santander
18		Vichada	Pequeña y mediana escala	Pecuario	Porcinaza Bovinaza Residuos orgánicos	9	Tubular	44,044		Grupo de investigación INTERFASE- Escuela de Ingeniería Química Universidad

No.	Ciudad/ municipio	Departamento	Escala	Sector	Biomasa	Cantidad de biodigestores	Tecnología	Capacidad de generación (m ³ /mes)	Uso	Fuente
										Industrial de Santander
19	Santa Rosa de Viterbo	Boyacá	Pequeña y mediana escala	Ganadero	Bovinaza		Taiwan		Térmico	Fedegan
20	Tunja	Boyacá	Gran escala	Alimenticio	Agua residual industrial		UASB	24,360	Térmico	AB InBev
21	Santa Rosa de Viterbo Paipa Floresta Nobsa	Boyacá	Pequeña y mediana escala	Porcicola	Porcinaza	4	Taiwan	400	Térmico	Pork Colombia
22	Velez Lebrija Tona	Santander	Pequeña y mediana escala	Porcicola	Porcinaza	6	Taiwan Bolsa		Térmico Cocina	Pork Colombia
23	Medellín Rionegro Támesis	Antioquia	Pequeña y mediana escala	Porcicola	Porcinaza	16	Taiwan Bolsa Laguna cubierta	120	Térmico Cocina	Pork Colombia
24		Antioquia	Pequeña y mediana escala	Pecuario	Bovinaza Caballinaza Porcinaza Residuos orgánicos	20	Taiwan Tubular	1,200		Grupo de investigación INTERFASE- Escuela de Ingeniería Química Universidad Industrial de Santander

No.	Ciudad/ municipio	Departamento	Escala	Sector	Biomasa	Cantidad de biodigestores	Tecnología	Capacidad de generación (m ³ /mes)	Uso	Fuente
25	Itagüí	Antioquia	Gran escala	Alimenticio	Agua residual industrial		UASB	38,490	Térmico	AB InBev
26		Boyacá	Pequeña y mediana escala	Pecuario	Porcinaza	2	Taiwan Tubular	1,200		Grupo de investigación INTERFASE- Escuela de Ingeniería Química Universidad Industrial de Santander
27	Tocancipá	Cundinamarca	Gran escala	Alimenticio	Agua residual industrial		UASB	212,700	Térmico	AB InBev
28	Bogotá	Cundinamarca	Pequeña y mediana escala	Pecuario	Bovinaza Residuos orgánicos	6	Tubular	1,200		Grupo de investigación INTERFASE- Escuela de Ingeniería Química Universidad Industrial de Santander
29	San Antonio del Tequendama	Cundinamarca	Pequeña y mediana escala	Porcicola	Porcinaza	1	Bolsa	1,500	Térmico	Pork Colombia
30	Sopó	Cundinamarca	Gran escala	Alimenticio	Agua residual industrial		UASB	288,000	Generación de energía	Reseggas S.A.S

No.	Ciudad/ municipio	Departamento	Escala	Sector	Biomasa	Cantidad de biodigestores	Tecnología	Capacidad de generación (m ³ /mes)	Uso	Fuente
31		Cundinamarca	Pequeña y mediana escala	Pecuario	Bovinaza Porcinaza Caballinaza Residuos pisícolas Residuos orgánicos	344	Flujo continuo Tubular Tanque discontinuo	47,088		Grupo de investigación INTERFASE- Escuela de Ingeniería Química Universidad Industrial de Santander
32		Tolima	Pequeña y mediana escala	Pecuario	Porcinaza Bovinaza	40	Laguna cubierta Tubular	11,110		Grupo de investigación INTERFASE- Escuela de Ingeniería Química Universidad Industrial de Santander
33		Tolima	Pequeña y mediana escala	Porcicola	Porcinaza	200	Taiwan	180		CORTOLIMA
34	Coello Mariquita Guamo	Tolima	Pequeña y mediana escala	Porcicola	Porcinaza	11	Taiwan		Cocina	Pork Colombia
35		Tolima	Pequeña y mediana escala	Caficultor	Lixiviado de café	30	Taiwan			Universidad de Ibagué - Gobernación de Tolima. Proyecto de regalías
36	Manizales	Caldas	Pequeña y mediana escala	Porcicola	Porcinaza	1	Taiwan		Térmico	Pork Colombia

No.	Ciudad/ municipio	Departamento	Escala	Sector	Biomasa	Cantidad de biodigestores	Tecnología	Capacidad de generación (m ³ /mes)	Uso	Fuente
37		Caldas	Pequeña y mediana escala	Pecuario	Bovinaza Porcinaza Caballinaza Residuos pisícolas Residuos orgánicos	258	Flujo continuo Tubular	14,824		Grupo de investigación INTERFASE- Escuela de Ingeniería Química Universidad Industrial de Santander
38		Risaralda	Pequeña y mediana escala	Pecuario	Porcinaza Bovinaza Caballinaza	4	Tubular	1,200		Grupo de investigación INTERFASE- Escuela de Ingeniería Química Universidad Industrial de Santander
39	Ulloa	Valle del Cauca	Gran escala	Ganadero	Bovinaza		Taiwan		Cocina	Fedegan
40		Quindío	Pequeña y mediana escala	Pecuario	Bovinaza Lixiviados de café Aguas grises y negras Porcinaza	6	Tubular	1,200		Grupo de investigación INTERFASE- Escuela de Ingeniería Química Universidad Industrial de Santander
41	La Palla	Valle del Cauca	Gran escala	Confitería	Efluentes de confitería		UASB			Biotec Internacional

No.	Ciudad/ municipio	Departamento	Escala	Sector	Biomasa	Cantidad de biodigestores	Tecnología	Capacidad de generación (m ³ /mes)	Uso	Fuente
42	El Cerrito	Valle del Cauca	Gran escala	Azucarero	Subproducto del proceso de destilación Flemaza Condensado de vinaza		UASB	42,234	Quemar en tea	Cenicaña
43	Palmira	Valle del Cauca	Gran escala	Azucarero	Subproducto del proceso de destilación Flemaza Condensado de vinaza		UASB		Quemar en tea	Cenicaña
44		Valle del Cauca	Pequeña y mediana escala	Pecuario	Porcinaza Residuos orgánicos	10	Tubular	1,200		Grupo de investigación INTERFASE- Escuela de Ingeniería Química Universidad Industrial de Santander
45	Yumbo	Valle del Cauca	Gran escala	Alimenticio	Agua residual industrial		UASB	108,480	Térmico	AB InBev
46	Cali	Valle del Cauca	Gran escala	Alimenticio	Agua residual industrial			58,050		Unal-UPME, 2017

No.	Ciudad/ municipio	Departamento	Escala	Sector	Biomasa	Cantidad de biodigestores	Tecnología	Capacidad de generación (m ³ /mes)	Uso	Fuente
47	Candelaria	Valle del Cauca	Gran escala	Azucarero	Subproducto del proceso de destilación Flemaza Condensado de vinaza		UASB	33,450	Quemar en tea	Cenicaña
48	La Paila Zarzal	Valle del Cauca	Gran escala	Azucarero	Subproducto del proceso de destilación Flemaza Condensado de vinaza		UASB	105,300	Quemar en tea	Cenicaña
49	Ortival	Cauca	Gran escala	Azucarero	Subproducto del proceso de destilación Flemaza Condensado de vinaza		UASB		Quemar en tea	Cenicaña

No.	Ciudad/ municipio	Departamento	Escala	Sector	Biomasa	Cantidad de biodigestores	Tecnología	Capacidad de generación (m ³ /mes)	Uso	Fuente
50	Caloto	Cauca	Gran escala	Avícola	Agua con gallinaza	1	Biodigestor de capacidad 4.600 m ³ WEC de tercera generación con recirculación de agua, tecnología Alemana. Moto generador.	4,300	Generación de energía	Unal-UPME, 2018
51		Cauca	Pequeña y mediana escala	Pecuario	Bovinaza Porcinaza	26	Tubular	9,000		Grupo de investigación INTERFASE- Escuela de Ingeniería Química Universidad Industrial de Santander
52	Santander de Quilichao	Cauca	Gran escala	Porcicola	Efluentes porcícolas		Reactor anaerobio de contacto, con paredes en tierra	6,000	Generación de energía Térmica Cocina	Biotec Internacional

No.	Ciudad/ municipio	Departamento	Escala	Sector	Biomasa	Cantidad de biodigestores	Tecnología	Capacidad de generación (m ³ /mes)	Uso	Fuente
53	La Sierra	Cauca	Pequeña y mediana escala	Porcicola	Porcinaza	2	Taiwan		Térmico Cocina	Pork Colombia
54	Pasto	Nariño	Pequeña y mediana escala	Pecuario	Bovinaza Porcinaza	4	Taiwan Tubular	1,410		Grupo de investigación INTERFASE- Escuela de Ingeniería Química Universidad Industrial de Santander
55	Neiva	Huila	Pequeña y mediana escala	Pecuario	Bovinaza Porcinaza	2	Tubular	1,410		Grupo de investigación INTERFASE- Escuela de Ingeniería Química Universidad Industrial de Santander
56	Cumaral	Meta	Gran escala	Palmicultor	Efluentes del proceso de extracción de aceite de palma (POME)		Laguna cubierta	123,570	Quemar en tea	Fedepalma

No.	Ciudad/ municipio	Departamento	Escala	Sector	Biomasa	Cantidad de biodigestores	Tecnología	Capacidad de generación (m ³ /mes)	Uso	Fuente
57	San Carlos de Guaroa	Meta	Gran escala	Palmicultor	Efluentes del proceso de extracción de aceite de palma (POME)		Reactor anaerobio de contacto, con paredes en tierra	580,122	Generación eléctrica Térmico	Fedepalma Biotec
58	Guamal Restrepo Juan de Arama	Meta	Pequeña y mediana escala	Porcicola	Porcinaza	3	Taiwan		Cocina	Pork Colombia
59	San Martín	Meta	Gran escala	Palmicultor	Efluentes del proceso de extracción de aceite de palma (POME)		Laguna cubierta	212,886	Generación de energía	Fedepalma
60		Caquetá	Pequeña y mediana escala	Pecuario	Bovinaza	1	Tanque discontinuo	6		Grupo de investigación INTERFASE- Escuela de Ingeniería Química Universidad Industrial de Santander

No.	Ciudad/ municipio	Departamento	Escala	Sector	Biomasa	Cantidad de biodigestores	Tecnología	Capacidad de generación (m ³ /mes)	Uso	Fuente
61		Meta	Pequeña y mediana escala	Pecuario	Bovinaza Porcinaza Caballinaza Residuos pisícolas Residuos humanos Efluentes industriales	30	Tubular Taiwan Laguna cubierta Tanque discontinuo	14,885		Grupo de investigación INTERFASE- Escuela de Ingeniería Química Universidad Industrial de Santander
62	Puerto Gaitán	Meta	Gran escala	Porcicola	Efluentes porcícolas		Laguna cubierta	432,000	Generación de energía	ALIAR Fazenda; Unal-UPME, 2017

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ambiente, M. d. (2020). Obtenido de <https://economiecircular.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/09/guia-biogas-sector-porcicola-ministerio-de-ambiente-desarrollo-sostenible.pdf>
- AQUAE. (2021). *Cómo evitar las sequías con un atrapanieblas*. Obtenido de <https://www.fundacionaquae.org/wiki/atrapanieblas/>
- Ática. (s.f.). *¿Qué es la valoración de residuos y para qué sirve?* Obtenido de <https://www.atica.co/que-es-la-valorizacion-de-residuos-y-para-que-sirve>
- Bioversity, A., & CIAT. (2024). *PlaSa Colombia*. Obtenido de <https://plasacolombia.com/>
- CAF. (26 de 04 de 2021). *Banco de Desarrollo para América Latina y el Caribe*. Obtenido de <https://www.caf.com/es/conocimiento/visiones/2021/04/la-necesidad-de-aumentar-la-productividad-del-agro-colombiano/>
- Cardozo, D. &. (2022). Análisis de la gestión de los residuos orgánicos en Colombia a través de la visualización del marco legal vigente representado por medio de un dashboard. Bogotá, D.C, Colombia: Universidad de La Salle.
- CAWST. (2017). *Manual técnico: Filtro de arena lento intermitente (FALI)* .
- CEPAL. (2015). *Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas*. Obtenido de <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/2d86ecfb-f922-49d3-a919-e4fd4d463bd7/content>
- CEPLAN. (2023). *Estudio prospectivo sobre el estrés hídrico y la inseguridad alimentaria en el Perú*. Obtenido de <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5511475/4909702-estudio-prospectivo-de-estres-hidrico-e-inseguridad-alimentaria-ceplan.pdf>
- CNCA. (2023). *Resolución Número 8 DE 2023*. Obtenido de <https://www.ambitojuridico.com/sites/default/files/2024-01/Res-8-a-10-CNCA.pdf>
- CONAFOR. (2024). *Glosario*. Obtenido de <https://maderas-comerciales-tropicales.cnf.gob.mx/glosario>
- CONVSP. (1992). *Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático*. Obtenido de <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- CORPOICA. (s.f.). *Fuentes de fertilizantes, acondicionadores de suelos y materiales correctivos*. Obtenido de https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallIG/home_4/mod_virtuales/modulo2/glosario4.html
- DANE. (2018). Obtenido de <https://www.dane.gov.co/index.php/sistema-estadistico-nacional-sen/normas-y-estandares/estandarizacion-y-armonizacion-de-conceptos>
- ecoembes. (s.f.). Obtenido de <https://reducereutilizarecicla.org/gestion-de-residuos-en-plantas-de-transferencia/>
- FAO. (2011). *Manual de Biogás*. Obtenido de <https://www.fao.org/4/as400s/as400s.pdf>

- FAO. (2013). *CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA: Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe*. Obtenido de <https://www.fao.org/4/i3247s/i3247s.pdf>
- FAO. (2013). *Manual del Compostaje del Agricultor*. Obtenido de <https://www.fao.org/4/i3388s/i3388s.pdf>
- FAO. (2014). *Compendium on Rainwater Harvesting for Agriculture in the Caribbean Sub-region*. Obtenido de <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/9e1e6970-26d5-4d07-94ce-7202552e4988/content>
- FAO. (2016). *Agricultura Sostenible*. Obtenido de <https://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/423953/#:~:text=FAO%20busca%20promover%20pr%C3%A1cticas%20y,recursos%20naturales%20a%20largo%20plazo>.
- FAO. (2024). *Biol y biocidas*. Obtenido de <https://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/1709720/>
- FAO. (s.f.). *Degradación del Suelo*. Obtenido de <https://www.fao.org/soils-portal/soil-degradation-restoration/es/>
- FAO. (s.f.). *Macronutrientes: Carbohidratos, grasas y proteínas*. Obtenido de <https://www.fao.org/4/w0073s/w0073sOd.htm#:~:text=La%20celulosa%2C%20un%20pol%C3%ADmero%20de,componente%20principal%20de%20la%20madera>.
- Fondo Nacional de la Porcicultura. (2020). *Guía de biogás para el sector porcícola en Colombia*. Obtenido de https://archivo.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/Guia_Biogasa%CC%81s__ajustada_1.pdf
- Fundación Santa Fe. (s.f.). *Manual de uso del Biodigestor*. Obtenido de <https://www.santafe.gov.ar/ms/academia/wp-content/uploads/sites/27/2019/09/Manual-de-uso-de-biodigestores-1000l.pdf>
- G&G. (s.f.). Obtenido de <https://www.geoygeo.com/blog/geosinteticos-concepto-beneficios-funciones-y-clasificacion-duplicate-4902/>
- GIZ. (2023). *Reservorios de Agua*. Obtenido de <https://www.delcampoalplato.com/wp-content/uploads/2023/06/27.-Reservorios-de-agua-1.pdf>
- Gobierno de Colombia. (21 de Noviembre de 2016). *CONPES 3874 - POLÍTICA NACIONAL PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS*. Obtenido de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3874.pdf>
- Gobierno de Colombia. (2022). *Taxonomía Verde de Colombia*. Obtenido de <https://www.taxonomiaverde.gov.co/webcenter/portal/TaxonomiaVerde>
- Gobierno de México. (2024). *Biodigestores: Innovación sostenible para la agricultura y ganadería*. Obtenido de <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/biodigestores-innovacion-sostenible-para-la-agricultura-y-ganaderia?idiom=es>
- ICMA. (2023). *Market integrity and greenwashing risks in sustainable finance*. Obtenido de <https://www.icmagroup.org/assets/documents/Sustainable-finance/Market-integrity-and-greenwashing-risks-in-sustainable-finance-October-2023.pdf>

- IDEAM. (2018). *METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA DE VARIABLES METEOROLÓGICAS*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/11769/72085840/Documento+metodologico+variables+meteorologicas.pdf/8a71a9b4-7dd7-4af4-b98e-9b1eda3b8744>
- IDEAM. (28 de 03 de 2023). *Estudio Nacional del Agua 2022*. Obtenido de https://www.ideam.gov.co/web/agua/estudio-nacional-del-agua/-/document_library_display/hWSQik0LFPrw/view/125666586
- IDEAM. (2023). *Hoja metodológica de la Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS) Multianual (Versión 1,3)*. Obtenido de https://bart.ideam.gov.co/indiecosistemas/ind/agua/hm/HM_OHTS_Multianual.pdf
- IDEAM. (2024). *Demanda y Uso*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/siac/demandaagua#:~:text=Demanda%20agua%20%2D%20IDEAM&text=La%20demanda%20de%20agua%20estimada,sectores%20econ%C3%B3micos%20y%20la%20poblaci%C3%B3n>.
- IDEAM, & UPME. (2017). *Atlas climatológico de Colombia*. Obtenido de <https://ia601701.us.archive.org/32/items/atlas-climatologico-de-colombia/Atlas%20climatologico%20de%20Colombia.pdf>
- IICA. (2021). *Gestión y manejo del agua en la agricultura*. Obtenido de <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/19866/CDHN22038298e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- IPCC. (2013). *Glosario*. Obtenido de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/WGI_AR5_glossary_ES.pdf
- IPCC. (2019). *Calentamiento global de 1,5 °C*. Obtenido de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_es.pdf
- ISO. (1996). Obtenido de <https://www.fao.org/3/y5136e/y5136e07.htm#fn8>
- ITDG. (s.f.). *Ficha Técnica Biodigestores*. Obtenido de <https://www.produccion-animal.com.ar/Biodigestores/03-biodigestores.pdf>
- JICA. (2015). *Guía técnica para cosechar el agua lluvia*. Obtenido de https://www.jica.go.jp/Resource/project/ecuador/001/materials/ku57pq000011cym2-att/water_harvest_sp.pdf
- LEDS LAC. (s.f.). *Mapa de proyectos en biogás en Colombia*. Obtenido de Mapa de proyectos en biogás en Colombia: <https://www.ledslac.org/mapa-de-proyectos-de-biogas-en-lac/>
- Maceda, A., Soto, M., Peña, C., Trejo, C., & Terrazas, T. (2022). *Lignina: composición, síntesis y evolución*. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712021000200300#:~:text=La%20lignina%20es%20una%20de,composici%C3%B3n%20entre%20los%20grupos%20taxon%C3%B3micos.

- MADR. (2018). *Resolución 261 del 21 de Junio del 2018*. Obtenido de <https://www.minagricultura.gov.co/Normatividad/Resoluciones/Resoluci%C3%B3n%20No%20000261%20de%202018.pdf>
- MADS. (2010). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/documento-entidad/politica-nacional-para-la-gestion-integral-del-recurso-hidrico/>
- MADS. (24 de Junio de 2021). *Noticias Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/colombia-inicia-acciones-para-la-gestion-sostenible-de-la-biomasa-residual/>
- MADS. (14 de 03 de 2022). *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/conozca-como-podria-disminuir-la-demanda-de-agua-en-el-sector-agricola/#:~:text=En%20Colombia%2C%20por%20a%C3%B1o%2C%20se,de%20agua%20para%20fines%20agr%C3%ADcolas.>
- MAVDT. (2004). *Resolución 865*. Obtenido de https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/resolucion_minambientevd_0865_2004.htm#:~:text=La%20oferta%20h%C3%ADrica%20de%20una,s%20uperficial%20de%20la%20misma.
- MinAmbiente. (2022). *Lineamientos para potencializar el uso de agua lluvia*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/07/LINEAMIENTOS-USO-AGUAS-LLUVIAS.pdf>
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (s.f.). *Riego Localizado*. Obtenido de <https://www.mapa.gob.es/gl/ministerio/servicios/informacion/plataforma-de-conocimiento-para-el-medio-rural-y-pesquero/observatorio-de-tecnologias-probadas/material-de-riego/riego-localizado.aspx#:~:text=En%20el%20riego%20por%20goteo,variable%20de%20puntos>
- MITECO. (2024). *Biometano*. Obtenido de <https://www.miteco.gob.es/es/energia/hidrocarburos-nuevos-combustibles/gas/biometano.html>
- Mosquera, J. (2020). *Diseño de un sistema de recolección de aguas lluvia para abastecer el riego de cultivos vegetales en una finca en villa de Leyva, Boyacá, Colombia*. Obtenido de <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8057/1/104866-2020-III-GE.pdf>
- MVCT. (2000). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS*. Obtenido de <https://www.minvivienda.gov.co/viceministerio-de-agua-y-saneamiento-basico-reglamento-tecnico-sector-reglamento-tecnico-del-sector-de-agua-potable-y-saneamiento-basico-ras>
- OMS. (s.f.). *El derecho al agua*. Obtenido de <https://www.ohchr.org/sites/default/files/Documents/Publications/FactSheet35sp.pdf>
- OPS. (2004). *Guía de diseño para captación de agua lluvia*. Obtenido de http://bvirtual.infoagro.hn/xmlui/bitstream/handle/123456789/356/cosechadoras%208%28gu%3%ada%20dise%c3%b1o%20para%20captaci%c3%b3n_Lima%29.pdf?sequence=1

- OPS. (2004). *Guía de diseño para captación de agua lluvia*. Obtenido de http://bvirtual.infoagro.hn/xmlui/bitstream/handle/123456789/356/cosechadoras%20%28gu%c3%ada%20dise%c3%b1o%20para%20captaci%c3%b3n_Lima%29.pdf?sequence=1
- ORARBO. (s.f.). *Glosario*. Obtenido de <https://orarbo.gov.co/es/glosario/desarrollo-sostenible>
- SENARA, PFPAS, & MAG. (2010). *Manual de especificaciones técnicas básicas para la elaboración de estructuras de captación de agua lluvia en el sector agropecuario de Costa Rica y recomendaciones para su utilización*. Obtenido de <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/P10-10360.pdf>
- SFC. (s.f.). *Glosario de términos de sostenibilidad*. Obtenido de <https://www.superfinanciera.gov.co/loader.php?lServicio=Tools2&lTipo=descargas&lFuncion=descargar&idFile=1069423>
- UAESP. (2014). *Guía técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de metodologías de compostaje y lombricultura*. Obtenido de https://www.uaesp.gov.co/images/guia-uaesp_sr.pdf
- UE, PNUD, & INIA. (2015). *Cosecha de agua de lluvia para enfrentar la escasez de agua en áreas de secano*. Obtenido de https://issuu.com/programaconjunto_pnud-ue/docs/cosecha_agua_lluvia
- UPME, & UNAL. (2018). *Estimación del potencial de conversión a biogás de la biomasa en Colombia y su aprovechamiento*. Bogotá D.C.
- UPME-UNAL. (2018). *Estimación del potencial de conversión a biogás de la biomasa en Colombia y su aprovechamiento*.
- WASTEMAP, CATF, Ambire, & Barranquilla, A. d. (2024). *Prefactibilidad: sistema de tratamiento de residuos orgánicos de las plazas de mercado en Barranquilla*. Obtenido de <https://static1.squarespace.com/static/5e4d90d9d77f6c7ec5f9a902/t/664bc876f73e73170f4926ef/1716242554555/DocBarranquillaFINAL.pdf>