CONSULTORÍA PARA LA FORMULACIÓN DE TRES MODELOS DE NEGOCIO SOSTENIBLES QUE ARTICULEN LA OFERTA DE MADERA DE AMAZONIA Y ORINOQUIA CON LA DEMANDA DE SECTORES ESPECÍFICOS EN CUNDINAMARCA

GOBERNACIÓN DE CUNDINAMARCA

SECRETARÍA DE BIENESTAR VERDE

CONTRATO DE CONSULTORÍA No. SBV-MC-PS-270 de 2025

REALIZADO POR:

GEOTEM SAS

DICIEMBRE 30 DE 2025

CONSULTORÍA PARA LA FORMULACIÓN DE TRES MODELOS DE NEGOCIO SOSTENIBLES QUE ARTICULEN LA OFERTA DE MADERA DE AMAZONIA Y ORINOQUIA CON LA DEMANDA DE SECTORES ESPECÍFICOS EN CUNDINAMARCA

PRODUCTO 3:

ESTABLECER MECANISMOS DE CONFIABILIDAD, TRANSPARENCIA Y CONTROL ADAPTADOS A CADA MODELO.

GOBERNACIÓN DE CUNDINAMARCA

SECRETARÍA DE BIENESTAR VERDE

CONTRATO DE CONSULTORÍA No. SBV-MC-PS-270 de 2025

REALIZADO POR:

GEOTEM SAS

TABLA DE CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN 9

2 SISTEMAS DE TRAZABILIDAD FORESTAL 11

2.1 Importancia de la confiabilidad y transparencia en la cadena forestal Amazonía–Orinoquía–Cundinamarca 11

2.2 La trazabilidad como sistema 11

2.3 Lecciones aprendidas en experiencias internacionales 12

2.4 Lecciones aprendidas en Colombia. 14

2.5 Metodología de integración de herramientas de trazabilidad 17

2.5.1 Fase 1. Definición del alcance, la unidad de trazabilidad y las reglas de identificación 20

2.5.2 Fase 2. Definición de eventos críticos y datos obligatorios del sistema 23

2.5.3 Fase 3. Arquitectura híbrida de identificación física y registro digital 24

2.5.4 Fase 4. Expediente digital único por lote y reglas de herencia de información 27

2.5.5 Fase 5. Cadena de custodia y control operativo 29

2.5.6 Fase 6. Control de calidad, validación técnica y aceptación en destino 37

2.5.7 Fase 7. Trazabilidad del producto final y comunicación al usuario 38

2.5.8 Fase 8. Integración trazabilidad de Residuos, biomasa, biochar y MRV 47

2.5.9 Fase 9. Capa de integridad, verificación legal y articulación con certificación 48

2.5.10 Fase 10. Gobernanza, gestión de riesgos y validación sectorial 50

2.5.11 Fase 11. Implementación gradual, pilotos y escalamiento 55

2.6 Hoja de ruta técnica para la adopción progresiva de códigos QR, expediente digital y blockchain 56

2.6.1 Arquitectura interoperable del sistema y roles de los actores 59

2.6.2 Flujo progresivo de implementación de QR, expediente digital y blockchain opcional 62

2.6.3 Esquema de datos del expediente digital y registro inmutable opcional 64

2.6.4 Pilares tecnológicos recomendados para una implementación progresiva 67

2.6.5 Beneficios esperados para la Amazonía y la Orinoquia y condiciones para su aplicación 68

2.7 Metodología de cálculo del costo por m^3 de madera por la implementación del sistema de trazabilidad 69

3 CERTIFICACIONES Y ESTÁNDARES 73

3.1 Metodología para elaborar la propuesta de certificaciones según los estándares más relevantes 73

3.1.1 Fase 1. Definir el nivel mínimo de aseguramiento transversal 74

3.1.2 Fase 2. Definir certificaciones o estándares de mercado según el uso final 75

3.1.3 Fase 3. Definir certificaciones de producto o desempeño solo cuando el mercado las demande claramente 75

3.1.4 Fase 4. Distinguir entre certificación de producto y certificación climática 76

3.1.5 Fase 5. Evaluar otras certificaciones que agregan valor y complementan la sostenibilidad del modelo de negocio 76

3.1.6 Fase 6. Matriz análisis de brechas 77

3.1.7 Fase 7. Ruta escalonada de certificación por modelo 84

3.2 Principales requisitos y costos asociados 86

3.2.1 Certificaciones transversales de origen, manejo forestal y cadena de custodia 86
3.2.2 Certificaciones y estándares de mercado para el Modelo de Negocio 1: transformación industrial y construcción 90
3.2.3 Certificaciones y estándares de mercado para el Modelo de Negocio 2: centros de acopio, acondicionamiento y distribución, talleres especializados, y mobiliario, carpintería especializada y soluciones arquitectónicas 90
3.2.4 Fórmula práctica para convertir costos de certificación a COP/m³ 92
3.2.5 Coeficientes de planeación para certificación por m³ 93
3.2.6 Explicación de cómo se llega al cálculo por m³ 95
3.2.7 Aplicación diferenciada por modelo de negocio 97
3.2.8 Limitaciones, supuestos y uso de los resultados 98
4 PROTOCOLOS DE CONTROL DE CALIDAD Y VALIDACIÓN SECTORIAL 100
4.1 Alcance y relación con el sistema de trazabilidad 100
4.2 Puntos críticos de control y unidades de validación por modelo de negocio 100
4.3 Protocolos operativos de control de calidad por modelo 102
4.3.1 Modelo de Negocio 1: transformación industrial y construcción 103
4.3.2 Modelo de Negocio 2: centros de acopio, acondicionamiento y distribución, talleres especializados, y mobiliario, carpintería especializada y soluciones arquitectónicas 104
4.3.3 Modelo de Negocio 3: residuos, biomasa, biochar y MRV 106
4.4 Paquetes de ensayo técnico según uso final 107
4.4.1 Paquete de ensayo para el Modelo de Negocio 1: transformación industrial y construcción 107
4.4.2 Paquete de ensayo para el Modelo de Negocio 2: centros de acopio, acondicionamiento y distribución, talleres especializados, y mobiliario, carpintería especializada y soluciones arquitectónicas 108
4.4.3 Paquete de ensayo para el Modelo de Negocio 3: residuos, biomasa, biochar y MRV 109
4.4.4 Síntesis de paquetes de ensayo por modelo 110
4.5 Laboratorios competentes y soporte técnico-académico 111
4.5.1 Soporte técnico-académico y anexos de laboratorio 112
4.5.2 Caracterización botánica y taxonómica 115
4.5.3 Ensayos físicos y estabilidad higroscópica 115
4.5.4 Ensayos mecánicos y de resistencia 116
4.5.5 Validación de subproductos, biomasa y biochar 116
4.5.6 Cédula de Identidad Técnica del material 117
4.6 Validación sectorial: autocontrol, validación cruzada y auditoría externa 117
4.6.1 Primera capa: autocontrol del actor 118
4.6.2 Segunda capa: validación cruzada 118
4.6.3 Tercera capa: auditoría externa o verificación independiente 119
4.6.4 Transparencia gradual y uso de la información 119
4.6.5 Síntesis del esquema de validación sectorial 120
4.7 Pilotos diferenciados y escalamiento progresivo 121
4.7.1 Piloto para el Modelo de Negocio 1: transformación industrial y construcción 121
4.7.2 Piloto para el Modelo de Negocio 2: centros de acopio, acondicionamiento y distribución, talleres especializados, y mobiliario, carpintería especializada y soluciones arquitectónicas 121
4.7.3 Piloto para el Modelo de Negocio 3: residuos, biomasa, biochar y MRV 122
4.7.4 Criterios para escalar los pilotos 122
4.7.5 Ruta progresiva de implementación 123

5 ESQUEMAS FINANCIEROS DIFERENCIADOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE TRAZABILIDAD, CONTROL DE CALIDAD, CERTIFICACIÓN Y VALIDACIÓN SECTORIAL ... 123

5.1 Alcance del capítulo y relación con el Subproducto 1.3 y los componentes técnicos del Producto 3 ... 123

5.2 Costos unitarios de trazabilidad, control de calidad, certificación y MRV como base para dimensionar los instrumentos financieros ... 127

5.3 Necesidades financieras, riesgos y brechas por modelo de negocio ... 129

5.4 Instrumentos financieros aplicables ... 132

5.4.1 Pólizas, seguros y garantías ... 132

5.4.2 Pagos contra hitos, certificación sectorial, verificación externa y aceptación técnica ... 133

5.4.3 Componente rotatorio de capital de trabajo recuperable ... 135

5.4.4 Cofinanciación condicionada de costos habilitantes y brechas de certificación ... 136

5.4.5 Instrumentos complementarios: crédito verde, factoring, confirming, leasing y acuerdos de compra futura ... 137

5.4.6 Síntesis operativa de instrumentos financieros por modelo de negocio ... 138

5.5 Reglas para financiar certificaciones, auditorías, ensayos y verificaciones externas ... 139

5.5.1 Costos financiables y no financiables ... 139

5.5.2 Aplicación por modelo de negocio ... 140

5.6 Reglas de operación y gobernanza del mecanismo recuperable ... 141

5.6.1 Garantías y soportes mínimos ... 142

5.6.2 Causales de suspensión o no desembolso ... 143

5.6.3 Aplicación preferente por modelo ... 143

5.7 Esquema financiero diferenciado por modelo de negocio ... 144

5.7.1 Modelo de Negocio 1: transformación industrial y construcción ... 144

5.7.2 Modelo de Negocio 2: centros de acopio, acondicionamiento y distribución, talleres especializados, y mobiliario, carpintería especializada y soluciones arquitectónicas ... 145

5.7.3 Modelo de Negocio 3: residuos, biomasa, biochar y MRV ... 145

5.7.4 Síntesis del esquema financiero por modelo. ... 146

5.8 Hitos verificables para desembolsos, pagos, garantías, certificaciones y recuperación de recursos ... 147

5.8.1 Regla operativa ... 148

5.9 Pilotos financieros, indicadores y escalamiento progresivo ... 148

5.9.1 Criterios para escalar ... 149

5.9.2 Regla de decisión ... 149

6 CONSOLIDACIÓN DE RECOMENDACIONES ESTRATÉGICAS ... 150

6.1 Recomendaciones estratégicas para el Modelo de Negocio 1: transformación industrial y construcción ... 150

6.2 Recomendaciones estratégicas para el Modelo de Negocio 2: centros de acopio, acondicionamiento y distribución, talleres especializados, y mobiliario, carpintería especializada y soluciones arquitectónicas ... 150

6.3 Recomendaciones estratégicas para el Modelo de Negocio 3: residuos, biomasa, biochar y MRV ... 151

6.4 Recomendaciones estratégicas transversales ... 151

6.5 Síntesis de recomendaciones prioritarias ... 152

7 CONCLUSIONES 152
8 ANEXOS 155
9 REFERENCIAS 155

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Lecciones de la experiencia colombiana para el diseño de herramientas de trazabilidad en los modelos de negocio priorizados. 14
Tabla 2. Pasos para construirlo. 40
Tabla 3. Preguntas del usuario. 45
Tabla 4. Vista pública para usuario final. 45
Tabla 5. Vista técnica para actores de la cadena. 46
Tabla 6. Vista restringida para auditoría. 46
Tabla 7. Función tecnológica recomendada según las fases definidas. 58
Tabla 8. Flujo de datos expediente digital. 65
Tabla 9. Componentes del esquema de datos del expediente digital y registro inmutable opcional 65
Tabla 10. Enfoques metodológicos para estimar el costo por metro cúbico de madera asociado a la implementación del sistema de trazabilidad. 70
Tabla 11. Análisis de brechas. 78
Tabla 12. Horizontes temporales. 84
Tabla 13. Estimación de costos FSC en Colombia. 88
Tabla 14. Costos estimados para Colombia PEFC. 89
Tabla 15 .Distribución de costos de certificación a COP/m³ 92
Tabla 16. Coeficientes de planeación para certificación por m³ 93
Tabla 17. Escenarios de planeación para estimar el costo anual de certificaciones de cadena de custodia según volumen auditable. 95
Tabla 18. Supuestos de trabajo para estimar el costo Verra por m³ equivalente. 95
Tabla 19. Cálculo referencial del costo visible Verra por m³ equivalente. 96
Tabla 20. Supuestos de trabajo para estimar el costo Puro.earth por m³ equivalente. 96
Tabla 21. Cálculo referencial del costo Puro.earth por m³ equivalente. 96
Tabla 22. Criterios de costeo de certificaciones para el Modelo de Negocio 1. 97
Tabla 23. Criterios de costeo de certificaciones para el Modelo de Negocio 2. 97
Tabla 24. Criterios de costeo de certificaciones para el Modelo de Negocio 3 98
Tabla 25. Criterios metodológicos para la inclusión de costos de certificación por m³ según estándar y modelo de negocio. 98
Tabla 26. Resumen de certificaciones prioritarias y costos unitarios recomendados por modelo de negocio. 99
Tabla 27. Síntesis de los protocolos operativos por modelo. 103
Tabla 28. Paquete de ensayo mínimo recomendado – Modelo de negocio 1. 108
Tabla 29. Paquete de ensayo mínimo recomendado – Modelo de negocio 2. 109
Tabla 30. Paquete de ensayo mínimo recomendado – Modelo de negocio 3. 110
Tabla 31. Anexos soporte – Universidad del Tolima 112

Tabla 32. Tipo de servicios técnicos y modelos de negocios. 113
Tabla 33.Síntesis del esquema de validación sectorial 120
Tabla 34. Criterios para escalar pilotos. 122
Tabla 35. Ruta progresiva de implementación 123
Tabla 36. Preguntas operativas para el diseño financiero 125
Tabla 37. Tipos de costos versus los tratamientos financieros recomendados. 126
Tabla 38. Niveles y alcance de la lógica financiera. 127
Tabla 39. Costos unitarios de referencia para la estructuración financiera. 128
Tabla 40. Tipo de costos para la selección de instrumentos financieros. 129
Tabla 41. Matriz de necesidades financieras, riesgos y brechas por modelo de negocio 130
Tabla 42. Tipo de brechas y modelos de negocio. 131
Tabla 43. Instrumentos de mitigación de riesgos mediante pólizas, seguros y garantías por modelo de negocio. 132
Tabla 44. Hitos verificables, evidencias mínimas y pagos asociados por modelo de negocio. 134
Tabla 45. Pasos para implementar pagos contra hitos y verificación técnica. 134
Tabla 46. Elementos operativos del componente rotatorio de capital de trabajo recuperable. 135
Tabla 47. Usos recomendados del componente rotatorio de capital de trabajo recuperable por modelo de negocio. 135
Tabla 48. Pasos para implementar el componente rotatorio de capital de trabajo recuperable. 135
Tabla 49. Costos habilitantes sujetos a cofinanciación condicionada por modelo de negocio. 136
Tabla 50. Pasos para implementar la cofinanciación condicionada de costos habilitantes. 136
Tabla 51. Instrumentos financieros complementarios, aplicaciones y precauciones de uso. 137
Tabla 52. Instrumentos financieros complementarios prioritarios por modelo de negocio. 138
Tabla 53. Síntesis operativa de instrumentos financieros por modelo de negocio. 138
Tabla 54. Reglas mínimas de financiación 139
Tabla 55. Costos financiables y no financiables 140
Tabla 56. Aplicación por modelo de negocio 140
Tabla 57. Principios de operación 141
Tabla 58. Gobernanza operativa del mecanismo 141
Tabla 59. Flujo mínimo de operación 142
Tabla 60. Tipo de operación y soportes mínimos 142
Tabla 61. Causales de suspensión o no desembolso y efecto. 143
Tabla 62. Uso recomendado por modelo. 143
Tabla 63. Componente y propuesta financiera modelo de negocio 1. 144
Tabla 64. Componente y propuesta financiera modelo de negocio 2. 145
Tabla 65. Componente y propuesta financiera modelo de negocio 3. 145

Tabla 66. Síntesis del esquema financiero por modelo. 146
Tabla 67. Hitos verificables por modelo de negocio 147
Tabla 68. Pilotos financieros recomendados 148
Tabla 69. Indicadores mínimos de seguimiento 149
Tabla 70. Criterios para escalar 149
Tabla 71. Síntesis de recomendaciones prioritarias 152

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Rutas de trazabilidad por modelo de negocio. 18
Figura 2. Fases de la metodología de integración de herramientas de trazabilidad. 19
Figura 3. Secuencias de trazabilidad por modelo de negocio. 22
Figura 4. Eventos críticos y datos obligatorios. 23
Figura 5. Aplicación de la arquitectura híbrida de identificación física y registro digital. 26
Figura 6. Expediente digital único y reglas de herencia de información para cada modelo de negocio. 28
Figura 7. Controles transversales a los tres modelos de negocio. 30
Figura 8. Aplicación de la fase 5 por cada modelo de negocio. 35
Figura 9. Trazabilidad funcional para el mercado. 37
Figura 10. Trazabilidad para comunicar valor. 38
Figura 11. Creación de un pasaporte digital. 40
Figura 12. Principales puntos a tener en cuenta - Pasaporte digital modelo de negocio 1. 42
Figura 13. Principales puntos a tener en cuenta - Pasaporte digital modelo de negocio 2. 43
Figura 14. Principales puntos a tener en cuenta - Pasaporte digital modelo de negocio 3. 44
Figura 15. Capa de integridad, interoperabilidad, y verificación por modelo de negocio. 49
Figura 16. Trazabilidad como herramienta de gobernanza. 51
Figura 17. Estrategias de mitigación y control. 53
Figura 18. Esquema propuesto de implementación del sistema de trazabilidad. 55
Figura 19. Arquitectura interoperable para la adopción progresiva de QR, expediente digital y blockchain opcional 61
Figura 20. Estructura básica de datos, códigos QR y registro inmutable opcional para productos y subproductos del aprovechamiento forestal. 67
Figura 21. Fases – Certificaciones y Estándares. 73
Figura 22. Puntos críticos y unidades de validación por modelo de negocio. 101
Figura 23. Comparación de uso final, ensayos prioritarios y resultado esperado por modelo de negocio. 111

Figura 24. Soporte técnico – académico por modelo de negocio. 114

Figura 25. Secuencia lógica de estructuración financiera. 126

1 INTRODUCCIÓN

Como complemento a los tres modelos de negocio formulados en el Producto 2 de la presente consultoría, el Producto 3 desarrolla los mecanismos de confiabilidad, transparencia y control necesarios para facilitar su implementación. Estos mecanismos buscan asegurar que la articulación comercial entre la oferta de madera legal, trazable y sostenible proveniente de la Amazonía y la Orinoquía, y la demanda de sectores específicos en Cundinamarca, se desarrolle bajo criterios verificables de legalidad, sostenibilidad, calidad, corresponsabilidad y equidad económica.

En este marco, el **Modelo de Negocio 1**, orientado a la articulación entre los Núcleos de Desarrollo Forestal y de la Biodiversidad —NDFyB— y transformadores industriales con mayor integración vertical, principalmente empresas ancla del sector construcción, y el **Modelo de Negocio 2**, enfocado en la relación entre NDFyB, centros de acopio, acondicionamiento y distribución —como nodos de agregación de valor— y talleres de segunda transformación especializada, comparten una característica fundamental: ambos dependen de una relación directa, estable y verificable entre los territorios productores y las empresas transformadoras ubicadas en Cundinamarca.

Esta interacción exige la construcción de confianza entre actores que cumplen distintos roles dentro de la cadena de valor, tales como empresas ancla, centros de acopio, operadores de acondicionamiento y distribución, talleres especializados y transformadores con consumos de menor escala. Por ello, los modelos requieren mecanismos robustos de trazabilidad, control de calidad, validación documental y seguimiento operativo, que permitan garantizar el suministro oportuno de madera legal y técnicamente apta, clasificada según sus características físicas y su potencial de uso en maderas pesadas, semipesadas o livianas.

De manera complementaria, el **Modelo de Negocio 3**, orientado al abastecimiento de subproductos y residuos de madera trazable generados por empresas transformadoras en Cundinamarca para su aprovechamiento en biochar, introduce una dimensión adicional dentro de la cadena de valor forestal. Este modelo propone valorizar la biomasa residual derivada de los procesos de transformación, tales como aserrín, viruta y retales, mediante un sistema portátil de pirólisis instalado en una plataforma móvil, con capacidad de desplazarse hasta los aserraderos o plantas transformadoras donde se generan dichos residuos.

Este enfoque permite procesar la biomasa cerca de su lugar de origen, reducir los costos de transporte asociados a materiales de baja densidad y mejorar la viabilidad económica del aprovechamiento. Para ello, los residuos deben ser previamente preparados mediante operaciones de trituración, cribado y, cuando sea necesario, secado, antes de ser sometidos a un proceso de pirólisis controlada que permita la producción de biochar directamente en el sitio donde se genera la biomasa.

Asimismo, el Modelo de Negocio 3 incorpora un sistema digital de Monitoreo, Reporte y Verificación —MRV—, mediante el cual se registran variables clave como el origen de la

biomasa, los parámetros operativos del proceso, la cantidad de biochar producido y el carbono secuestrado. Este sistema permite cuantificar la remoción de CO_2 y generar información verificable para eventuales mercados voluntarios de carbono. En consecuencia, la trazabilidad adquiere una doble función: por una parte, permite verificar la legalidad y el origen del recurso forestal; y, por otra, facilita la generación de nuevos ingresos asociados a servicios climáticos derivados del aprovechamiento de la biomasa residual.

Adicionalmente, el fortalecimiento de los tres modelos de negocio exige promover el acceso gradual a certificaciones, estándares de sostenibilidad y esquemas de reconocimiento que agreguen valor a los productos forestales y mejoren la reputación de las empresas transformadoras frente a sus mercados. Este valor reputacional no se limita a los clientes directos de la cadena productiva, sino que también alcanza a los usuarios finales, quienes valoran cada vez más atributos relacionados con el origen legal, sostenible y responsable de los materiales que consumen.

En este contexto, la definición de reglas claras de relacionamiento entre los actores constituye una condición esencial para consolidar acuerdos comerciales confiables. Por esta razón, el presente documento desarrolla protocolos operativos, mecanismos de validación sectorial, herramientas de trazabilidad, criterios de control de calidad y esquemas de seguimiento orientados a asegurar la correcta implementación de los acuerdos de vinculación voluntaria y de suministro planteados en la consultoría.

De igual manera, la solidez de los modelos propuestos depende de esquemas financieros que respalden su implementación y reduzcan los riesgos asociados al abastecimiento, la calidad, la trazabilidad, los pagos, el transporte y la permanencia de los actores en la cadena. En este sentido, se consideran instrumentos como pagos contra hitos verificables, pólizas, fondos rotatorios, mecanismos de garantía, pagos condicionados, respaldos financieros y otros esquemas diferenciados que contribuyan a dar seriedad, estabilidad y sostenibilidad económica a las alianzas.

El desarrollo de estos mecanismos responde de manera directa a la **meta 053 del Banco Departamental de Proyectos de Inversión Pública —BPIN 2024004250223—**, orientada a promover alianzas entre la línea de comercialización forestal de Cundinamarca y los actores de los sistemas productivos forestales de la Amazonía y la Orinoquía. Con ello, se busca fortalecer la competitividad, la confianza y la sostenibilidad de la cadena forestal, mediante instrumentos que permitan reducir riesgos, mejorar la transparencia y consolidar relaciones comerciales de largo plazo.

Por consiguiente, los mecanismos definidos en este documento constituyen un pilar estructural para garantizar la viabilidad técnica, operativa, comercial e institucional de los modelos de negocio priorizados. Su importancia es mayor en un sector que históricamente ha enfrentado desafíos asociados a la informalidad, las asimetrías de información, la baja trazabilidad, la desconfianza entre actores y los riesgos de ilegalidad. En este escenario, el fortalecimiento de la gobernanza, la trazabilidad, la validación técnica y el control operativo

se convierte en una condición fundamental para consolidar cadenas de valor forestales sostenibles, transparentes y competitivas.

2 SISTEMAS DE TRAZABILIDAD FORESTAL

2.1 Importancia de la confiabilidad y transparencia en la cadena forestal Amazonía–Orinoquía–Cundinamarca

La cadena forestal que conecta los bosques naturales de la Amazonía y la Orinoquía con los centros de transformación y consumo en Cundinamarca enfrenta desafíos estructurales relacionados con la trazabilidad del origen, la estandarización de la calidad, la formación de precios y la verificación de la legalidad del aprovechamiento forestal.

Diversos diagnósticos sectoriales han evidenciado que la falta de mecanismos claros de control y transparencia limita la confianza entre productores, transformadores y compradores finales, reduciendo la competitividad del sector y favoreciendo la persistencia de intermediación informal y prácticas de riesgo ambiental (FEDEMADERAS, 2023).

La confiabilidad en el suministro de madera de bosque natural es un factor crítico no solo desde la perspectiva comercial, sino también desde la política ambiental y climática del país, en tanto el aprovechamiento forestal legal y bajo manejo sostenible contribuye a la reducción de la deforestación, al fortalecimiento de economías locales y al cumplimiento de compromisos nacionales en materia de cambio climático y biodiversidad (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MinAmbiente], 2022).

En este sentido, la transparencia en la información sobre el origen, las especies, los volúmenes y los procesos de transformación de la madera se constituye en un requisito indispensable para diferenciar la madera legal y sostenible frente a la madera de origen ilegal, particularmente en mercados urbanos como la Sabana de Bogotá, donde la demanda es constante pero altamente sensible a riesgos reputacionales y normativos.

2.2 La trazabilidad como sistema

La principal lección de la evidencia internacional es que la trazabilidad no debe abordarse como la simple incorporación de una tecnología específica, sino como un **sistema integral de control, registro, verificación y comunicación**. El World Resources Institute plantea que los sistemas de trazabilidad de madera deben diseñarse a partir de una definición clara del problema que se quiere resolver, de los riesgos de ilegalidad o pérdida de información, de los usuarios del sistema y de las decisiones que dicho sistema debe soportar (WRI, 2023). De manera similar, la revisión de Kaulen et al. (2023) muestra que, en el sector forestal, la trazabilidad efectiva depende de la articulación entre identificación física de la madera, registro de eventos logísticos, control documental y vinculación con la cadena de transformación, más que de una sola plataforma tecnológica (Stäuble et al., 2023).

En otras palabras, **el QR, el blockchain, el RFID (Identificación por Radiofrecuencia), los libros de operaciones, los salvoconductos o las certificaciones no deben verse**

como opciones excluyentes, sino como capas complementarias de un mismo sistema. Esta idea es particularmente relevante para los modelos de negocio analizados, porque el objetivo no es solamente demostrar la legalidad del origen de la madera, sino también asegurar calidad técnica, continuidad del suministro, control de inventarios, acceso a certificaciones y, en el caso del modelo de negocio 3, trazabilidad del residuo y MRV para biochar y carbono (Kaulen, 2023; He & Turner, 2022).

2.3 Lecciones aprendidas en experiencias internacionales

La experiencia de **Brasil** muestra un referente importante en materia de trazabilidad oficial de madera nativa. A través de **Sinaflor+ y DOF+ Rastreabilidade**, el sistema brasileño integra la autorización de aprovechamiento, la individualización de trozas, el control de patios y la emisión de licencias obligatorias para transporte y almacenamiento. IBAMA (2022,ab), señala que, en el caso de trozas, el sistema puede rastrear el producto desde la autorización que le dio origen, individualizando cada registro y haciendo seguimiento de sus saldos a lo largo de la cadena. Además, el sistema exige consistencia entre saldos virtuales y saldos físicos en patios y centros de transformación, lo cual puede resultar especialmente útil para diseñar controles en los NDFyB y en los centros de acopio de Cundinamarca (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis [IBAMA], 2022ab).

Por su parte, en el caso de experiencia de **Perú** aporta una lección complementaria: la trazabilidad no solo debe registrar el flujo del producto, sino también incorporar una **capa de evaluación de riesgo y verificación independiente del manejo forestal**. A través del sistema **SIGO/Observatorio OSINFOR**, Perú pone a disposición información pública sobre títulos habilitantes, supervisiones antes de la extracción, cumplimiento de obligaciones y niveles de riesgo para el comercio legal. Este enfoque es valioso porque no se limita a seguir la madera “en papel”, sino que incorpora información sobre si el plan de manejo y el título habilitante representan un riesgo aceptable o no. Para el caso colombiano, esto sugiere que la trazabilidad debería incorporar no solo el vínculo con SUNL/VITAL y los documentos de movilización, sino también una capa interna de evaluación del riesgo del origen, del operador forestal y del lote (Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre [OSINFOR], 2006; s.f.ab).

En **Indonesia**, el sistema **SVLK/SILK** ofrece otra lección útil. Allí, el sistema nacional de aseguramiento de legalidad maderera articula verificación de legalidad, cadena de custodia y documentos de exportación **V-Legal**, los cuales incluyen mecanismos de validación digital y códigos seguros. La información de FLEGT destaca que las licencias V-Legal se emiten a través del sistema SILK, el cual genera un código único y permite verificar la información de la licencia frente a las bases oficiales y los sistemas de comercio exterior y aduanas. Sin embargo, un estudio de WRI Indonesia advierte que, cuando el control descansa demasiado en documentos y no se acompaña de verificación de campo, de especie y de coherencia entre entradas y salidas, el sistema puede enfrentar riesgos de “lavado” de madera. Esta lección es central: **la digitalización mejora la trazabilidad, pero no reemplaza la verificación física, el control de inventarios y la auditoría independiente**.

Otro ejemplo, es el de **Ghana** donde se desarrolló un sistema nacional de trazabilidad denominado **Ghana Wood Tracking System (GWTS)**, posteriormente fortalecido mediante plataformas digitales que permiten registrar y monitorear el movimiento de la madera a lo largo de la cadena de suministro. De acuerdo con la Forestry Commission de Ghana, este sistema fue diseñado para rastrear la madera **desde el punto de cosecha hasta el punto de exportación o venta en el mercado local**, integrando información sobre transporte, procesamiento y comercialización. Este enfoque combina controles documentales, inspecciones físicas y registros digitales en diferentes puntos de la cadena productiva, permitiendo mejorar la verificación de legalidad y la transparencia del sector forestal (VPA Africa–Latin America Facility, s. f.).

También, es relevante el sistema de trazabilidad forestal implementado en **Tanzania**, conocido como **Timber Tracker**, el cual está integrado al **Forest Resource Information and Management System (FREMIS)** del Tanzania Forest Service. Este sistema electrónico fue introducido inicialmente en 2016 y posteriormente ampliado a nivel nacional para mejorar la gestión del comercio de madera y asegurar que los productos forestales que ingresan al mercado provengan de fuentes legales y sostenibles. El sistema funciona mediante **dispositivos móviles utilizados por autoridades forestales en puntos de control**, donde se escanean **códigos QR asociados a los permisos de transporte de madera**, lo que permite verificar la información del cargamento, el origen del producto, el vehículo transportador y el destino declarado (Mgaza, 2022).

Durante las inspecciones, los funcionarios comparan la información registrada en el sistema con el contenido real del cargamento y toman fotografías del vehículo y la carga, las cuales se suben inmediatamente al sistema central para que puedan ser consultadas en otros puntos de control a lo largo de la ruta de transporte. Este mecanismo permite detectar inconsistencias como sobrecarga, productos no declarados o documentos falsificados, y facilita que los funcionarios en diferentes puntos del país puedan consultar en tiempo real el historial de inspecciones del cargamento. Según el análisis de WWF y TRAFFIC, el sistema ha contribuido a **mejorar la captura de datos, aumentar la transparencia en la cadena de transporte de madera y reducir oportunidades de corrupción asociadas a los sistemas tradicionales basados en documentos físicos**, además de fortalecer la capacidad del gobierno para controlar el comercio forestal y mejorar la recaudación de ingresos del sector (Mgaza, 2022).

De esta manera, a escala global, el sistema de **cadena de custodia de FSC** aporta una referencia consolidada sobre cómo controlar el material a lo largo de la transformación y distribución. FSC exige que el material certificado sea identificado, rastreado y documentado en cada etapa, desde el abastecimiento hasta la venta final, y que cada empresa mantenga registros de compras, almacenamiento, producción y ventas. Para los modelos de negocio 1 y 2, esta lógica resulta plenamente aplicable, aun si inicialmente no se implementa una certificación FSC completa, porque permite estructurar un sistema de cadena de custodia interno compatible con procesos futuros de certificación.

Finalmente, la literatura sobre **blockchain y trazabilidad forestal** muestra dos conclusiones importantes. Por un lado, existen desarrollos como el prototipo de Figorilli et

al. (2018), que combinó identificación física, sensores y blockchain para rastrear madera desde el árbol en pie hasta el usuario final. Por otro lado, revisiones más recientes muestran que el blockchain tiene potencial para fortalecer la seguridad e inmutabilidad de la información, pero todavía presenta retos de costo, madurez, interoperabilidad y adopción. En consecuencia, la recomendación metodológica no es construir todo el sistema sobre blockchain desde el inicio, sino usarlo selectivamente para **anclar eventos críticos y evidencias de integridad**, mientras la operación cotidiana se soporta en bases de datos más sencillas e interoperables.

2.4 Lecciones aprendidas en Colombia.

Las principales lecciones derivadas de la experiencia colombiana en materia de trazabilidad forestal, con énfasis en los elementos que deben orientar el diseño de mecanismos para los modelos de negocio priorizados, se sintetizan en la siguiente tabla que permite identificar los avances institucionales y tecnológicos del país, así como las limitaciones que deben ser consideradas para evitar duplicidad de registros, fortalecer la interoperabilidad con los sistemas oficiales y mejorar la transparencia frente a las autoridades ambientales.

Tabla 1. Lecciones de la experiencia colombiana para el diseño de herramientas de trazabilidad en los modelos de negocio priorizados.

Tema clave	Principal lección identificada	Aplicación práctica para el diseño del sistema de trazabilidad de los modelos de negocio priorizados
Enfoque general de trazabilidad	Colombia ha avanzado desde esquemas documentales y en papel hacia un sistema digital, modular e integrado. Sin embargo, la trazabilidad no depende solo de plataformas tecnológicas, sino de la articulación entre normas, instituciones, usuarios, sistemas de información y verificación física.	Las herramientas de trazabilidad deben diseñarse como un sistema integral que combine registros digitales, soportes documentales, identificación física del material, control de calidad, cadena de custodia y verificación por actores responsables. No deben limitarse a implementar una tecnología aislada.
SNTFC	El Sistema Nacional de Trazabilidad Forestal de Colombia —SNTFC— busca identificar, monitorear y registrar los productos del bosque a lo largo de la cadena productiva, con énfasis en productos forestales en primer grado de transformación (Bohórquez, Mora, Pérez et al., 2022).	Cada herramienta debe conservar el vínculo entre el lote de madera, su origen legal, su trayectoria documental y física, los procesos de transformación aplicados y su destino. Este principio aplica a la madera principal en los Modelos 1 y 2, y debe extenderse a residuos, biochar, uso final y MRV en el Modelo 3.
Organización por módulos	El SNTFC se estructura en cuatro módulos: planificación, aprovechamiento, movilización e industria, correspondientes a los principales eslabones de la cadena forestal.	La herramienta debe organizar la información por etapas: origen, aprovechamiento, movilización, recepción, transformación, comercialización, uso final y, cuando aplique, generación y aprovechamiento de residuos. Esta estructura facilita su alineación con los módulos oficiales del SNTFC.

Tema clave	Principal lección identificada	Aplicación práctica para el diseño del sistema de trazabilidad de los modelos de negocio priorizados
VITAL	VITAL opera como el espacio digital articulador del sistema y aloja el SUNL. Por ello, no debe ser tratada como una herramienta aislada, sino como el eje institucional para trámites ambientales asociados a la trazabilidad.	La herramienta propuesta debe consultar, enlazar o referenciar la información registrada en VITAL, especialmente la asociada al SUNL. No debe crear un sistema paralelo de trámites ni exigir a productores o transformadores registrar nuevamente información que ya exista en VITAL.
SUNL	El Salvoconducto Único Nacional en Línea —SUNL— es el módulo con mayor avance operativo. Permite la expedición en línea de salvoconductos de movilización, removilización y renovación, y ha generado información estadística sobre movilización forestal.	Cada movimiento de madera debe quedar vinculado al identificador oficial del SUNL. La herramienta debe permitir verificar la coherencia entre el volumen autorizado, el volumen movilizado, la ruta, el transportador, el destinatario y el volumen efectivamente recibido.
LOFL	El Libro de Operaciones Forestales en Línea —LOFL— permite registrar inventarios, entradas, salidas, transformación y comercialización en industrias forestales. También fortalece la interacción entre empresas y autoridades ambientales.	Los centros de acopio, empresas ancla y transformadores deben estructurar sus registros internos siguiendo la lógica del LOFL: entradas, inventarios, transformación, salidas y saldos. Esto es especialmente relevante para el Modelo 2, donde se generan sublotes, clasificación, secado, acondicionamiento y redistribución.
SNIF	El SNIF no es una plataforma operativa de trazabilidad, sino un sistema de información estadística sobre ecosistemas boscosos. El SNTFC debe alimentar al SNIF con información sobre aprovechamiento y movilización forestal.	La herramienta debe generar datos compatibles con reportes estadísticos sobre aprovechamiento, movilización, especies, volúmenes, destinos y usos finales, sin sustituir los registros oficiales de VITAL, SUNL o LOFL. Su función debe ser complementar la información técnica, comercial y ambiental útil para la toma de decisiones.
Interoperabilidad	El SNTFC se relaciona con SIAC, SNIF, SIB Colombia, VITAL, aplicativos forestales del ICA y COVIMA. Esta articulación es clave porque la madera de bosque natural y la madera de plantaciones pueden tener rutas institucionales distintas, pero convergen en industrias y mercados comunes.	La herramienta debe funcionar como una capa complementaria que conecte información oficial, técnica, comercial y ambiental. Debe diferenciar el origen de la madera —bosque natural o plantación— y, al mismo tiempo, consolidar la información en centros de acopio, industrias, obras, productos finales, residuos y biochar sin duplicar registros.
Marcaje físico	Colombia no cuenta aún con un sistema nacional estandarizado de marcaje físico de madera. Existen experiencias puntuales con tiza, pintura, etiquetas y sistemas láser con código de barras o QR, pero	Se visualiza la necesidad de implementar mecanismos graduales de identificación física, principalmente códigos QR por lote, sublote, paquete, producto final, residuo, biomasa o biochar. El RFID puede evaluarse en centros de acopio o industrias con altos volúmenes de

Tema clave	Principal lección identificada	Aplicación práctica para el diseño del sistema de trazabilidad de los modelos de negocio priorizados
	no constituyen un estándar nacional.	inventario, pero no debe plantearse como requisito general desde el inicio.
Calidad de la información	Se han identificado errores en cargue de documentos, digitación, áreas, especies, volúmenes y rutas de movilización en el SUNL.	La herramienta debe incluir controles básicos de calidad de datos, como listas de chequeo, campos obligatorios, validación de especies, comparación de volúmenes, alertas por inconsistencias y conciliación entre documentos oficiales, inventarios, producto físico recibido, producto transformado y destino final.
Capacidades institucionales	La implementación del SNTFC depende de autoridades ambientales con capacidades heterogéneas en presupuesto, personal, conectividad, logística y seguridad territorial.	Las herramientas deben ser simples, auditables y de bajo costo operativo. Deben poder ser usadas por productores, centros de acopio, empresas ancla, transformadores, operadores de biochar y usuarios finales con diferentes niveles de capacidad técnica, sin generar cargas excesivas para las autoridades ambientales.
Condiciones de campo	En zonas forestales de Amazonía y Orinoquía pueden existir restricciones de conectividad, transporte, seguridad y disponibilidad de equipos.	La herramienta debe permitir operación offline, uso de formatos descargables, captura en campo, evidencias fotográficas, georreferenciación básica y sincronización posterior cuando exista conectividad. Esto es clave para la operación en NDFyB, rutas de abastecimiento, centros de acopio y procesos de aprovechamiento de residuos.
Alcance hasta destino final	La trazabilidad no debe limitarse al origen legal ni a la movilización de la madera. Para generar confianza en el mercado, debe reconstruir la trayectoria del material hasta su transformación, uso final y, cuando aplique, valorización ambiental o climática.	En el Modelo 1, la trazabilidad debe cubrir la salida de la madera desde la empresa ancla hacia el sector construcción, incluyendo obra, cabaña, infraestructura, vivienda o solución constructiva donde se incorpore la madera. En el Modelo 2, debe cubrir la salida desde el centro de acopio hacia talleres de muebles, carpintería o soluciones arquitectónicas, hasta el producto final adquirido por el consumidor. En el Modelo 3, debe cubrir la madera de origen, los residuos generados, la biomasa preparada, el biochar producido, su uso agrícola o ambiental y la información MRV asociada a mercados de carbono.
Aplicación al Modelo 1	El Modelo 1 requiere trazabilidad directa entre NDFyB, empresa ancla y sector construcción.	La herramienta debe permitir seguir la madera desde el NDFyB hasta la empresa ancla y, posteriormente, hasta su incorporación en obras, cabañas, estructuras, viviendas, infraestructura o soluciones constructivas. Debe registrar lote de origen, SUNL, recepción, transformación, producto constructivo, proyecto u obra de destino y, cuando sea viable, información comunicable al usuario final.
Aplicación al Modelo 2	El Modelo 2 requiere trazabilidad con agregación y desagregación	La herramienta debe permitir seguir la madera desde el NDFyB hasta el centro de acopio,

Tema clave	Principal lección identificada	Aplicación práctica para el diseño del sistema de trazabilidad de los modelos de negocio priorizados
	de lotes, debido al papel de los centros de acopio y los talleres de segunda transformación.	registrar clasificación, secado, dimensionamiento, generación de sublotes y despacho a talleres especializados. Posteriormente, debe mantener el vínculo con el producto final —mueble, pieza de carpintería, acabado o solución arquitectónica— y con el comprador o usuario final.
Aplicación al Modelo 3	El Modelo 3 exige una trazabilidad ampliada, porque no solo sigue madera, sino también subproductos, residuos, biomasa, biochar, uso final y atributos climáticos.	La herramienta debe integrar varias capas de trazabilidad: lote de madera legal de origen, residuo o subproducto generado, biomasa preparada, proceso de pirólisis, lote de biochar, usuario o predio donde se aplica, evidencias de uso agrícola o ambiental, variables MRV y, cuando aplique, información sobre emisión, transferencia o retiro de créditos de carbono.
Aplicación transversal a los modelos	La trazabilidad no debe constituir un sistema paralelo, sino una capa operativa interoperable con VITAL, SUNL, LOFL, SNIF, SIAC, SIB, ICA y COVIMA.	La capa del modelo debe registrar información que los sistemas oficiales no siempre capturan, como calidad, humedad, densidad, lote de secado, sublotes, obra de destino, producto final, residuos, biochar, lugar de aplicación y variables MRV, manteniendo siempre el vínculo con los identificadores oficiales.

Fuente: Geotem SAS, adaptado de (Bohórquez et al., 2022).

2.5 Metodología de integración de herramientas de trazabilidad

La metodología para integrar herramientas de trazabilidad en los modelos de negocio priorizados se fundamenta en un enfoque práctico, gradual, interoperable y orientado a la generación de confianza entre los actores de la cadena (Visión Amazonía, 2022). Su propósito no es crear un sistema paralelo a los instrumentos oficiales existentes, sino una **capa operativa complementaria** que se articule con VITAL, SUNL, LOFL, SNIF y demás sistemas institucionales aplicables, evitando la duplicidad de registros y facilitando la verificación por parte de las autoridades ambientales.

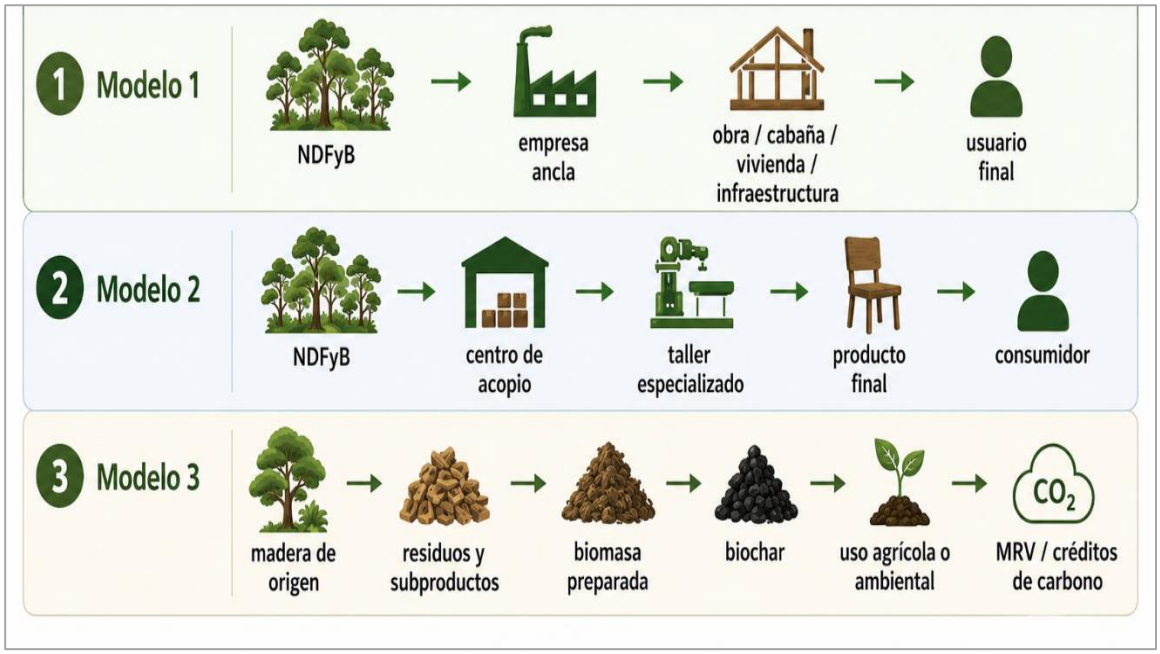
La trazabilidad se entiende como un sistema integral que articula legalidad, identificación física, registro documental, control de calidad, cadena de custodia, interoperabilidad tecnológica, validación sectorial, comunicación al mercado y seguimiento hasta el uso final. En este sentido, no se limita a verificar el origen legal de la madera ni su movilización, sino que debe permitir reconstruir la trayectoria del material desde el bosque hasta su transformación, comercialización, uso final y, cuando aplique, valorización climática.

La aplicación de esta metodología varía según la naturaleza de cada modelo de negocio. En el **Modelo de Negocio 1**, la trazabilidad debe cubrir la ruta desde los NDFyB hasta las empresas ancla y, posteriormente, hasta su incorporación en obras, cabañas, viviendas, infraestructura o soluciones constructivas.

Para el caso del **Modelo de Negocio 2**, debe seguir la madera desde los NDFyB hasta el centro de acopio, los talleres especializados y el producto final adquirido por el consumidor, como muebles, carpintería o soluciones arquitectónicas.

Asimismo, en el **Modelo de Negocio 3**, debe integrar varias capas: madera de origen, residuos y subproductos, biomasa preparada, biochar producido, uso agrícola o ambiental, MRV y, cuando aplique, créditos de carbono. La siguiente figura muestra el alcance de la ruta de trazabilidad para cada modelo de negocio.

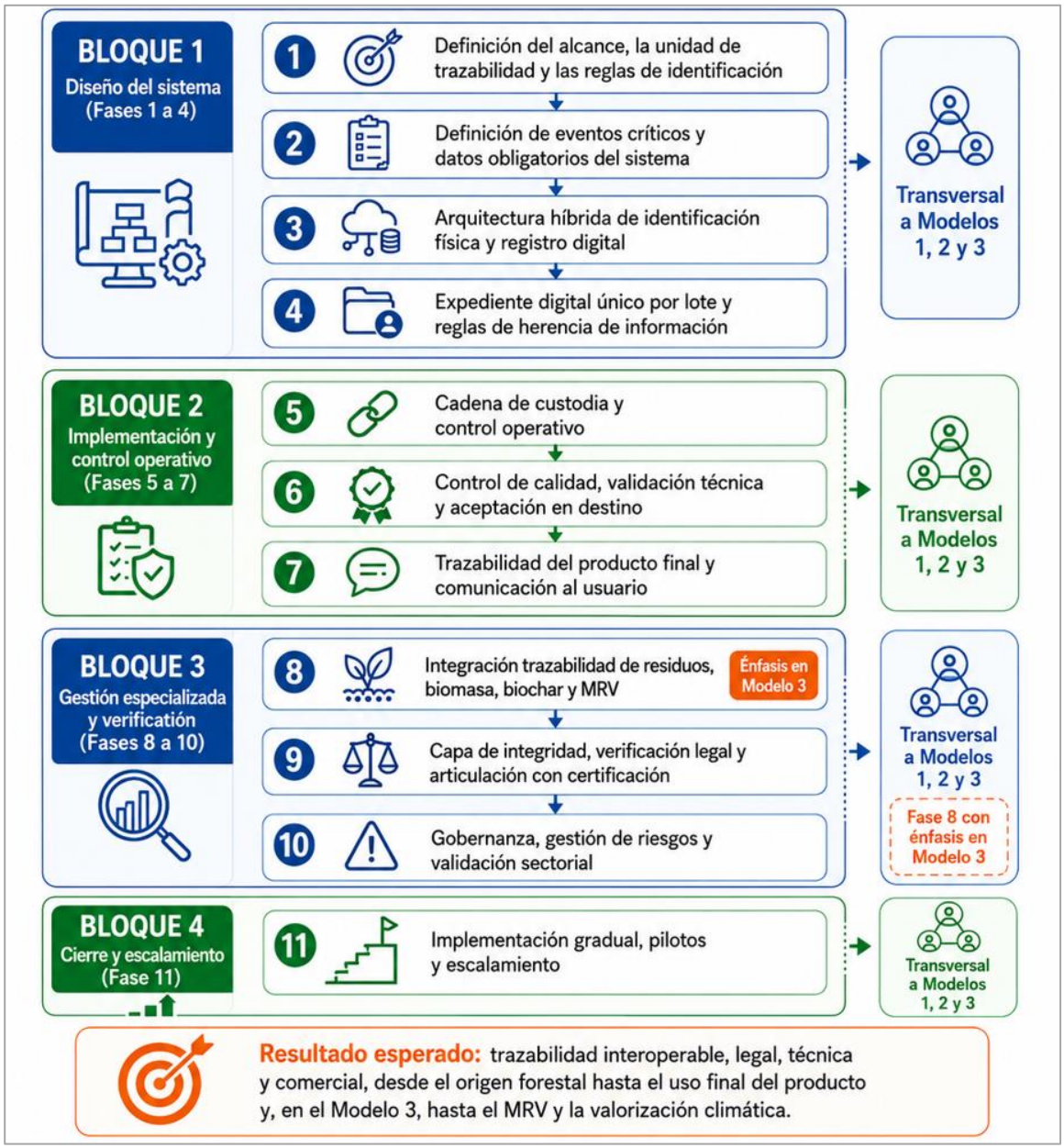
Figura 1. Rutas de trazabilidad por modelo de negocio.



Fuente: Geotem SAS.

En ese sentido, la metodología se estructura en **once fases secuenciales y complementarias**, que permiten ordenar la trazabilidad desde la definición del alcance y la unidad de seguimiento hasta la implementación gradual, los pilotos y el escalamiento progresivo. Estas fases incorporan los elementos comunes a los tres modelos de negocio, así como las variantes específicas requeridas por cada uno, de manera que la herramienta pueda adaptarse a las dinámicas de la construcción, la segunda transformación especializada y el aprovechamiento de residuos para biochar. La siguiente figura presenta las fases.

Figura 2. Fases de la metodología de integración de herramientas de trazabilidad.



Fuente: Geotem SAS adaptado de Visión Amazonía, 2022.

Los siguientes numerales detallan cada una de las fases propuestas.

2.5.1 Fase 1. Definición del alcance, la unidad de trazabilidad y las reglas de identificación

La primera fase consiste en definir qué se va a rastrear, desde qué punto de la cadena inicia el seguimiento y hasta qué destino debe mantenerse la trazabilidad. Esta decisión es estratégica, porque no todos los materiales requieren el mismo nivel de individualización. En algunos casos será suficiente rastrear por lote; en otros, como especies de alto valor, madera destinada a usos estructurales, sublotes acondicionados, productos finales diferenciados o biochar asociado a MRV, se requerirá un nivel de identificación más detallado.

Para el **Modelo de Negocio 1**, la **unidad principal de trazabilidad** será el **lote de madera**, entendido como el conjunto de trozas, piezas o productos maderables que comparten un mismo origen legal y documental, y que se encuentran asociados a un permiso, autorización, plan de manejo forestal o documento equivalente, así como al respectivo SUNL para su movilización.

Esta unidad principal no significa que la trazabilidad inicie únicamente en el lote. Por el contrario, la trazabilidad debe poder reconstruir la información desde el **NDFyB o área autorizada**, pasando por el **árbol** y la **troza**, hasta la conformación del lote de madera. Sin embargo, para efectos operativos, comerciales y de control, el lote se constituye en la unidad base sobre la cual se registran los volúmenes, especies, documentos soporte, eventos logísticos, transformaciones y destinos.

En consecuencia, el alcance de la trazabilidad no debe cerrarse en la empresa ancla, sino extenderse hasta el uso final del material en el sector construcción.

En este modelo, la trazabilidad debe demostrar el **origen legal**, la **especie**, el **volumen**, la **calidad técnica**, las **transformaciones aplicadas** y el **destino constructivo** del material. De esta manera, cada lote o pieza utilizada en obra podrá conservar el vínculo con su origen forestal y con los documentos oficiales que respaldan su aprovechamiento, movilización y transformación.

Asimismo, para el **Modelo de Negocio 2**, la **unidad principal de trazabilidad** será el **lote de madera.** No obstante, en este modelo la unidad de trazabilidad debe tener una característica adicional: debe permitir la **agregación y desagregación de lotes**. Esto significa que varios lotes provenientes de diferentes NDFyB o áreas autorizadas pueden ingresar a un centro de acopio, acondicionamiento y distribución, y posteriormente ser clasificados, secados, dimensionados o redistribuidos en **sublotes** según especie, densidad, humedad, calidad, dimensiones y demanda de los talleres especializados.

En este sentido, el **lote de origen** funciona como la unidad base para demostrar la legalidad, procedencia y movilización de la madera, mientras que el **sublote** se convierte en la unidad operativa para controlar los procesos de acondicionamiento, transformación secundaria, despacho a talleres y elaboración del producto final. Por tanto, cada sublote debe conservar el vínculo con el lote o los lotes originales de los cuales proviene.

En este modelo, la trazabilidad debe demostrar el **origen legal**, la **especie**, el **volumen**, la **calidad técnica**, los **procesos de clasificación, secado o dimensionamiento**, la **generación de sublotes**, el **despacho a talleres** y el **producto final obtenido**. De esta manera, un mueble, pieza de carpintería, acabado o solución arquitectónica podrá conservar el vínculo con la madera de origen y con los documentos oficiales que respaldan su aprovechamiento, movilización y transformación.

Siguiendo con el **Modelo de Negocio 3**, la **unidad principal inicial de trazabilidad** será el **lote madre de madera legal**, entendido como el conjunto de trozas, piezas o productos maderables que comparten un mismo origen legal y documental, y que se encuentran asociados a un permiso, autorización, plan de manejo forestal o documento equivalente. Este lote madre constituye la base para demostrar la procedencia legal de la madera que ingresa a las empresas transformadoras que harán parte de la red.

En este modelo la trazabilidad debe extenderse hacia los **residuos y subproductos generados**, la **biomasa preparada**, el **biochar producido**, su **uso agrícola o ambiental** y, cuando aplique, los registros asociados al **MRV** y a la eventual generación de **créditos de carbono**.

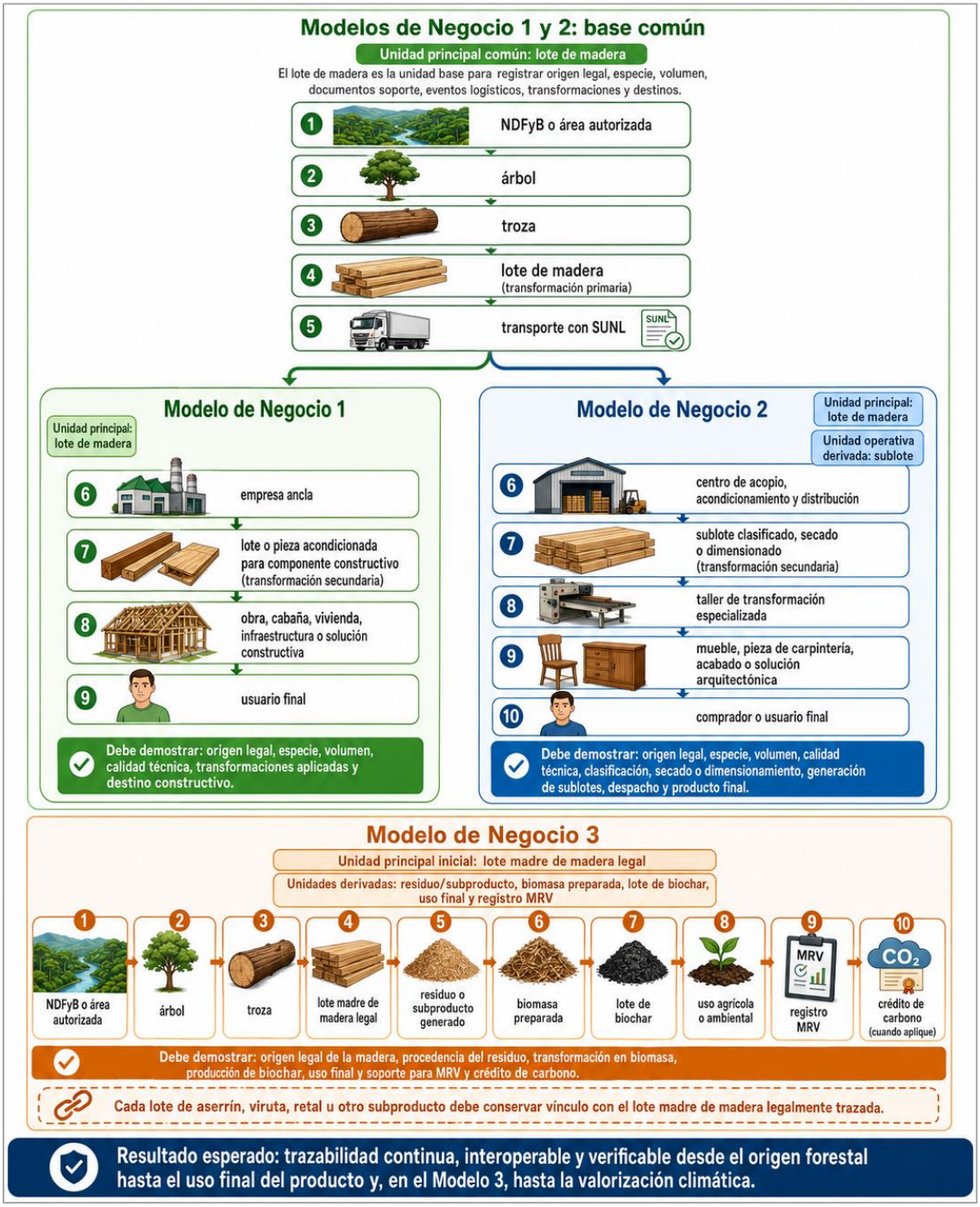
En este sentido, el Modelo de Negocio 3 debe manejar una trazabilidad por **unidades derivadas**. Esto significa que, a partir del lote madre de madera legal, se generan nuevas unidades de seguimiento: el lote de residuo o subproducto, el lote de biomasa preparada, el lote de biochar, el registro de uso final y el registro MRV. Cada una de estas unidades debe conservar el vínculo con la unidad original, es decir, con el lote madre de madera legalmente trazada.

En este modelo, los residuos no deben tratarse como materiales independientes o aislados. Cada lote de aserrín, viruta, retal u otro subproducto debe conservar relación con el lote madre de madera legalmente trazada, así como con la empresa que lo generó, el proceso del cual proviene, el volumen o peso registrado y las condiciones técnicas relevantes, como humedad y tipo de residuo.

De esta manera, la trazabilidad del Modelo de Negocio 3 debe demostrar no solo el **origen legal de la madera**, sino también la **procedencia del residuo**, la **transformación en biomasa**, la **producción de biochar**, el **destino o uso final del producto** y, cuando corresponda, la información necesaria para soportar el **MRV** y la eventual valorización climática mediante créditos de carbono.

La siguiente figura presenta las secuencias de trazabilidad por modelo de negocio, según lo descrito anteriormente.

Figura 3. Secuencias de trazabilidad por modelo de negocio.



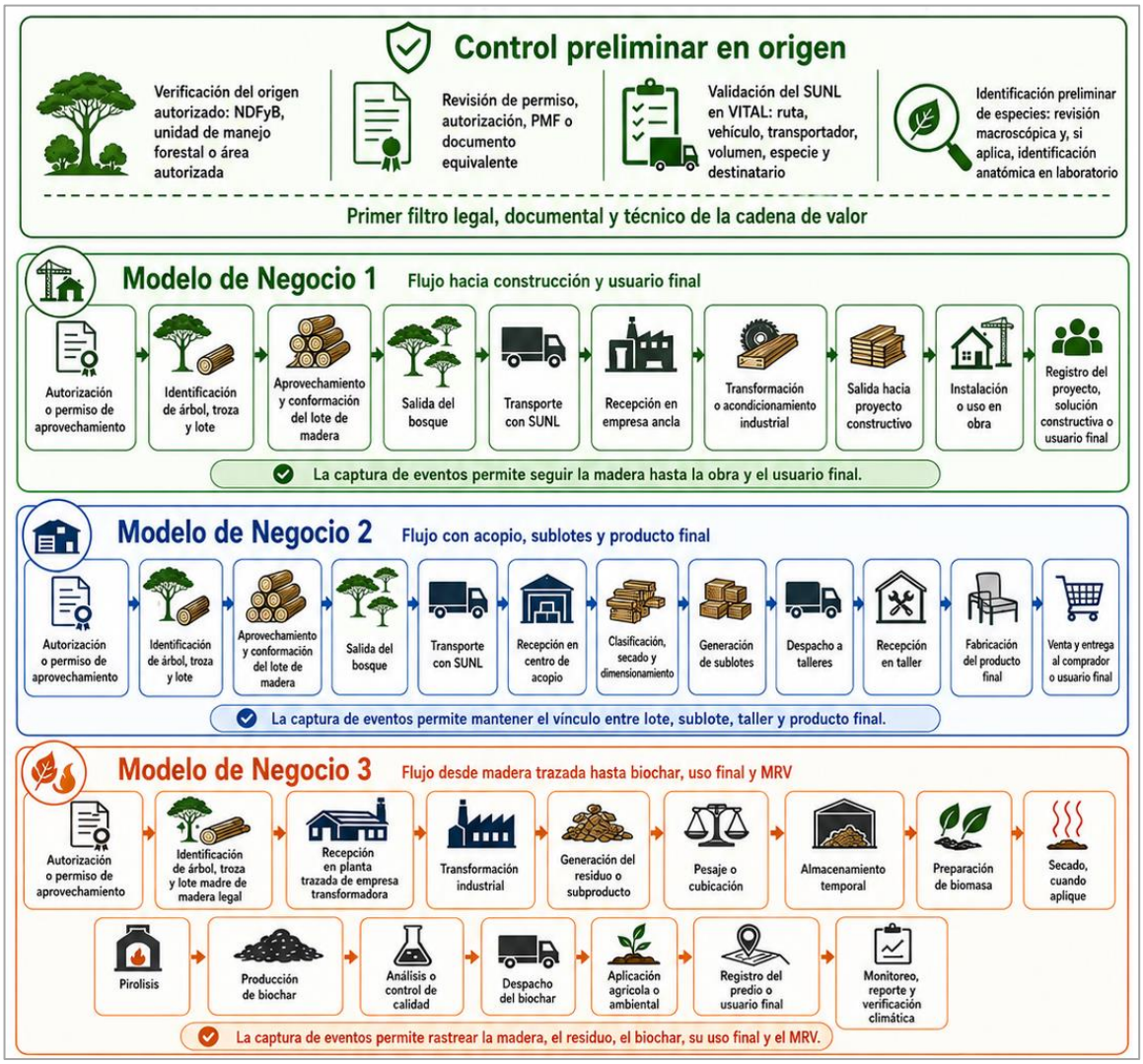
Fuente: Geotem SAS.

2.5.2 Fase 2. Definición de eventos críticos y datos obligatorios del sistema

La segunda fase define los momentos en los que será obligatorio capturar información. Estos eventos permiten reconstruir la trayectoria del material y verificar que no existan rupturas entre el origen, la movilización, la transformación, el destino comercial y el uso final. En esta fase también se incorpora el **control preliminar en origen**, entendido como el primer filtro legal, documental y técnico de la cadena de valor.

En ese sentido, la siguiente figura consolida lo planteado en esta fase.

Figura 4. Eventos críticos y datos obligatorios.





Fuente: Geotem SAS.

Como parte del **control preliminar en origen**, se deberá verificar que la madera provenga de un NDFyB, unidad de manejo forestal o área autorizada, debidamente respaldada por permiso, autorización, plan de manejo forestal o documento equivalente expedido por la autoridad ambiental competente. Esta verificación deberá incluir la revisión de la vigencia del instrumento que habilita el aprovechamiento, así como la correspondencia entre el material aprovechado, el volumen autorizado, la especie reportada y el destino previsto.

De igual manera, el **Salvoconducto Único Nacional en Línea —SUNL—** deberá estar debidamente diligenciado en la plataforma VITAL, verificando que la ruta, el vehículo, el transportador, el volumen, la especie y el destinatario coincidan con la operación logística planificada. Esta validación es fundamental para asegurar que la movilización del lote de madera se encuentre soportada en los instrumentos oficiales y que pueda enlazarse posteriormente con los registros de recepción, transformación y destino.

En esta fase también se realizará la **identificación preliminar de especies**, mediante guías de identificación de maderas, revisión macroscópica y, cuando existan dudas o se trate de especies de alto valor o mayor riesgo, toma de muestras para identificación anatómica en laboratorio. El nombre científico registrado en el SUNL deberá corresponder con las características observadas de la madera y, además, deberá homologarse con el nombre comercial utilizado en el mercado de Cundinamarca y la Sabana de Bogotá. Esto facilitará su integración en catálogos técnicos, fichas de lote y registros de los transformadores aliados.

Este control en origen no reemplaza la validación técnica posterior, pero permite reducir el riesgo de transportar material no conforme, disminuir costos logísticos, prevenir inconsistencias documentales y fortalecer la confiabilidad de la información que alimentará las siguientes fases de la trazabilidad.

2.5.3 Fase 3. Arquitectura híbrida de identificación física y registro digital

La tercera fase consiste en definir las herramientas físicas y digitales que permitirán identificar el material, vincularlo con su expediente documental y asegurar que la información capturada en las fases anteriores acompañe al producto durante su movilización, transformación, comercialización y uso final. La arquitectura propuesta debe

ser híbrida, escalable, de bajo costo y adaptable a condiciones de baja conectividad, especialmente en los NDFyB, áreas de aprovechamiento y rutas iniciales de transporte.

Esta fase cobra especial relevancia si se considera que en Colombia aún no existe un sistema nacional estandarizado de marcaje físico de la madera y que las experiencias con códigos QR, códigos de barras u otros mecanismos de marcaje han sido puntuales. Por tanto, no se trata únicamente de seleccionar una tecnología, sino de cerrar una brecha operativa del sistema actual mediante herramientas que permitan conectar el producto físico con su respaldo legal, documental, técnico y comercial.

La base mínima recomendada para la arquitectura de trazabilidad será:

- Código único de lote
- Etiqueta física
- Código QR
- ficha de seguimiento por lote
- Expediente digital
- Aplicación móvil con operación offline y sincronización posterior.

Frente al **código único de lote** será el identificador principal que vincule la madera con su origen legal, el permiso, autorización, plan de manejo forestal o documento equivalente, así como con el respectivo SUNL para su movilización. Este código deberá permitir enlazar el material con su expediente digital, en el cual se integren los documentos soporte, los datos técnicos, los eventos logísticos, los registros de transformación, los saldos, los destinos y, cuando aplique, la información asociada a subproductos, residuos, biochar o MRV.

Por su parte, el **código QR** no reemplaza los documentos oficiales ni sustituye el SUNL, el LOFL, VITAL o los instrumentos expedidos por la autoridad ambiental. Su función es servir como mecanismo de consulta y enlace entre el material físico —lote, sublote, paquete, pieza, producto final, residuo, biomasa o biochar— y el expediente digital correspondiente. En este sentido, el QR debe permitir acceder a información trazable, verificable y organizada, sin crear un sistema paralelo de trámites o salvoconductos.

En los **NDFyB y durante el transporte inicial**, la opción más apropiada es utilizar una base de serialización única asociada al lote, código QR y una aplicación móvil con operación offline, de tal manera que los actores puedan registrar información en campo y sincronizarla posteriormente cuando exista conectividad. Para especies de alto valor, flujos de mayor riesgo o pilotos específicos, podrá evaluarse el uso de RFID, etiquetas reforzadas o mecanismos adicionales de marcaje físico. En cambio, en entornos industriales y comerciales más controlados, el QR suele ser suficiente por su menor costo, facilidad de lectura y aplicabilidad a lotes, paquetes, sublotes o productos finales.

Dentro de esta fase también se articulan los instrumentos de legalidad y trazabilidad documental. El SUNL constituye el instrumento oficial primario para verificar la movilización de la madera y su correspondencia con lo autorizado en el permiso, plan de manejo forestal o documento equivalente. Por ello, el sistema propuesto debe enlazar el código único del lote con el SUNL correspondiente, de manera que pueda verificarse la consistencia entre

el volumen autorizado, el volumen movilizado, la especie, la ruta, el transportador, el destinatario y el material efectivamente recibido.

De manera complementaria, se propone implementar **fichas de seguimiento por lote**, que permitan vincular el volumen transado con su procedencia específica, especie, dimensiones, fecha de extracción, responsable, estado del material, datos de movilización y destino previsto. Estas fichas permiten que la información técnica acompañe físicamente al producto y facilitan su integración posterior en los registros de recepción, transformación, control de calidad, inventarios y comercialización (Visión Amazonía, 2023).

Una vez realizada la validación preliminar de legalidad, calidad y especie prevista en la Fase 2, se procede a la **individualización del lote** mediante la asignación de un código único. El etiquetado físico podrá realizarse mediante marcas indelebles, etiquetas con código QR, códigos de barras o etiquetas resistentes ubicadas en los extremos de piezas, paquetes o unidades agrupadas. Estas etiquetas deberán incorporar o enlazar información básica sobre especie, dimensiones iniciales, fecha de extracción, código de lote, documento soporte y destino previsto.

Como soporte complementario, podrá emitirse una **Declaración de Procedencia —DP—** o constancia interna de origen y control preliminar, en la cual el responsable en origen certifique que el lote ha sido identificado, revisado y asociado a los documentos legales y técnicos correspondientes. Esta declaración no reemplaza los documentos oficiales, pero puede servir como soporte operativo para la recepción del material por parte del centro de acopio, la empresa ancla o la empresa transformadora integrante de la red.

Figura 5. Aplicación de la arquitectura híbrida de identificación física y registro digital.





Fuente: Geotem SAS.

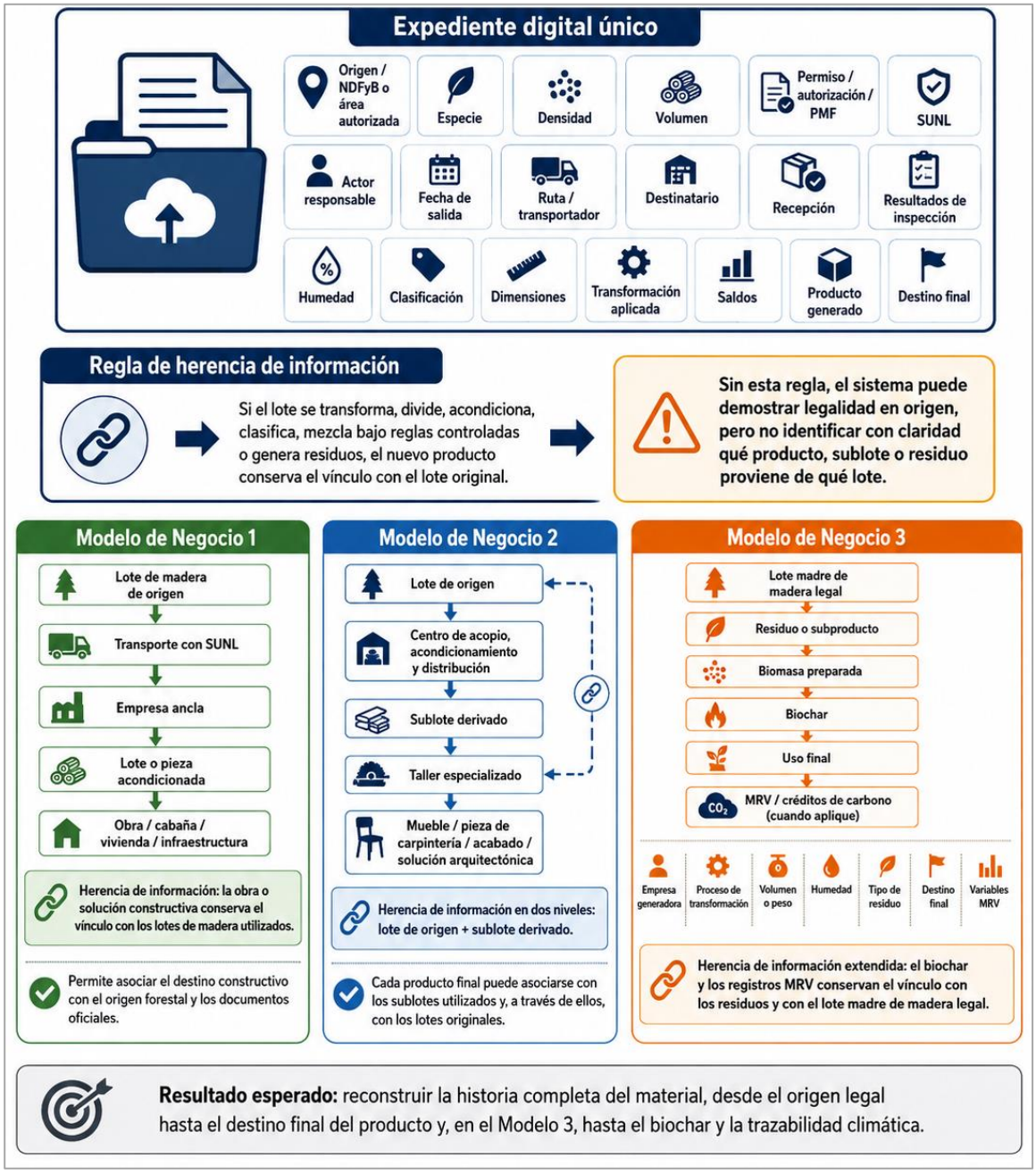
En resumen, esta fase define la arquitectura que permite que la trazabilidad pase del registro documental al vínculo efectivo entre material físico, identificador único, soporte legal, información técnica y destino. De esta manera, se fortalece la continuidad de la información a lo largo de la cadena y se facilita la consulta, verificación y comunicación de la trazabilidad por parte de productores, centros de acopio, empresas ancla, transformadores, usuarios finales y actores vinculados al aprovechamiento de residuos o biochar.

2.5.4 Fase 4. Expediente digital único por lote y reglas de herencia de información

La cuarta fase consiste en estructurar el **expediente digital único**, entendido como el registro ordenado que integra la información legal, técnica, logística, comercial, ambiental y, cuando aplique, climática asociada al material trazado. Este expediente será la columna vertebral del sistema, porque permite conectar el material físico con su origen legal, los documentos soporte, los eventos registrados, las transformaciones realizadas, los saldos, los productos derivados y el destino final.

La siguiente figura consolida lo que se plantea para esta fase y los tres modelos de negocio.

Figura 6. Expediente digital único y reglas de herencia de información para cada modelo de negocio.



Fuente: Geotem SAS.

Esta fase también responde a la necesidad de integrar mejor los distintos sistemas de información y de aprovechar la trazabilidad no solo como mecanismo de control, sino como herramienta para la toma de decisiones sectoriales (Arévalo, 2023). En este sentido, el expediente digital debe permitir organizar información útil para autoridades, productores, centros de acopio, empresas ancla, transformadores, usuarios finales y actores vinculados al aprovechamiento de residuos o biochar.

De manera complementaria, en esta fase se consolidan las **fichas técnicas por lote, sublote o producto derivado**. Estas fichas deben vincular la información del material con su especie, grado de calidad, dimensiones, contenido de humedad, clasificación comercial, ubicación en inventario, proceso aplicado y destino. Así, el expediente digital no solo cumple una función documental, sino que también acompaña el producto con información técnica que facilita su aceptación en el mercado de Cundinamarca y mejora la confianza entre los actores de la cadena.

En síntesis, esta fase asegura que la trazabilidad no se pierda cuando la madera se transforma, se divide, se acondiciona, se convierte en producto final o genera residuos. Su resultado esperado es contar con un expediente digital que permita reconstruir la historia completa del material, desde el origen legal hasta el destino final del producto y, en el Modelo de Negocio 3, hasta la producción de biochar, su uso final y la información necesaria para MRV o valorización climática.

2.5.5 Fase 5. Cadena de custodia y control operativo

La quinta fase corresponde a la implementación de la **cadena de custodia operativa** del sistema. Su propósito es demostrar la continuidad física y documental del material entre cada actor de la cadena, desde la recepción del lote hasta su transformación, despacho, uso final o aprovechamiento como residuo. En esta fase ya no basta con rastrear documentos; es necesario verificar que la madera, los sublotes, los productos derivados o los residuos correspondan efectivamente con la información registrada en el expediente digital, el SUNL, las fichas técnicas y los inventarios internos.

La cadena de custodia debe incorporar procedimientos de **recepción, verificación, segregación, almacenamiento, transformación, control de mezcla, conciliación de volúmenes, registro de saldos, despacho y verificación de entrega**. Esta lógica es coherente con los estándares internacionales de cadena de custodia, en los que se exige identificar y seguir los materiales forestales durante los procesos de manufactura y distribución, así como conservar registros de producción, compra y venta.

En términos operativos, cada cambio de custodia debe quedar asociado a un responsable, una fecha, una ubicación, un documento soporte, una evidencia de entrega y un estado del material. De esta manera, la trazabilidad permite demostrar qué madera entró, qué proceso recibió, qué volumen se transformó, qué merma o residuo se generó, qué producto salió y a qué destino fue remitido.

La siguiente figura muestra los controles transversales a los tres modelos de negocio.

Figura 7. Controles transversales a los tres modelos de negocio.



Fuente Geotem SAS.

En ese sentido, para el **Modelo de Negocio 1**, la cadena de custodia debe cubrir la relación **NDFyB – empresa ancla – sector construcción – usuario final**. El control operativo debe verificar que la madera recibida por la empresa ancla coincida con el SUNL, el expediente del lote, la especie, el volumen, la calidad técnica y las condiciones pactadas. Cuando la madera tenga destino estructural o semiestructural, deberán incorporarse criterios de aptitud técnica compatibles con las exigencias del sector construcción. La cadena de custodia no debe cerrarse en la empresa ancla, sino extenderse hasta el lote o pieza

acondicionada para componente constructivo, la obra, cabaña, vivienda, infraestructura o solución constructiva y, cuando sea posible, el usuario final.

En el caso del **Modelo de Negocio 2**, los **Centros de Acopio, Acondicionamiento y Distribución —nodos de agregación de valor—** cumplen una función técnica central dentro de la cadena de custodia, porque no solo reciben y almacenan madera, sino que actúan como filtros de calidad, plataformas de estandarización comercial y puntos de generación de sublotes trazables. Su función es recibir la madera proveniente de los NDFyB o áreas autorizadas, verificar su correspondencia documental y física, estabilizarla técnicamente y prepararla para su despacho hacia talleres de transformación especializada en Cundinamarca.

Al ingreso al centro, cada lote deberá someterse a un control de recepción que incluya el cotejo del SUNL, la Declaración de Procedencia o soporte equivalente, el código único del lote, la especie reportada, el volumen recibido y el estado físico del material después del transporte. Esta revisión deberá identificar daños mecánicos, manchas fúngicas, ataque de insectos, deformaciones, grietas, humedad excesiva o cualquier condición que pueda afectar su aptitud para transformación o comercialización (Moreno, 2003).

Posteriormente, la madera deberá ser sometida a **clasificación comercial, escuadrado y dimensionamiento**, de acuerdo con las exigencias del mercado de Cundinamarca y con el uso final previsto. Para ello, el material deberá separarse por especie o grupo funcional, densidad, grado de calidad, longitudes, anchos y espesores uniformes. Cuando sea necesario, podrán realizarse cortes de saneamiento para eliminar defectos, ajustar las piezas a medidas comerciales o preparar sublotes conforme a las demandas reales de talleres de mobiliario, carpintería especializada, acabados o soluciones arquitectónicas. Cuando resulte aplicable, esta clasificación podrá apoyarse en referentes técnicos como la NTC 1646, sin perjuicio de los ajustes requeridos para maderas nativas de bosque natural.

El almacenamiento en los Centros de Acopio constituye una etapa de acondicionamiento técnico. La madera deberá apilarse bajo techo, en bodegas ventiladas, separada del suelo, protegida de la lluvia, de la radiación solar directa y de fuentes de humedad. El apilado deberá realizarse con separadores de espesor uniforme, colocados de manera alineada, para permitir la circulación de aire entre las piezas y reducir el riesgo de encorvamientos, alabeos, proliferación de hongos, grietas superficiales, manchas o cambios de coloración que puedan disminuir el valor comercial del material (Guzmán, 2004).

El **secado y control de humedad** constituye uno de los procesos más críticos del centro, especialmente cuando la madera proviene de regiones con condiciones climáticas diferentes a las de la Sabana de Bogotá. El contenido de humedad deberá medirse al ingreso, durante el acondicionamiento y antes del despacho, utilizando los métodos disponibles según la capacidad operativa del centro, tales como medidores eléctricos o métodos de referencia cuando sea necesario. En los casos en que se utilicen normas técnicas como la NTC 206-1 o la NTC 206-3 (ICONTEC, 2005; ICONTEC, 2011), estas deberán aplicarse de acuerdo con la capacidad del operador, la especie, el producto y el uso final previsto.

Como criterio de referencia para productos destinados a carpintería, mobiliario, acabados o soluciones arquitectónicas en la Sabana de Bogotá, podrá buscarse un contenido de humedad cercano al equilibrio higroscópico requerido en destino. No obstante, para maderas nativas de bosque natural, este rango no debe asumirse como un valor único para todas las especies, sino como un parámetro ajustable según especie o grupo funcional, densidad, dificultad de secado, tipo de pieza, uso final y ficha técnica. Una vez alcanzado el rango de humedad definido para el uso previsto, el centro podrá emitir una constancia o certificación de secado por lote o sublote.

Finalmente, cada Centro de Acopio deberá mantener un sistema de inventarios y trazabilidad interna, articulado con la lógica del LOFL y con el expediente digital del lote. Este sistema deberá registrar entradas, salidas, clasificación, secado, dimensionamiento, generación de sublotes, mermas, saldos y despachos. Una vez procesada, clasificada o secada, la madera deberá recibir una identificación final que vincule el lote de origen con el sublote generado e incluya, como mínimo, especie o grupo funcional, grado de calidad, dimensiones, contenido de humedad, destino previsto y responsable del control. De esta manera, el sublote despachado al taller especializado conserva su vínculo con el origen legal y con los registros de control físico, técnico y documental.

Asimismo, para atender los criterios de aceptación, aceptación condicionada, cuarentena, escalamiento o rechazo del material, se recomienda que cada **Centro de Acopio, Acondicionamiento y Distribución** —como nodo de agregación de valor— implemente la **Matriz de Defectos Críticos, Cadena de Custodia y Criterios de Aceptación/Rechazo**, ajustada a las particularidades de las maderas nativas de bosque natural y a los flujos operativos de los tres modelos de negocio. Esta matriz debe funcionar como una herramienta operativa de apoyo a la decisión para evaluar lotes, sublotes, piezas, residuos, biomasa o biochar, con base en evidencia documental, física, técnica y de trazabilidad. Su propósito no es reemplazar el SUNL, el LOFL, el expediente digital ni las decisiones de la autoridad ambiental, sino estandarizar el control operativo y técnico del material trazado, reducir riesgos de mezcla, pérdida de identidad, rechazo por calidad o uso de residuos sin vínculo con lote madre legal.

La matriz debe diferenciar entre cuatro tipos de criterios. Los **criterios universales no negociables** corresponden a aspectos que comprometen la legalidad, la trazabilidad, la identidad del lote, la integridad documental, la cadena de custodia, la sanidad básica o riesgos graves del sistema, y no deben flexibilizarse por especie, grupo funcional, densidad, uso final, mercado o destino comercial. En esta categoría se incluyen, entre otros: ausencia o vencimiento de permisos, autorizaciones, PMF o documentos equivalentes; inconsistencias en el SUNL; especie no coincidente con el expediente del lote; diferencias relevantes entre volumen documental y físico; pérdida de identidad del lote; mezcla de madera trazada con madera sin soporte; adulteración documental; presencia activa de insectos xilófagos; pudrición avanzada; residuos sin vínculo con lote madre; biomasa contaminada; o doble contabilidad en procesos de carbono. Estos casos deberán generar rechazo, cuarentena estricta o escalamiento a la instancia correspondiente, según la gravedad del hallazgo.

Por su parte, los **criterios ajustables por especie o uso** deberán evaluarse considerando la especie, el grupo funcional, la densidad, la dificultad de secado, el uso final previsto, la ficha técnica disponible y el desempeño observado en pilotos, ensayos o procesos de transformación. En esta categoría se incluyen variables como humedad, gradiente de humedad, nudos, grietas, rajaduras, alabeos, arqueaduras, manchas superficiales, desviaciones dimensionales, trabajabilidad, estabilidad dimensional y aptitud para construcción, mobiliario o carpintería. Dado que las maderas nativas presentan alta variabilidad anatómica, física y mecánica, estos parámetros no deben aplicarse como umbrales únicos para todas las especies, sino como criterios parametrizables por ficha técnica, grupo funcional, destino comercial y desempeño esperado.

La matriz también incorpora **criterios ajustables por proceso**, especialmente relevantes para el acopio, almacenamiento, secado, preparación de biomasa, pirólisis, balance de masa, biochar y MRV. Estos criterios permiten ajustar la evaluación según las condiciones operativas o tecnológicas de cada etapa. En el Modelo de Negocio 3, por ejemplo, la humedad de biomasa, el tipo de residuo, la preparación del material, el rendimiento de pirólisis, la calidad del biochar y la consistencia del MRV deben analizarse en función del proceso aplicado, la tecnología disponible y el protocolo operativo definido. Adicionalmente, la matriz contempla criterios de **calibración progresiva**, aplicables cuando no existe información técnica suficiente sobre una especie, grupo funcional, uso nuevo o material determinado. En estos casos, se debe adoptar una decisión conservadora, mediante cuarentena técnica, aceptación condicionada, ensayo adicional, piloto, micro-lote, uso no crítico o exclusión temporal de usos estructurales, semiestructurales, MRV o carbono.

La estructura mínima de la matriz deberá incluir, como mínimo: ID del criterio; modelo de negocio al que aplica; etapa o nodo de control; tipo de origen; especie o grupo funcional; grupo de densidad; dificultad de secado; uso final previsto; tipo de criterio; dimensión del riesgo; defecto o riesgo crítico; descripción; método de verificación; criterio de aceptación; condición para aceptación condicionada o cuarentena técnica; causal de rechazo o escalamiento; acción correctiva; evidencia mínima; responsable sugerido; necesidad de validación técnica; parámetro configurable; decisión conservadora cuando no exista ficha de especie; regla específica para maderas nativas; fuente y URL de soporte. Esta estructura permite que la matriz no sea solo una lista de defectos, sino una herramienta de gestión, trazabilidad, control de calidad, asignación de responsabilidades y mejora continua.

Como regla operativa, deberán considerarse defectos críticos de rechazo, cuarentena estricta o escalamiento aquellos que comprometan la legalidad, la identidad, la trazabilidad, la sanidad básica, la integridad documental o la aptitud mínima del material. En esta categoría se incluyen, entre otros: especie no coincidente con el SUNL o con el expediente del lote; diferencias relevantes entre el volumen documental y el volumen físico recibido; pérdida del vínculo entre el lote físico y su código único; mezcla con madera sin soporte; presencia activa de insectos xilófagos; pudrición avanzada; hongos activos que comprometan la integridad de la madera; fracturas o rajaduras severas; alabeos, torceduras o arqueaduras incompatibles con el uso previsto; humedad excesiva sin posibilidad razonable de acondicionamiento; ausencia de soporte legal o documental; residuos sin lote

madre trazable; biomasa contaminada; balance de masa inconsistente; biochar sin destino verificable; o riesgo de doble contabilidad en procesos de carbono.

Los defectos moderados, tales como nudos sanos, manchas superficiales, desviaciones dimensionales menores, grietas localizadas, deformaciones corregibles o humedad por encima del rango objetivo, podrán dar lugar a **aceptación condicionada**, siempre que sea posible aplicar acciones correctivas como saneamiento, reclasificación, redimensionamiento, secado adicional, segregación por uso, generación de sublotes, degradación del destino comercial o validación técnica complementaria. Los defectos menores podrán aceptarse con observación, siempre que no afecten la seguridad, la estabilidad dimensional, la calidad exigida por el comprador, la trazabilidad del material ni la aptitud del producto para su uso final.

En todos los casos, los porcentajes, tolerancias o umbrales específicos para humedad, nudos, grietas, arqueaduras, alabeos, deformaciones, dimensiones, trabajabilidad, rendimiento de pirólisis o balance de masa deberán definirse en función de la especie o grupo funcional, el uso final, el tipo de producto, la tecnología aplicada y la evidencia técnica disponible. De esta manera, se evita aplicar un criterio uniforme a materiales con comportamientos distintos, se reduce el riesgo de rechazar innecesariamente madera nativa que puede ser apta para determinados usos y se previene la aceptación de material que no cumple las condiciones mínimas para construcción, mobiliario, carpintería especializada, transformación, biochar, MRV o créditos de carbono.

Finalmente, se recomienda que la matriz sea utilizada junto con la hoja de **Registro de Inspección**, las hojas de **Parámetros**, **Fuentes** y **Listas Desplegables**, de manera que cada hallazgo quede asociado a un responsable, una evidencia mínima, una decisión observada, una acción correctiva y un estado de seguimiento. Las listas desplegables permiten estandarizar el diligenciamiento, reducir errores de escritura, facilitar filtros y reportes, y mantener la matriz editable para incorporar aprendizajes de los pilotos, nuevas especies, nuevos usos, nuevos riesgos o ajustes técnicos derivados de la operación.

En los siguientes anexos se deja una propuesta al respecto.

Anexo 1. Matriz Defectos Críticos Cadena Custodia Aceptación Rechazo

Anexo 2. Guia Explicativa Matriz Defectos Críticos Criterios aceptación rechazo

Para el **Modelo de Negocio 3**, la cadena de custodia debe extenderse a los **subproductos y residuos**. Esto implica registrar qué residuos se generan, en qué cantidad, en qué proceso, a partir de qué lote madre y bajo responsabilidad de qué empresa. El sistema debe conciliar madera procesada, rendimiento, merma, residuo aprovechable, biomasa preparada y biochar producido. Cada lote de aserrín, viruta, retal u otro subproducto deberá conservar el vínculo con el lote madre de madera legalmente trazada, así como con la empresa generadora, el proceso que lo originó, el peso o volumen, la humedad, el almacenamiento temporal y el destino previsto.

La cadena de custodia del Modelo de Negocio 3 deberá incorporar controles de balance de masa. Esto significa comparar el volumen de madera procesada con los productos obtenidos, las mermas, los residuos aprovechables, la biomasa preparada y el biochar producido. Esta conciliación es indispensable para evitar que residuos sin procedencia demostrable ingresen al sistema y para asegurar que el biochar conserve la trazabilidad hacia la madera legal que le dio origen.

La siguiente figura presenta de manera consolidada la implementación de la fase para cada uno de los modelos de negocio.

Figura 8. Aplicación de la fase 5 por cada modelo de negocio.





Fuente: Geotem SAS.

De manera transversal, esta fase debe incorporar un **Protocolo de Alerta Temprana para Riesgos en la Cadena de Custodia**. Este protocolo deberá identificar, registrar y escalar señales de riesgo asociadas a posibles inconsistencias documentales, operativas o comerciales.

Entre las alertas mínimas se incluyen: adulteración o inconsistencias en documentos; diferencias entre volumen autorizado, movilizado y recibido; cambios no justificados de ruta o destinatario; fragmentación de la carga para evadir controles; mezcla de madera trazada con madera sin soporte; pérdida de identidad del lote durante el almacenamiento o reempaque; entrega a intermediarios no registrados; inconsistencias entre especie declarada y especie observada; o movimientos internos sin registro.

El protocolo deberá contemplar medidas de mitigación como marcaje indeleble, códigos QR, georreferenciación básica, verificación de entrega, registro fotográfico, actas de recepción, conciliación de inventarios, geocercas o seguimiento GPS en rutas críticas, y bloqueo preventivo de lotes cuando existan inconsistencias.

Estas medidas coinciden con los riesgos y controles planteados en el archivo adjunto, especialmente frente a adulteración documental, fragmentación de carga, pérdida de identidad del producto y fraude en destino.

Adicionalmente, se recomienda incluir mecanismos de **denuncia confidencial o anónima** y **auditorías forenses aleatorias**. Las denuncias deberán canalizarse a través de la instancia de cumplimiento, salvaguardas o gobernanza que se defina para los modelos de negocio, garantizando reserva del denunciante y trazabilidad del caso.

Las auditorías forenses aleatorias podrán incluir revisión cruzada de SUNL, expediente digital, inventarios, saldos, especies, volúmenes, rutas, registros fotográficos, pruebas de

identificación anatómica cuando proceda y verificación física de lotes o sublotes en centros de acopio, empresas ancla, talleres o puntos de aplicación de biochar.

En el siguiente anexo se deja la propuesta al respecto.

Anexo 3. Protocolo Alerta Temprana Cadena Custodia

En síntesis, esta fase asegura que la trazabilidad no se limite a una secuencia documental, sino que funcione como un mecanismo real de control físico, técnico y operativo.

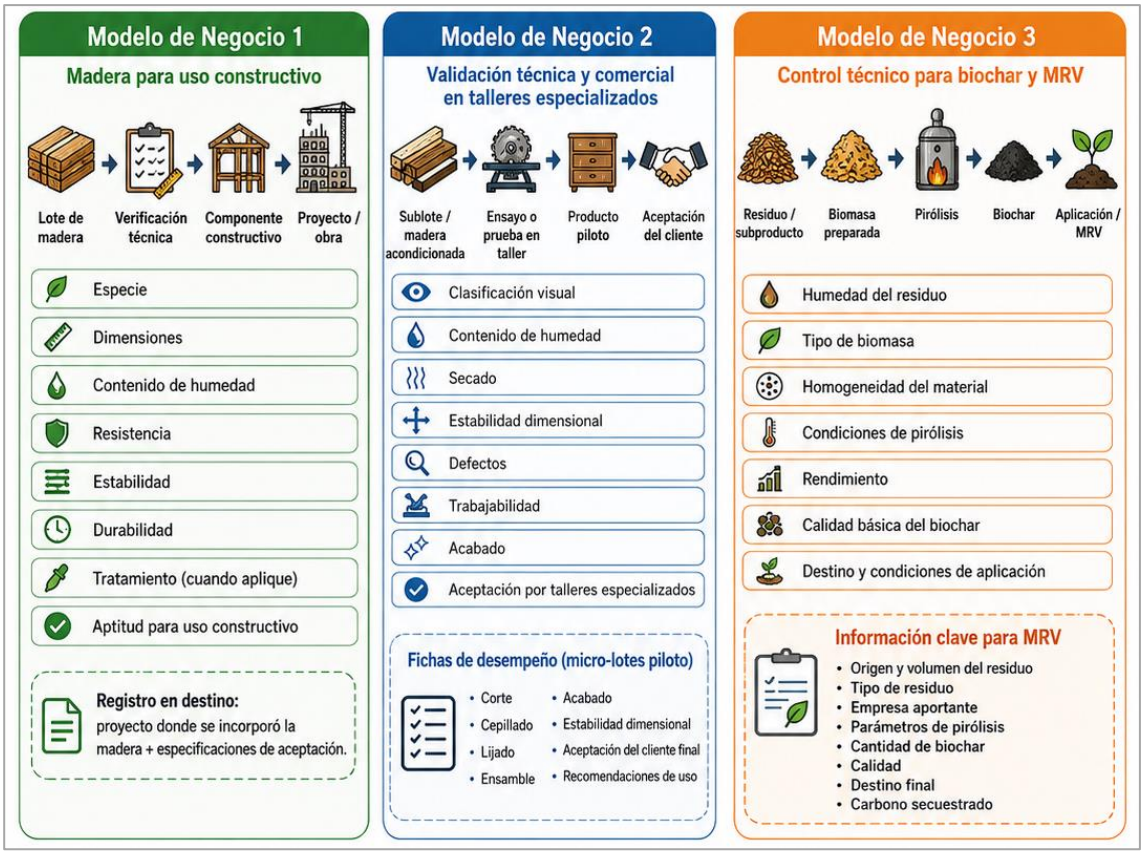
Su resultado esperado es contar con una cadena de custodia capaz de demostrar continuidad del material, prevenir mezclas no autorizadas, reducir riesgos de lavado de madera, verificar la calidad de los lotes, proteger la identidad del producto y fortalecer la confianza entre NDFyB, centros de acopio, empresas ancla, transformadores, usuarios finales y actores vinculados al aprovechamiento de residuos y biochar.

2.5.6 Fase 6. Control de calidad, validación técnica y aceptación en destino

La sexta fase establece los mecanismos de control técnico que permiten que la trazabilidad no sea solo documental, sino también funcional para el mercado. La siguiente figura presenta los aspectos relevantes para cada modelo de negocio.

Figura 9. Trazabilidad funcional para el mercado.





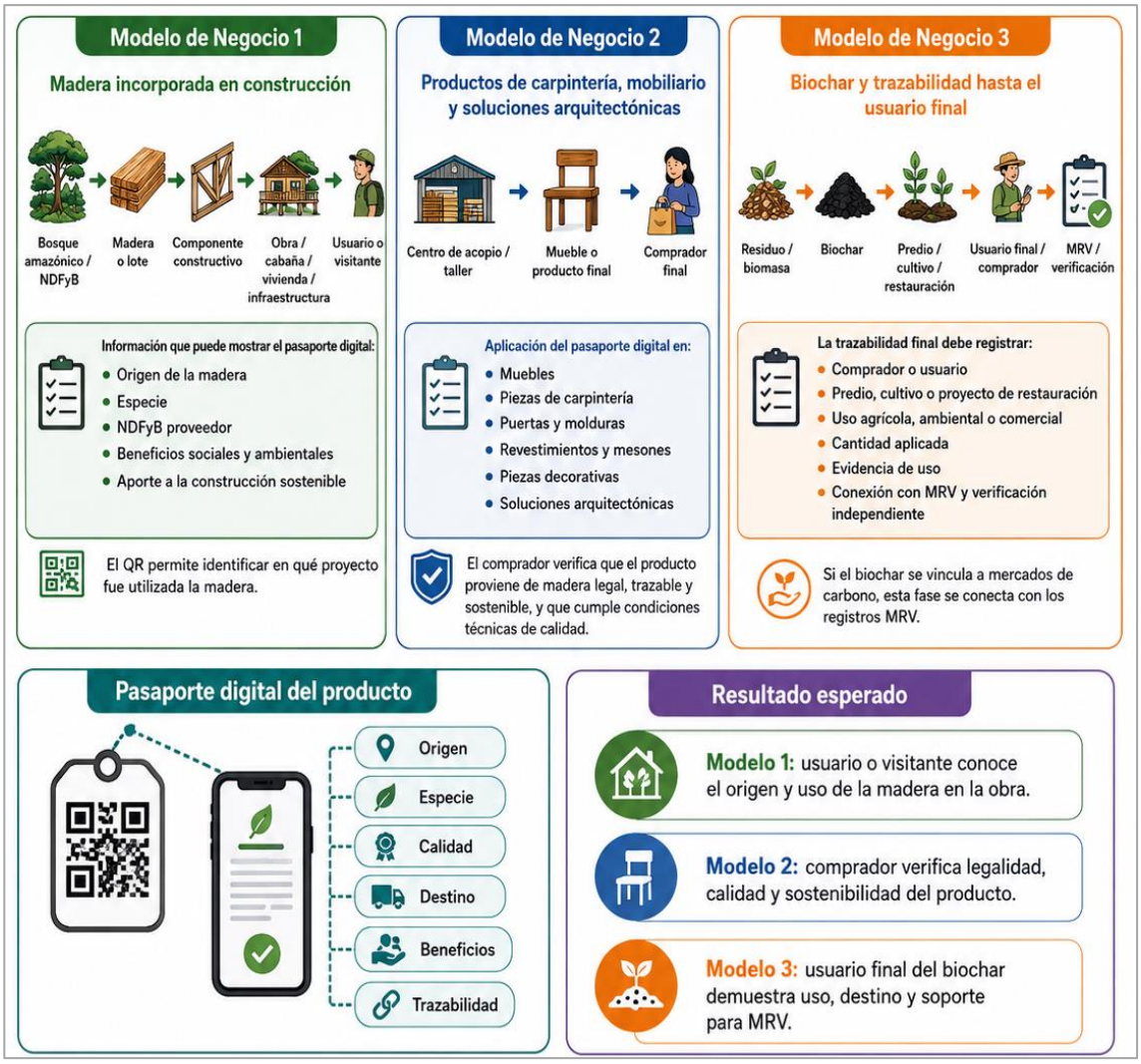
Fuente: Geotem SAS.

2.5.7 Fase 7. Trazabilidad del producto final y comunicación al usuario

Esta fase debe incorporarse de manera expresa, porque los modelos de negocio no terminan en la transformación industrial. La trazabilidad también debe servir para comunicar valor al mercado y al usuario final. En la siguiente figura se explica la aplicación de esta fase para cada modelo de negocio.

Figura 10. Trazabilidad para comunicar valor.





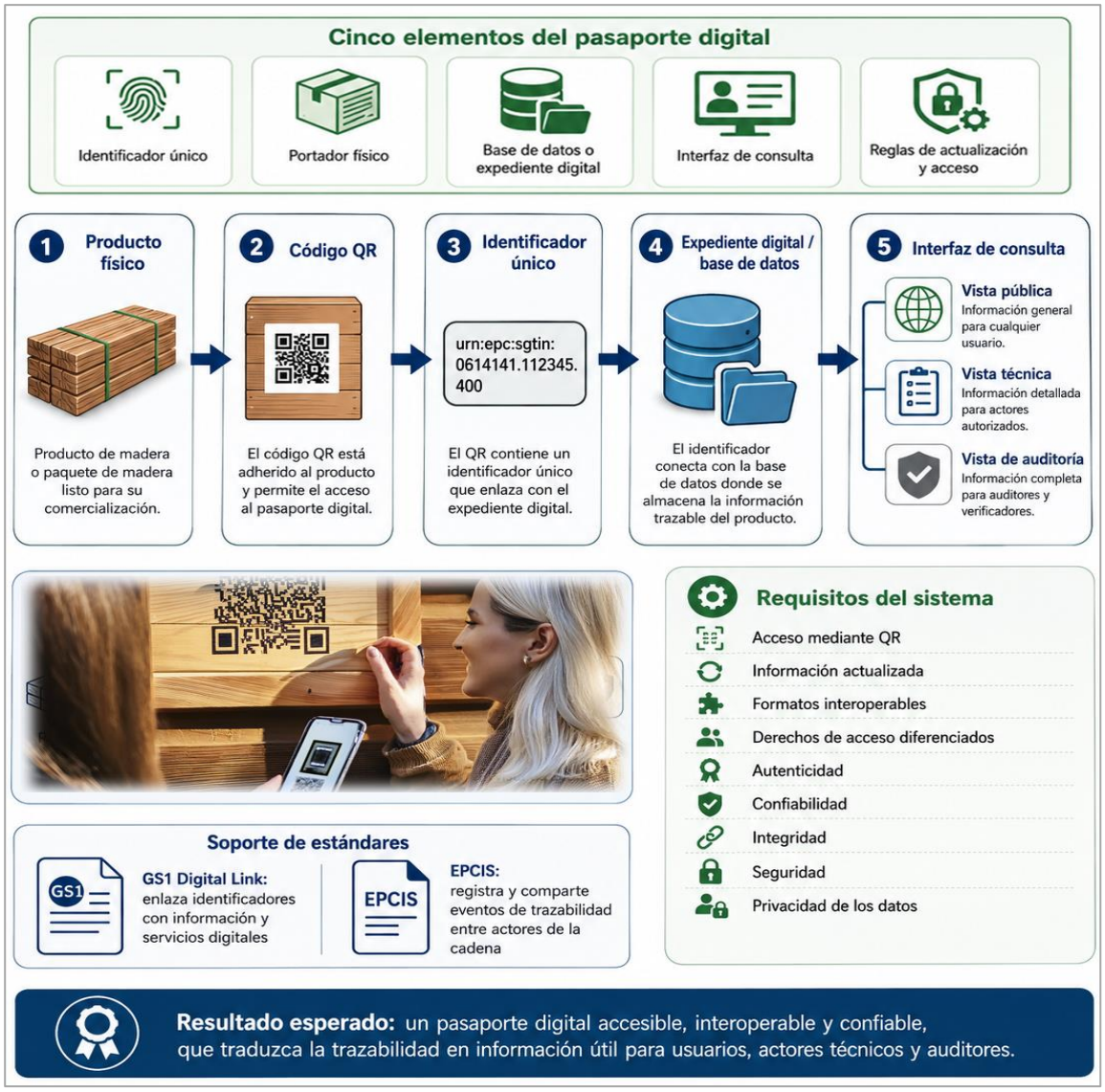
Fuente: Geotem SAS.

2.5.7.1 Diseño de un pasaporte digital

Con base en la Fase 7, el **pasaporte digital de la madera** debe entenderse como una herramienta de comunicación, consulta y verificación que conecta un producto físico con una ficha digital accesible mediante QR. No reemplaza el SUNL, el LOFL, VITAL ni los documentos oficiales; los referencia y los traduce en información comprensible para compradores, visitantes, arquitectos, talleres, usuarios de biochar o verificadores.

La siguiente figura presenta aspectos relevantes para tener en cuenta en su creación.

Figura 11. Creación de un pasaporte digital.



Fuente: Geotem SAS.

Asimismo, la siguiente tabla presenta los principales pasos a seguir en su creación.

Tabla 2. Pasos para construirlo.

Paso	Qué se define	Aplicación al pasaporte digital de la madera
1. Definir la unidad	Lote, sublote, pieza, producto, residuo, biochar	Cada pasaporte debe tener una unidad clara: lote de madera, mueble, componente constructivo o lote de biochar.

Paso	Qué se define	Aplicación al pasaporte digital de la madera
2. Crear identificador único	Código alfanumérico o URL estructurada	Ejemplo: PAS-MAD-NDF-ORO-2026-0001.
3. Asociar soporte físico	QR, etiqueta, placa, tag o NFC	El QR se fija al lote, producto, placa de obra, mueble o empaque de biochar.
4. Construir ficha digital	Información pública, técnica y documental	La ficha muestra origen, especie, calidad, documentos, destino, beneficios e historia territorial.
5. Definir niveles de acceso	Público, comprador, empresa, auditor, autoridad	El usuario ve información pedagógica; el auditor ve documentos soporte.
6. Registrar eventos	Aprovechamiento, transporte, recepción, transformación, uso final	Cada evento actualiza el expediente digital.
7. Validar información	Cruce con SUNL, expediente, fichas técnicas, inventarios, MRV	Evita que el pasaporte sea solo una pieza de comunicación sin respaldo.
8. Publicar interfaz	Página web liviana o visor móvil	Debe funcionar bien en celular y, si es posible, con versión descargable.
9. Mantener actualización	Responsable y periodicidad	El pasaporte debe actualizarse cuando cambia el estado del producto, destino o uso.

Fuente: Geotem SAS.

A continuación, se sintetizan los principales puntos del pasaporte digital para cada modelo de negocio.

Figura 12. Principales puntos a tener en cuenta - Pasaporte digital modelo de negocio 1.



Fuente: Geotem SAS.

Figura 13. Principales puntos a tener en cuenta - Pasaporte digital modelo de negocio 2.



Fuente: Geotem SAS.

Figura 14. Principales puntos a tener en cuenta - Pasaporte digital modelo de negocio 3.



Fuente: Geotem SAS.

2.5.7.1.1 Sección pedagógica

También es importante incluir la sección pedagógica sugerida: "¿**Por qué esta madera no es deforestación**?"

Esta sección debería aparecer en los pasaportes de los Modelos 1 y 2, y adaptarse al Modelo 3 como "¿Por qué este biochar proviene de biomasa legalmente trazada?". Debe traducir la trazabilidad técnica en lenguaje comprensible:

En ese sentido, se pueden manejar las siguientes preguntas del usuario.

Tabla 3. Preguntas del usuario.

Pregunta del usuario	Respuesta dentro del pasaporte
¿De dónde viene esta madera?	Del NDFyB o área autorizada indicada en el expediente.
¿La madera tiene soporte legal?	Sí, está asociada a permiso, autorización, PMF o documento equivalente y a movilización con SUNL.
¿Esto es deforestación?	No, corresponde a madera aprovechada bajo un esquema de manejo, autorización y trazabilidad.
¿Qué especie es?	Nombre común, nombre científico y principales características.
¿Quién se beneficia?	Productores, familias, NDFyB, empresas transformadoras y mercado formal.
¿Qué valor ambiental tiene?	Promueve uso de madera legal, manejo forestal, trazabilidad y sustitución de materiales de mayor impacto.

Fuente: Geotem SAS.

2.5.7.1.2 Diseño recomendado de la ficha del pasaporte

Las siguientes tablas presentan la estructura recomendada para el diseño de las fichas del pasaporte digital, incorporando los aspectos clave que deben considerarse en cada modelo de negocio. La propuesta contempla tres niveles de visualización: una vista pública dirigida al usuario final, una vista técnica destinada a los actores de la cadena y una vista restringida orientada a procesos de auditoría, verificación y control.

Tabla 4. Vista pública para usuario final.

Campo	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
Nombre del pasaporte	Pasaporte digital de madera en construcción	Pasaporte digital del producto en madera	Pasaporte digital del biochar
Código QR	En obra, placa, componente o certificado	En producto, etiqueta, empaque o factura	En empaque, certificado o acta de aplicación
Origen	NDFyB / área autorizada	NDFyB / centro de acopio / taller	Lote madre de madera legal / empresa generadora
Producto	Componente constructivo	Mueble, carpintería o solución arquitectónica	Biochar
Información técnica	Especie, humedad, dimensiones, aptitud constructiva	Especie, calidad, secado, acabado, mantenimiento	Humedad, biomasa, pirólisis, calidad básica
Historia territorial	Beneficios sociales y ambientales	Beneficios sociales y ambientales	Aprovechamiento de residuos y economía circular
Destino	Obra, vivienda, cabaña o infraestructura	Comprador o uso final del producto	Predio, cultivo, restauración o uso ambiental

Campo	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
Atributo diferencial	Construcción sostenible con madera legal	Producto legal, trazable y sostenible	Biochar trazable con soporte MRV

Fuente: Geotem SAS.

Tabla 5. Vista técnica para actores de la cadena.

Campo técnico	Contenido
Identificador único	Código de lote, sublote, producto, residuo o biochar.
Documentos soporte	SUNL, LOFL cuando aplique, permiso, autorización, PMF o documento equivalente.
Eventos trazables	Recepción, transformación, secado, despacho, instalación, aplicación o MRV.
Calidad	Humedad, clasificación, dimensiones, defectos, aceptación.
Evidencias	Fotografías, actas, registros, fichas técnicas, ubicación general.
Responsable	Actor que cargó, validó o actualizó la información.
Estado	Activo, instalado, vendido, aplicado, verificado, retirado o cerrado.

Fuente: Geotem SAS.

Tabla 6. Vista restringida para auditoría.

Campo restringido	Uso
Soportes completos	Verificación por autoridad, auditor o instancia de cumplimiento.
Coordenadas sensibles	Solo si su divulgación no genera riesgos para comunidades o áreas de aprovechamiento.
Informes de inspección	Revisión de calidad, defectos, cuarentena o rechazo.
MRV completo	Verificación climática y soporte de créditos de carbono.
Historial de cambios	Control de integridad, auditoría y responsabilidad.

Fuente: Geotem SAS.

2.5.7.1.3 Recomendación de implementación progresiva

La primera versión puede ser un **MVP[1] del pasaporte digital**, es decir, una ficha web sencilla vinculada a un QR. No se requiere iniciar con blockchain ni con una plataforma compleja. Lo más importante es que el pasaporte tenga buen diseño de datos, vínculo con el expediente digital y reglas claras de actualización.

MVP recomendado:

1. QR único por lote, sublote, producto o biochar.
2. Página web o ficha digital liviana.
3. Datos públicos simplificados.
4. Documentos oficiales referenciados, no necesariamente expuestos completos.
5. Mapa de origen a escala segura.

[1] **Minimum Viable Product**, en español **producto mínimo viable.**

6. Historia territorial y sección pedagógica.
7. Evidencia fotográfica.
8. Estado del producto.
9. Registro de actualizaciones.
10. Vista restringida para auditoría.

2.5.8 Fase 8. Integración trazabilidad de Residuos, biomasa, biochar y MRV

Esta fase aplica de manera específica al **Modelo de Negocio 3**, aunque se alimenta de la trazabilidad generada en los Modelos de Negocio 1 y 2, especialmente cuando los residuos y subproductos provienen de procesos de transformación de madera legalmente trazada. Su objetivo es asegurar que los residuos utilizados para la producción de biochar tengan una procedencia demostrable y que el sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación —MRV— no opere como un sistema paralelo, sino como una extensión del sistema de trazabilidad forestal-industrial.

El punto de partida de esta fase es el **registro inicial de residuos y subproductos**. Cada lote de aserrín, viruta, retal u otro material residual deberá registrar, como mínimo, peso o volumen, contenido de humedad, fecha de generación, empresa de origen, proceso que lo generó y lote madre de madera legalmente trazada. Esta información permite conservar el vínculo entre el residuo y la madera de origen, evitando que ingresen al sistema biomasa o subproductos cuya procedencia no pueda demostrarse.

El **control de humedad** constituye un elemento fundamental en esta fase, porque determina tanto el desempeño del residuo en la preparación de biomasa como la eficiencia del proceso de pirólisis. Por esta razón, la medición de humedad de los subproductos debe considerarse un control técnico obligatorio antes de su almacenamiento, preparación o ingreso al sistema de conversión. Un residuo con humedad inadecuada puede afectar el rendimiento del proceso, la calidad del biochar y la confiabilidad de los datos utilizados para MRV.

Una vez el material ingresa al sistema de pirólisis, el MRV deberá registrar la biomasa de entrada, los pretratamientos realizados, los parámetros operativos del proceso —como temperatura, tiempo de residencia, atmósfera o condiciones de operación—, el rendimiento obtenido, el lote de biochar producido, el destino del producto y el carbono estabilizado estimado o verificado, según la metodología aplicable. De esta manera, el MRV no se limita a cuantificar resultados finales, sino que documenta la trazabilidad completa del proceso de conversión.

Esta fase agrega rigor al Modelo de Negocio 3, porque evita que los créditos, atributos climáticos o beneficios ambientales asociados al biochar se basen en biomasa sin procedencia verificable. En consecuencia, la trazabilidad debe permitir demostrar que el biochar proviene de residuos asociados a madera legal, trazada y vinculada a un lote madre, así como a una empresa generadora y a un proceso específico de transformación.

Asimismo, la trazabilidad debe orientarse a la **cuantificación de residuos y a la eficiencia de los procesos de economía circular**. Para ello, el sistema deberá incorporar registros de rendimiento de aserrío, generación de merma, residuos aprovechables, biomasa preparada y biochar producido. Esta conciliación permite evaluar la eficiencia del proceso, reducir pérdidas, evitar el ingreso de residuos no trazados y aportar valor a los subproductos de la madera.

El resultado esperado de esta fase es contar con un **biochar trazado**, cuya credibilidad provenga de la trazabilidad forestal e industrial de la madera que originó los residuos. Para ello, el sistema debe permitir verificar el origen del residuo, los datos del proceso, los rendimientos obtenidos, el destino del producto y los soportes técnicos necesarios para su uso agrícola, ambiental o comercial.

En caso de participación en mercados voluntarios de carbono, la trazabilidad deberá diferenciar entre cuatro niveles: **trazabilidad productiva del biochar**, **trazabilidad del uso final**, **trazabilidad climática del carbono estabilizado** y **trazabilidad del crédito de carbono**. Esta última deberá registrar, cuando aplique, el estándar utilizado, el verificador, la metodología, la emisión, transferencia, retiro o cancelación del crédito, evitando riesgos de doble contabilidad o atribución indebida de beneficios climáticos.

En síntesis, esta fase busca integrar el MRV del biochar como una extensión verificable de la trazabilidad forestal-industrial. Su aporte principal es asegurar que el origen, el proceso y los resultados del biochar sean transparentes, cuantificables y confiables, fortaleciendo la economía circular, la valorización de residuos de madera nativa legal y la eventual participación en esquemas de carbono.

2.5.9 Fase 9. Capa de integridad, verificación legal y articulación con certificación

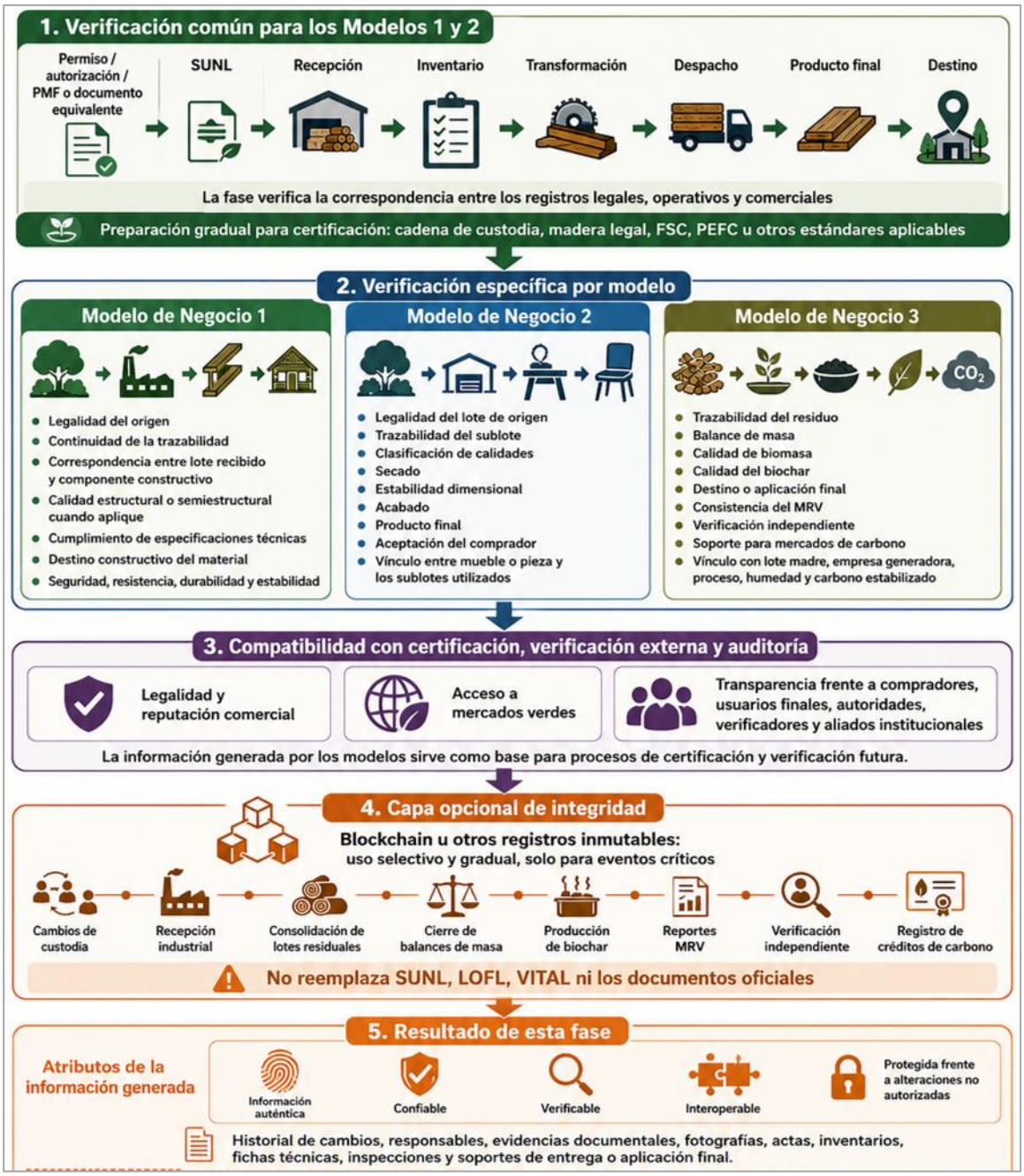
La novena fase introduce una **capa de integridad, verificación legal e interoperabilidad** sobre la cadena de custodia ya implementada en las fases anteriores. Su propósito es asegurar que la información registrada en el sistema sea consistente, verificable, trazable y útil para procesos de certificación, reconocimiento comercial, auditoría, control institucional o acceso a mercados diferenciados.

Esta fase parte de una premisa central: primero debe existir una cadena de custodia operativa, con registros de recepción, transformación, saldos, despachos, producto final, residuos o biochar; y posteriormente debe construirse una capa de verificación que permita confirmar que esos registros son confiables, auditables y compatibles con los instrumentos legales y técnicos del sector forestal.

En este sentido, el sistema debe integrarse con los instrumentos oficiales existentes, especialmente **SUNL, VITAL y LOFL**, y, cuando estén disponibles o sean aplicables, con los módulos de planificación y aprovechamiento del Sistema Nacional de Trazabilidad Forestal de Colombia —SNTFC—. Esta integración permite que la herramienta interna de los modelos de negocio no funcione como un sistema paralelo, sino como una capa complementaria que conserva el vínculo con los registros oficiales de legalidad, movilización, inventarios y transformación.

La siguiente figura permite visualizar su aplicación para cada modelo de negocio.

Figura 15. Capa de integridad, interoperabilidad, y verificación por modelo de negocio.



Fuente: Geotem SAS.

Esta fase también define la compatibilidad del sistema con **esquemas de certificación, verificación externa y auditoría**. El objetivo es que la información generada por los modelos de negocio pueda servir como base para procesos de legalidad, reputación comercial, acceso a mercados verdes, toma de decisiones sectoriales y transparencia frente a compradores, usuarios finales, autoridades, verificadores y aliados institucionales.

Como capa opcional de integridad, podrá evaluarse el uso de **blockchain** u otros mecanismos de registro inmutable únicamente para eventos críticos. Entre estos eventos se pueden incluir: cambios de custodia, recepción industrial, consolidación de lotes residuales, cierre de balances de masa, producción de biochar, emisión de reportes MRV, verificación independiente o registro de créditos de carbono, cuando aplique. Su uso debe ser selectivo, gradual y proporcional al nivel de riesgo o al valor comercial y ambiental del producto. En ningún caso blockchain debe reemplazar al SUNL, al LOFL, a VITAL ni a los documentos oficiales expedidos por las autoridades competentes.

La capa de integridad deberá asegurar que la información sea **auténtica, confiable, verificable, interoperable y protegida frente a alteraciones no autorizadas**. Para ello, el sistema deberá conservar historial de cambios, responsables de actualización, evidencias documentales, fotografías, actas, registros de inventario, fichas técnicas, resultados de inspección, datos de calidad y soportes de entrega o aplicación final.

Asimismo, esta fase deberá generar información útil para la toma de decisiones. La trazabilidad no debe servir únicamente para demostrar cumplimiento, sino también para identificar cuellos de botella, riesgos de pérdida de identidad del material, diferencias entre volúmenes autorizados y recibidos, eficiencia de transformación, rendimiento de residuos, aceptación comercial, desempeño técnico y oportunidades de mejora en cada modelo de negocio.

Igualmente, esta fase debe asegurar que cada lote entregado cuente con el respaldo de los parámetros exigidos por el **Reglamento NSR-10 (Título G)** cuando la madera tenga fines estructurales, garantizando la seguridad y persistencia del recurso a largo plazo (Ministerio de Vivienda, 2021). En consecuencia, los parámetros de calidad y desempeño del material no solo se orientan a la transacción comercial, sino a la verificación de aptitud técnica para usos específicos.

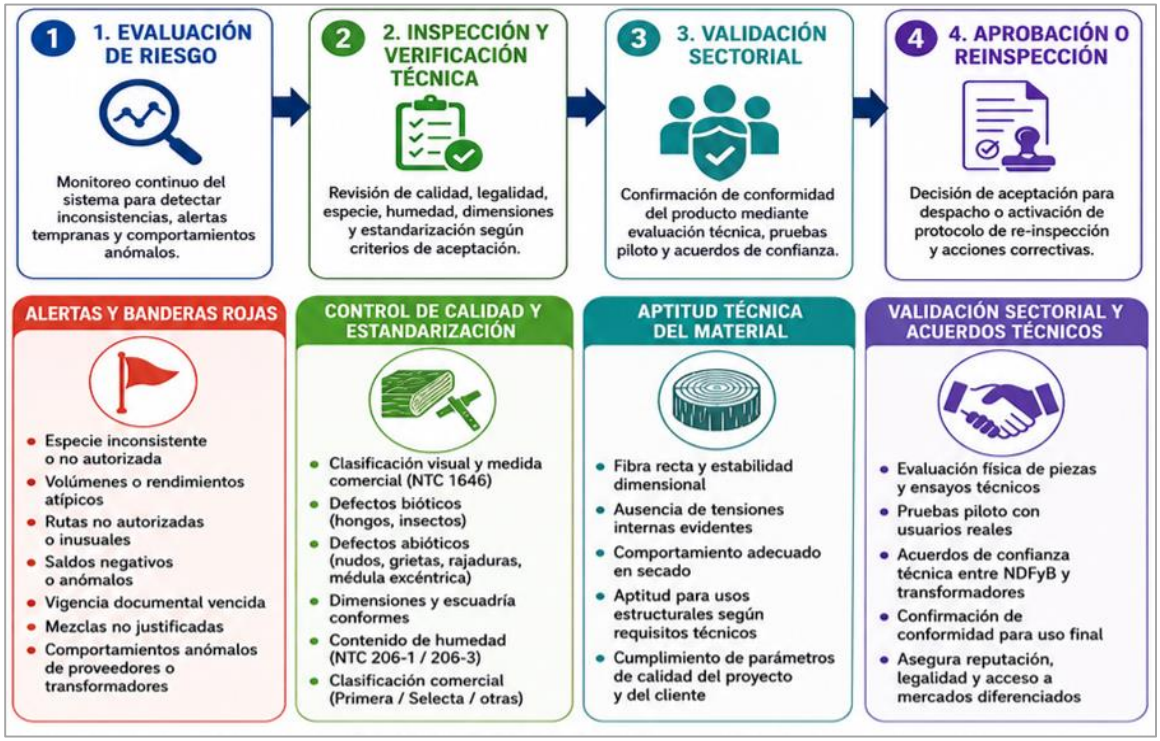
2.5.10 Fase 10. Gobernanza, gestión de riesgos y validación sectorial

La décima fase convierte la trazabilidad en una **herramienta de gobernanza**, mediante la cual el sistema no solo registra información, sino que permite **identificar riesgos, activar alertas tempranas, orientar auditorías, soportar decisiones de aceptación o re-inspección, fortalecer la validación sectorial y mejorar la coordinación entre actores**. En este sentido, la trazabilidad deja de ser únicamente un instrumento de control y se transforma en una base para la gestión preventiva, la confianza comercial y la consolidación de acuerdos técnicos entre los Núcleos de Desarrollo Forestal y Biodiversidad —NDFyB—, los centros de acopio, las empresas ancla, los talleres especializados, los usuarios finales y las entidades de apoyo.

Esta fase incorpora una **capa de evaluación de riesgo, auditoría y validación sectorial**, mediante la cual se definen alertas o banderas rojas frente a inconsistencias en especie, volumen, rendimiento, rutas, saldos, vigencia documental, mezclas no justificadas, pérdida de identidad del material, cambios no autorizados de destino o comportamientos atípicos de proveedores y transformadores. De esta forma, el sistema permite detectar desviaciones desde etapas tempranas y activar medidas correctivas antes de que se traduzcan en pérdidas económicas, conflictos comerciales, riesgos de ilegalidad o rechazo del material en destino.

Las alertas deben organizarse como un sistema de **monitoreo continuo**, que permita identificar patrones anómalos y priorizar acciones de verificación. Entre las alertas transversales se incluyen: especie inconsistente o no autorizada; diferencias entre volumen autorizado, movilizado, recibido o transformado; rendimientos atípicos; rutas no autorizadas o inusuales; saldos negativos o anómalos; vigencia documental vencida; mezclas no justificadas; pérdida de vínculo entre lote y sublote; residuos sin lote madre; y comportamientos recurrentes de incumplimiento por parte de determinados actores de la cadena. La siguiente figura permite visualizar de manera integral lo planteado para esta fase.

Figura 16. Trazabilidad como herramienta de gobernanza.





Fuente: Geotem SAS.

En ese sentido, en el **Modelo de Negocio 1**, las alertas deben concentrarse en diferencias entre volumen autorizado, movilizado y recibido; inconsistencias de especie; desviaciones de ruta; incumplimiento de especificaciones técnicas; rechazos por calidad; ausencia de registro de destino constructivo; o pérdida de correspondencia entre el lote recibido y el componente constructivo generado. Dado que este modelo se orienta al sector construcción, la gestión del riesgo debe prestar especial atención al cumplimiento de criterios de aptitud estructural o semiestructural, seguridad, estabilidad, durabilidad y conformidad con las especificaciones técnicas requeridas por el proyecto.

Por su parte, en el **Modelo de Negocio 2**, las alertas deben incluir pérdida de vínculo entre lote y sublote; mezcla no documentada; diferencias de inventario; humedad fuera de rango; deterioro por almacenamiento; clasificación inconsistente; defectos no detectados en origen; despacho de material no conforme; pérdida de trazabilidad en el producto final; o diferencias entre la calidad declarada y la observada por el transformador o comprador. En este modelo, la trazabilidad debe servir además para soportar acuerdos de confianza técnica entre proveedores y transformadores, y para reducir asimetrías de información sobre calidad, secado, dimensiones y aptitud del material.

Asimismo, en el **Modelo de Negocio 3**, las alertas deben enfocarse en residuos sin lote madre; diferencias entre madera procesada y residuo generado; biomasa con humedad inadecuada; rendimientos atípicos de pirólisis; inconsistencias entre biomasa de entrada y biochar producido; biochar sin registro de destino; inconsistencias en MRV; riesgo de doble contabilidad; o ausencia de evidencia de aplicación o uso final. En este caso, la trazabilidad como herramienta de gobernanza debe asegurar que los atributos climáticos, la valorización de residuos y la eventual participación en mercados de carbono se soporten sobre biomasa con procedencia demostrable, balances de masa consistentes y evidencia verificable.

En esta fase no se crean nuevos criterios de aceptación o rechazo, sino que se utilizan los resultados de las herramientas operativas definidas en fases anteriores —como la Matriz

de Defectos Críticos, los protocolos de inspección, las fichas técnicas, los registros de calidad y el Protocolo de Alerta Temprana— para alimentar la gestión de riesgos, la auditoría y la validación sectorial. De esta manera, los hallazgos técnicos relacionados con especie, humedad, dimensiones, defectos, estabilidad, calidad comercial o aptitud del material dejan de ser registros aislados y se convierten en insumos para la toma de decisiones del sistema.

En este sentido, la Fase 10 debe consolidar y analizar la información generada durante la recepción, clasificación, secado, transformación, despacho, aceptación en destino y uso final, con el fin de identificar patrones recurrentes de incumplimiento, causas de rechazo, especies con mayor dificultad técnica, problemas de almacenamiento, diferencias entre la calidad declarada y la calidad recibida, o riesgos de pérdida de identidad del material. Cuando estos hallazgos sean relevantes, el sistema deberá activar medidas de re-inspección, acciones correctivas, ajustes en fichas técnicas, restricciones temporales a proveedores o mejoras en los acuerdos técnicos entre NDFyB, centros de acopio, empresas ancla, talleres y compradores.

Por tanto, la clasificación visual, la medida comercial, los criterios de aceptación y rechazo, la revisión de defectos bióticos o abióticos, y la evaluación de estabilidad dimensional deben entenderse en esta fase como **insumos de gobernanza**, no como procedimientos nuevos. Su función es permitir que la trazabilidad apoye decisiones sobre calidad, reputación comercial, continuidad de proveedores, ajustes operativos, validación de mercado y mejora progresiva de los modelos de negocio.

También, es importante aquí resaltar que la mitigación de riesgos, como se observa en la siguiente figura, considera un fuerte componente tecnológico asociado a monitoreo satelital, y marcaje digital de la carga.

Figura 17. Estrategias de mitigación y control.





Fuente: Geotem SAS.

La **validación sectorial** constituye el mecanismo final de esta fase. Su función es confirmar que el producto forestal cumple efectivamente con los requerimientos del mercado y con las expectativas técnicas del usuario o comprador. Para ello, deberán promoverse evaluaciones físicas de piezas, ensayos técnicos, pruebas piloto con usuarios reales, validación de productos en condiciones de uso y acuerdos de confianza técnica entre NDFyB, centros de acopio, empresas ancla, talleres y clientes. Esta validación sectorial permite convertir la trazabilidad en una herramienta de reputación, acceso a mercados diferenciados y aprendizaje colectivo.

En esta fase, la trazabilidad también debe generar **información útil para la toma de decisiones**. Más allá de demostrar cumplimiento, el sistema debe ayudar a identificar cuellos de botella, pérdidas recurrentes, riesgos de mezcla, especies con mejor o peor comportamiento en secado, causas frecuentes de rechazo, rendimientos de transformación, aceptación comercial y oportunidades de mejora en procesos productivos, logísticos o de control. De esta manera, la gobernanza basada en trazabilidad permite que los actores no solo reaccionen frente a incumplimientos, sino que mejoren progresivamente su desempeño técnico y comercial.

Finalmente, es importante reconocer que la efectividad de esta fase depende en buena medida de las **capacidades institucionales y operativas** del sistema. La experiencia colombiana ha mostrado que la implementación de esquemas de trazabilidad y control forestal está condicionada por factores como la articulación interinstitucional, la disponibilidad logística, la conectividad, la continuidad del personal y la capacidad de respuesta de las entidades y organizaciones involucradas. Por ello, los controles de riesgo, auditoría y validación sectorial deben diseñarse de manera realista, gradual y proporcional

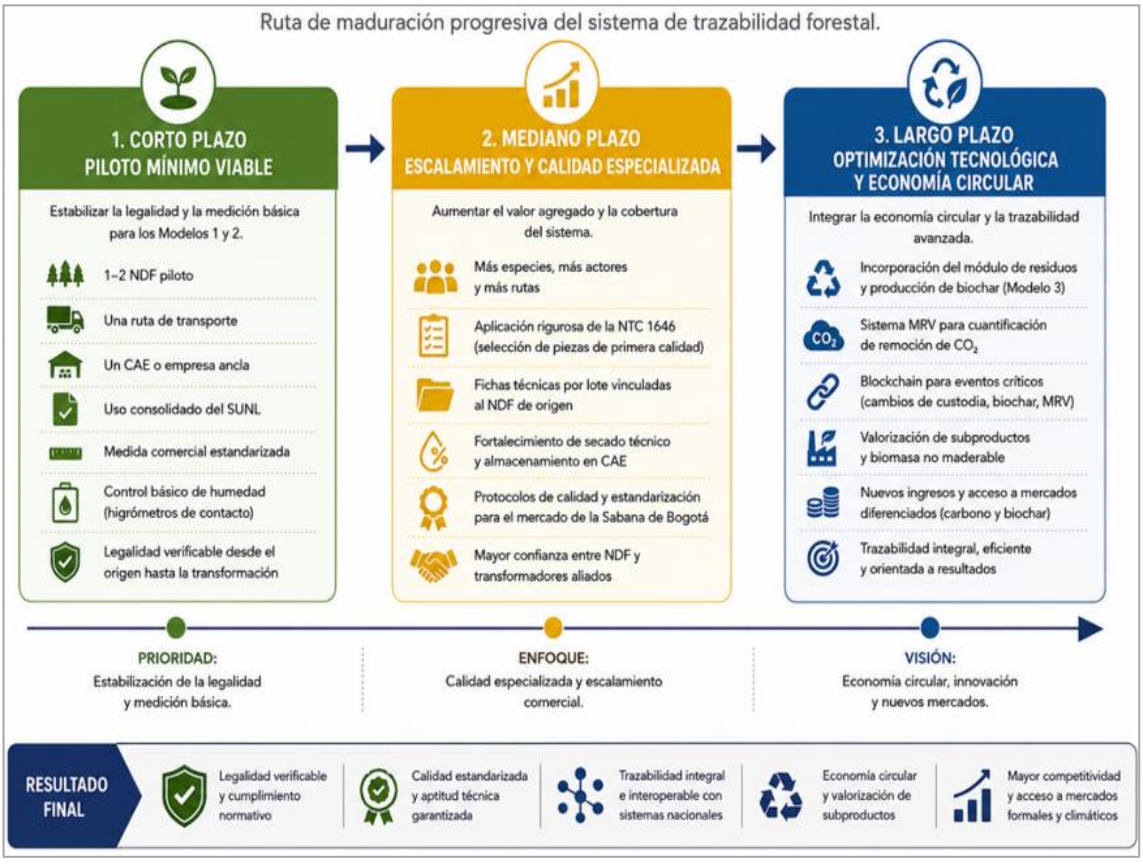
a las capacidades de los actores, sin perder rigor, pero asegurando viabilidad operativa en contextos diversos.

2.5.11 Fase 11. Implementación gradual, pilotos y escalamiento

Finalmente, conviene cerrar la metodología con una fase de implementación gradual. Se tiene que el SNTFC colombiano ha avanzado de manera modular y progresiva, y que incluso herramientas como el LOFL requirieron procesos participativos, ajustes, talleres y etapas de prueba antes de madurar (ASOCARS, 2022).

Seguramente, la recomendación es empezar con un **piloto mínimo viable** que cubra uno o los dos NDFyB involucrados en los modelos, una ruta de transporte, un centro de acopio o empresa ancla y un flujo real de transformación. Luego ampliar a más especies, más actores y, en una etapa posterior, cuando el modelo de negocio 3 tenga una financiación clara, incorporar por completo el módulo de residuos-biochar y la capa de blockchain para eventos críticos. Esta fase debe incluir indicadores de éxito, tiempos de ajuste, necesidades de capacitación y criterios para decidir cuándo escalar (ver Figura 18).

Figura 18. Esquema propuesto de implementación del sistema de trazabilidad.



Fuente: Geotem SAS.

En el **corto plazo**, la prioridad es la **estabilización de la legalidad y la medición básica**, garantizando para los Modelos 1 y 2 que el origen del recurso sea verificable desde el inicio de la cadena. Esto incluye la adopción obligatoria de la medida comercial (estandarización de dimensiones) o medida de barraca en los NDFyB y Centros de Acopio, Acondicionamiento y Distribución para unificar la facturación y los despachos (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2021), la implementación de mediciones con higrómetros de contacto en los centros de acopio para descartar material con saturación excesiva antes de la distribución a las empresas transformadoras, y la consolidación del uso del SUNL como instrumento único de transporte y legalidad (Visión Amazonía, 2023). Lo anterior facilita la negociación comercial.

En el **mediano plazo**, se deben incorporar **protocolos de calidad especializada** para aumentar el valor agregado de la madera destinada a sectores específicos de la Sabana de Bogotá. Aquí se ubica la aplicación rigurosa de la **NTC 1646** para la selección de piezas en el Modelo de Negocio 2, asegurando que solo el material de primera calidad sea despachado (SENA, 2021), la implementación de fichas técnicas que vinculen cada despacho con un NDFyB específico y el fortalecimiento de la infraestructura de secado y almacenamiento temporal en los CAE para garantizar el equilibrio higroscópico requerido en destino (Visión Amazonía, 2022).

En el **largo plazo**, la estrategia debe orientarse a la **optimización tecnológica y a la economía circular**. En esta etapa se fortalecen los protocolos de control para la valorización de residuos y la producción de biochar, asegurando que la trazabilidad cubra también la biomasa no maderable y que el sistema MRV permita cuantificar con rigor la remoción de CO_2. De esta manera, la trazabilidad no solo cumple una función de legalidad y control, sino que se convierte en la base para la eficiencia operativa, la validación sectorial y el acceso a nuevos ingresos asociados al aprovechamiento de subproductos forestales.

2.6 Hoja de ruta técnica para la adopción progresiva de códigos QR, expediente digital y blockchain

La incorporación de códigos QR, expedientes digitales, herramientas IoT y blockchain dentro del sistema de trazabilidad de los tres modelos de negocio debe entenderse como una **ruta tecnológica progresiva**, subordinada a la metodología de trazabilidad definida en este documento. Su propósito no es crear un sistema paralelo a los instrumentos oficiales, ni sustituir el SUNL, el LOFL, VITAL o las decisiones de la autoridad ambiental, sino fortalecer la conexión entre el material físico, los documentos legales, la información técnica, la cadena de custodia, el uso final y, en el caso del Modelo de Negocio 3, el MRV asociado a biochar y eventual valorización climática.

La principal lección de la evidencia internacional es que la trazabilidad no debe abordarse como la simple incorporación de una tecnología específica, sino como un sistema integral de control, registro, verificación y comunicación. El World Resources Institute plantea que los sistemas de trazabilidad de madera deben diseñarse a partir de una definición clara del problema que se quiere resolver, de los riesgos de ilegalidad o pérdida de información, de los usuarios del sistema y de las decisiones que dicho sistema debe soportar (WRI, 2023).

De manera complementaria, Kaulen et al. (2023) señalan que la trazabilidad forestal requiere unidades trazables claramente identificables, hardware o medios de identificación, transmisión de datos sin rupturas, almacenamiento seguro de la información y beneficios que superen los costos adicionales de implementación.

En consecuencia, para los modelos de negocio priorizados, la tecnología debe incorporarse de manera escalonada. En una primera etapa, el sistema debe concentrarse en definir con claridad la unidad trazable —lote, sublote, pieza, producto final, residuo, biomasa o biochar— y asociarla a un código único. En una segunda etapa, este código debe vincularse con una ficha o expediente digital que consolide los documentos legales, el SUNL, el LOFL cuando aplique, la especie, el volumen, la humedad, la clasificación, las transformaciones, los saldos, los despachos, el destino y las evidencias correspondientes. Solo después de estabilizar esta base documental, física y operativa, resulta pertinente evaluar tecnologías avanzadas como blockchain, IoT o registros inmutables para eventos críticos.

Bajo esta lógica, el **código QR** se propone como la primera capa tecnológica de bajo costo. Su función es conectar el material físico con su expediente digital, permitiendo consultar información clave del lote, sublote, producto, residuo, biomasa o biochar. El QR no reemplaza el SUNL, el LOFL ni los soportes oficiales; actúa como un mecanismo de acceso rápido, verificación y comunicación. En los Modelos de negocio 1 y 2, el QR puede facilitar la trazabilidad hasta la obra, el componente constructivo, el taller, el producto final o el comprador. En el Modelo de negocio 3, puede vincular el lote madre de madera legal con el residuo generado, la biomasa preparada, el biochar producido, su destino final y los registros MRV.

El **expediente digital** constituye la base operativa del sistema. A diferencia del QR, que funciona como puerta de entrada o interfaz de consulta, el expediente digital almacena y organiza la información legal, técnica, logística, comercial, ambiental y climática asociada al material. En este sentido, el expediente digital debe conservar la regla de herencia de información: cuando la madera se transforma, se divide, se acondiciona, se mezcla bajo reglas controladas, genera residuos o se convierte en biochar, cada unidad derivada debe mantener vínculo con el lote original. Esta regla es fundamental para los tres modelos, pero resulta especialmente crítica en el Modelo de negocio 3, donde los residuos no pueden operar como materiales independientes del lote madre de madera legal.

Las herramientas **IoT** —Internet de las Cosas— pueden incorporarse en una etapa posterior para automatizar mediciones o capturas de datos que hoy podrían hacerse manualmente. Por ejemplo, sensores de humedad en centros de acopio, básculas digitales para residuos, sensores de temperatura en secado o pirólisis, GPS para rutas críticas, detectores de gases en el sistema móvil de pirólisis o equipos conectados al sistema MRV. Su adopción debe priorizarse cuando exista una necesidad operativa clara, cuando los datos capturados mejoren la confiabilidad del sistema y cuando los actores tengan capacidad de mantenimiento, uso y actualización de la información.

Por su parte, **blockchain** o tecnologías de registro distribuido no deben entenderse como el punto de partida obligatorio. Su utilidad dentro de lo planteado en este documento

consiste en aportar una capa adicional de integridad, inmutabilidad y confianza para eventos críticos, especialmente aquellos en los que sea necesario demostrar que la información no fue alterada después de registrada. Entre estos eventos se pueden incluir cambios de custodia, recepción industrial, generación de sublotes, cierre de balances de masa, producción de biochar, emisión de reportes MRV, verificación independiente o registro de créditos de carbono, cuando aplique. Sin embargo, su uso debe ser selectivo, gradual y proporcional al nivel de riesgo, valor comercial o exigencia de verificación. En ningún caso blockchain debe presentarse como sustituto de los instrumentos oficiales.

La hoja de ruta técnica se alinea con las fases ya definidas en este documento de la siguiente manera:

Tabla 7. Función tecnológica recomendada según las fases definidas.

Fase de integración de herramientas de trazabilidad	Función tecnológica recomendada
Fase 1. Definición del alcance y unidad de trazabilidad	Definir qué se rastrea: lote, sublote, pieza, producto, residuo, biomasa o biochar.
Fase 2. Eventos críticos y datos obligatorios	Identificar qué eventos deben registrarse: origen, autorización, SUNL, transporte, recepción, secado, transformación, despacho, uso final o MRV.
Fase 3. Arquitectura híbrida de identificación física y registro digital	Implementar código único, etiqueta física, QR, ficha de seguimiento y expediente digital.
Fase 4. Expediente digital único y herencia de información	Asegurar que cada transformación, sublote, producto o residuo conserve vínculo con el lote original.
Fase 5. Cadena de custodia y control operativo	Verificar que material físico, inventarios, documentos, saldos y registros digitales coincidan.
Fase 6. Control de calidad y aceptación en destino	Asociar datos técnicos al expediente: humedad, clasificación, defectos, ensayos, fichas técnicas y aceptación.
Fase 7. Producto final y comunicación al usuario	Usar QR y pasaporte digital para comunicar origen legal, calidad, sostenibilidad y destino.
Fase 8. Residuos, biochar y MRV	Integrar el residuo, biomasa, biochar, uso final y MRV al expediente digital del lote madre.
Fase 9. Integridad, verificación legal y certificación	Evaluar blockchain o registros inmutables para eventos críticos y auditorías.
Fase 10. Gobernanza, riesgos y validación sectorial	Usar alertas, auditorías y validación cruzada a partir de datos registrados.
Fase 11. Implementación gradual, pilotos y escalamiento	Iniciar con MVP de QR y expediente digital; escalar a IoT o blockchain solo con datos confiables y actores capacitados.

Fuente: Geotem SAS.

De esta manera, la razón de ser de la hoja de ruta técnica es **traducir la metodología de trazabilidad en decisiones tecnológicas concretas**, ordenadas según el nivel de madurez de los modelos. En el corto plazo, la prioridad debe ser implementar QR, código

único, expediente digital y registros de eventos críticos. En el mediano plazo, el sistema puede incorporar herramientas digitales adicionales para inventarios, saldos, control de humedad, pasaportes digitales, alertas y validación sectorial. En el largo plazo, cuando existan datos confiables, reglas claras de actualización, responsables definidos y demanda de mayor integridad, podrá evaluarse blockchain para eventos críticos de custodia, MRV, verificación o créditos de carbono.

Para los tres modelos de negocio, la secuencia tecnológica recomendada sería la siguiente:

1. **Código único y QR:** identificación del lote, sublote, producto, residuo, biomasa o biochar.
2. **Expediente digital:** consolidación de documentos, fichas técnicas, inventarios, eventos, evidencias y responsables.
3. **Registro de eventos críticos:** origen, autorización, transporte, recepción, clasificación, secado, transformación, despacho, uso final, generación de residuos o MRV.
4. **Pasaporte digital:** comunicación diferenciada para usuario final, actores técnicos y auditoría.
5. **IoT selectivo:** sensores, básculas, GPS, medidores de humedad, detectores de gases o sistemas conectados cuando aporten datos críticos.
6. **Blockchain opcional:** registro inmutable de eventos críticos, únicamente cuando exista madurez operativa, necesidad de auditoría reforzada o valor comercial/climático que lo justifique.

En síntesis, la tecnología debe avanzar desde lo simple hacia lo complejo. Primero se requiere asegurar una unidad trazable, un identificador único, un expediente digital confiable y una cadena de custodia funcional. Posteriormente se puede fortalecer el sistema con IoT, pasaportes digitales, alertas automáticas y, cuando el nivel de riesgo o exigencia lo amerite, blockchain. Así, los códigos QR y blockchain no se presentan como soluciones aisladas, sino como capas tecnológicas al servicio de la legalidad, la calidad, la confianza comercial, la gobernanza, el MRV y la sostenibilidad de los modelos.

2.6.1 Arquitectura interoperable del sistema y roles de los actores

La arquitectura del sistema se estructura por capas, de forma interoperable y complementaria a los instrumentos oficiales de trazabilidad forestal. Su propósito es conectar los registros institucionales —como permisos, autorizaciones, PMF, SUNL, LOFL, VITAL y SNTFC— con una capa operativa que permita gestionar el expediente digital, los códigos QR, los registros técnicos, la cadena de custodia, el pasaporte digital y, cuando aplique, el MRV asociado al Modelo de Negocio 3. En este sentido, el sistema propuesto no sustituye los instrumentos oficiales ni las decisiones de la autoridad ambiental; por el contrario, los referencia, enlaza y complementa con información técnica, logística, comercial, ambiental y de calidad generada durante la operación de los modelos.

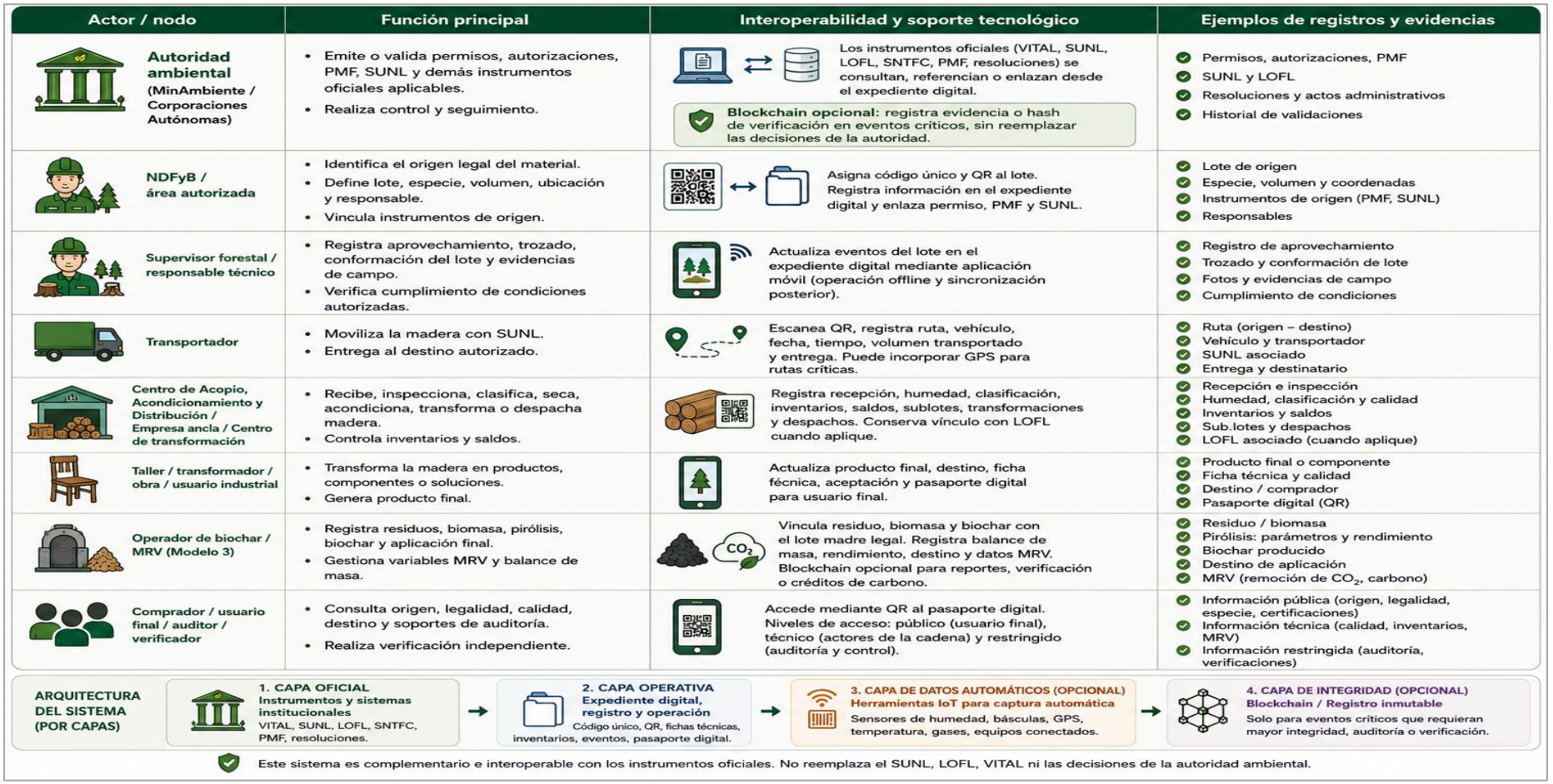
Bajo este enfoque, los actores de la cadena no interactúan únicamente con una plataforma blockchain, sino con un sistema de trazabilidad interoperable en el que cada actor registra, consulta o valida información según su rol. La autoridad ambiental conserva su función oficial de autorización, control y verificación; los NDFyB y áreas autorizadas registran el origen del material; los responsables técnicos documentan el aprovechamiento y conformación de lotes; los transportadores aportan evidencias de movilización; los Centros de Acopio, Acondicionamiento y Distribución, empresas ancla y transformadores actualizan información de recepción, clasificación, secado, inventarios, sublotes y transformación; y los usuarios finales, auditores o verificadores acceden a la información pública, técnica o restringida según el nivel de autorización definido.

La interacción tecnológica debe implementarse de manera progresiva. En una primera etapa, el sistema debe operar con código único, QR y expediente digital. En una segunda etapa, podrá incorporar herramientas IoT —como básculas digitales, sensores de humedad, GPS, sensores de temperatura o detectores de gases— cuando aporten datos críticos para la operación.

Finalmente, en una etapa avanzada, blockchain o registros inmutables podrán utilizarse únicamente para eventos críticos que requieran mayor integridad, auditoría o verificación, tales como cambios de custodia, generación de sublotes, cierre de balances de masa, producción de biochar, reportes MRV o créditos de carbono. En ningún caso esta capa deberá presentarse como sustituto del SUNL, el LOFL, VITAL o los demás instrumentos oficiales.

La siguiente figura presenta esta arquitectura.

Figura 19. Arquitectura interoperable para la adopción progresiva de QR, expediente digital y blockchain opcional



Fuente: Geotem SAS.

2.6.2 Flujo progresivo de implementación de QR, expediente digital y blockchain opcional

El flujo de implementación que se presenta a continuación muestra cómo puede operar, de manera progresiva, la arquitectura tecnológica propuesta para la trazabilidad de maderas nativas. Este flujo no parte de la adopción inmediata de blockchain como plataforma central, sino de una secuencia gradual que inicia con la identificación del material mediante código único, QR y expediente digital, y que solo incorpora blockchain o registros inmutables en etapas posteriores y para eventos críticos que requieran mayor integridad, auditoría o verificación.

En este sentido, el flujo debe entenderse como una herramienta complementaria a los instrumentos oficiales de trazabilidad forestal. Los permisos, autorizaciones, PMF o documentos equivalentes, el SUNL, el LOFL, VITAL y el SNTFC continúan siendo la base legal e institucional del sistema. La capa tecnológica propuesta permite referenciar, enlazar y organizar dicha información, así como agregar datos técnicos, logísticos, comerciales, ambientales y de calidad que fortalecen la cadena de custodia y la comunicación al mercado.

El proceso se organiza en cuatro fases operativas:

2.6.2.1 Fase 1. Origen e identificación

La primera fase corresponde a la identificación del material en el origen. En esta etapa se registra la información del inventario forestal, el árbol o lote autorizado, la especie, el diámetro, la altura, la ubicación general y el soporte de autorización correspondiente. A partir de esta información se asigna un código único al árbol, lote o unidad trazable, el cual se vincula con el expediente digital y con los documentos oficiales aplicables, como permiso, autorización, PMF o documento equivalente.

En esta fase también puede generarse un QR base o etiqueta física, cuya función es conectar el material físico con su expediente digital. Este QR no reemplaza ningún instrumento oficial, sino que actúa como mecanismo de identificación, consulta y seguimiento.

2.6.2.2 Fase 2. Aprovechamiento y movilización

La segunda fase corresponde al aprovechamiento autorizado, el trozado, la conformación de lotes y la movilización del material. Cuando un árbol se divide en trozas, bloques o unidades derivadas, el sistema debe permitir conservar la relación entre la unidad original y las unidades resultantes, aplicando la regla de herencia de información. Esto puede hacerse mediante códigos derivados o QR hijos vinculados al código del lote original.

Durante el transporte, la movilización debe realizarse con el SUNL emitido por el sistema oficial correspondiente. El expediente digital puede registrar información complementaria, como vehículo, transportador, fecha, volumen movilizado, ruta prevista, evidencia fotográfica y entrega al destinatario. En esta fase, blockchain no debe presentarse como

salvoconducto digital; en caso de utilizarse en una etapa avanzada, únicamente podría registrar evidencia o un hash del evento de movilización, sin sustituir el SUNL ni la validación oficial.

2.6.2.3 Fase 3. Recepción, transformación y control

La tercera fase se activa cuando el material llega a un aserradero, empresa ancla, Centro de Acopio, Acondicionamiento y Distribución, taller o centro de transformación. Allí se debe escanear el QR o consultar el código único para verificar la correspondencia entre el material recibido, el expediente digital, el SUNL, la especie, el volumen y el destino registrado.

En esta etapa se incorporan los controles técnicos y operativos: recepción, inspección, clasificación, medición de humedad, registro de inventarios, generación de sublotes, transformación, control de saldos, mermas, residuos y balance de masa. Cuando el material se transforma en tablas, listones, componentes, productos o sublotes, cada unidad resultante debe conservar el vínculo con el lote original.

En una fase avanzada, blockchain o registros inmutables podrían utilizarse para eventos críticos como recepción industrial, generación de sublotes, cierre de balances de masa o verificación de transformación, siempre que existan datos confiables, responsables definidos y una necesidad real de auditoría reforzada.

2.6.2.4 Fase 4. Producto final y consulta

La cuarta fase corresponde al producto final y a la consulta por parte del comprador, usuario final, actor técnico, auditor o verificador. En esta etapa, el producto, componente constructivo, mueble, pieza de carpintería, sublote o empaque puede contar con un QR final vinculado al pasaporte digital.

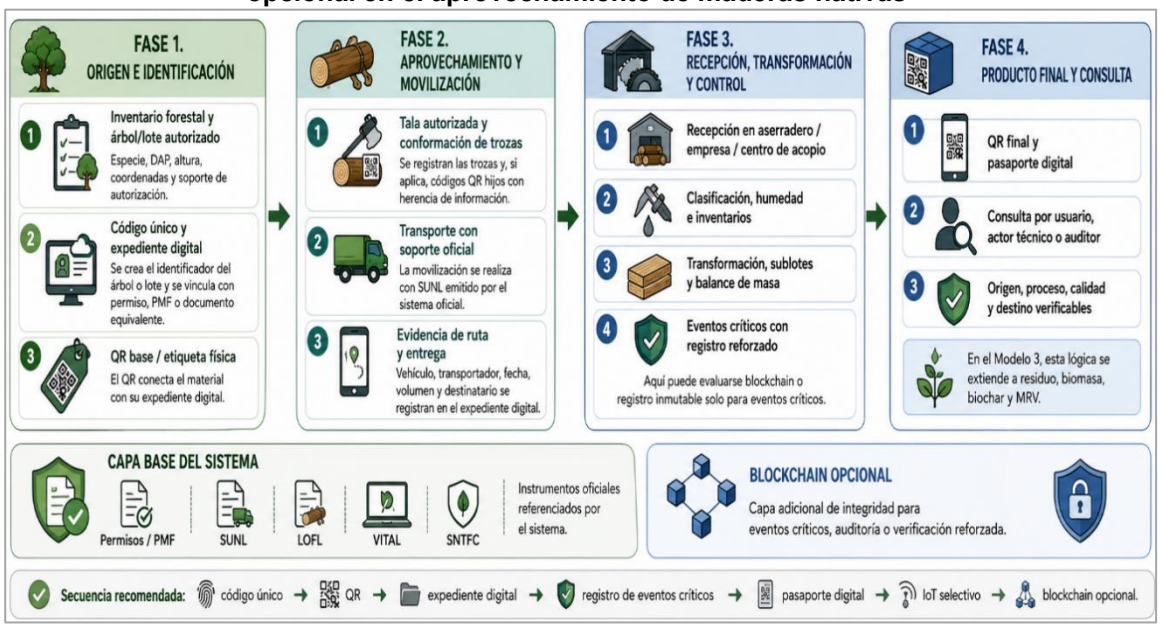
La información disponible dependerá del nivel de acceso. El usuario final podrá consultar información pública sobre origen, legalidad, especie, calidad, proceso, destino y atributos de sostenibilidad. Los actores técnicos podrán acceder a información de trazabilidad, fichas técnicas, inventarios, calidad y registros de transformación. Los auditores o verificadores podrán revisar información restringida, como soportes completos, historial de cambios, registros de inspección, balances o evidencias de control.

En el Modelo de Negocio 3, esta misma lógica se extiende al residuo, la biomasa, el biochar, el destino de aplicación y el MRV. En este caso, el QR y el expediente digital deben permitir vincular el lote madre de madera legal con el residuo generado, la biomasa preparada, el proceso de pirólisis, el biochar producido, el uso final y, cuando aplique, los registros asociados a verificación climática o créditos de carbono (ver Figura 20).

En síntesis, este flujo permite ordenar la adopción tecnológica sin sobrecargar el sistema desde el inicio. La prioridad inicial es asegurar identificación física, código único, QR, expediente digital y registro de eventos críticos. Posteriormente, el sistema puede incorporar herramientas IoT para capturar datos operativos relevantes y, solo cuando exista madurez suficiente, evaluar blockchain como capa opcional de integridad para eventos

críticos. Así, la tecnología se mantiene al servicio de la legalidad, la trazabilidad, la calidad, la gobernanza y la confianza comercial, sin reemplazar los instrumentos oficiales del sector forestal.

Figura 20. Flujo progresivo de implementación de QR, expediente digital y blockchain opcional en el aprovechamiento de maderas nativas



Nota: DAP: Es una medida forestal que corresponde al **diámetro del tronco del árbol medido aproximadamente a 1,30 metros sobre el nivel del suelo**. Se usa en inventarios forestales para registrar el tamaño del árbol y estimar variables como volumen de madera, biomasa, crecimiento, aprovechamiento autorizado y control del material trazado.

Fuente: Geotem SAS.

2.6.3 Esquema de datos del expediente digital y registro inmutable opcional

El esquema de datos del sistema debe partir del **expediente digital** como base operativa de la trazabilidad. Cada código QR funcionará como un mecanismo de acceso o consulta que conecta el material físico —árbol autorizado, lote, troza, sublote, producto, residuo, biomasa o biochar— con la información registrada en dicho expediente. En una etapa avanzada, cuando el sistema cuente con datos confiables, responsables definidos y reglas claras de actualización, algunos eventos críticos podrán registrarse adicionalmente en blockchain o en otro mecanismo de registro inmutable.

En este sentido, el QR no debe entenderse necesariamente como una consulta directa a un contrato inteligente desde el inicio. En la primera etapa, el QR puede dirigir a una ficha o expediente digital. Posteriormente, si se incorpora blockchain, el sistema podría registrar en una red distribuida únicamente el identificador del evento, el hash del registro, la fecha, el responsable y la evidencia de integridad, sin sustituir los documentos oficiales ni almacenar información sensible de forma pública.

El flujo de datos puede estructurarse de la siguiente manera:

Tabla 8. Flujo de datos expediente digital.

[Árbol, lote o unidad de origen autorizada]
↓
[Código único / QR base]
↓
[Expediente digital del lote]
↓
[Corte, trozado o conformación de lote]
↓
[QR derivados / subcódigos asociados]
↓
[Transporte con SUNL y evidencia de ruta]
↓
[Recepción en empresa ancla, centro de acopio o taller]
↓
[Clasificación, secado, transformación, sublotes y balance de masa]
↓
[Producto final / componente / residuo / biomasa / biochar]
↓
[QR final o pasaporte digital]
↓
[Consulta por usuario final, actor técnico, auditor o verificador]

Fuente: Geotem SAS.

En caso de implementarse una capa blockchain, esta no almacenaría toda la información del expediente, sino registros mínimos de integridad asociados a eventos críticos. De esta forma, el expediente digital conserva la información completa y actualizable, mientras que blockchain actúa como un mecanismo complementario para demostrar que ciertos registros no fueron alterados después de su validación.

Tabla 9. Componentes del esquema de datos del expediente digital y registro inmutable opcional

Componente	Información que debe contener	Ubicación recomendada
Código único / QR	Identificador del lote, sublote, producto, residuo, biomasa o biochar.	Etiqueta física, ficha de lote, producto, empaque o pasaporte digital.
Expediente digital	Documentos legales, SUNL, LOFL cuando aplique, especie, volumen, humedad, clasificación, inventarios, saldos, evidencias, responsables y destino.	Base operativa del sistema.
Evento crítico	Cambio de custodia, recepción, transformación, generación de sublote, balance de masa, producción de biochar, reporte MRV o verificación.	Expediente digital; eventualmente blockchain si se requiere integridad reforzada.
Registro inmutable opcional	Hash del evento, fecha, responsable, identificador del expediente, estado del evento y evidencia de validación.	Blockchain o registro inmutable, solo en etapa avanzada.

Componente	Información que debe contener	Ubicación recomendada
Pasaporte digital	Información pública, técnica o restringida según el tipo de usuario.	Interfaz web o móvil asociada al QR.

Fuente: Geotem SAS.

Los datos clave que podrían registrarse en el expediente digital, y eventualmente anclarse mediante hash[2] en blockchain, incluyen:

- identificador único del árbol, lote, sublote, producto, residuo, biomasa o biochar;
- especie botánica y nombre comercial homologado;
- soporte de autorización, permiso, PMF o documento equivalente;
- vínculo con SUNL y, cuando aplique, LOFL;
- ubicación general de origen, evitando publicar coordenadas sensibles cuando puedan generar riesgos;
- volumen autorizado, movilizado, recibido y transformado;
- estado del material: en origen, movilizado, recibido, clasificado, transformado, despachado, instalado, aplicado o cerrado;
- responsable del evento registrado;
- evidencias documentales, fotográficas o técnicas;
- balance de masa cuando haya transformación, sublotes, residuos, biomasa o biochar;
- destino final, usuario, obra, producto, predio de aplicación o registro MRV, según el modelo.

Para los **Modelos de Negocio 1 y 2**, este esquema permite conservar la trazabilidad desde el origen legal de la madera hasta la empresa ancla, el centro de acopio, el taller, el producto final, la obra o el comprador. Para el **Modelo de Negocio 3**, permite extender la trazabilidad desde el lote madre de madera legal hacia el residuo generado, la biomasa preparada, el biochar producido, el destino de aplicación, el MRV y, cuando aplique, la eventual verificación climática.

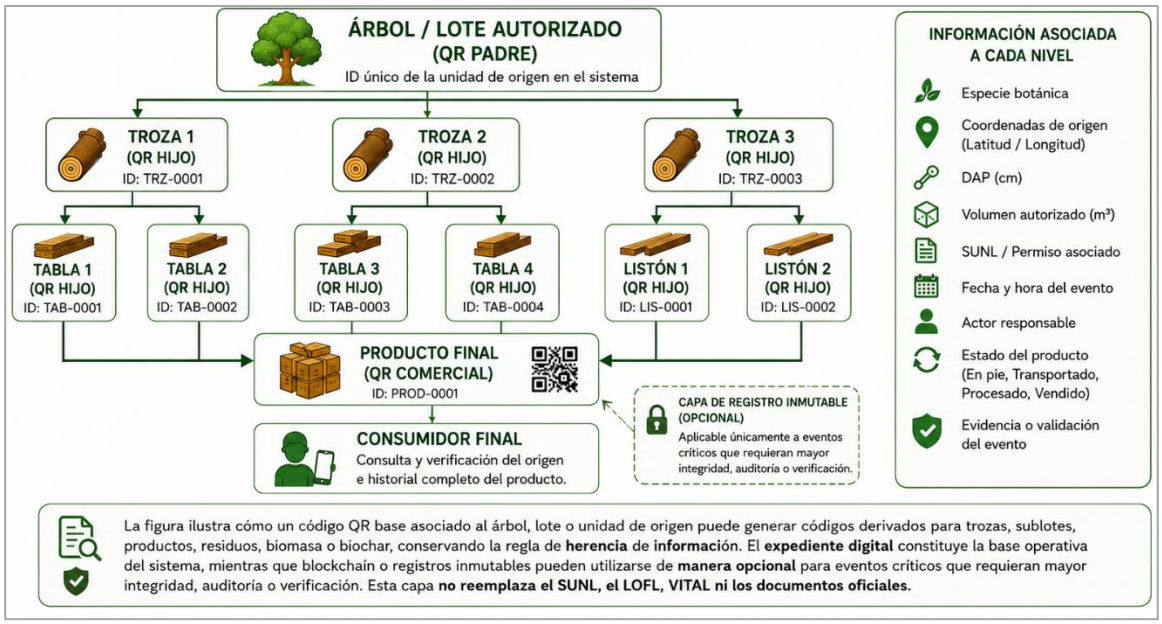
En consecuencia, el uso de contratos inteligentes o blockchain debe plantearse como una posibilidad futura para automatizar validaciones o registrar eventos críticos, no como requisito inicial. Por ejemplo, en una etapa avanzada podrían definirse reglas automáticas para impedir que un mismo lote sea usado dos veces en un balance de masa, alertar inconsistencias entre biomasa ingresada y biochar producido, o registrar la emisión, transferencia o retiro de un crédito de carbono. Sin embargo, estas funcionalidades solo

[2] El **hash** corresponde a una huella digital criptográfica generada a partir de un documento, evento o registro del expediente digital. Su uso permite verificar la integridad de la información, ya que cualquier modificación posterior en los datos genera un hash diferente. En este sentido, registrar un hash en blockchain no implica cargar toda la información del expediente, sino dejar una evidencia inmutable de que un registro existía en un momento determinado y no ha sido alterado.

deberían implementarse cuando el sistema básico de QR, expediente digital, cadena de custodia, inventarios y control de calidad ya esté funcionando de manera confiable.

La siguiente figura presenta la estructura básica de datos.

Figura 20. Estructura básica de datos, códigos QR y registro inmutable opcional para productos y subproductos del aprovechamiento forestal.



Fuente: Geotem SAS.

2.6.4 Pilares tecnológicos recomendados para una implementación progresiva

La adopción tecnológica del sistema debe organizarse a partir de pilares progresivos, priorizando primero herramientas simples, interoperables y de bajo costo, y dejando las tecnologías más complejas para etapas posteriores. En este sentido, los pilares recomendados son los siguientes:

Código QR dinámico y expediente digital. El código QR debe operar como un mecanismo de identificación y consulta vinculado al expediente digital del lote, sublote, producto, residuo, biomasa o biochar. Se recomienda que sea dinámico, de manera que el identificador físico se mantenga estable, pero la información consultada pueda actualizarse en el expediente digital cuando cambie el estado del material, el destino, la propiedad, la condición técnica o la vigencia de algún soporte asociado. Esta actualización no reemplaza el SUNL, el LOFL, VITAL ni los documentos oficiales; únicamente permite enlazar, consultar y organizar la información de soporte de manera más ágil.

Registro de eventos críticos. El sistema debe permitir registrar eventos como origen, autorización, aprovechamiento, trozado, transporte, recepción, clasificación, secado, transformación, generación de sublotes, despacho, producto final, residuos, biomasa,

biochar, uso final y MRV. Cada evento debe quedar asociado a un responsable, fecha, evidencia, estado del material y vínculo con el expediente digital. Esta información constituye la base para la cadena de custodia, el control de calidad y la auditoría.

IoT selectivo. Las herramientas IoT —Internet de las Cosas— deben incorporarse únicamente cuando aporten datos críticos para la operación. Esto puede incluir sensores de humedad en centros de acopio, básculas digitales para residuos y biochar, GPS para rutas de mayor riesgo, sensores de temperatura en secado o pirólisis, detectores de gases en el sistema móvil de pirólisis o equipos conectados al sistema MRV. Su implementación debe depender de la capacidad real de uso, mantenimiento, conectividad y gestión de datos por parte de los actores.

Blockchain o registro inmutable opcional. En una etapa avanzada, y solo cuando existan datos confiables, reglas claras de actualización y necesidad de auditoría reforzada, podrá evaluarse una red blockchain permisionada o consorciada, o un mecanismo equivalente de registro inmutable. Tecnologías como Hyperledger Fabric u otras redes de bajo costo podrían analizarse como referencia técnica, pero no deben definirse como obligación inicial. La participación de entidades públicas como nodos validadores solo sería viable si existe un acuerdo institucional, jurídico, técnico y presupuestal que lo permita. En ausencia de ello, la autoridad ambiental mantiene su rol oficial de autorización, control y verificación, mientras el sistema tecnológico conserva evidencia o hash de eventos críticos sin sustituir sus funciones.

Seguridad física de etiquetas y soportes. Las etiquetas QR o soportes físicos deben ser resistentes a humedad, manipulación, transporte, almacenamiento, rayos UV, fricción y condiciones propias del bosque, centros de acopio o transformación. Podrán usarse etiquetas sintéticas, placas, marcación indeleble, códigos impresos, certificados físicos o digitales, según el tipo de unidad trazable. En el caso de trozas o madera en campo, el sistema de marcaje debe definirse evitando afectaciones operativas, daños a equipos de transformación o pérdida de legibilidad durante el transporte y acopio.

2.6.5 Beneficios esperados para la Amazonía y la Orinoquia y condiciones para su aplicación

La adopción progresiva de códigos QR, expediente digital, herramientas IoT y registros inmutables puede generar beneficios relevantes para la trazabilidad de madera nativa proveniente de la Amazonía y la Orinoquía, siempre que se implemente como un sistema complementario a los instrumentos oficiales y no como una plataforma paralela.

Mayor integridad de la información. El uso de códigos únicos, QR, expediente digital y registros inmutables opcionales permite reducir el riesgo de alteración no autorizada de la información, especialmente en eventos críticos como cambios de custodia, recepción, transformación, generación de sublotes, cierre de balances de masa o reportes MRV. No obstante, la inmutabilidad tecnológica no garantiza por sí sola la veracidad del dato inicial; por ello, debe complementarse con verificación física, revisión documental, control de inventarios y auditoría.

Mejor capacidad de control y auditoría. El sistema puede facilitar que autoridades, compradores, empresas ancla, centros de acopio, auditores o verificadores consulten de forma rápida el expediente digital asociado a un lote o producto. A través del QR se puede acceder a información sobre origen, especie, volumen, SUNL asociado, ruta, recepción, transformación, calidad y destino. Esta consulta mejora la transparencia, pero no reemplaza los procedimientos oficiales de control ni las competencias de las autoridades ambientales o de policía.

Reducción de riesgos de pérdida de trazabilidad. La regla de herencia de información permite conservar el vínculo entre el árbol, lote o unidad de origen y sus unidades derivadas, como trozas, tablas, listones, sublotes, productos finales, residuos, biomasa o biochar. Esto es especialmente importante en los centros de acopio y transformación, donde existe riesgo de mezcla, pérdida de identidad, diferencias de inventario o ruptura entre el material físico y el expediente digital.

Mayor confianza comercial. La disponibilidad de información trazable, verificable y comunicable puede mejorar la confianza entre NDFyB, empresas ancla, centros de acopio, talleres, compradores y usuarios finales. Esto puede fortalecer el acceso a mercados que valoran legalidad, trazabilidad, sostenibilidad, no deforestación y calidad técnica. Sin embargo, no debe afirmarse que el sistema garantiza automáticamente precios premium; el valor comercial dependerá también de la calidad del producto, la demanda, las certificaciones, los acuerdos comerciales y la capacidad de suministro.

Soporte para pasaportes digitales y comunicación al usuario. La información registrada en el expediente digital puede alimentar pasaportes digitales asociados a productos de madera, componentes constructivos, muebles, piezas de carpintería o biochar. Esto permite traducir la trazabilidad técnica en información comprensible para usuarios finales, compradores institucionales, arquitectos, transformadores, auditores o verificadores.

Base para MRV y valorización climática en el Modelo de Negocio 3. En el caso de residuos, biomasa y biochar, la trazabilidad digital permite demostrar que el residuo proviene de un lote madre de madera legal, registrar su peso o volumen, humedad, preparación, proceso de pirólisis, rendimiento, destino de aplicación y variables MRV. Solo si esta información es consistente, verificable y auditada podrá soportar eventuales atributos climáticos o créditos de carbono.

2.7 Metodología de cálculo del costo por m³ de madera por la implementación del sistema de trazabilidad

Para estimar el costo por metro cúbico de madera asociado a la implementación del sistema de trazabilidad, se aplicó una lógica metodológica combinada de **costeo por actividades y tiempos de operación**, **costo total de propiedad** y **análisis costo-beneficio incremental**. Esta aproximación permite identificar las actividades que generan costos dentro del sistema —registro, identificación, etiquetado, expediente digital, control de calidad, cadena de custodia, auditoría, pasaporte digital, MRV, entre otras— y distribuir dichos costos entre el volumen efectivamente trazado en cada modelo de negocio.

En la siguiente tabla se detallan los enfoques mencionados.

Tabla 10. Enfoques metodológicos para estimar el costo por metro cúbico de madera asociado a la implementación del sistema de trazabilidad.

Enfoque metodológico	¿Qué permite hacer?	Aplicación en los Excel de trazabilidad	Variables o generadores de costo considerados	Fuente de respaldo
Costeo por actividades y tiempos de operación — TDABC—	Permite asignar costos según las actividades que consumen recursos, el tiempo requerido para ejecutarlas, la capacidad utilizada y la unidad procesada.	Se utilizó para estimar cuánto cuesta ejecutar actividades específicas del sistema de trazabilidad en cada modelo de negocio.	Número de lotes, eventos trazables, m³ procesados, horas de personal, inspecciones realizadas, cantidad de residuos aprovechados, registros de MRV.	Kaplan et al. (2007)
Costo total de propiedad — TCO— o costo de ciclo de vida	Permite considerar no solo la inversión inicial, sino también los costos de operación, mantenimiento, actualización, capacitación, reposición, auditoría y soporte durante el horizonte de análisis.	Se aplicó para estimar el costo anual total del sistema, incluyendo CAPEX anualizado y costos recurrentes de operación.	Plataforma, equipos, etiquetas, QR, capacitación, soporte, auditorías, mantenimiento, reposición tecnológica, actualización de datos.	ISO 15686-5:2017
Trazabilidad por eventos	Permite registrar y costear los eventos que ocurren a lo largo de la cadena de valor.	Cada modelo incorpora eventos trazables que generan costos de captura, validación, almacenamiento, consulta y actualización de información.	Aprovechamiento, movilización, recepción, transformación, despacho, uso final, generación de residuos, producción de biochar, aplicación y MRV.	GS1 EPCIS; GS1 Digital Link
Cadena de custodia forestal	Permite seguir el material forestal desde el origen hasta la transformación, almacenamiento, distribución, venta o uso final.	Se utilizó como base para mantener el vínculo entre origen legal, lote, sublote, producto final, residuo, biochar o usuario final.	Identificación del material, registros de compra, almacenamiento, transformación, inventarios, salidas, ventas y destino.	FSC Chain of Custody
Análisis costo-beneficio incremental	Permite comparar el escenario “sin trazabilidad” frente al escenario “con trazabilidad”, identificando costos adicionales y beneficios incrementales.	Se aplicó para estimar si los beneficios generados por la trazabilidad compensan los costos de implementación y operación.	Reducción de rechazos, menor retrabajo, ahorro administrativo, disminución de pérdidas de inventario, prima de precio, acceso a mercados, reducción de riesgos legales y reputacionales.	Boardman et al. (2018)
Indicadores financieros	Permiten evaluar la conveniencia económica de	Los Excel calculan indicadores para comparar costos y	Valor Presente Neto —VPN—, relación beneficio/costo —B/C—	Boardman et al. (2018)

Enfoque metodológico	¿Qué permite hacer?	Aplicación en los Excel de trazabilidad	Variables o generadores de costo considerados	Fuente de respaldo
	implementar el sistema.	beneficios en el horizonte de análisis.	, Tasa Interna de Retorno —TIR— y periodo de recuperación.	

Fuente: Geotem SAS adaptado de las fuentes consultadas.

Con base en esta metodología, se elaboraron **tres plantillas de Excel**, una para cada modelo de negocio priorizado. Cada plantilla incorpora supuestos editables de volumen, número de lotes, eventos trazables, costos de implementación, costos anuales de operación, personal, herramientas tecnológicas, auditorías, pasaportes digitales, control de calidad, MRV y beneficios esperados. Los resultados deben entenderse como una **herramienta flexible de estimación**, que deberá actualizarse con cotizaciones reales, resultados de pilotos y datos operativos de los actores participantes. Esta separación por modelo es necesaria porque se establecen rutas de trazabilidad diferenciadas para madera en construcción, madera para segunda transformación y residuos para biochar y MRV.

De esta forma, en el **Modelo de Negocio 1**, la plantilla estima el costo de trazabilidad para una cadena orientada a construcción, en la que la madera debe conservar su vínculo desde el NDFyB hasta la empresa ancla, el componente constructivo, la obra o solución constructiva y el usuario final. El costo por metro cúbico está influenciado principalmente por el volumen anual trazado, el número de lotes o despachos, la inversión inicial en herramientas digitales y el nivel de verificación técnica requerido para uso constructivo. La estrategia financiera recomendada es iniciar con un sistema mínimo viable —QR, expediente digital, validación documental y control de recepción— y escalar gradualmente hacia pasaportes digitales, auditorías o certificaciones, en la medida en que exista mayor volumen y compradores que reconozcan el valor de la trazabilidad.

Anexo 4. Modelo_1_Costo_m3_Trazabilidad_Construccion_Guia

Por su parte, en el Modelo de Negocio 2, la plantilla estima el costo de trazabilidad para una cadena con centros de acopio, acondicionamiento, generación de sublotes, talleres especializados y productos finales en madera. El principal factor que incide en el costo por metro cúbico es la escala: si el centro de acopio procesa bajo volumen, los costos fijos de inventario, clasificación, secado, control de calidad, trazabilidad interna y pasaporte digital se distribuyen entre pocos metros cúbicos; si aumenta el volumen, el costo unitario disminuye. La estrategia financiera más adecuada es compartir costos entre centros de acopio, talleres y compradores, aplicar tarifas por metro cúbico procesado o sublote verificado, y vincular el costo de trazabilidad con beneficios comerciales como reducción de rechazos, mejor calidad, diferenciación del producto y acceso a mercados de mayor valor.

Anexo 5. Modelo_2_Costo_m3_Trazabilidad_Acopio_Talleres_Guia

De otro lado, en el **Modelo de Negocio 3**, la plantilla estima el costo de trazabilidad para residuos, biomasa, biochar y MRV. En este caso, el costo no depende únicamente del

volumen de madera trazada, sino del volumen de residuos aprovechables, la humedad de la biomasa, el rendimiento de pirólisis, el costo de captura de datos, el balance de masa, la evidencia de aplicación y la eventual verificación climática. La estrategia financiera recomendada es implementar el MRV de manera gradual: primero registrar residuos, lote madre, peso, humedad y destino; luego incorporar balance de masa y parámetros de pirólisis; y finalmente, si existe escala y mercado, avanzar hacia verificación independiente y créditos de carbono. Esto evita sobredimensionar el sistema antes de contar con suficiente volumen operativo y demanda real.

Anexo 6. Modelo_3_Costo_m3eq_Trazabilidad_Biochar_MRV_Guia

Con base en las plantillas financieras ajustadas a los volúmenes de referencia del Subproducto 2, se estimó el costo unitario de implementación del sistema de trazabilidad para cada modelo de negocio. La estimación se realizó dividiendo el costo anual total del sistema —que incluye costos anualizados de inversión, operación, herramientas digitales, identificación física, control documental, registros de eventos, soporte, verificación y componentes específicos de calidad o MRV— entre el volumen anual trazado en cada modelo.

Para el **Modelo de Negocio 1**, orientado a madera para construcción, el costo anual total estimado del sistema de trazabilidad asciende a **$134,3 millones COP**, distribuido sobre un volumen de **1.410 m³/año**, lo que arroja un costo unitario aproximado de **$95.259 COP/m³**. Este valor corresponde a la trazabilidad desde el lote de origen hasta la empresa ancla, el componente constructivo, la obra o solución constructiva y, cuando aplique, el pasaporte digital asociado al proyecto.

Para el **Modelo de Negocio 2**, asociado a centros de acopio, acondicionamiento, talleres y productos en madera, el costo anual total estimado asciende a **$246,5 millones COP**, distribuido sobre **1.792,8 m³/año**, lo que equivale a **$137.470 COP/m³**. Este mayor costo unitario frente al Modelo 1 se explica por la mayor complejidad operativa del modelo, que incluye recepción, clasificación, secado, generación de sublotes, control de inventarios, despacho a talleres, seguimiento de productos finales y pasaportes digitales.

Para el **Modelo de Negocio 3**, orientado a residuos, biomasa, biochar y MRV, el costo anual total estimado asciende a **$518,1 millones COP**, distribuido sobre **8.173 m³ equivalentes/año** de madera madre asociada a la biomasa procesada. Esto genera un costo unitario aproximado de **$63.386 COP/m³eq**. En este caso, el costo incluye la trazabilidad del residuo, el balance de masa, la biomasa preparada, la producción de biochar, el uso final y los registros asociados al MRV.

Estos resultados deben entenderse como valores de planeación y no como tarifas definitivas. Su precisión dependerá de la actualización de cotizaciones, número real de lotes, frecuencia de despachos, cantidad de eventos trazables, costos de certificación, auditorías, verificaciones externas y resultados de los pilotos. No obstante, permiten dimensionar financieramente el costo incremental de la trazabilidad y utilizarlo como insumo para definir pagos por hitos, cofinanciación condicionada, mecanismos recuperables, garantías o distribución de costos entre actores de la cadena.

En términos comparativos, el Modelo 2 presenta el mayor costo unitario de trazabilidad debido a la generación de sublotes, acondicionamiento, control técnico y seguimiento hasta productos finales; el Modelo 1 presenta un costo intermedio asociado a construcción y aceptación en obra; y el Modelo 3, aunque tiene el mayor costo anual total, muestra el menor costo por m³ equivalente debido a que el volumen de referencia se distribuye sobre una base mayor de biomasa procesada y madera madre asociada.

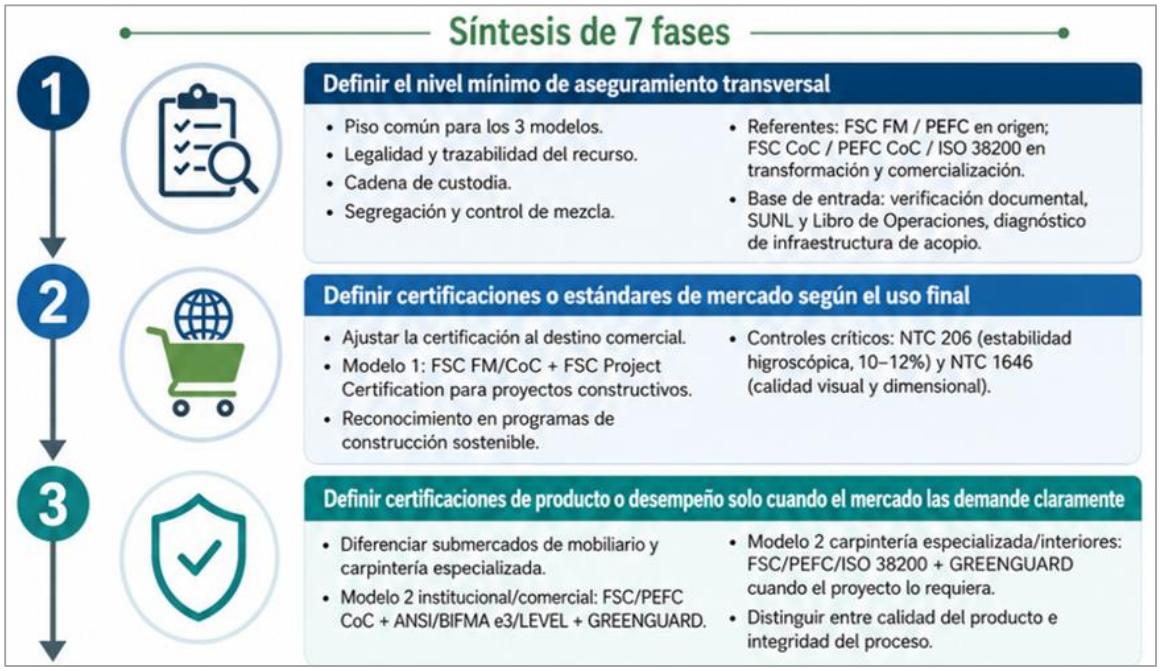
Es importante tener en cuenta que, las plantillas elaboradas muestran que el costo por metro cúbico depende menos de una tecnología específica y más de la relación entre **volumen trazado, número de eventos, complejidad operativa, personal requerido, grado de verificación y escala de implementación**. Por ello, la estrategia financiera transversal debe ser gradual: iniciar con herramientas básicas de alto impacto, distribuir costos entre actores, vincular pagos a hitos verificables, buscar cofinanciación pública o climática, y monetizar beneficios asociados a reducción de rechazos, acceso a mercados, reputación, legalidad y sostenibilidad.

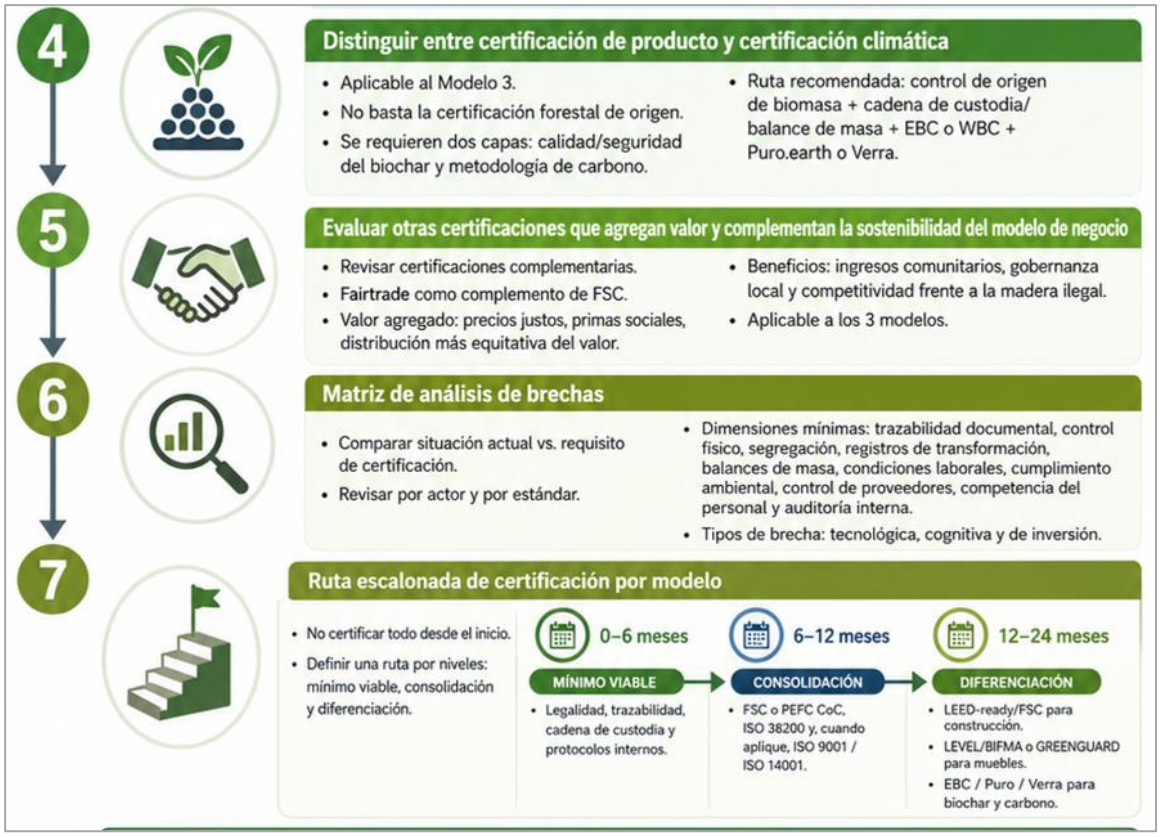
3 CERTIFICACIONES Y ESTÁNDARES

3.1 Metodología para elaborar la propuesta de certificaciones según los estándares más relevantes

Se ha establecido una ruta de siete fases las cuales se presentan en la siguiente figura.

Figura 21. Fases – Certificaciones y Estándares.





Fuente: Geotem SAS.

3.1.1 Fase 1. Definir el nivel mínimo de aseguramiento transversal

Se trata de **definir el nivel mínimo de aseguramiento transversal** que toda la cadena requiere cumplir, independientemente del modelo. Para los tres modelos, ese piso mínimo debería ser: i) evidencia de legalidad y trazabilidad del recurso; ii) un sistema de **cadena de custodia**; y iii) procedimientos de segregación y control de mezcla.

En términos de estándares, eso se traduce en priorizar **FSC Forest Management** o su equivalente PEFC en origen cuando sea viable, y **FSC Chain of Custody**, **PEFC Chain of Custody** o **ISO 38200** en los actores de transformación y comercialización. FSC y PEFC son las opciones más visibles comercialmente; ISO 38200 es especialmente útil como estándar técnico de cadena de custodia cuando todavía no existe masa crítica o presupuesto para certificar toda la cadena bajo un esquema de sello comercial.

En ese sentido, esta fase también se apoya en un análisis de contexto, aseguramiento y línea base de legalidad, que permita establecer el filtro de entrada al sistema de valor, a través de una auditoría exhaustiva de las condiciones actuales de los NDFyB (Los Puertos y Orotuyo) para garantizar que la base de la pirámide de certificación sea la legalidad plena. Para ello, se destacan los siguientes puntos.

- **Verificación Documental:** Se realiza el cotejo de las Resoluciones de Aprovechamiento Forestal vigentes frente a los volúmenes reales en patio de acopio.
- **Aseguramiento de Trazabilidad:** Validación de la operatividad del Salvoconducto Único Nacional en Línea (SUNL) y el Registro del Libro de Operaciones.
- **Diagnóstico de Infraestructura:** Evaluación de las condiciones de almacenamiento en los Centros de Acopio, Acondicionamiento y Distribución para prevenir la degradación biótica de la madera antes de su despacho.

3.1.2 Fase 2. Definir certificaciones o estándares de mercado según el uso final

En construcción, el mayor valor no suele venir de una certificación “de calidad de la madera” como tal, sino de poder demostrar que la madera proviene de fuentes responsables y que el proyecto puede hacer declaraciones reconocidas por programas de edificación sostenible. FSC señala que su **Project Certification** aplica a edificios nuevos, renovaciones, obras civiles, puentes de madera y proyectos similares, y además indica que programas como **LEED**, **Living Building Challenge**, **BREEAM** y otros reconocen el valor de la madera certificada FSC. Por eso, para el Modelo 1, la certificación más estratégica es una combinación de **FSC FM/CoC** en la cadena y **FSC Project Certification** cuando se trate de proyectos constructivos emblemáticos o pilotos demostrativos.

Asimismo, en esta fase se aplican los controles críticos para garantizar que la madera sea apta para los mercados de Cundinamarca, definiendo principalmente los dos estándares de desempeño siguientes.

- **Protocolo de Estabilidad Higroscópica (NTC 206):** La certificación de producto exige que la madera destinada al **Modelo de Negocio 2 (Mobiliario)** sea sometida a mediciones sistemáticas con xilohigrómetros de hincado. El estándar establece que la madera debe alcanzar un equilibrio higroscópico compatible con las condiciones ambientales de la Sabana de Bogotá (rango del 10% al 12%), evitando reclamaciones por contracción o alabeo en destino.
- **Certificación de Calidad Visual y Dimensional (NTC 1646**): Se estandariza la clasificación de piezas eliminando la subjetividad. Se certifica la ausencia de defectos críticos (nudos sueltos, pudrición, ataques de insectos) para el **Modelo de Negocio 1 (Estructural)**, asegurando que el material cumpla con las capacidades de carga requeridas en construcción.

3.1.3 Fase 3. Definir certificaciones de producto o desempeño solo cuando el mercado las demande claramente

En el caso de mobiliario y carpintería especializada, la literatura institucional muestra que **ANSI/BIFMA e3** y su esquema **LEVEL** son hoy el estándar más visible para sostenibilidad de mobiliario comercial, porque cubren impactos ambientales, salud y bienestar, e impactos sociales, con verificación por tercera parte. Además, UL reporta que **GREENGUARD** evalúa

emisiones químicas para muebles y materiales de construcción y que sus criterios han servido de base para créditos de productos de bajas emisiones en LEED.

Por tanto, en el Modelo 2 conviene separar dos submercados: si se apunta a **mobiliario institucional/comercial**, la combinación lógica es **FSC/PEFC CoC + ANSI/BIFMA e3/LEVEL + GREENGUARD**; si se apunta a **carpintería especializada, muebles a medida o arquitectura interior**, la combinación mínima puede ser **FSC/PEFC/ISO 38200** para origen y trazabilidad, y **GREENGUARD** solo cuando el proyecto requiera demostrar bajas emisiones en interiores.

Igualmente, es importante tener en cuenta que la distinción entre calidad de la pieza (producto) y la integridad de la operación (proceso) es vital para la captura de valor en mercados diferenciados. En ese sentido, la Certificación de Manejo Forestal, estaría orientada a validar que la extracción en el NDFyB cumple con los planes de ordenamiento y la conservación de la biodiversidad.

3.1.4 Fase 4. Distinguir entre certificación de producto y certificación climática

En el modelo de negocio 3, para biochar, no basta con una certificación forestal de origen; se requieren al menos dos capas adicionales: una de **calidad y seguridad del biochar** como producto, y otra de **metodología de carbono** si se quiere monetizar remociones. En este punto, la información oficial es muy clara: el **IBI Biochar Standard** fue retirado en 2024 y el camino actual converge hacia el **World Biochar Certificate (WBC)** y el **European Biochar Certificate (EBC)**, administrados por Carbon Standards International; mientras que, para créditos de carbono, hoy los marcos más relevantes son la **metodología de biochar de Puro.earth** y la **VM0044 de Verra**.

Por eso, para el modelo de negocio 3 la ruta recomendada no es “FSC solo”, sino **certificación o control de origen de la biomasa + cadena de custodia / balance de masa en residuos + EBC o WBC para calidad del biochar + Puro o Verra para carbono**.

3.1.5 Fase 5. Evaluar otras certificaciones que agregan valor y complementan la sostenibilidad del modelo de negocio

Para esta quinta fase, se trata de evaluar otras certificaciones que agreguen valor a los modelos de negocio. En este sentido, la certificación **Fairtrade, es complementaria con FSC.** Diversos estudios han mostrado que la **doble certificación FSC + Fairtrade** puede constituir un modelo robusto para la gestión sostenible de bosques comunitarios.

Mientras que FSC asegura que el manejo forestal cumple estándares ambientales y técnicos rigurosos, Fairtrade introduce mecanismos económicos que garantizan **precios justos, primas sociales y una distribución más equitativa del valor generado por la actividad forestal**.

En experiencias documentadas en bosques tropicales, esta certificación dual ha contribuido a mejorar los ingresos de las comunidades forestales y a financiar proyectos locales de salud, educación e infraestructura. Asimismo, ha fortalecido la gobernanza local y ha ayudado a contrarrestar la competencia de la madera ilegal, al mejorar la rentabilidad de

las operaciones forestales legales (Fairtrade International, s.f.). La certificación Fairtrade sería aplicable para los tres modelos de negocio.

3.1.6 Fase 6. Matriz análisis de brechas

La matriz de análisis de brechas constituye una herramienta de diagnóstico para comparar la situación actual de los actores vinculados a los tres modelos de negocio frente a los requisitos técnicos, operativos, documentales, ambientales, laborales, de trazabilidad, certificación y verificación que serían necesarios para consolidar una operación sostenible y auditable.

Esta fase es especialmente importante porque no todos los actores tienen el mismo nivel de madurez ni enfrentan las mismas exigencias. Los **NDFyB** requieren fortalecer legalidad, documentación, trazabilidad y preparación de despachos; las **empresas ancla** deben avanzar en recepción técnica, calidad, compras responsables y cadena de custodia; los **Centros de Acopio, Acondicionamiento y Distribución** deben consolidar control de humedad, clasificación, secado, sublotes e inventarios; los **talleres y transformadores** requieren fortalecer trabajabilidad, acabados, fichas de desempeño y trazabilidad de producto; y, para el **Modelo de Negocio 3**, el operador del sistema móvil de pirólisis debe demostrar capacidades específicas en manejo de residuos, biomasa, pirólisis, biochar, balance de masa, MRV, seguridad industrial y control ambiental.

La matriz debe revisar, como mínimo, las brechas en trazabilidad documental, control físico del material, segregación de inventarios, registros de transformación, consistencia de balances de masa, condiciones laborales, cumplimiento ambiental, control de proveedores, competencia del personal, auditoría interna, capacidad de sostener auditorías externas y, para el modelo de negocio 3, seguridad y salud en el trabajo asociada a la operación móvil de pirólisis.

En este último caso, el análisis no debe limitarse a la entrega de elementos de protección personal, sino que debe considerar el sistema de gestión de riesgos industriales y de proceso, incluyendo SG-SST específico para la unidad móvil, análisis HAZOP, análisis seguro de trabajo —AST— por actividad, monitoreo de gases, control de polvo combustible, prevención de incendios, procedimientos de arranque/parada/descarga, control de emisiones y coordinación con el SG-SST de cada empresa anfitriona.

La matriz también debe diferenciar entre brechas tecnológicas, cognitivas, de inversión, de gestión y de verificación. Esta diferenciación permite evitar que la ruta de certificación se convierta en una exigencia indiscriminada e inmediata. ISO 14001, ISO 9001, ISO 45001, FSC, PEFC, ISO 38200, ANSI/BIFMA e3, GREENGUARD, EBC/WBC, Puro.earth o Verra no exigen únicamente documentos, sino sistemas operativos capaces de demostrar control, mejora continua, trazabilidad, calidad, seguridad, cumplimiento y verificación.

Por tanto, el análisis de brechas permite priorizar inversiones, definir necesidades de fortalecimiento y establecer una ruta gradual de alistamiento antes de asumir certificaciones o verificaciones externas.

A continuación, se presenta la matriz con el análisis de brechas.

Tabla 11. Análisis de brechas.

Área de evaluación	Modelos / actores a los que aplica	Estado actual o línea base	Requisito de certificación, estándar o condición ideal	Brecha identificada
Legalidad, soporte documental y origen autorizado	Modelos 1, 2 y 3. NDFyB, empresas ancla, Centros de Acopio, Acondicionamiento y Distribución, talleres y operador de biochar.	Existencia de soportes legales, pero con distintos niveles de organización, verificación, digitalización y consistencia entre permiso, SUNL, LOFL, lote, especie, volumen y destino.	La cadena debe demostrar origen legal, documentación vigente, trazabilidad desde el aprovechamiento autorizado, coherencia entre volumen autorizado, movilizado y recibido, y conservación de soportes verificables para auditoría.	**Brecha tecnológica:** baja digitalización documental y ausencia de sistemas integrados de consulta y archivo. **Brecha cognitiva:** debilidades en lectura y verificación de SUNL, LOFL, permisos y expedientes de lote. **Brecha de gestión:** falta de rutinas estandarizadas de revisión documental antes de recepción o despacho. **Brecha de inversión:** necesidad de herramientas digitales, conectividad, capacitación y soporte documental.
Trazabilidad digital y cadena de custodia	Modelos 1, 2 y 3. Especialmente empresas ancla, Centros de Acopio, Acondicionamiento y Distribución, talleres y operador de biochar.	Predominan registros físicos o manuales, con trazabilidad documental básica y baja integración entre lote, sublote, producto, residuo, biomasa y biochar.	Sistemas de cadena de custodia compatibles con FSC CoC, PEFC CoC o ISO 38200, con identificación de lotes, registros de entradas y salidas, control de mezcla, trazabilidad interna, saldos, sublotes y evidencias verificables.	**Brecha tecnológica:** falta de software, QR, expedientes digitales, controles de inventario y herramientas de conciliación. **Brecha cognitiva:** desconocimiento de reglas de cadena de custodia y control de mezcla. **Brecha de gestión:** ausencia de responsables claros por cada cambio de custodia. **Brecha de inversión:** implementación de plataformas, equipos de marcación, capacitación y auditoría interna.
Control de humedad y secado	Modelos 1 y 2; también Modelo 3 para humedad de biomasa. Centros de Acopio, Acondicionamiento y Distribución, empresas ancla, talleres y operador de biochar.	Secado natural o empírico, mediciones no siempre registradas y poca diferenciación por especie, grupo funcional, densidad, uso final o destino climático.	Control documentado de humedad por lote o sublote; medición con equipos calibrados; rangos ajustados por especie, grupo funcional, uso final y condiciones de destino; para biomasa, humedad compatible con la tecnología de pirólisis.	**Brecha tecnológica:** ausencia de xilohigrómetros calibrados, sensores, registros digitales, infraestructura de secado y control de humedad de biomasa. **Brecha cognitiva:** falta de formación en medición, equilibrio higroscópico, dificultad de secado y lectura de resultados. **Brecha de inversión:** adquisición de equipos, adecuación de zonas de secado, cámaras o servicios de secado y protocolos de seguimiento.
Clasificación visual, defectos críticos y aceptación/rechazo	Modelos 1 y 2; aplica a residuos del Modelo 3 cuando se evalúa aptitud para biomasa.	Selección basada en experiencia del aserrador, criterios comerciales	Aplicación de matriz de defectos críticos, clasificación por especie o grupo funcional, densidad, calidad, dimensiones, uso final, humedad,	**Brecha cognitiva:** baja capacitación formal en defectos, clasificación, nudos, grietas, alabeos, pudrición, insectos, manchas y aptitud por uso. **Brecha tecnológica:** falta de formatos

Área de evaluación	Modelos / actores a los que aplica	Estado actual o línea base	Requisito de certificación, estándar o condición ideal	Brecha identificada
	NDFyB, centros de acopio, empresas ancla y talleres.	tradicionales o evaluación visual no estandarizada.	defectos, aceptación, aceptación condicionada, cuarentena o rechazo.	estandarizados, herramientas de medición, fichas y registros fotográficos. **Brecha de gestión:** ausencia de criterios homogéneos entre centros de acopio, empresas y talleres. **Brecha de inversión:** formación, asistencia técnica y adopción de la matriz operativa.
Caracterización técnica de especies y fichas técnicas	Modelos 1 y 2; soporte indirecto para Modelo 3 en biomasa y poder calorífico. Universidades, laboratorios, NDFyB, empresas ancla y talleres.	Información técnica incompleta para varias especies nativas; uso de conocimiento empírico y baja disponibilidad de fichas por especie o grupo funcional.	Fichas técnicas por especie o grupo funcional, ensayos físicos y mecánicos, información de densidad, secado, estabilidad, durabilidad, trabajabilidad, usos recomendados y restricciones. Para usos estructurales o semiestructurales, validación técnica suficiente.	**Brecha cognitiva:** desconocimiento de propiedades y usos adecuados de especies nativas. **Brecha tecnológica:** baja disponibilidad de laboratorios, protocolos de muestreo y bases de datos técnicas aplicadas al proyecto. **Brecha de inversión:** costos de ensayos, fichas, pilotos, micro-lotes y validación en taller u obra. **Brecha de gestión:** falta de una ruta permanente de actualización técnica.
Gestión de inventarios, saldos y sublotes	Modelos 1 y 2; aplica a Modelo 3 para residuos y biomasa. Centros de Acopio, Acondicionamiento y Distribución, empresas ancla, talleres y operador de biochar.	Inventarios manejados con distintos niveles de detalle; riesgo de mezcla, pérdida de identidad del lote, saldos no conciliados o sublotes sin trazabilidad suficiente.	Inventarios por lote, sublote, especie, volumen, estado, ubicación, humedad, calidad y destino; conciliación entre entradas, salidas, mermas, residuos y productos.	**Brecha tecnológica:** ausencia de sistemas de inventario trazable, etiquetas, QR y conciliación de saldos. **Brecha cognitiva:** falta de capacitación en control de inventarios y segregación. **Brecha de gestión:** movimientos internos sin registro uniforme. **Brecha de inversión:** sistemas de información, equipos de marcación y capacitación.
Gestión de residuos y valorización de subproductos	Modelo 3; articulado con Modelos 1 y 2. Empresas transformadoras, centros de acopio, talleres y operador de biochar.	Aprovechamiento limitado de residuos, principalmente en usos de baja agregación de valor; baja segregación por tipo de residuo, especie, humedad, limpieza o procedencia.	Sistema de economía circular con residuos segregados, trazables, limpios, cuantificados y vinculados al lote madre de madera legal; preparación de biomasa apta para biochar o usos alternativos.	**Brecha tecnológica:** falta de equipos de pesaje, segregación, almacenamiento, triturado, cribado y medición de humedad. **Brecha cognitiva:** desconocimiento de criterios de biomasa apta, contaminación, humedad y valorización. **Brecha de gestión:** ausencia de protocolos de entrega de residuos y acuerdos de reparto de beneficios. **Brecha de inversión:** infraestructura, equipos, capacitación y pruebas piloto.

Área de evaluación	Modelos / actores a los que aplica	Estado actual o línea base	Requisito de certificación, estándar o condición ideal	Brecha identificada
Sistema móvil de pirólisis y operación técnica	Modelo 3. Operador del sistema móvil, empresas anfitrionas, laboratorios y aliados técnicos.	Producción potencial de biochar aún sin validación operativa suficiente, sin rutina demostrada de operación móvil, mantenimiento, control de proceso y calidad del producto.	Operación controlada del sistema portátil de pirólisis, con procedimientos de preparación de biomasa, alimentación, control de temperatura, gases, syngas, rendimiento, descarga, enfriamiento, almacenamiento, mantenimiento y registros.	**Brecha tecnológica:** necesidad de equipo de pirólisis, sensores, sistema de control, mantenimiento, equipos auxiliares y registros operativos. **Brecha cognitiva:** falta de personal entrenado en pirólisis, parámetros de proceso, calidad de biochar y seguridad. **Brecha de gestión:** ausencia de operador formal, manual O&M, bitácora y programación de rutas. **Brecha de inversión:** adquisición o leasing del equipo, mantenimiento, seguros, capacitación y soporte técnico.
Seguridad y Salud en el Trabajo para operaciones forestales, acopio y transformación	Modelos 1 y 2. NDFyB, centros de acopio, empresas ancla, talleres y transformadores.	Cumplimiento parcial de EPP y prácticas básicas de seguridad en aserrío, acopio, secado, carga, descarga y transformación.	SG-SST operativo, identificación de peligros, evaluación de riesgos, procedimientos de trabajo seguro, capacitación, registros de incidentes, mantenimiento preventivo, control de máquinas, manejo de cargas y mejora continua; compatible con ISO 45001 cuando se busque certificación.	**Brecha cognitiva:** falta de formación en riesgos de aserrío, almacenamiento, equipos móviles, carga, ergonomía y manejo de herramientas. **Brecha tecnológica:** ausencia de registros, señalización, dispositivos de seguridad y controles de máquinas. **Brecha de gestión:** SG-SST no siempre articulado con cadena de custodia y calidad. **Brecha de inversión:** dotación, capacitación, adecuaciones y auditoría.
Seguridad y Salud en el Trabajo para sistema móvil de pirólisis	**Modelo 3.** Operador de biochar, empresas anfitrionas, Unidad de Cumplimiento, aliados técnicos, laboratorios, verificadores y entidades que participen en el piloto.	Aún no existe un sistema móvil de pirólisis operando ni un SG-SST específico para la unidad móvil. Tampoco se cuenta con protocolos integrados con cada empresa donde se instalaría temporalmente el equipo, ni con procedimientos completos para transporte, instalación, carga, arranque, operación, parada, descarga, enfriamiento, empaque, mantenimiento y retiro.	El operador deberá contar con un **SG-SST específico para la unidad móvil**, articulado con el SG-SST de cada empresa anfitriona, conforme al Decreto 1072 de 2015 e inspirado en ISO 45001. La operación deberá incorporar evaluación de riesgos de maquinaria bajo ISO 12100, controles de seguridad de sistemas automáticos o enclavamientos cuando aplique bajo ISO 13849-1, gestión de riesgos bajo ISO 31000, gestión ambiental bajo ISO 14001:2026, análisis HAZOP previo al piloto, AST por actividad, procedimientos escritos de operación y	**Brecha tecnológica:** ausencia de detectores fijos o portátiles de CO, monitores de gases, sensores de temperatura, alarmas, extracción o captación de polvo, sistemas de control de emisiones, extintores adecuados, barreras físicas, señalización, protecciones en partes móviles, dispositivos de parada de emergencia, sistemas de bloqueo/etiquetado, equipos de medición, ayudas mecánicas para carga/descarga y elementos para control térmico. **Brecha cognitiva:** falta de entrenamiento en pirólisis, gases de proceso, CO

Área de evaluación	Modelos / actores a los que aplica	Estado actual o línea base	Requisito de certificación, estándar o condición ideal	Brecha identificada
			mantenimiento, LOTO para mantenimiento, monitoreo de CO y gases, control de polvo combustible, prevención de incendios y explosiones, control de emisiones, manejo de biochar caliente, control de estrés térmico, lista de chequeo por sitio y plan de emergencias.	(monóxido de carbono), VOC[3], syngas, polvo combustible, incendio, explosión, biochar caliente, enfriamiento, piroforicidad, LOTO[4], AST, emergencias, manipulación de cargas, operación móvil y coordinación con empresas anfitrionas. **Brecha de gestión:** inexistencia de HAZOP, matriz de riesgos específica, AST por tarea, manual O&M (Operación y Mantenimiento), protocolos de arranque/parada/descarga, programa de mantenimiento, lista de chequeo por predio, plan de emergencias, procedimiento de investigación de incidentes, control de contratistas y coordinación formal con el SG-SST de cada empresa anfitriona. **Brecha ambiental y de proceso:** falta de protocolos para excluir madera tratada, pintada o contaminada; controlar humedad de biomasa; manejar polvo, condensados, syngas, emisiones y almacenamiento temporal de biochar. **Brecha de inversión:** necesidad de financiar sensores, controles de ingeniería, EPP especializado, mantenimiento, seguros, adecuación de sitios de operación, capacitación especializada, auditorías, validación técnica y acompañamiento de expertos en SST, seguridad de proceso y ambiente.

[3] **VOC** significa **Volatile Organic Compounds**, en español **compuestos orgánicos volátiles —COV—**. Son gases o vapores que pueden generarse durante procesos térmicos como la pirólisis, especialmente si hay combustión incompleta, biomasa con humedad inadecuada o control deficiente del proceso.

[4] **LOTO** significa **Lockout/Tagout**, en español **bloqueo y etiquetado de energías peligrosas**. Es un procedimiento de seguridad que se aplica antes de hacer mantenimiento, limpieza, desbloqueo o reparación de equipos. Consiste en **bloquear físicamente las fuentes de energía** —eléctrica, térmica, mecánica, hidráulica, neumática o química— y colocar una etiqueta de advertencia para evitar que alguien encienda el equipo accidentalmente mientras una persona está trabajando en él.

Área de evaluación	Modelos / actores a los que aplica	Estado actual o línea base	Requisito de certificación, estándar o condición ideal	Brecha identificada
Gestión ambiental y control de emisiones	Modelos 1, 2 y 3; énfasis en Modelo 3. NDFyB, empresas, centros de acopio y operador de biochar.	Cumplimiento ambiental principalmente regulatorio, sin sistema de gestión ambiental estructurado ni indicadores permanentes de desempeño.	Sistema de gestión ambiental compatible con ISO 14001; control de impactos, residuos, emisiones, consumo energético, uso de agua, polvo, ruido, manejo de condensados y prevención de contaminación; para biochar, biomasa limpia y trazable, exclusión de madera tratada o contaminada y control de emisiones.	**Brecha cognitiva:** bajo conocimiento de gestión ambiental sistemática y control de emisiones de pirólisis. **Brecha tecnológica:** falta de monitoreo, registros ambientales, sistemas de control de polvo, gases o material particulado. **Brecha de gestión:** ausencia de indicadores y responsabilidades ambientales por etapa. **Brecha de inversión:** implementación de sistema de gestión, mediciones, auditorías y controles ambientales.
Gestión de calidad industrial	Modelos 1 y 2. Empresas ancla, centros de acopio, talleres y transformadores.	Procesos de transformación y control de calidad con baja documentación, criterios heterogéneos y controles no siempre trazables.	Sistema de gestión de calidad compatible con ISO 9001, con procedimientos documentados, control de procesos, registros, no conformidades, acciones correctivas, mejora continua y trazabilidad de producto.	**Brecha cognitiva:** cultura limitada de gestión de calidad y control documentado. **Brecha tecnológica:** ausencia de formatos, software, equipos de medición y control de no conformidades. **Brecha de gestión:** bajo uso de indicadores de calidad, devoluciones, reprocesos y acciones correctivas. **Brecha de inversión:** implementación de sistemas de gestión, capacitación y auditorías internas.
Certificaciones de cadena de custodia y trazabilidad	Modelos 1 y 2; base para Modelo 3 en residuos trazables. NDFyB, centros de acopio, empresas ancla y transformadores.	Existen soportes de legalidad y movilización, pero no necesariamente un sistema robusto de cadena de custodia certificable.	FSC CoC, PEFC CoC o ISO 38200 requieren control de material, segregación, registros, declaraciones, proveedores, entradas, salidas, productos, etiquetado, auditorías y control de mezcla.	**Brecha tecnológica:** falta de sistemas de trazabilidad y control de inventarios compatibles con auditoría. **Brecha cognitiva:** desconocimiento de requisitos de cadena de custodia. **Brecha de gestión:** falta de responsable de certificación y auditoría interna. **Brecha de inversión:** diagnóstico, consultoría, implementación y auditoría externa.
Certificaciones de mercado para mobiliario y productos	Modelo 2. Talleres, transformadores, empresas de mobiliario y compradores institucionales.	Producción de carpintería y muebles sin certificaciones ambientales, de salud de materiales o sostenibilidad de producto.	Estándares como ANSI/BIFMA e3 – LEVEL, GREENGUARD u otros aplicables al mercado objetivo, asociados a materiales, emisiones, salud, bienestar, desempeño ambiental y trazabilidad.	**Brecha cognitiva:** desconocimiento de estándares de mobiliario sostenible y requisitos de clientes institucionales. **Brecha tecnológica:** ausencia de trazabilidad de insumos, control de emisiones, fichas de producto y ensayos. **Brecha de inversión:** adecuación de procesos, pruebas, auditorías y certificación. **Brecha comercial:** necesidad de comprador o nicho que justifique el costo.

Área de evaluación	Modelos / actores a los que aplica	Estado actual o línea base	Requisito de certificación, estándar o condición ideal	Brecha identificada
Calidad de biochar y certificaciones climáticas	Modelo 3. Operador de biochar, laboratorios, verificadores y compradores de biochar o carbono.	Producción potencial de biochar sin validación completa de calidad, uso final, balance de masa, MRV o elegibilidad climática.	Certificación o verificación de calidad del biochar bajo referentes como EBC/WBC y metodologías de remoción de carbono como Puro.earth o Verra VM0044, cuando exista escala, trazabilidad, MRV y mercado.	**Brecha tecnológica:** falta de sistema MRV, balance de masa, análisis de calidad, seguimiento de destino y trazabilidad climática. **Brecha cognitiva:** desconocimiento de metodologías de carbono, calidad de biochar y doble contabilidad. **Brecha de gestión:** ausencia de operador responsable del MRV, verificador, registro y protocolo de datos. **Brecha de inversión:** costos de laboratorio, MRV, verificación, registro y comercialización de créditos.
Balance de masa, MRV y distribución de beneficios	Modelo 3. Empresas aportantes de residuos, operador, compradores, verificadores y gobernanza del modelo.	No existe todavía un sistema operativo permanente para conciliar residuos generados, biomasa procesada, biochar producido, aplicación final, carbono estabilizado e ingresos asociados.	Balance de masa documentado; MRV con origen, volumen, humedad, proceso, rendimiento, biochar, destino, carbono y evidencias; reglas claras sobre propiedad del biochar, titularidad de créditos y distribución de ingresos.	**Brecha tecnológica:** falta de plataforma MRV, pesajes, registros y trazabilidad lote madre–residuo–biochar. **Brecha cognitiva:** baja comprensión de adicionalidad, permanencia, doble contabilidad y trazabilidad climática. **Brecha de gestión:** ausencia de reglas de reparto de beneficios, reinversión y responsabilidades. **Brecha de inversión:** desarrollo del sistema MRV, auditorías, verificación y soporte jurídico-comercial.
Auditoría interna y capacidad de sostener auditorías externas	Modelos 1, 2 y 3. Todos los actores según nivel de madurez.	Los registros pueden existir, pero no necesariamente están organizados para auditoría, trazabilidad histórica, seguimiento de hallazgos o mejora continua.	Capacidad de demostrar evidencias, registros, responsables, acciones correctivas, control de versiones, indicadores, auditorías internas y preparación para auditorías externas de certificación, calidad, ambiente, SST, MRV o cadena de custodia.	**Brecha cognitiva:** falta de cultura de auditoría y gestión de evidencias. **Brecha tecnológica:** ausencia de repositorios, matrices de seguimiento y control documental. **Brecha de gestión:** no conformidades sin cierre documentado. **Brecha de inversión:** formación, auditorías internas, acompañamiento técnico y preparación para certificación.
Capacidad financiera para cerrar brechas	Modelos 1, 2 y 3. NDFyB, empresas ancla, centros de acopio, talleres, transformadores y operador de biochar.	Limitaciones de liquidez para equipos, capacitación, trazabilidad, ensayos, secado, certificaciones, MRV y seguridad industrial.	Esquemas financieros diferenciados por actor y riesgo: pagos contra hitos, cofinanciación, garantías, crédito verde, leasing, factoring, confirming, componente recuperable, acuerdos de compra futura y recursos de cooperación.	**Brecha de inversión:** insuficiencia de recursos para cubrir costos habilitantes. **Brecha de gestión:** falta de proyectos bancables y presupuestos por fase. **Brecha cognitiva:** desconocimiento de instrumentos financieros disponibles. **Brecha operativa:** riesgo de iniciar certificaciones o tecnología sin capacidad de sostenimiento.

Fuente: Geotem SAS.

Para el Modelo de Negocio 3, la seguridad del sistema móvil de pirólisis debe analizarse como una combinación de seguridad ocupacional, seguridad de maquinaria, seguridad de proceso y gestión ambiental, por lo que no es suficiente exigir únicamente EPP o capacitación básica. Antes del piloto se recomienda estructurar un SG-SST específico para la unidad móvil, articulado con el SG-SST de cada empresa anfitriona, y apoyarlo en referentes técnicos complementarios como la ISO 45001:2018, orientada a sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo; la ISO 12100:2010, sobre evaluación y reducción de riesgos en maquinaria; la ISO 13849-1:2023, aplicable a partes de sistemas de mando relacionadas con la seguridad, como paradas de emergencia, sensores o enclavamientos; la ISO 31000:2018, sobre gestión del riesgo; y la ISO 14001:2026, asociada a la gestión ambiental de la operación.

Estas normas no sustituyen el cumplimiento del SG-SST colombiano ni de los permisos ambientales aplicables, pero sirven como referentes para estructurar una operación segura, controlada, auditable y ambientalmente responsable. En consecuencia, la operación solo debería habilitarse cuando exista HAZOP (Hazard and Operability Study, en español Análisis de Peligros y Operabilidad), AST (Análisis de Seguridad en el Trabajo) por actividad, manual de operación y mantenimiento, lista de chequeo por sitio, monitoreo de gases, control de polvo combustible, control de energías peligrosas, medidas frente a estrés térmico, incendio y explosión, y un plan de emergencias documentado.

3.1.7 Fase 7. Ruta escalonada de certificación por modelo

La séptima fase consiste en priorizar en el tiempo. La recomendación metodológica no es certificar “todo” desde el inicio, sino definir una ruta de tres niveles: **mínimo viable**, **consolidación** y **diferenciación**.

En el mínimo viable entran trazabilidad, legalidad, cadena de custodia y protocolos internos compatibles con certificación futura. En consolidación, se avanzaría hacia FSC o PEFC CoC, ISO 38200 y, donde tenga sentido, ISO 9001 o ISO 14001. En diferenciación, se incorporarían certificaciones orientadas a nichos de mercado: LEED-ready/FSC para construcción, EPD para productos de construcción, LEVEL/BIFMA o GREENGUARD para muebles, y EBC/Puro/Verra para biochar y carbono.

En ese sentido, y para establecer una ruta escalonada de cumplimiento se ha dividido en tres horizontes temporales, los cuales se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 12. Horizontes temporales.

Fases	Puntos clave
Fase de Adecuación Técnica (0-6 meses)	• Verificación de la **legalidad forestal** mediante el uso sistemático del **SUNL y LOFL**, asegurando trazabilidad documental desde los Núcleos de Desarrollo Forestal y Biodiversidad (NDFyB). • Adquisición de **equipos de medición (xilohigrómetros)** y capacitación del personal de los **Centros de Acopio, Acondicionamiento y Distribución** en las normas **NTC 206 (contenido de humedad)** y **NTC 1646 (clasificación visual y dimensional)**.

Fases	Puntos clave
	• Implementación de **fichas técnicas de lote** y registros de trazabilidad para los **Modelos de Negocio 1 y 2**. • Implementación inicial de **procedimientos de cadena de custodia compatibles con FSC, PEFC o ISO 38200**, aunque aún sin certificación formal. • Diagnóstico de **brechas técnicas, documentales y de gestión** frente a estándares internacionales (FSC, PEFC, ISO 9001, ISO 14001). • Capacitación del personal en **buenas prácticas de manejo forestal, control de inventarios, segregación de material y registro de información técnica**. • Identificación y caracterización de **residuos de transformación maderera** para el **Modelo de Negocio 3**, incluyendo volumen, tipo de biomasa y potencial de aprovechamiento energético.
Fase de Estandarización de Procesos (6-12 meses)	• Montaje o adecuación de **infraestructura de secado controlado** en puntos estratégicos de los Centros de Acopio, Acondicionamiento y Distribución para cumplir el rango de **equilibrio higroscópico (10-12%) requerido para la Sabana de Bogotá**, especialmente en el **Modelo de Negocio 2**. • Implementación piloto de **sistemas digitales de trazabilidad**, compatibles con plataformas oficiales (VITAL/SUNL) y con herramientas de **cadena de custodia (ISO 38200, FSC CoC o PEFC CoC)**. • Estandarización de **protocolos de clasificación de madera** según **NTC 1646**, asegurando consistencia entre productores y transformadores. • Implementación de **sistemas básicos de gestión organizacional**, orientados a la preparación para **ISO 9001 (gestión de calidad)** y **ISO 14001 (gestión ambiental)**. • Implementación de **protocolos de segregación y balance de masa** para garantizar integridad del material certificado. • Desarrollo de **procedimientos de control de residuos y subproductos** para el **Modelo de Negocio 3**, incluyendo medición de rendimientos y trazabilidad de biomasa residual. • Inicio de pruebas piloto de **pirólisis y caracterización del biochar** para evaluar cumplimiento potencial de estándares como **EBC o WBC** (Dependerá de poder contar con la inversión ejecutada del equipo móvil de pirólisis).
Fase de Certificación de Valor Agregado (12-24 meses)	• Auditorías externas para la obtención de **certificación de cadena de custodia (FSC CoC o PEFC CoC)** en centros de acopio, transformadores y comercializadores. • Evaluación de viabilidad para **certificación de manejo forestal (FSC FM o PEFC FM)** en los NDFyB cuando exista masa crítica suficiente. • Implementación de **ISO 9001** en empresas transformadoras para fortalecer control de calidad y procesos industriales. • Implementación de **ISO 14001** en actores clave de la cadena para consolidar gestión ambiental y cumplimiento regulatorio. • Para el **Modelo de Negocio 1 (construcción)**: uso de madera certificada en proyectos piloto y evaluación de **FSC Project Certification** para edificaciones demostrativas. • Para el **Modelo de Negocio 2 (mobiliario)**: incorporación de certificaciones de mercado como **ANSI/BIFMA e3 – LEVEL** y **UL GREENGUARD** en empresas orientadas a mobiliario institucional o de interiores sostenibles.

Fases	Puntos clave
	• Para el **Modelo de Negocio 3 (biochar)**: certificación de calidad del producto mediante **European Biochar Certificate (EBC) o World Biochar Certificate (WBC)**. • Desarrollo de proyectos de **remoción de carbono mediante biochar** bajo estándares de carbono como **Puro.earth** o **Verra VM0044**, incluyendo validación y verificación por tercera parte. • Consolidación de un sistema integral de **trazabilidad, certificación y gobernanza sectorial** que permita posicionar la madera y sus derivados en mercados de alto valor ambiental y climático.

Fuente: Geotem SAS.

3.2 Principales requisitos y costos asociados

3.2.1 Certificaciones transversales de origen, manejo forestal y cadena de custodia

3.2.1.1 FSC Forest Management (FSC FM) y FSC Chain of Custody (FSC CoC).

FSC Forest Management (FSC FM). La certificación FSC de manejo forestal está asociada al **Forest Stewardship Council (FSC)**, pero los certificados no los emite directamente FSC sino **organismos de certificación independientes y acreditados**. Su función es verificar que el bosque se maneja conforme a los principios y criterios del FSC; ello implica comprometerse con los 10 principios del estándar, pasar una evaluación independiente y sostener auditorías anuales.

Para los Modelos 1 y 2, esta certificación es la referencia más fuerte para demostrar que la madera procede de bosques gestionados de manera ambientalmente adecuada, socialmente beneficiosa y económicamente viable (FSC Colombia, 2024; Venegas Deza, 2012). Entre sus beneficios principales están el acceso a mercados exigentes, el fortalecimiento reputacional, la posibilidad de capturar primas o diferenciar producto, y la mejora continua del manejo y la productividad.

En cuanto a costos para Colombia, no existe una tarifa pública única: FSC indica expresamente que el costo varía según tamaño, localización y estado de las prácticas existentes.

FSC Chain of Custody (FSC CoC). Esta certificación también pertenece al sistema FSC y la emiten **organismos de certificación independientes acreditados**. Su objetivo es asegurar que el material forestal certificado pueda ser rastreado de manera creíble a lo largo de la cadena de suministro. Los requisitos oficiales incluyen la implementación de procedimientos de cadena de custodia, segregación y control del material, evaluación por tercera parte y auditorías anuales; además, FSC destaca que existe una modalidad de certificación grupal que facilita el acceso de pequeñas empresas.

Para los Modelos 1 y 2, FSC CoC es especialmente importante en centros de acopio, inmunizadoras, secaderos, talleres y comercializadores; y para el Modelo 3 sirve como base de trazabilidad del residuo maderero que luego se transforma en biochar. Entre sus

beneficios están la posibilidad de vender con declaración FSC, responder a clientes que exigen trazabilidad y reforzar la confianza comercial.

En Colombia, el costo de las certificaciones forestales no es fijo, ya que depende de diversos factores asociados tanto al tipo de certificación como a las características de la operación que busca certificarse. En primer lugar, el valor varía según se trate de una certificación de **Manejo Forestal (Forest Management – FM)** o de **Cadena de Custodia (Chain of Custody – CoC)**. Asimismo, influyen el tamaño y la complejidad de la operación, así como el organismo certificador seleccionado para realizar la auditoría.

Debido a estas variaciones, las entidades del sistema FSC recomiendan solicitar cotizaciones directas a organismos de certificación acreditados para obtener un valor real y vinculante. Además del costo de la certificación en sí, también deben considerarse gastos asociados a consultoría técnica, auditorías, desplazamientos del equipo auditor y procesos de vigilancia anual requeridos por el esquema de certificación (Forest Stewardship Council, s.f.; SGS, s.f.).

Existen varios factores que influyen directamente en el precio final del proceso de certificación. Uno de los principales es el **tipo de certificación** solicitada: la certificación de **Manejo Forestal (FM)** suele ser más costosa que la de **Cadena de Custodia (CoC)**, debido a la mayor complejidad que implica evaluar en terreno las prácticas de manejo forestal, los impactos ambientales y sociales, y el cumplimiento de los planes de manejo. Otro factor relevante es el **tamaño y la dispersión geográfica del área o de las instalaciones evaluadas**.

A mayor número de hectáreas o mayor dispersión entre los sitios de operación, se requieren más días de auditoría y mayores costos logísticos asociados a transporte y desplazamiento de los auditores. Igualmente, la **complejidad social y ambiental del territorio** puede incrementar los costos del proceso; por ejemplo, cuando existen comunidades locales, territorios colectivos, concesiones múltiples o marcos regulatorios complejos que requieren mayor análisis y verificación.

Finalmente, también influye el **estado de preparación documental y organizacional de la empresa o del proyecto**. Las organizaciones que aún no cuentan con sistemas de gestión, procedimientos documentados o registros técnicos adecuados suelen requerir procesos previos de consultoría y preparación —incluyendo preauditorías e implementación de procedimientos— lo cual representa un costo adicional dentro del proceso de certificación (QLS Consultoría, s.f.).

En términos financieros, el proceso de certificación forestal debe presupuestarse considerando varios componentes de costo. Entre ellos se incluyen la **cuota de solicitud y revisión documental** que cobra el organismo certificador para iniciar el proceso, así como el costo de la **auditoría inicial**, que normalmente se calcula en función de los días-hombre del equipo auditor y los desplazamientos necesarios para realizar la evaluación en terreno.

A esto se suman los **honorarios de consultoría técnica**, que pueden ser necesarios para preparar los sistemas de gestión, los registros y las evidencias documentales requeridas

por el estándar. También deben contemplarse los **gastos logísticos asociados a la auditoría**, como transporte, alojamiento y viáticos del equipo auditor cuando las evaluaciones se realizan en zonas rurales o de difícil acceso.

Finalmente, el proceso no concluye con la certificación inicial, ya que el sistema exige **auditorías de vigilancia anual** y una **recertificación completa cada cinco años**, lo cual implica costos recurrentes que deben considerarse dentro de la planificación financiera de las empresas o proyectos que buscan mantener el sello de certificación (Forest Stewardship Council, s.f.; SGS, s.f.).

A manera de estimaciones basadas en rangos de mercado internacional se presenta la siguiente tabla.

Tabla 13. Estimación de costos FSC en Colombia.

CONCEPTO	PEQUEÑA OPERACIÓN	MEDIANA OPERACIÓN	GRAN OPERACIÓN
Cadena de Custodia (CoC) — costo inicial total (COP)	**COP 4.000.000 – 12.000.000**	**COP 12.000.000 – 30.000.000**	**COP 30.000.000 – 80.000.000+**
Manejo Forestal (FM) — costo inicial total (COP)	**COP 12.000.000 – 40.000.000**	**COP 40.000.000 – 120.000.000**	**COP 120.000.000 – 600.000.000+**
Vigilancia anual / mantenimiento (COP por año)	**20% – 60% del costo inicial**	**20% – 50%**	**15% – 40%**

Nota: Conversiones aproximadas: 1 USD ≈ COP 4.000 — usar solo como referencia, dado que no se trata de cotizaciones vinculantes.

Fuente: Geotem SAS.

3.2.1.2 PEFC Forest Management y PEFC Chain of Custody

El **Programme for the Endorsement of Forest Certification (PEFC)** administra un sistema internacional de reconocimiento de esquemas nacionales; las certificaciones son emitidas por **organismos certificadores independientes**. En manejo forestal, PEFC exige que los bosques se gestionen con criterios ambientales, sociales y económicos exigentes; en cadena de custodia, el estándar PEFC establece condiciones para rastrear el material forestal desde fuentes sostenibles hasta el producto final e incorpora requisitos mínimos sobre salud, seguridad y trabajo. PEFC es particularmente útil cuando se quiere contar con una alternativa de reconocimiento internacional distinta de FSC o cuando el mercado del comprador reconoce ambos sellos.

Sus beneficios declarados incluyen trazabilidad, reducción de riesgos legales y reputacionales, acceso a mercados y compatibilidad con exigencias regulatorias. PEFC aclara además que la certificación CoC se cotiza caso a caso y que el costo depende del tiempo de auditoría, el tamaño de la empresa y la complejidad de la cadena.

Se presenta a continuación estimaciones para Colombia, basados en la estructura de costos (auditorías, viajes, consultoría) descrita por consultores y certificadores; no son cotizaciones. *(Grupo ACMS Consultores, s.f.).*

Tabla 14. Costos estimados para Colombia PEFC.

CONCEPTO	PEQUEÑA	MEDIANA	GRANDE
Cadena de Custodia (CoC) — costo inicial (COP)	COP 3.000.000 – 8.000.000	COP 8.000.000 – 25.000.000	COP 25.000.000 – 80.000.000+
Manejo Forestal (FM) — costo inicial (COP)	COP 10.000.000 – 40.000.000	COP 40.000.000 – 120.000.000	COP 120.000.000 – 250.000.000+
Vigilancia anual (% de la inicial)	20% – 60%	20% – 50%	15% – 40%

Fuente: adaptado de Grupo ACMS Consultores, (s.f.).

3.2.1.3 ISO 38200

Este estándar es emitido por la **International Organization for Standardization (ISO)** y su certificación, cuando se implementa como sistema auditado, la realizan organismos certificadores acreditados. ISO 38200 no es un “sello forestal” como FSC o PEFC, sino un estándar técnico para la **cadena de custodia de madera y productos de madera**. Sus requisitos abarcan el control del material a través del transporte, la recepción, la producción, la venta, la reventa y la declaración de salida.

Su ventaja para los tres modelos es que puede funcionar como un estándar técnico de trazabilidad y segregación incluso cuando la cadena aún no está lista para sostener una certificación comercial completa. No se identificó una tarifa pública para Colombia; por tanto, su costo debe presupuestarse caso a caso con el certificador, incluyendo adecuación documental, auditoría y vigilancia.

3.2.1.4 SUNL y LOFL

Aunque no son certificaciones en sentido estricto, sí son **instrumentos obligatorios de legalidad y control** y, por ello, deben tratarse como el “piso mínimo” del sistema de aseguramiento. El **Salvoconducto Único Nacional en Línea (SUNL)** es administrado por las autoridades ambientales a través de **VITAL** y autoriza la movilización de especímenes de la diversidad biológica, incluidos productos forestales.

El **Libro de Operaciones Forestales en Línea (LOFL)** fue establecido por la Resolución 1971 de 2019 y constituye el registro de entradas y salidas para industrias y comercializadores. Su principal beneficio no es reputacional sino habilitante: sin ellos no hay soporte legal suficiente para la movilización ni para la trazabilidad básica del material.

Es de anotar que, la expedición del SUNL no tiene ningún costo, y sólo se cobrará el costo unitario del papel de impresión, generalmente 20% de un SMLV según la resolución 1390 de 2018 del Minambiente.

Para el LOFL la inscripción no tiene costo, pero sí deben preverse costos de adecuación interna y eventuales visitas o requerimientos de la autoridad autoridad ambiental.

3.2.2 Certificaciones y estándares de mercado para el Modelo de Negocio 1: transformación industrial y construcción

3.2.2.1 FSC Project Certification

Esta certificación está administrada por **FSC** y la emiten **certificadores independientes acreditados**. Está diseñada para proyectos específicos —edificios nuevos, renovaciones, obras civiles, puentes de madera y otros proyectos comparables— y exige demostrar conformidad del proyecto con los requisitos FSC, incluyendo abastecimiento de materiales FSC, documentación de soporte y evaluación por tercera parte.

Su principal beneficio en el Modelo de Negocio 1 es permitir que un proyecto constructivo o demostrativo comunique de forma robusta que usó madera de fuentes responsables, fortaleciendo la entrada a mercados y licitaciones sensibles a sostenibilidad. En Colombia no se identificó una tarifa pública de referencia; el costo depende del alcance del proyecto, la cantidad de proveedores, la complejidad documental y la certificadora.

3.2.2.2 Otras NTC

NTC 206 y NTC 1646. Estas no son certificaciones comerciales, sino **normas técnicas colombianas** que resultan indispensables como soporte del desempeño del producto. La **NTC 206** se asocia al control del contenido de humedad y es crítica para secado y estabilidad higroscópica; la **NTC 1646** soporta la clasificación visual y dimensional, ayudando a reducir subjetividad y a vincular calidad con uso final.

En el Modelo de Negocio 1, ambas funcionan como estándares de validación técnica más que como “sello” de mercado. Sus beneficios son operativos y comerciales: reducen rechazos, mejoran compatibilidad con los requerimientos de destino y ayudan a respaldar la aptitud del material para usos estructurales o industriales. En costos para Colombia, no existe una “tarifa de certificación” asociada a estas normas; los costos corresponden a equipos de medición, capacitación del personal, ensayos de laboratorio y eventuales auditorías internas o de cliente.

3.2.3 Certificaciones y estándares de mercado para el Modelo de Negocio 2: centros de acopio, acondicionamiento y distribución, talleres especializados, y mobiliario, carpintería especializada y soluciones arquitectónicas

3.2.3.1 ANSI/BIFMA e3 y LEVEL

El estándar **ANSI/BIFMA e3 Furniture Sustainability Standard** es desarrollado por **BIFMA** bajo proceso ANSI, y el programa **LEVEL** es la certificación de sostenibilidad para mobiliario basada en ese estándar. BIFMA explica que e3 evalúa impactos ambientales, de salud y bienestar, y sociales del producto, la instalación y la empresa; LEVEL, a su vez, requiere evaluación por **certificadores independientes autorizados por BIFMA** y clasifica el desempeño en niveles progresivos.

Para el Modelo de Negocio 2, este estándar es especialmente pertinente cuando el objetivo es mobiliario institucional o comercial, porque ofrece un lenguaje reconocible para compradores corporativos y del sector construcción. Sus beneficios incluyen diferenciación, alineación con marcos como LEED y WELL, validación de desempeño socioambiental y mayor transparencia frente a clientes.

No se identificaron tarifas públicas para Colombia en el sitio oficial; por tanto, el costo debe cotizarse con un certificador autorizado y dependerá del número de productos, plantas, países involucrados y evidencia requerida. LEVEL tiene vigencia de tres años, lo que también implica presupuestar recertificación.

3.2.3.2 UL GREENGUARD

Esta certificación es propiedad y es emitida por **UL Solutions**. Su foco no es el origen forestal sino las **emisiones químicas** y la contribución del producto a una mejor calidad del aire interior. UL indica que GREENGUARD aplica a muebles, materiales de construcción y otros productos de interiores, con pruebas rigurosas sobre emisiones de compuestos orgánicos volátiles; además, GREENGUARD Gold establece límites más estrictos y se usa con frecuencia en escuelas, hospitales y otros entornos sensibles.

Para el Modelo de Negocio 2, esta certificación es especialmente valiosa cuando se apunta a mobiliario interior de alto desempeño o a clientes que priorizan salud ambiental en espacios cerrados. Entre sus beneficios están el acceso a mercados que exigen bajas emisiones, el reconocimiento por parte de compradores y la posibilidad de contribuir a créditos de edificaciones sostenibles.

No se identificó una tarifa pública específica para Colombia; el costo depende del tipo de producto, el programa de ensayo y el número de referencias a certificar.

3.2.3.3 ISO 9001 e ISO 14001

Estas normas son emitidas por **ISO** y las certificaciones son concedidas por organismos acreditados, como ICONTEC, SGS, Bureau Veritas u otros. **ISO 9001** establece requisitos para un sistema de gestión de calidad orientado al control de procesos y a la mejora continua, mientras que **ISO 14001** proporciona el marco para un sistema de gestión ambiental.

Para los Modelos de Negocio 1 y 2 no sustituyen a FSC, PEFC o CoC, pero sí ayudan a consolidar disciplina operativa, control documental, consistencia en la calidad y mejor gestión ambiental de la empresa. ISO destaca que 9001 se orienta a satisfacer requisitos y mejorar la satisfacción del cliente, mientras que 14001 ayuda a limitar la huella ambiental, cumplir requisitos legales y mejorar el desempeño ambiental.

En costos para Colombia, no se identificaron tarifas públicas cerradas para la certificación; sin embargo, ICONTEC sí publica costos de formación como referencia de preparación: programas de auditor interno en **ISO 9001** se encontraron entre **COP 720.283 y COP 1.364.000**, y un programa de auditor interno en **ISO 14001** en **COP 1.264.000**. Estos valores

no equivalen al costo de certificación, pero sí sirven como referencia parcial del costo de alistamiento técnico.

El costo de la certificaciones ISO 9001 en Colombia varía mucho, desde unos pocos millones de pesos colombianos (COP) para PYMES (incluyendo consultoría, formación y auditoría) hasta decenas de millones para empresas grandes, dependiendo del tamaño de la empresa, la complejidad de sus procesos, el número de empleados y sedes, y la firma certificadora, incluyendo gastos de preparación, auditoría inicial y mantenimientos anuales, con estimaciones para pymes entre $7.000 y $50.000 USD en un ciclo de 3 años, con costos adicionales por consultoría especializada y auditorías externas (Grupo ACMS Consultores, 2021)

Certificarse en ISO 14001 en Colombia no tiene un precio fijo, ya que depende del tamaño, sector y complejidad de la empresa. Los costos incluyen consultoría (pueden ser millones de pesos COP), auditorías externas (ICONTEC, Bureau, Veritas), y capacitación (aprox. $650,000 COP para cursos de auditor interno (RGI Grupo., s.f.).

3.2.4 Fórmula práctica para convertir costos de certificación a COP/m³

Para estimar el costo de certificación por metro cúbico, se adopta una fórmula simple de prorrateo. La lógica consiste en distribuir los costos de diagnóstico, alistamiento, auditoría, vigilancia, tasas del esquema y verificación externa entre el volumen auditable del periodo considerado.

$$\text{Costo de certificacion por m}^3 = \frac{C_{diagnóstico} + C_{alistamiento} + C_{auditoriainicial} + C_{vigilancia} + C_{tasas} + C_{ensayos} + C_{verificación}}{V_{auditable}}$$

Donde:

Tabla 15 .Distribución de costos de certificación a COP/m³

Variable	Significado
C diagnóstico	Costo de línea base, análisis de brechas y revisión documental.
C alistamiento	Costos de capacitación, procedimientos, registros, adecuaciones y sistemas de gestión.
C auditoría inicial	Costo de evaluación por organismo certificador o verificador.
C vigilancia	Auditorías anuales o periódicas de mantenimiento.
C tasas	Tarifas cobradas por el esquema, registro, emisión, uso de sello o plataforma.
C ensayos	Pruebas técnicas, laboratorio, análisis de producto o biochar.
C verificación	Validación/verificación externa, especialmente para carbono o MRV.
V auditable	Volumen de madera, producto, residuo, biochar o m³ equivalente cubierto por el esquema.

Fuente: Geotem SAS.

Esta fórmula no busca reemplazar las cotizaciones de certificadores, sino crear una herramienta de planeación para estimar el impacto unitario de la certificación en cada modelo de negocio. En FSC y PEFC, las fuentes oficiales señalan que el proceso depende de certificadores independientes, auditorías y condiciones específicas de cada organización; FSC indica que solo organismos de certificación acreditados pueden auditar y certificar, y que se realizan auditorías anuales de cadena de custodia, mientras que PEFC señala que el costo lo establece el certificador, que depende del tiempo de auditoría, tamaño y complejidad de la cadena, y que el certificado tiene vigilancia anual durante su vigencia.

3.2.5 Coeficientes de planeación para certificación por m³

Con base en las fuentes revisadas, se recomienda no presentar un único valor de certificación, sino una tabla de coeficientes de planeación. Estos valores permiten aproximar el costo adicional por m³, siempre que se expresen los supuestos de volumen, escala y tipo de certificación.

Tabla 16. Coeficientes de planeación para certificación por m³

Certificación o estándar	Disponibilidad de costos	Forma de cálculo o tratamiento	Coeficiente sugerido o criterio
FSC / PEFC / ISO 38200 – Cadena de custodia	No existe tarifa universal pública. FSC y PEFC remiten a certificadores acreditados.	Prorratear alistamiento, auditoría inicial y vigilancia entre volumen anual certificado.	Operación mediana: **1.000–5.000 COP/m³**. Operación pequeña: **4.000–15.000 COP/m³**. Usar como coeficiente de planeación, no como tarifa oficial.
FSC / PEFC – Manejo forestal	No existe tarifa única. El costo depende del área, complejidad y preparación del manejo.	Puede estimarse por hectárea y convertirse a m³ si se conoce el rendimiento comercial por hectárea.	Usar solo si existe dato de área y rendimiento. El componente de auditoría forestal puede estimarse como costo menor frente al alistamiento y manejo documental.
ISO 38200	No se identificó tarifa pública para Colombia.	Usar como proxy de cadena de custodia tipo FSC/PEFC CoC.	Aplicar el mismo rango de **1.000–5.000 COP/m³** para operación mediana, sujeto a cotización.
FSC Project Certification	No se identificó tarifa pública.	Costo por proyecto constructivo, no por m³ base.	No incluir en costo general por m³; prorratear solo si un proyecto específico decide usarla.
NTC 206 y NTC 1646	No son certificaciones comerciales.	Costos de equipos, medición, capacitación, ensayos o auditoría interna.	Incluir en control de calidad, no como certificación. Puede prorratearse en el costo de calidad, pero no en el costo de certificación.
ANSI/BIFMA e3 – LEVEL	No se identificó tarifa pública para Colombia.	Certificación por producto, línea o empresa, orientada a mobiliario institucional.	No incluir en costo base por m³; tratar como costo opcional por familia de producto.

Certificación o estándar	Disponibilidad de costos	Forma de cálculo o tratamiento	Coeficiente sugerido o criterio
UL GREENGUARD	No se identificó tarifa pública específica para Colombia.	Depende del tipo de producto, programa de ensayo y número de referencias.	No incluir en costo base por m³; tratar como costo comercial de producto terminado.
ISO 9001 / ISO 14001	No hay tarifa pública cerrada; existen referencias de capacitación y rangos de consultoría.	Costos de sistema de gestión empresarial, no de un lote de madera.	Prorratear solo a nivel de empresa si se conoce el volumen anual procesado.
EBC / WBC	Se requiere cotización específica.	Certificación de calidad del biochar como producto.	No calcular por m³ hasta contar con cotización; separar de certificación de carbono.
Verra VM0044 / VCS	Sí existen tarifas oficiales públicas del esquema.	Convertir tasas fijas y variables a COP/m³ equivalente según volumen y tCO_2e por m³.	Referencia práctica: **5.500–6.000 COP/m³ equivalente** sin VVB externo; **6.000–15.000 COP/m³ equivalente** con reserva para MRV/VVB.
Puro.earth Biochar Methodology	Sí existen tarifas públicas por CORC.	Convertir €/CORC a COP/m³ equivalente usando CORC/m³.	Escala media: **25.000–26.000 COP/m³ equivalente** con 0,8 CORC/m³ y tarifa de 7 €/CORC. Alta escala: **1.400–12.500 COP/m³ equivalente** según tramo.
Fairtrade	No existe tarifa única; depende de organización, volumen y cadena.	Cotización con FLOCERT; puede aplicarse como complemento social y comercial.	No incluir en costo base por m³; aplicar solo si el modelo incorpora organización comunitaria con mercado que reconozca comercio justo.
CCB	Costos por proyecto territorial, no por producto maderable.	Aplica a proyectos de paisaje, clima, comunidad y biodiversidad.	No incluir en costo base por m³; evaluar solo si se estructura proyecto territorial complementario.

NOTAS:

CCB: Estándares de Clima, Comunidad y Biodiversidad.
CORC: Certificado de Remoción de CO_2
EBC: Certificado Europeo de Biochar
VCS: Estándar Verificado de Carbono
VVB: Organismo de Validación y Verificación
WBC: Certificado Mundial de Biochar

Fuente: Geotem SAS.

En el texto actual ya se había señalado que LEVEL y GREENGUARD no tienen tarifas públicas para Colombia y que dependen del número de productos, plantas, países involucrados, programa de ensayo y referencias a certificar. Por tanto, estas certificaciones deben mantenerse como opciones de diferenciación comercial del Modelo 2, pero no como parte del costo base por m³.

3.2.6 Explicación de cómo se llega al cálculo por m³

A. Certificaciones de cadena de custodia: FSC, PEFC e ISO 38200

Para FSC, PEFC e ISO 38200, el cálculo por m³ se realiza por prorrateo, porque no existe una tarifa oficial única. La fórmula sería:

$$\text{Costo CoC por m}^3 = \frac{\text{alistamiento} + \text{auditoría inicial} + \text{vigilancia anual}}{\text{m}^3 \text{ auditables del periodo}}$$

Ejemplo de planeación:

Tabla 17. Escenarios de planeación para estimar el costo anual de certificaciones de cadena de custodia según volumen auditable.

Escenario	Volumen anual	Coeficiente sugerido	Costo anual estimado
Operación pequeña	500 m³/año	4.000–15.000 COP/m³	2,0–7,5 millones COP/año
Operación mediana	3.000 m³/año	1.000–5.000 COP/m³	3,0–15,0 millones COP/año
Operación grande	10.000 m³/año	<1.000–2.000 COP/m³	<10,0–20,0 millones COP/año

Fuente: Geotem SAS.

Este rango es coherente con la lógica de PEFC, que indica que los costos dependen del certificador, país, tamaño de la empresa y complejidad de la cadena, y que el tiempo promedio de auditoría de cadena de custodia suele estar entre medio día y dos días, con auditorías anuales de vigilancia durante la vigencia del certificado.

B. Certificación climática para biochar: Verra

En Verra, el cálculo sí puede hacerse con mayor precisión porque existe un esquema de tarifas públicas. Para llevarlo a COP/m³ equivalente, se suman los costos fijos del esquema y los costos variables por unidad emitida o retirada, y luego se dividen por el volumen auditable del proyecto.

$$\text{Costo Verra por m}^3 = \frac{\text{costos fijos del esquema} + \text{VCU emitidas} \times \text{tarifa por VCU}}{\text{m}^3 \text{ equivalentes}}$$

Con los supuestos usados en el informe:

Tabla 18. Supuestos de trabajo para estimar el costo Verra por m³ equivalente.

Supuesto	Valor de trabajo
Tipo de cambio	1 USD = 4.100 COP
Volumen auditable	10.000 m³ equivalentes
Relación carbono/volumen	0,8 VCU por m³ equivalente
Costo fijo visible Verra	USD 11.750
Emisión + retiro	USD 0,25 por VCU

Fuente: Geotem SAS.

Resultado aproximado:

Tabla 19. Cálculo referencial del costo visible Verra por m³ equivalente.

Concepto	Cálculo	Resultado
Costos fijos Verra	USD 11.750 × 4.100 / 10.000 m³	4.818 COP/m³
Costo variable	0,8 VCU/m³ × USD 0,25 × 4.100	820 COP/m³
Total visible	4.818 + 820	**5.638 COP/m³ equivalente**

Fuente: Geotem SAS.

Este valor debe entenderse como **piso de costo**, porque no incluye desarrollo documental, auditoría con VVB, operación de MRV ni costos técnicos externos. Por tanto, para planeación se recomienda usar un rango de **6.000–15.000 COP/m³ equivalente** cuando se quiera incluir una reserva para MRV y verificación externa. La estructura de tarifas de Verra corresponde a costos oficiales del programa, pero los costos externos de validadores/verificadores y desarrollo del proyecto deben cotizarse aparte.

C. Certificación climática para biochar: Puro.earth

En Puro.earth, el costo se calcula con base en la tarifa por CORC y se convierte a COP/m³ equivalente usando una relación entre CORCs y m³ de biochar o m³ equivalente. La fuente oficial indica una cuota anual de 1.400 €, una tarifa plana de 12.000 € cuando el volumen no alcanza el umbral mínimo, tarifas por CORC que disminuyen con el volumen, tarifa de retiro de 0,25 €/CORC y 0 % de premium para biochar.

$$\text{Costo Puro por m}^3 = \text{tarifa €/CORC} \times \text{CORC/m}^3 \times \text{COP/€}$$

Con los supuestos usados en el informe:

Tabla 20. Supuestos de trabajo para estimar el costo Puro.earth por m³ equivalente.

Supuesto	Valor de trabajo
Tipo de cambio	1 EUR = 4.450 COP
Relación carbono/volumen	0,8 CORC/m³
Tarifa Puro escala media	7 €/CORC
Retiro	0,25 €/CORC

Fuente: Geotem SAS.

Resultado aproximado:

Tabla 21. Cálculo referencial del costo Puro.earth por m³ equivalente.

Concepto	Cálculo	Resultado
Tarifa por CORC	7 × 0,8 × 4.450	24.920 COP/m³
Retiro	0,25 × 0,8 × 4.450	890 COP/m³
Total estimado	24.920 + 890	**25.810 COP/m³ equivalente**

Fuente: Geotem SAS.

Este cálculo aplica únicamente al modelo de negocio 3, porque depende de la generación de CORCs o créditos de remoción de carbono asociados al biochar. No debe trasladarse a los Modelos 1 y 2.

3.2.7 Aplicación diferenciada por modelo de negocio

3.2.7.1 Modelo de Negocio 1: madera para construcción

Para el modelo de negocio 1, el costo base de certificación debe concentrarse en certificaciones de origen, cadena de custodia y, eventualmente, certificación de proyecto. La ruta mínima financiable o presupuestable debería incluir trazabilidad legal, cadena de custodia interna, procedimientos compatibles con FSC/PEFC/ISO 38200, fichas técnicas y control de calidad. La certificación FSC Project Certification solo debería considerarse para obras demostrativas, cabañas, viviendas o infraestructura donde el comprador, financiador o mercado valore expresamente el atributo certificado.

Tabla 22. Criterios de costeo de certificaciones para el Modelo de Negocio 1.

Componente	Tratamiento de costo
FSC/PEFC CoC o ISO 38200	Incluir como coeficiente de planeación por m³: **1.000–5.000 COP/m³** en operación media.
FSC/PEFC FM en origen	Evaluar solo si el NDFyB cuenta con masa crítica y capacidad de sostener auditorías.
FSC Project Certification	No incluir como costo base; prorratear solo por proyecto constructivo.
NTC 206, NTC 1646, NSR-10	No son certificaciones comerciales; incluir en costos de control técnico y ensayos, no en certificación.

Fuente: Geotem SAS.

3.2.7.2 Modelo de Negocio 2: centros de acopio, talleres y productos en madera

Para el modelo de negocio 2, la certificación debe diferenciar entre cadena de custodia y certificaciones de producto. La cadena de custodia puede estimarse por m³ porque se relaciona con el flujo de madera, lotes, sublotes e inventarios. En cambio, LEVEL, ANSI/BIFMA e3 y GREENGUARD son certificaciones de producto, línea o desempeño en interiores; por tanto, no deben distribuirse automáticamente sobre todos los m³ procesados.

Tabla 23. Criterios de costeo de certificaciones para el Modelo de Negocio 2.

Componente	Tratamiento de costo
FSC/PEFC CoC o ISO 38200	Incluir como coeficiente de planeación por m³.
ISO 9001 / ISO 14001	Prorratear solo a nivel de empresa si existe volumen anual y decisión de certificarse.
ANSI/BIFMA e3 – LEVEL	Costo por familia de producto o línea de mobiliario institucional; requiere cotización.
UL GREENGUARD	Costo por producto/referencia; requiere cotización.
Fairtrade	Aplicar solo si existe organización comunitaria y mercado que valore comercio justo.

Fuente: Geotem SAS.

3.2.7.3 Modelo de Negocio 3: residuos, biomasa, biochar y MRV

Para el modelo de negocio 3, la certificación debe separarse en tres capas: origen legal de la biomasa, calidad del biochar y certificación climática. La cadena de custodia o control de

origen puede usar el mismo coeficiente de FSC/PEFC/ISO 38200 si se decide certificar el flujo residual. La calidad del biochar mediante EBC/WBC debe cotizarse con el esquema correspondiente. La certificación climática mediante Verra o Puro sí permite un cálculo por m³ equivalente, siempre que se declare la relación entre m³ de biochar y tCO_2e o CORCs.

Tabla 24. Criterios de costeo de certificaciones para el Modelo de Negocio 3

Componente	Tratamiento de costo
Control de origen de biomasa / CoC	Puede usar el coeficiente de cadena de custodia si el flujo residual se certifica.
EBC / WBC	No calcular sin cotización; corresponde a calidad del biochar como producto.
Verra VM0044 / VCS	Usar rango de planeación **6.000–15.000 COP/m³ equivalente**, incluyendo reserva MRV/VVB.
Puro.earth	Usar rango según escala: **25.000–26.000 COP/m³ equivalente** en escala media; menor en alta escala.
CCB	No incluir por m³; aplica solo si se estructura proyecto territorial de clima, comunidad y biodiversidad.

Fuente: Geotem SAS.

3.2.8 Limitaciones, supuestos y uso de los resultados

Los valores anteriores deben entenderse como **coeficientes de planeación** y no como cotizaciones vinculantes. Para la mayoría de las certificaciones forestales y de producto no existe una tarifa pública única aplicable a Colombia; los costos dependen del certificador, alcance, tamaño de la operación, complejidad documental, número de sitios, volumen auditable, necesidad de consultoría, auditorías de vigilancia y preparación previa. El texto actual del capítulo 3 ya reconoce esta limitación para FSC, PEFC, ISO 38200, LEVEL, GREENGUARD, ISO 9001, ISO 14001, EBC/WBC y Fairtrade.

Por esta razón, la recomendación metodológica es la siguiente:

Tabla 25. Criterios metodológicos para la inclusión de costos de certificación por m³ según estándar y modelo de negocio.

Decisión	Aplicación
Incluir en costo base por m³	FSC/PEFC/ISO 38200 CoC como coeficiente de planeación.
Incluir solo para Modelo 3	Verra y Puro.earth como costo por m³ equivalente de biochar/carbono.
Incluir como costo de calidad, no de certificación	NTC 206, NTC 1646, ensayos físicos, mecánicos y de humedad.
Incluir solo si hay cotización o comprador específico	FSC Project, LEVEL, GREENGUARD, Fairtrade, EBC/WBC, ISO 9001, ISO 14001, CCB.
No cargar a todos los modelos	Certificaciones climáticas, porque solo corresponden al Modelo 3.

Fuente: Geotem SAS.

Tabla 26. Resumen de certificaciones prioritarias y costos unitarios recomendados por modelo de negocio.

Modelo	Certificaciones/estándares prioritarios	Costo por m³ recomendado	Observación
Modelo 1: madera para construcción	FSC/PEFC CoC, ISO 38200, eventualmente FSC Project. NTC 206, NTC 1646 y NSR-10 como soporte técnico.	**1.000–5.000 COP/m³** para CoC en operación media.	FSC Project se calcula por obra, no como costo base de toda la madera.
Modelo 2: mobiliario, carpintería y soluciones arquitectónicas	FSC/PEFC CoC, ISO 38200, ISO 9001/14001 si hay capacidad empresarial, LEVEL/GREENGUARD si el mercado lo exige.	**1.000–5.000 COP/m³** para CoC en operación media.	LEVEL y GREENGUARD deben cotizarse por producto o línea, no por m³ general.
Modelo 3: biochar y MRV	CoC/origen de biomasa, EBC/WBC, Puro.earth o Verra VM0044.	Verra: **6.000–15.000 COP/m³ equivalente**. Puro: **25.000–26.000 COP/m³ equivalente** en escala media.	Se requiere definir CORC/m³ o VCU/m³ y cotizar VVB/MRV externo.
Transversal	Fairtrade, CCB, ISO 9001, ISO 14001.	No se recomienda valor base por m³ sin cotización.	Aplican por organización, proyecto territorial, sistema de gestión o mercado específico.

*F*uente: Geotem SAS.

En conclusión, el costo de certificación por m³ debe estimarse de manera diferenciada según el tipo de estándar y el modelo de negocio. Para los Modelos 1 y 2, el costo unitario más defendible corresponde a la cadena de custodia, tomando como referencia un coeficiente de planeación para FSC/PEFC/ISO 38200, dado que las fuentes oficiales no publican una tarifa universal y el valor depende de la cotización del certificador, el tamaño de la operación, el volumen auditado y la complejidad de la cadena.

Para el Modelo 3, en cambio, el costo de certificación climática puede estimarse con mayor precisión cuando se utilicen esquemas como Verra o Puro.earth, porque estos publican tarifas por registro, emisión, retiro o CORC; sin embargo, el cálculo final debe incorporar el volumen auditable, -la relación entre biochar y tCO_2e o CORCs, y los costos externos de MRV, validación y verificación.

En consecuencia, las certificaciones no deben asumirse como un costo uniforme para toda la cadena, sino como un componente escalonado, proporcional al mercado objetivo, al nivel de madurez del modelo y a la capacidad de recuperar valor mediante mejores precios, acceso a mercados, reducción de riesgos y diferenciación comercial o climática.

4 PROTOCOLOS DE CONTROL DE CALIDAD Y VALIDACIÓN SECTORIAL

4.1 Alcance y relación con el sistema de trazabilidad

A diferencia de la metodología de trazabilidad, que se organiza en fases secuenciales para seguir el material a lo largo de la cadena, este capítulo se estructura a partir de componentes técnicos orientados a definir **cómo se controla la calidad**, **cómo se valida la aptitud del material** y **cómo se genera confianza sectorial** en cada modelo de negocio. Por tanto, los apartados siguientes no constituyen una nueva secuencia de trazabilidad, sino un conjunto de protocolos complementarios para verificar el desempeño, la aceptación y la conformidad técnica de los materiales y productos asociados a cada modelo.

En este sentido, la trazabilidad permite demostrar el **origen legal**, la **continuidad documental**, la **identidad del lote** y la **cadena de custodia** del material. Los protocolos de control de calidad y validación sectorial, por su parte, permiten verificar si la madera, el sublote, el producto transformado, el residuo, la biomasa o el biochar cumplen las condiciones técnicas requeridas para el uso previsto. De esta manera, ambos componentes son complementarios: la trazabilidad responde a la pregunta sobre **de dónde viene el material y cómo se movió en la cadena**, mientras que el control de calidad responde a la pregunta sobre **si ese material es técnicamente apto para el destino definido**.

En consecuencia, la **Matriz de Defectos Críticos y Criterios de Aceptación/Rechazo** —incluida en el Anexo 1—, desarrollada en el componente de trazabilidad y cadena de custodia, cumple una función doble. Por una parte, contribuye a proteger la legalidad, la identidad del lote y la continuidad documental del material; por otra, constituye una herramienta operativa de control de calidad, al establecer criterios para clasificar el material como **aceptado**, **aceptado condicionado**, **en cuarentena técnica** o **rechazado**.

Por esta razón, en el presente acápite no se reproduce nuevamente la matriz, sino que se retoma como insumo para el diseño de los protocolos de control de calidad y validación sectorial. En particular, sus criterios sirven como base para definir qué materiales pueden continuar hacia construcción, carpintería, mobiliario, productos arquitectónicos, aprovechamiento de residuos o producción de biochar, y cuáles requieren acciones correctivas, re-inspección, reclasificación, acondicionamiento adicional o rechazo.

4.2 Puntos críticos de control y unidades de validación por modelo de negocio

Los protocolos de control de calidad y validación sectorial deben aplicarse en los momentos en que el material cambia de estado físico, técnico, comercial o funcional. Estos puntos críticos no corresponden únicamente a cambios de actor dentro de la cadena, sino a momentos en los que puede modificarse la calidad, el valor, la aptitud de uso o la confiabilidad del material.

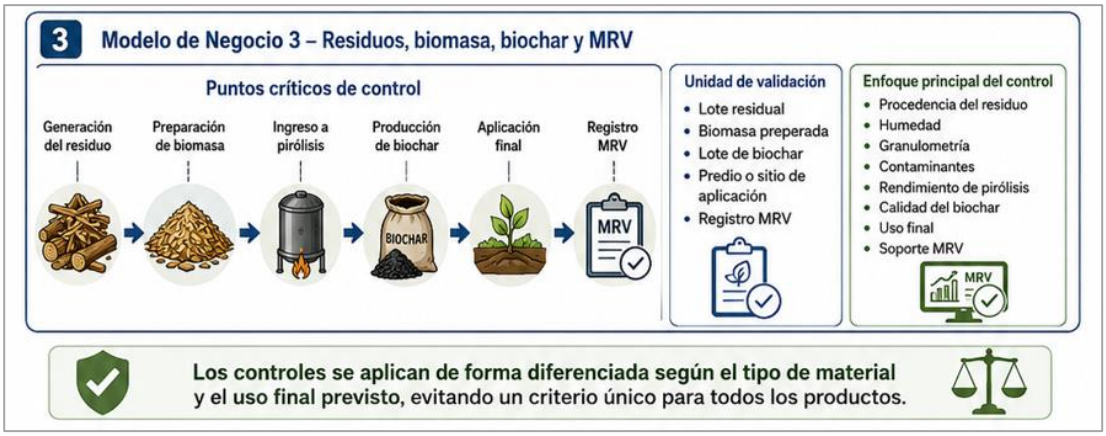
En este sentido, cada modelo de negocio requiere definir dos elementos: **el punto crítico de control**, es decir, el momento en el que debe realizarse la verificación; y **la unidad de validación**, entendida como el material o producto específico sobre el cual se aplica el

control técnico. Esta diferenciación es importante porque no se valida de la misma manera un lote de madera para construcción, un sublote destinado a carpintería especializada o un lote de biomasa residual para producción de biochar.

La Figura 22 sintetiza los puntos críticos de control, las unidades de validación y el enfoque principal del control técnico para cada modelo de negocio. Esta representación permite identificar que, aunque los tres modelos comparten la necesidad de verificar calidad y aptitud del material, cada uno requiere unidades y criterios de validación diferenciados según su uso final: construcción, carpintería y mobiliario, o valorización de residuos mediante biochar y MRV.

Figura 22. Puntos críticos y unidades de validación por modelo de negocio.





Fuente: Geotem SAS.

De esta manera, los protocolos de control de calidad y validación sectorial se aplican de forma diferenciada según el tipo de material y el uso final previsto. Esto evita aplicar un único criterio técnico a todos los productos y permite que cada modelo cuente con controles proporcionales a sus riesgos, exigencias de mercado y necesidades de validación.

4.3 Protocolos operativos de control de calidad por modelo

Los protocolos operativos de control de calidad permiten traducir los criterios técnicos en procedimientos aplicables por los actores de cada modelo de negocio. A diferencia de la trazabilidad, que permite seguir el origen, la movilización, la transformación y el destino del material, estos protocolos se concentran en verificar si la madera, el sublote, el producto transformado, el residuo, la biomasa o el biochar cumplen las condiciones requeridas para su uso previsto.

En todos los modelos, el protocolo debe partir de tres insumos básicos: el expediente digital del lote o sublote, la ficha técnica del material y la Matriz de Defectos Críticos y Criterios de Aceptación/Rechazo. Con base en estos instrumentos, el responsable del control debe registrar los resultados de la inspección, clasificar el material y definir una decisión operativa: **aceptado, aceptado condicionado, en cuarentena técnica o rechazado**.

La aplicación de estos protocolos debe ser diferenciada, ya que los tres modelos tienen productos, riesgos y mercados distintos. El Modelo 1 requiere verificar la aptitud de la madera para construcción; el Modelo 2 exige mayor control sobre estabilidad, apariencia, trabajabilidad y acabado; y el Modelo 3 requiere validar residuos, biomasa, biochar y variables asociadas al MRV. La siguiente tabla sintetiza lo anterior.

Tabla 27. Síntesis de los protocolos operativos por modelo.

Modelo	Unidad principal de control	Controles operativos principales	Evidencia mínima	Decisión operativa
Modelo 1: madera para construcción	Lote, pieza estructural o componente constructivo.	Especie, volumen, dimensiones, humedad, estabilidad, resistencia, durabilidad, tratamiento y aptitud constructiva.	Acta de recepción, ficha técnica, registro fotográfico, medición de humedad, resultados de clasificación y destino en obra.	Aceptado, aceptado condicionado, cuarentena técnica o rechazado.
Modelo 2: centros de acopio, talleres y productos en madera	Lote, sublote, pieza de carpintería o producto final.	Recepción, clasificación visual, secado, dimensionamiento, estabilidad, trabajabilidad, acabado, generación de sublotes y aceptación del comprador.	Ficha de lote o sublote, medición de humedad, registro de clasificación, ficha de desempeño, evidencia de transformación y destino del producto.	Aceptado, aceptado condicionado, cuarentena técnica, reclasificado o rechazado.
Modelo 3: residuos, biomasa, biochar y MRV	Lote residual, biomasa preparada, lote de biochar.	Tipo de residuo, humedad, granulometría, contaminantes, balance de masa, parámetros de pirólisis, rendimiento, calidad del biochar y uso final.	Ficha de residuo, medición de humedad, peso o volumen, registro de pirólisis, lote de biochar, evidencia de aplicación y datos MRV.	Aceptado, aceptado condicionado, cuarentena técnica o rechazado.

Fuente: Geotem SAS.

4.3.1 Modelo de Negocio 1: transformación industrial y construcción

En el Modelo de Negocio 1, el protocolo operativo de control de calidad debe orientarse a verificar que la madera recibida por la empresa ancla sea legal, trazable y técnicamente apta para su uso en componentes constructivos, obras, cabañas, viviendas, infraestructura o soluciones constructivas. En este caso, el control no debe limitarse a confirmar la recepción del lote, sino que debe determinar si el material cumple las condiciones mínimas de especie, volumen, dimensiones, humedad, estabilidad, resistencia, durabilidad y tratamiento, cuando aplique.

El control inicia con la recepción del lote en la empresa ancla o punto de transformación industrial. En esta etapa se debe verificar la correspondencia entre el lote físico, el SUNL, el expediente digital, la Declaración de Procedencia o soporte equivalente, la especie reportada, el volumen recibido y las condiciones pactadas. Posteriormente, se debe realizar una inspección física del material para identificar defectos visibles, daños por transporte, presencia de hongos, ataques de insectos, grietas, rajaduras, deformaciones o condiciones de humedad que puedan afectar su uso constructivo.

Cuando el material tenga destino estructural o semiestructural, el protocolo debe incorporar una verificación más estricta de aptitud técnica. Esto incluye la revisión de dimensiones,

escuadría, contenido de humedad, densidad, estabilidad dimensional, presencia de defectos críticos y, cuando corresponda, resultados de ensayos físicos o mecánicos. En estos casos, la aceptación del material debe quedar vinculada con el uso previsto, de manera que una pieza no sea aprobada de forma general, sino para un destino específico: componente constructivo, elemento no estructural, pieza de cerramiento, revestimiento, mobiliario arquitectónico o uso auxiliar.

El protocolo debe permitir clasificar el material en al menos cuatro decisiones operativas:

- El material **aceptado** podrá continuar hacia transformación, acondicionamiento o incorporación en obra.
- El material **aceptado condicionado** podrá utilizarse previa acción correctiva, como secado adicional, saneamiento, redimensionamiento, tratamiento o reclasificación de uso.
- El material en **cuarentena técnica** deberá inmovilizarse mientras se verifica especie, humedad, defectos o documentación.
- El material **rechazado** no podrá ingresar al flujo constructivo si presenta inconsistencias legales, pérdida de identidad, defectos críticos, ataque activo de xilófagos, pudrición avanzada o condiciones incompatibles con el uso previsto.

Como evidencia mínima, la empresa ancla deberá conservar acta de recepción, ficha de inspección, registro fotográfico, medición de humedad, resultados de clasificación, decisión de aceptación o rechazo, responsable del control y destino del lote o pieza. Cuando la madera sea incorporada en una obra o solución constructiva, el registro deberá permitir asociar el componente utilizado con el lote de origen y con las especificaciones bajo las cuales fue aceptado.

En síntesis, el protocolo del Modelo de Negocio 1 busca garantizar que la madera legal y trazable sea también técnicamente confiable para el sector construcción, reduciendo riesgos de rechazo en obra, fallas por humedad, deformaciones, reclamos del comprador o pérdida de confianza en el material proveniente de los NDFyB.

4.3.2 Modelo de Negocio 2: centros de acopio, acondicionamiento y distribución, talleres especializados, y mobiliario, carpintería especializada y soluciones arquitectónicas

Para el Modelo de Negocio 2, el protocolo operativo de control de calidad debe ser más detallado, debido a que la madera pasa por centros de acopio, acondicionamiento y distribución, y posteriormente por talleres de transformación especializada. En este modelo, la calidad del producto final depende de la correcta recepción del lote, la clasificación técnica, el secado, el dimensionamiento, la generación de sublotes, la estabilidad dimensional, la trabajabilidad y el acabado.

El control inicia en el centro de acopio con la recepción del lote. Allí se debe verificar la correspondencia entre el material físico, el SUNL, el expediente digital, el código único del lote, la especie, el volumen, la humedad inicial y el estado físico después del transporte. Esta revisión debe identificar defectos visibles, daños mecánicos, manchas fúngicas,

presencia de insectos, grietas, deformaciones, humedad excesiva o cualquier condición que limite la aptitud del material para carpintería, mobiliario, acabados o soluciones arquitectónicas.

Posteriormente, el material debe someterse a clasificación comercial y técnica. Esta clasificación debe separar la madera por especie o grupo funcional, densidad, grado de calidad, dimensiones, contenido de humedad, apariencia, defectos y uso final previsto. Cuando el lote se divida, el centro de acopio deberá generar sublotes trazables, manteniendo el vínculo con el lote original. Cada sublote debe contar con una ficha técnica que registre clasificación, dimensiones, contenido de humedad, proceso aplicado, ubicación en inventario, responsable y destino previsto.

El secado y la estabilización del material son puntos críticos del protocolo. El centro de acopio deberá medir el contenido de humedad al ingreso, durante el acondicionamiento y antes del despacho. El rango objetivo no debe aplicarse de manera uniforme a todas las especies nativas, sino definirse según especie o grupo funcional, uso final, tipo de producto y condiciones del mercado de destino. Para productos destinados a mobiliario, carpintería especializada, acabados o arquitectura interior, el control de humedad y estabilidad dimensional debe ser especialmente riguroso, debido al riesgo de alabeos, contracciones, fisuras, deformaciones o problemas de ensamble.

En los talleres especializados, el protocolo debe continuar con la validación de trabajabilidad y desempeño del material. Esto implica revisar su comportamiento frente a corte, cepillado, lijado, perforado, ensamble, encolado, acabado y estabilidad del producto final. Los resultados de estos procesos deben registrarse en fichas de desempeño o micro-lotes piloto, especialmente cuando se trate de especies nativas con información técnica limitada o cuando se busque posicionarlas en mercados de mayor valor.

Las decisiones operativas deben seguir la misma lógica: **aceptado, aceptado condicionado, cuarentena técnica o rechazado**. Un sublote puede aceptarse para mobiliario fino, aceptarse condicionado para usos menos exigentes, reclasificarse para piezas no visibles, enviarse a secado adicional o rechazarse si presenta defectos críticos, humedad no corregible, ataque activo de xilófagos, pudrición avanzada, pérdida de trazabilidad o incompatibilidad con el uso final previsto.

Como evidencia mínima, el centro de acopio y el taller deberán conservar registros de recepción, clasificación, generación de sublotes, mediciones de humedad, control de almacenamiento, ficha técnica del sublote, resultados de trabajabilidad, fotografías, decisión de aceptación o rechazo, destino del material y responsable del control. Esta información deberá alimentar el expediente digital y, cuando aplique, el pasaporte digital del producto final.

En resumen, el protocolo del Modelo de Negocio 2 busca convertir los centros de acopio, acondicionamiento y distribución en un verdadero nodo de agregación de valor y control técnico. Su función no es solo almacenar madera, sino estabilizarla, clasificarla, documentarla y prepararla para que los talleres puedan producir muebles, piezas de

carpintería, acabados o soluciones arquitectónicas con calidad verificable y trazabilidad hasta el comprador final.

4.3.3 Modelo de Negocio 3: residuos, biomasa, biochar y MRV

Frente al Modelo de Negocio 3, el protocolo operativo de control de calidad debe orientarse a validar la aptitud de los residuos y subproductos de madera para su transformación en biomasa, biochar y, cuando aplique, soporte de MRV o mercados de carbono. En este modelo, el control técnico no se concentra en piezas de madera para construcción o mobiliario, sino en la calidad, procedencia, homogeneidad y trazabilidad de los residuos que ingresan al proceso de valorización.

El protocolo inicia con la identificación del residuo o subproducto generado por la empresa transformadora. Cada lote de aserrín, viruta, retal u otro residuo debe conservar vínculo con el lote madre de madera legalmente trazada. Para ello, debe registrarse empresa generadora, proceso que produjo el residuo, tipo de residuo, peso o volumen, contenido de humedad, fecha de generación, condiciones de almacenamiento y destino previsto. Esta información es indispensable para evitar que ingresen al sistema residuos sin procedencia demostrable.

El primer control técnico se concentra en la humedad, el tamaño de partícula, la presencia de contaminantes y la homogeneidad del material. La humedad es especialmente crítica porque afecta la eficiencia de la pirólisis, el rendimiento del biochar y la confiabilidad de los datos usados en el MRV. Los residuos con humedad elevada, contaminación con pinturas, pegantes, químicos, tierra, metales u otros materiales no compatibles deberán ser rechazados, segregados o enviados a acondicionamiento, según el caso.

Una vez el residuo se convierte en biomasa preparada, el protocolo debe registrar los pretratamientos realizados, como trituración, cribado, secado, mezcla controlada o almacenamiento temporal. La biomasa que ingrese al sistema de pirólisis debe estar identificada, pesada o cubicada, caracterizada y asociada al lote residual de origen. Esto permite mantener el balance de masa entre madera procesada, residuo generado, biomasa preparada, biochar producido y subproductos del proceso.

Durante la pirólisis, el protocolo debe registrar los parámetros operativos relevantes, como temperatura, tiempo de residencia, condiciones de operación, cantidad de biomasa ingresada, rendimiento del proceso, lote de biochar obtenido y destino del producto. Estos datos deben alimentar el sistema MRV, especialmente si el biochar se proyecta hacia usos agrícolas, ambientales o climáticos.

El biochar producido deberá ser sometido a una validación básica de calidad, de acuerdo con el uso previsto. Esta validación puede incluir humedad, granulometría, apariencia, estabilidad, contenido de cenizas, ausencia de contaminantes visibles, lote de producción, destino, predio o usuario final y evidencia de aplicación. Cuando se busque participación en esquemas de carbono, el protocolo deberá articularse con los requisitos de la metodología aplicable y con verificaciones externas cuando corresponda.

Las decisiones operativas para este modelo también deben diferenciarse. El residuo o biomasa podrá ser **aceptado** si cumple procedencia, humedad y condiciones mínimas; **aceptado condicionado** si requiere secado, trituración, cribado o segregación; enviado a **cuarentena técnica** si existen dudas sobre procedencia, contaminación o vínculo con el lote madre; o **rechazado** si no puede demostrar origen legal, presenta contaminación incompatible o no cumple condiciones mínimas para producción de biochar.

Como evidencia mínima, deberán conservarse registros del lote madre, ficha del residuo, medición de humedad, peso o volumen, tipo de biomasa, proceso de preparación, parámetros de pirólisis, rendimiento, lote de biochar, destino, evidencia de aplicación y variables requeridas para MRV. Esta información deberá integrarse al expediente digital y al pasaporte digital del biochar cuando aplique.

Es así como, el protocolo del Modelo de Negocio 3 busca asegurar que el biochar no sea simplemente un producto derivado de residuos, sino un material con procedencia legal, trazabilidad verificable, calidad mínima, uso final documentado y soporte técnico para MRV. Esto es fundamental para evitar que los atributos climáticos o ambientales se basen en biomasa sin origen demostrable o en procesos sin control técnico suficiente.

4.4 Paquetes de ensayo técnico según uso final

Los paquetes de ensayo técnico deben definirse según el **uso final del material** y no como una batería uniforme de pruebas para todos los casos. Esta diferenciación es importante porque no se requiere el mismo nivel de validación para una pieza destinada a construcción, un sublote para carpintería especializada, un mueble terminado o un residuo destinado a producción de biochar. Por tanto, los ensayos deben ser proporcionales al riesgo técnico, al valor del producto, al nivel de transformación y a las exigencias del mercado.

En este sentido, los ensayos deben entenderse como un complemento de la trazabilidad y de la Matriz de Defectos Críticos. La matriz permite clasificar, aceptar, condicionar, cuarentenar o rechazar materiales durante la operación; los ensayos técnicos, por su parte, permiten generar evidencia objetiva sobre propiedades físicas, mecánicas, dimensionales, de trabajabilidad o de desempeño del biochar. En conjunto, estos instrumentos reducen la incertidumbre sobre especies nativas de bosque natural y facilitan su aceptación en mercados de Cundinamarca.

4.4.1 Paquete de ensayo para el Modelo de Negocio 1: transformación industrial y construcción

Para el **Modelo de Negocio 1**, orientado a empresas ancla y usos en construcción, el paquete de ensayo debe enfocarse en verificar si la madera es apta para aplicaciones constructivas, estructurales o semiestructurales, según el destino previsto. En este modelo, la validación debe priorizar la identificación de especie, el contenido de humedad, la densidad, la estabilidad dimensional, la resistencia mecánica, la durabilidad y la aptitud técnica del material.

La siguiente tabla presenta el paquete mínimo recomendado.

Tabla 28. Paquete de ensayo mínimo recomendado – Modelo de negocio 1.

Tipo de ensayo o verificación	Propósito	Referente técnico aplicable
Identificación anatómica o taxonómica	Confirmar que la especie corresponde con la declarada en el expediente, SUNL o ficha técnica.	Protocolos de identificación macroscópica y microscópica; laboratorios especializados.
Contenido de humedad	Verificar si la madera está en condiciones adecuadas para transporte, transformación o uso constructivo.	NTC 206; ASTM D4442.
Densidad o gravedad específica	Clasificar la madera según peso, comportamiento estructural, transporte y potencial de uso.	ASTM D2395; metodologías físicas de laboratorio.
Contracción y estabilidad dimensional	Evaluar el comportamiento frente a cambios de humedad y riesgo de deformaciones.	NTC 206; ensayos físicos de contracción radial, tangencial y volumétrica.
Flexión estática	Estimar capacidad de carga, módulo de ruptura y módulo de elasticidad.	ASTM D143; NSR-10, Título G, cuando aplique a uso estructural.
Compresión paralela y perpendicular	Evaluar resistencia a cargas y comportamiento en apoyos o elementos sometidos a presión.	ASTM D143; referentes estructurales aplicables.
Cizallamiento y dureza	Evaluar resistencia al corte, penetración y desempeño frente a uniones o esfuerzos localizados.	ASTM D143; ensayos de dureza tipo Janka cuando aplique.
Durabilidad natural o necesidad de tratamiento	Definir si requiere inmunización, protección o uso restringido según exposición.	Normas técnicas y criterios de uso final.
Clasificación visual y dimensional	Identificar defectos críticos y verificar escuadría, dimensiones y conformidad visual.	NTC 1646 y matriz de defectos críticos.

Fuente: Geotem SAS.

Estos ensayos no deben aplicarse indiscriminadamente a todas las especies desde el inicio. Se recomienda priorizar especies pesadas y semipesadas con mayor potencial para componentes constructivos, proyectos piloto, soluciones habitacionales, infraestructura rural o elementos con mayor exigencia técnica. Para especies sin información suficiente, los ensayos deben orientarse a construir progresivamente fichas técnicas confiables.

4.4.2 Paquete de ensayo para el Modelo de Negocio 2: centros de acopio, acondicionamiento y distribución, talleres especializados, y mobiliario, carpintería especializada y soluciones arquitectónicas

Frente al **Modelo de Negocio 2**, el paquete de ensayo debe responder a las necesidades de los centros de acopio, acondicionamiento y distribución, talleres especializados y compradores finales. En este caso, el desempeño del material no depende únicamente de su resistencia, sino de su estabilidad dimensional, apariencia, facilidad de maquinado, comportamiento en secado, calidad superficial, acabado y aceptación comercial. La siguiente tabla muestra el paquete recomendado.

Tabla 29. Paquete de ensayo mínimo recomendado – Modelo de negocio 2.

Tipo de ensayo o verificación	Propósito	Referente técnico aplicable
Identificación de especie o grupo funcional	Confirmar procedencia técnica del material y evitar confusiones por nombres comunes.	Identificación anatómica; fichas técnicas por especie.
Contenido de humedad	Verificar que el material sea apto para carpintería, mobiliario o acabados.	NTC 206; ASTM D4442.
Estabilidad dimensional	Evaluar riesgo de alabeos, contracciones, rajaduras o deformaciones después del secado.	NTC 206; ensayos de contracción y estabilidad.
Clasificación visual	Identificar nudos, grietas, manchas, pudrición, insectos, médula excéntrica u otros defectos.	NTC 1646; matriz de defectos críticos.
Dimensiones y escuadría	Verificar longitudes, anchos, espesores, tolerancias y homogeneidad del sublote.	Protocolos internos de centro de acopio; criterios comerciales.
Trabajabilidad	Evaluar comportamiento en corte, cepillado, lijado, perforado, ensamble y acabado.	Ensayos de taller; protocolos de trabajabilidad.
Calidad superficial y acabado	Determinar si la madera responde adecuadamente a lijado, sellado, barnizado, pintura o aceite.	Pruebas piloto en taller; fichas de desempeño.
Ensamble y estabilidad del producto	Verificar comportamiento del material en productos reales o prototipos.	Micro-lotes piloto y validación con usuarios.
Emisiones o salud interior, cuando aplique	Evaluar requisitos para mobiliario institucional o interiores sostenibles.	ANSI/BIFMA e3, LEVEL, GREENGUARD, cuando el mercado lo exija.

Fuente: Geotem SAS.

En este modelo, los ensayos deben combinar pruebas de laboratorio con pruebas aplicadas en talleres. Los laboratorios permiten generar datos reproducibles, mientras que los talleres permiten verificar el desempeño real del material en procesos de transformación especializada. Por ello, se recomienda trabajar con **micro-lotes piloto**, documentando resultados de corte, cepillado, lijado, ensamble, acabado, estabilidad dimensional, aceptación del comprador y recomendaciones de uso.

4.4.3 Paquete de ensayo para el Modelo de Negocio 3: residuos, biomasa, biochar y MRV

En el caso del **Modelo de Negocio 3**, el paquete de ensayo debe diferenciar tres momentos: validación del residuo, validación de la biomasa preparada y validación del biochar producido. En este caso, la finalidad no es verificar una pieza de madera, sino demostrar que la biomasa residual tiene procedencia trazable, condiciones técnicas adecuadas para pirólisis y que el biochar resultante cumple requisitos mínimos de calidad, uso final y soporte para MRV. Se presenta el paquete recomendado en la siguiente tabla.

Tabla 30. Paquete de ensayo mínimo recomendado – Modelo de negocio 3.

Momento de control	Ensayo o verificación	Propósito	Referente técnico aplicable
Residuo o subproducto	Tipo de residuo: aserrín, viruta, retal u otro	Identificar la naturaleza del material y su compatibilidad con biochar.	Ficha de residuo y expediente del lote madre.
Residuo o subproducto	Peso o volumen	Cuantificar la biomasa disponible y alimentar el balance de masa.	Protocolos de pesaje o cubicación.
Residuo o subproducto	Contenido de humedad	Determinar si el residuo requiere secado antes de pirólisis.	Métodos de humedad aplicables a biomasa.
Residuo o subproducto	Presencia de contaminantes	Evitar ingreso de materiales con pinturas, pegantes, químicos, metales, tierra u otros contaminantes.	Inspección visual y análisis cuando aplique.
Biomasa preparada	Granulometría o tamaño de partícula	Evaluar homogeneidad y desempeño esperado en pirólisis.	Protocolos de preparación de biomasa.
Biomasa preparada	Pretratamientos realizados	Registrar trituración, cribado, mezcla o secado.	Ficha de biomasa preparada.
Pirólisis	Parámetros operativos	Registrar temperatura, tiempo de residencia, atmósfera y condiciones de operación.	Protocolo del equipo y metodología MRV.
Biochar	Rendimiento del proceso	Relacionar biomasa de entrada con biochar producido.	Balance de masa.
Biochar	Humedad, cenizas, carbono fijo o parámetros básicos	Evaluar calidad mínima del producto.	EBC, WBC o estándar adoptado.
Biochar	pH, conductividad eléctrica, granulometría u otros parámetros según uso	Determinar aptitud agrícola, ambiental o comercial.	EBC, WBC o requerimientos del comprador.
Biochar y MRV	Carbono estabilizado y evidencia de aplicación	Soportar MRV y eventual participación en mercados de carbono.	Puro.earth, Verra VM0044 u otra metodología aplicable.

Fuente: Geotem SAS.

En este modelo, la validación técnica debe ser especialmente rigurosa cuando el biochar se asocie a atributos climáticos o créditos de carbono. La trazabilidad del residuo, el balance de masa, los parámetros de pirólisis y la evidencia de aplicación son fundamentales para evitar que los beneficios climáticos se soporten en biomasa sin procedencia demostrable o en procesos sin control técnico suficiente.

4.4.4 Síntesis de paquetes de ensayo por modelo

Con el fin de sintetizar lo expuesto anteriormente se presenta la siguiente figura.

Figura 23. Comparación de uso final, ensayos prioritarios y resultado esperado por modelo de negocio.



Fuente: Geotem SAS.

4.5 Laboratorios competentes y soporte técnico-académico

Los protocolos de control de calidad y validación sectorial requieren respaldo técnico especializado, especialmente cuando se trabaja con **maderas nativas de bosque natural**, cuya información anatómica, físico-mecánica, de estabilidad, trabajabilidad o desempeño industrial no siempre se encuentra disponible, actualizada o homologada para los usos previstos en Cundinamarca. Por esta razón, los ensayos críticos que soporten fichas técnicas, decisiones de aceptación, declaraciones de desempeño, validaciones constructivas, desempeño en taller o soporte para MRV no deben depender únicamente de inspecciones internas, sino apoyarse progresivamente en laboratorios competentes y entidades técnico-académicas.

En este sentido, se recomienda que los análisis de mayor relevancia técnica se realicen o validen mediante laboratorios con competencia demostrable, preferiblemente bajo criterios de la **ISO/IEC 17025:2017**, norma internacional aplicable a la competencia, imparcialidad y operación coherente de laboratorios de ensayo y calibración. Esto no implica tercerizar todos los controles desde el inicio, pero sí asegurar que las pruebas que respalden decisiones críticas —como uso estructural, caracterización de especies, aceptación en

mercados especializados, calidad del biochar o soporte para MRV— cuenten con trazabilidad técnica, reproducibilidad y respaldo verificable.

La validación técnica de la madera proveniente de los **Núcleos de Desarrollo Forestal y de la Biodiversidad —NDFyB—** constituye un componente científico fundamental para reducir la incertidumbre sobre el comportamiento de especies nativas tropicales en los mercados de construcción, carpintería, mobiliario y valorización de residuos. Esta validación no debe entenderse como un requisito administrativo aislado, sino como parte de un sistema de gestión de calidad basado en evidencia, orientado a demostrar si una especie, lote, sublote, residuo, biomasa o biochar es apto para el uso previsto.

4.5.1 Soporte técnico-académico y anexos de laboratorio

En el marco de esta consultoría, resulta pertinente articular los protocolos de control de calidad con el soporte técnico-académico de instituciones especializadas, como el **Laboratorio de Tecnología de la Madera** y el **Laboratorio de Dendrología de la Universidad del Tolima**, en la medida en que cuentan con experiencia en identificación anatómica, caracterización física y mecánica, trabajabilidad y manejo de muestras forestales.

El soporte de esta metodología se apoya en referencias técnicas y académicas asociadas a la caracterización de especies maderables y al análisis de sus propiedades físicas y mecánicas, entre ellas Barrios y Moreno (2003), Moreno (2003) y los protocolos vigentes de la Universidad del Tolima. Estas referencias permiten orientar la construcción progresiva de fichas técnicas para clasificar especies pesadas, semipesadas y livianas, y asociarlas con los usos potenciales de los **Modelos de Negocio 1 y 2**.

Los anexos técnicos disponibles sirven como soporte operativo para la recolección, preparación, codificación, envío y análisis de muestras, de acuerdo con el siguiente esquema:

Tabla 31. Anexos soporte – Universidad del Tolima

Anexo	Descripción	Uso dentro de los protocolos
Anexo 7. Cotización pruebas físicas y mecánicas – Gobernación de Cundinamarca (Universidad del Tolima)	Presenta la propuesta técnica y económica del Laboratorio de Tecnología de la Madera para caracterizar una especie maderable, incluyendo identificación anatómica, pruebas físicas y mecánicas, requerimientos de muestreo, número de probetas, costos, forma de pago, duración estimada e informe técnico.	Sirve para planear costos, tiempos y alcance de la caracterización técnica de especies priorizadas.
Anexo 8. Protocolo de entrega de muestras para identificación de madera	Define cómo deben prepararse y enviarse las muestras para identificación microscópica y macroscópica, incluyendo dimensiones, orientación de cortes transversal, radial y tangencial, condiciones de las probetas y codificación.	Permite asegurar que la identificación anatómica tenga trazabilidad y se relacione con el lote o sublote evaluado.

Anexo	Descripción	Uso dentro de los protocolos
Anexo 9. Protocolo de entrega de muestras para pruebas físicas, mecánicas y de trabajabilidad	Establece especificaciones para probetas destinadas a ensayos físicos y mecánicos, incluyendo dimensiones, orientación estructural, condiciones de muestra y normas de referencia NTC y ASTM para densidad, flexión, compresión, dureza, cizallamiento, impacto y trabajabilidad.	Sirve como guía para preparar muestras que respalden fichas técnicas y validaciones de uso constructivo, carpintería o mobiliario.
Anexo 10. Protocolo para trabajo de campo – Laboratorio de Dendrología	Describe procedimientos y normas de seguridad para recolección de muestras botánicas en campo, equipamiento, técnicas de colecta, preservación, transporte, responsabilidades y medidas de seguridad.	Apoya la identificación botánica y la trazabilidad entre especie, muestra, lote y área de origen.

Fuente: Geotem SAS.

De manera específica, este soporte puede estructurarse en cuatro tipos de servicios técnicos, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 32. Tipo de servicios técnicos y modelos de negocios.

Tipo de soporte	Aplicación principal	Modelos relacionados
Identificación botánica y anatómica	Confirmar que la especie física corresponde con la declarada en el expediente, SUNL o ficha técnica.	Modelos 1, 2 y 3
Ensayos físicos	Determinar humedad, densidad, contracción, estabilidad dimensional y comportamiento frente al secado.	Modelos 1 y 2
Ensayos mecánicos y de trabajabilidad	Evaluar flexión, compresión, dureza, cizallamiento, corte, cepillado, lijado, ensamble y acabado.	Modelos 1 y 2
Ensayos de biomasa y biochar	Verificar humedad, granulometría, contaminantes, rendimiento, calidad básica del biochar y variables MRV.	Modelo 3

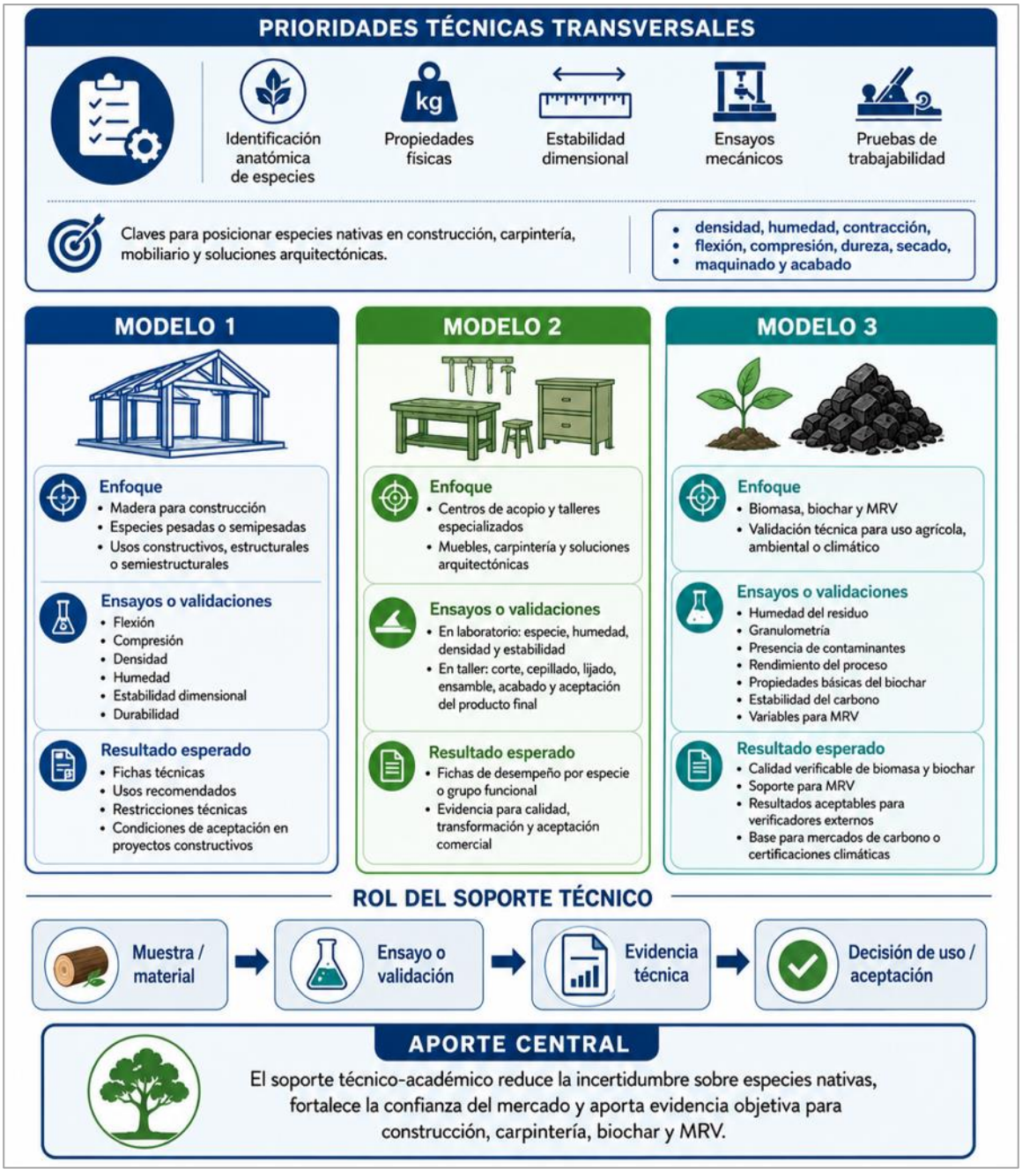
Fuente: Geotem SAS.

Para asegurar la confiabilidad de los resultados, cada muestra enviada a laboratorio deberá estar asociada al expediente del lote, sublote o residuo correspondiente. Como mínimo, deberá registrarse: código de muestra, especie declarada, origen, lote o sublote, fecha de recolección, responsable, tipo de ensayo solicitado, orientación de la muestra cuando aplique, condiciones de conservación y documento de remisión. Esta información permite mantener la conexión entre la muestra analizada y el material trazado dentro del sistema.

Los resultados emitidos por laboratorios o entidades técnicas deberán integrarse en el expediente digital y en las fichas técnicas de cada especie, lote, sublote o producto derivado. De esta manera, los ensayos no quedan como documentos aislados, sino que alimentan la validación sectorial, los criterios de aceptación, los pasaportes digitales, los protocolos de calidad y las decisiones de uso final.

La siguiente figura presenta el soporte técnico – académico por modelo de negocio.

Figura 24. Soporte técnico – académico por modelo de negocio.



Fuente: Geotem SAS.

De esta manera, el soporte de laboratorios competentes y entidades técnico-académicas permite transformar la validación de la madera nativa en un proceso basado en evidencia.

Esto reduce la incertidumbre sobre el comportamiento de las especies, fortalece la confianza de empresas ancla, centros de acopio, talleres y compradores, y permite construir progresivamente un banco de fichas técnicas que respalde el posicionamiento de la madera legal y sostenible de los NDFyB en los mercados de Cundinamarca.

4.5.2 Caracterización botánica y taxonómica

Antes de realizar ensayos físicos, mecánicos o de trabajabilidad, es necesario garantizar la **identidad de la especie**, especialmente en maderas nativas donde los nombres comunes pueden generar ambigüedad comercial o técnica. De acuerdo con los protocolos del Laboratorio de Dendrología de la Universidad del Tolima, la caracterización botánica y taxonómica debe apoyarse en la recolección de muestras botánicas y en la identificación macroscópica y microscópica de la madera.

El procedimiento debe incluir la recolección de material vegetal cuando sea posible —ramas, hojas y estructuras reproductivas—, así como muestras de madera debidamente codificadas. La preservación y custodia de estas muestras es fundamental para evitar la pérdida de caracteres diagnósticos y asegurar que la identificación tenga respaldo técnico. Esta identificación no reemplaza los documentos legales, pero sí permite verificar la correspondencia entre la especie física, la especie registrada en el expediente del lote y la información reportada en el SUNL.

La identificación anatómica también permite reducir riesgos de sustitución de especies, errores de denominación comercial o inconsistencias entre el material recibido y el material declarado. Por tanto, constituye un insumo clave para los **Modelos de Negocio 1 y 2**, y también para el Modelo 3 cuando se requiera demostrar que los residuos provienen de madera legalmente trazada.

4.5.3 Ensayos físicos y estabilidad higroscópica

Bajo la metodología técnica de Moreno (2003) y los protocolos de laboratorio aplicables, los ensayos físicos permiten determinar el comportamiento de la madera frente a humedad, densidad y estabilidad dimensional. Estos ensayos son relevantes porque la madera proveniente de regiones amazónicas u orinocenses puede enfrentar cambios significativos al ser movilizada, almacenada o utilizada en condiciones ambientales diferentes, como las de Cundinamarca y la Sabana de Bogotá.

Entre los ensayos físicos prioritarios se encuentran la determinación de densidad básica, nominal y anhidra, así como la evaluación de contracciones radiales, tangenciales y volumétricas. La densidad es una variable clave para clasificar especies por grupo funcional, estimar peso, prever comportamiento en transporte, proyectar usos constructivos y definir requisitos de secado. Por su parte, los ensayos de contracción y estabilidad dimensional permiten identificar riesgos de alabeo, fisuración, contracción excesiva o deformaciones posteriores al secado.

En el **Modelo de Negocio 1**, estos datos son útiles para determinar si una especie pesada o semipesada puede ser considerada para componentes constructivos, estructurales o semiestructurales. En el **Modelo de Negocio 2**, resultan críticos para validar el uso en mobiliario, carpintería, acabados o soluciones arquitectónicas, donde la estabilidad dimensional y el contenido de humedad condicionan la calidad del producto final.

4.5.4 Ensayos mecánicos y de resistencia

Para materiales destinados al sector construcción, infraestructura o usos con exigencias mecánicas, deben considerarse ensayos de flexión, compresión, cizallamiento y dureza. Estos ensayos permiten estimar la capacidad de una especie para resistir cargas, esfuerzos de apoyo, corte, penetración o deformación, y son especialmente relevantes para el **Modelo de Negocio 1**.

De acuerdo con Barrios y Moreno (2003), los ensayos de flexión estática y compresión permiten obtener parámetros como el módulo de ruptura, el módulo de elasticidad y la resistencia a cargas paralelas o perpendiculares a la fibra. En los casos en que la madera se proyecte para usos estructurales o semiestructurales, estos resultados pueden servir como insumo para verificar la aptitud técnica conforme al uso específico y a las exigencias aplicables, incluyendo criterios del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente —NSR-10, Título G— cuando corresponda.

Los ensayos de cizallamiento y dureza, incluyendo dureza tipo Janka cuando aplique, también son útiles para validar la trabajabilidad y resistencia del material en aplicaciones de carpintería fina, pisos, elementos arquitectónicos o muebles de mayor exigencia. En el **Modelo de Negocio 2**, estos resultados deben complementarse con pruebas de desempeño en taller, como corte, cepillado, lijado, ensamble y acabado, de manera que la ficha técnica refleje tanto propiedades de laboratorio como comportamiento real en transformación especializada.

4.5.5 Validación de subproductos, biomasa y biochar

En el **Modelo de Negocio 3**, el soporte técnico de laboratorio debe extenderse a residuos, biomasa preparada y biochar. En este caso, la validación no se centra en una pieza de madera, sino en la calidad del material residual que ingresa al proceso de valorización y en las características del producto obtenido.

Los análisis deben considerar, como mínimo, tipo de residuo, humedad, granulometría o tamaño de partícula, presencia de contaminantes, peso o volumen, condiciones de almacenamiento y compatibilidad con el proceso de pirólisis. Estos controles son importantes porque la humedad, la homogeneidad y la limpieza de la biomasa influyen directamente en el rendimiento del proceso y en la calidad del biochar producido.

La caracterización del biochar debe enfocarse en los parámetros requeridos para su uso agrícola, ambiental o comercial, y, cuando aplique, en las variables necesarias para MRV o certificaciones climáticas. La aplicación de datos de densidad básica y composición del

material puede contribuir a estimar la eficiencia de conversión, la estabilidad del carbono y el potencial de valorización de subproductos forestales, en línea con la lógica de economía circular planteada para el Modelo de Negocio 3 (Moreno, 2003).

4.5.6 Cédula de Identidad Técnica del material

El ciclo de validación técnica debería concluir con la emisión de un informe técnico o ficha consolidada por especie, lote, sublote o producto derivado. Este documento puede denominarse **Cédula de Identidad Técnica —CIT—** y debe integrar la identificación botánica, los resultados de ensayos físicos, mecánicos o de trabajabilidad, las condiciones de humedad, las recomendaciones de uso, las restricciones técnicas y la relación con el expediente de trazabilidad.

La CIT no debe reemplazar el expediente digital ni los documentos oficiales de legalidad, sino complementarlos. Su función es convertir los resultados de laboratorio y las pruebas aplicadas en información útil para la toma de decisiones comerciales, técnicas y sectoriales. De esta manera, cada especie o lote priorizado puede contar con un soporte técnico que indique sus usos recomendados, condiciones de aceptación, precauciones de secado, comportamiento esperado y potencial de aplicación en construcción, carpintería, mobiliario, biochar o economía circular.

En síntesis, el soporte de laboratorios competentes y entidades técnico-académicas permite que la validación de la madera nativa no dependa únicamente de criterios empíricos o comerciales, sino de evidencia objetiva. Esto fortalece la confianza de empresas ancla, centros de acopio, talleres, compradores y verificadores, y contribuye a posicionar la madera amazónica y orinocense como un material legal, trazable, técnicamente caracterizado y competitivo para los mercados de Cundinamarca.

4.6 Validación sectorial: autocontrol, validación cruzada y auditoría externa

La validación sectorial tiene como propósito convertir los protocolos de control de calidad en un mecanismo confiable, verificable y reconocido por los actores de la cadena. No basta con que cada empresa o centro de acopio aplique controles internos; también se requiere que los resultados sean consistentes entre actores, comparables técnicamente y, cuando corresponda, verificables por terceros. Por ello, se propone un esquema de validación en tres capas: **autocontrol del actor**, **validación cruzada** y **auditoría externa o verificación independiente**.

Este esquema permite reducir asimetrías de información entre productores, centros de acopio, empresas ancla, talleres, compradores y usuarios finales. Además, contribuye a que la calidad de la madera nativa, de los sublotes, de los productos transformados, de los residuos, de la biomasa o del biochar no dependa únicamente de declaraciones comerciales, sino de evidencias técnicas, registros verificables y criterios compartidos por el sector.

4.6.1 Primera capa: autocontrol del actor

La primera capa corresponde al **autocontrol** que debe realizar cada actor responsable del manejo, transformación, acondicionamiento o aprovechamiento del material. Este autocontrol se basa en la aplicación de listas de chequeo, fichas técnicas, registros de inspección, mediciones de humedad, clasificación visual, control de inventarios, balance de masa y evidencias fotográficas.

En el **Modelo de Negocio 1**, el autocontrol debe ser aplicado por los NDFyB, empresas ancla o transformadores industriales, verificando que el lote recibido corresponda con el expediente digital, el SUNL, la especie declarada, el volumen, las dimensiones, el contenido de humedad y las condiciones de aceptación técnica para uso constructivo.

Por su parte, para el **Modelo de Negocio 2**, el autocontrol debe ser especialmente riguroso en los centros de acopio, acondicionamiento y distribución, así como en los talleres especializados. Estos actores deberán documentar la recepción, clasificación, secado, generación de sublotes, trabajabilidad, acabado y aceptación del producto final.

Frente al **Modelo de Negocio 3**, el autocontrol debe iniciar desde la generación del residuo y continuar durante la preparación de biomasa, pirólisis, producción de biochar, aplicación final y registro MRV. Esto implica registrar tipo de residuo, peso o volumen, humedad, lote madre, parámetros de proceso, rendimiento y destino del biochar.

El resultado de esta primera capa debe ser un conjunto ordenado de registros internos que permita demostrar que el actor aplicó los criterios mínimos de control y que existe evidencia suficiente para sustentar la aceptación, rechazo, cuarentena o reclasificación del material.

4.6.2 Segunda capa: validación cruzada

La segunda capa corresponde a la **validación cruzada**, entendida como la revisión técnica realizada por actores externos al responsable directo del material, pero vinculados al sistema sectorial. Esta validación puede ser realizada por universidades, laboratorios, centros tecnológicos, gremios, entidades de apoyo técnico o instancias de gobernanza del modelo.

Su propósito es revisar la consistencia de los criterios aplicados por los diferentes actores, evitar que cada empresa utilice parámetros propios sin convergencia técnica y fortalecer la confianza entre origen, transformación y mercado. La validación cruzada permite revisar, por ejemplo, si los criterios de clasificación visual son comparables entre centros de acopio, si los rangos de humedad son coherentes con el uso final, si los sublotes conservan homogeneidad técnica o si los resultados de los ensayos corresponden con el desempeño observado en taller u obra.

Para el caso del **Modelo de Negocio 1**, la validación cruzada debe enfocarse en especies prioritarias para construcción, verificando fichas técnicas, resultados de ensayos físicos o mecánicos, criterios de aptitud constructiva y comportamiento del material en proyectos piloto.

Por su parte, en el **Modelo de Negocio 2**, esta capa debe revisar la consistencia entre clasificación del centro de acopio, desempeño en talleres y aceptación del comprador. También puede apoyar la construcción de criterios comunes sobre secado, trabajabilidad, estabilidad dimensional, calidad superficial y acabado.

Finalmente, en el **Modelo de Negocio 3**, la validación cruzada debe revisar la trazabilidad del residuo, los balances de masa, las condiciones de biomasa, los parámetros de pirólisis, la calidad básica del biochar y la consistencia de los datos utilizados para MRV.

Esta segunda capa permite que los protocolos de calidad no sean solo instrumentos internos, sino herramientas sectoriales que facilitan acuerdos técnicos, reducen controversias comerciales y respaldan el posicionamiento de especies nativas en mercados formales.

4.6.3 Tercera capa: auditoría externa o verificación independiente

La tercera capa corresponde a la **auditoría externa o verificación independiente**, aplicable especialmente en lotes críticos, especies estratégicas, proyectos demostrativos, centros de acopio de mayor escala, productos de alto valor o flujos asociados a biochar, MRV y mercados de carbono.

Esta capa no necesariamente debe aplicarse a todos los lotes desde el inicio. Su implementación debe ser gradual, proporcional al riesgo y orientada a los casos en los que se requiera mayor credibilidad técnica, reputacional, comercial o climática. Puede incluir auditorías documentales, verificación física de lotes o sublotes, revisión de expedientes digitales, confirmación de trazabilidad, ensayos de laboratorio, inspecciones en sitio, revisión de balances de masa o verificación de reportes MRV.

Frente al **Modelo de Negocio 1**, la auditoría externa puede aplicarse en proyectos constructivos emblemáticos, madera destinada a usos estructurales o semiestructurales, especies nuevas en el mercado o proyectos que busquen reconocimiento ambiental o certificación.

En el **Modelo de Negocio 2**, puede aplicarse a centros de acopio estratégicos, talleres que produzcan mobiliario de alto valor, productos destinados a mercados institucionales o líneas que busquen certificaciones de sostenibilidad, calidad o bajas emisiones.

Para el **Modelo de Negocio 3**, la verificación independiente es especialmente importante cuando el biochar se vincule a mercados de carbono, certificaciones climáticas o declaraciones ambientales. En estos casos, los datos sobre biomasa, pirólisis, carbono estabilizado, aplicación final y MRV deberán ser revisados por entidades competentes o verificadores aceptados por el estándar aplicable.

4.6.4 Transparencia gradual y uso de la información

La validación sectorial debe complementarse con un esquema de **transparencia gradual**. No toda la información debe ser pública, especialmente cuando existan datos sensibles sobre ubicación de áreas, comunidades, costos, contratos o información comercial. Sin

embargo, sí debe definirse un núcleo mínimo de información compartible para fortalecer la confianza entre actores.

Este núcleo puede incluir: estado del lote, especie o grupo funcional, origen general, vigencia documental, pruebas realizadas, decisión de aceptación, uso recomendado, destino del producto, resultados generales de calidad y, cuando aplique, atributos ambientales o climáticos. La información técnica detallada, los informes completos de laboratorio, los soportes documentales y los datos MRV completos pueden mantenerse en vistas restringidas para autoridades, auditores, verificadores o instancias de gobernanza.

La transparencia gradual permite que el sistema comunique confianza sin exponer información sensible. Además, fortalece herramientas como el pasaporte digital de la madera o del biochar, en la medida en que permite mostrar al usuario final información comprensible sobre origen, calidad, sostenibilidad y uso del producto.

4.6.5 Síntesis del esquema de validación sectorial

La validación sectorial permite que los protocolos de control de calidad trasciendan el autocontrol interno y se conviertan en un mecanismo de confianza para el mercado. Al combinar autocontrol, validación cruzada y auditoría externa, el sistema fortalece la credibilidad técnica de la madera nativa, reduce controversias entre actores, mejora la aceptación comercial y crea una base sólida para certificaciones, pasaportes digitales, reconocimiento de mercado y valorización climática cuando aplique. En la siguiente tabla se presenta la síntesis de lo antes expuesto.

Tabla 33. Síntesis del esquema de validación sectorial

Capa de validación	Responsable principal	Qué verifica	Aplicación por modelo
Autocontrol del actor	NDFyB, centro de acopio, empresa ancla, taller, operador de biochar.	Cumplimiento de protocolos internos, registros, listas de chequeo, fichas técnicas, control de humedad, clasificación, balance de masa y evidencias.	Aplica a los tres modelos como primer filtro de control.
Validación cruzada	Universidades, laboratorios, gremios, centros tecnológicos o instancias técnicas.	Consistencia de criterios, resultados de ensayos, fichas técnicas, clasificación, desempeño del material y coherencia entre actores.	En Modelo 1 valida aptitud constructiva; en Modelo 2 valida desempeño en taller; en Modelo 3 valida biomasa, biochar y MRV.
Auditoría externa o verificación independiente	Auditores, verificadores, laboratorios acreditados o entidades externas.	Legalidad, trazabilidad, calidad, cadena de custodia, balance de masa, desempeño técnico, MRV o atributos climáticos.	Se aplica en lotes críticos, especies estratégicas, productos de alto valor, certificaciones o mercados de carbono.

Fuente: Geotem SAS.

4.7 Pilotos diferenciados y escalamiento progresivo

La implementación de los protocolos de control de calidad y validación sectorial debe realizarse de manera gradual, mediante **pilotos diferenciados por modelo de negocio**. No se recomienda ensayar todas las especies, certificar todos los procesos o aplicar todos los protocolos desde el inicio, ya que esto podría generar costos elevados, cargas operativas excesivas y baja apropiación por parte de los actores. Por el contrario, se propone iniciar con especies, lotes, centros de acopio, talleres, empresas ancla o flujos de residuos que tengan mayor potencial técnico, comercial o ambiental.

El propósito de los pilotos es validar en condiciones reales si los protocolos propuestos son aplicables, si los criterios de aceptación y rechazo son pertinentes, si los ensayos técnicos generan información útil, y si los actores pueden sostener los registros, controles y verificaciones requeridas. A partir de estos resultados, el sistema podrá ajustarse antes de escalar hacia más especies, mayor volumen, nuevos actores o certificaciones más exigentes.

4.7.1 Piloto para el Modelo de Negocio 1: transformación industrial y construcción

En el **Modelo de Negocio 1**, el piloto debe concentrarse en una o dos especies de madera nativa con potencial para uso constructivo, preferiblemente especies pesadas o semipesadas con disponibilidad en los NDFyB priorizados y con interés por parte de una empresa ancla. El objetivo es validar la ruta completa desde el origen legal hasta la recepción, acondicionamiento, evaluación técnica y uso en un componente constructivo, obra, cabaña, vivienda, infraestructura o solución constructiva.

El piloto deberá incluir, como mínimo, la selección del lote, verificación documental, identificación de especie, medición de humedad, clasificación visual, control dimensional, evaluación de defectos críticos y, cuando aplique, ensayos físicos o mecánicos básicos. También deberá documentar la aceptación o rechazo del material por parte de la empresa ancla y registrar las condiciones bajo las cuales la madera puede ser recomendada para usos constructivos.

El resultado esperado de este piloto es contar con una primera ficha técnica validada, criterios de aceptación ajustados al uso constructivo y evidencia suficiente para reducir la incertidumbre técnica del comprador.

4.7.2 Piloto para el Modelo de Negocio 2: centros de acopio, acondicionamiento y distribución, talleres especializados, y mobiliario, carpintería especializada y soluciones arquitectónicas

En el **Modelo de Negocio 2**, el piloto debe enfocarse en uno o dos centros de acopio, acondicionamiento y distribución, articulados con un grupo reducido de talleres especializados. En este caso, el objetivo es validar el desempeño del sistema en la recepción, clasificación, secado, dimensionamiento, generación de sublotes, despacho a talleres y transformación en productos de carpintería, mobiliario, acabados o soluciones arquitectónicas.

El piloto deberá trabajar con micro-lotes o sublotes de madera nativa, permitiendo evaluar estabilidad dimensional, humedad, defectos visibles, homogeneidad, trabajabilidad, comportamiento en corte, cepillado, lijado, ensamble y acabado. También deberá registrar la aceptación del taller y, cuando sea posible, la retroalimentación del comprador o usuario final.

Este modelo requiere especial atención al aprendizaje práctico, porque muchas especies nativas pueden ser técnicamente viables, pero requieren ajustes en secado, maquinado, almacenamiento o acabado. Por tanto, el piloto debe generar fichas de desempeño por especie o grupo funcional, recomendaciones de uso y criterios para clasificar sublotes según destino comercial.

4.7.3 Piloto para el Modelo de Negocio 3: residuos, biomasa, biochar y MRV

En el **Modelo de Negocio 3**, el piloto debe iniciar con empresas transformadoras que generen residuos trazables y con capacidad de separar aserrín, viruta, retales u otros subproductos según su lote madre de madera legal. El objetivo no es evaluar únicamente el equipo de pirólisis, sino validar la ruta completa del residuo: origen, pesaje o cubicación, humedad, almacenamiento, preparación de biomasa, pirólisis, producción de biochar, control de calidad, uso final y registro MRV.

El piloto deberá incluir balance de masa entre madera procesada, residuo generado, biomasa preparada y biochar producido. También deberá registrar parámetros básicos del proceso de pirólisis, rendimiento, características del biochar, destino o uso final y evidencias de aplicación. Si se proyecta una futura participación en mercados de carbono, el piloto debe permitir identificar los datos mínimos requeridos para MRV y las brechas frente a verificaciones externas o estándares climáticos.

El resultado esperado es contar con un flujo piloto de biochar trazable, con procedencia demostrable, datos técnicos básicos y una primera aproximación al costo, rendimiento y viabilidad del sistema.

4.7.4 Criterios para escalar los pilotos

El escalamiento de los protocolos no debe depender únicamente de la voluntad de ampliar el sistema, sino de resultados verificables. Antes de incorporar nuevas especies, centros de acopio, talleres, empresas ancla o flujos de residuos, se recomienda evaluar los siguientes criterios:

Tabla 34. Criterios para escalar pilotos.

Criterio de escalamiento	Pregunta orientadora
Legalidad y trazabilidad	¿El lote, sublote, residuo o biochar conserva vínculo claro con su origen legal?
Calidad técnica	¿El material cumple los criterios mínimos de humedad, estabilidad, defectos, dimensiones o aptitud de uso?
Desempeño en destino	¿La madera, producto o biochar fue aceptado por el comprador, taller, obra, usuario o predio de aplicación?

Criterio de escalamiento	Pregunta orientadora
Capacidad operativa	¿Los actores pudieron aplicar el protocolo sin cargas excesivas?
Evidencia documental	¿Existen fichas técnicas, registros fotográficos, actas, mediciones y decisiones de aceptación o rechazo?
Viabilidad económica	¿El costo de aplicar el protocolo es razonable frente al volumen, valor del producto o beneficio esperado?
Aprendizaje técnico	¿El piloto generó información útil para ajustar fichas, criterios, usos recomendados o procesos?
Potencial de mercado	¿Existe demanda real o interés comercial por ampliar el flujo validado?

Fuente: Geotem SAS.

4.7.5 Ruta progresiva de implementación

La implementación de los protocolos puede organizarse en tres momentos, como se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 35. Ruta progresiva de implementación

Momento	Alcance recomendado	Resultado esperado
Corto plazo	Pilotos con pocas especies, pocos actores y lotes controlados.	Validar la aplicabilidad de los protocolos, ajustar criterios y construir primeras fichas técnicas.
Mediano plazo	Ampliación a más especies, centros de acopio, talleres, empresas ancla o flujos de residuos.	Consolidar criterios comunes, mejorar capacidades técnicas y reducir rechazos o reprocesos.
Largo plazo	Integración con certificaciones, validaciones externas, pasaportes digitales, MRV o mercados diferenciados.	Posicionar madera nativa, productos transformados y biochar con respaldo técnico, trazable y verificable.

Fuente: Geotem SAS.

Es así como, los pilotos diferenciados permiten implementar los protocolos de calidad y validación sectorial de manera realista, progresiva y ajustada a las capacidades de los actores. Su función no es solo probar el cumplimiento de requisitos técnicos, sino generar aprendizaje, reducir incertidumbre, construir confianza y establecer una base verificable para escalar los modelos de negocio hacia mercados más exigentes.

5 ESQUEMAS FINANCIEROS DIFERENCIADOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE TRAZABILIDAD, CONTROL DE CALIDAD, CERTIFICACIÓN Y VALIDACIÓN SECTORIAL

5.1 Alcance del capítulo y relación con el Subproducto 1.3 y los componentes técnicos del Producto 3

El presente capítulo desarrolla los **esquemas financieros diferenciados** requeridos para apoyar la implementación de los mecanismos técnicos definidos en este documento, particularmente los asociados a **trazabilidad, control de calidad, certificación, validación sectorial y MRV**. Su alcance no consiste en repetir el portafolio general de incentivos y beneficios desarrollado en el Subproducto 1.3, sino en tomarlo como

antecedente para estructurar instrumentos financieros aplicables a los tres modelos de negocio priorizados.

En el Subproducto 1.3 ya se analizaron los incentivos financieros, tributarios, comerciales, ambientales e institucionales que podrían favorecer la permanencia de los transformadores en la cadena de valor. Allí se desarrollaron, entre otros, la **Ventanilla Impulso Madera Legal Cundinamarca**, el **Incentivo Departamental de Cofinanciación Condicionada** y el **Mecanismo Departamental de Apalancamiento Financiero para la Cadena Forestal Legal, Trazable y Sostenible**. Este último fue planteado como un instrumento complementario a la ventanilla, orientado a resolver necesidades de liquidez, capital de trabajo, anticipos reembolsables, garantías parciales, pagos contra hitos, factoring, confirming o crédito puente, sin confundirse con un subsidio general ni con una intervención directa de la Gobernación en las relaciones comerciales entre privados.

En coherencia con ese antecedente, este capítulo no propone la creación directa de un **fondo-cuenta departamental** ni de un fondo rotatorio como figura jurídica autónoma. Se adopta, en cambio, la noción de **mecanismo de apalancamiento financiero**, dentro del cual puede operar un **componente rotatorio de capital de trabajo recuperable**, sujeto a estructuración jurídica, fiscal y presupuestal. Esta precisión es importante porque en el propio Subproducto 1.3 quedó debidamente señalado que la denominación jurídica de fondo-cuenta solo debería considerarse si existe habilitación legal suficiente o concepto jurídico favorable de la Gobernación.

Por su parte, este documento ya ha definido los componentes técnicos que generan necesidades financieras específicas. En materia de trazabilidad, se establecieron rutas diferenciadas por modelo, expedientes digitales, códigos QR, cadena de custodia, pasaportes digitales, integración de residuos, biochar y MRV, así como plantillas para estimar el costo por metro cúbico de la implementación del sistema. En control de calidad y validación sectorial, se definieron protocolos operativos, matriz de defectos críticos, paquetes de ensayo, soporte de laboratorios, validación cruzada, auditoría externa y pilotos diferenciados. En certificaciones, se identificaron estándares aplicables, costos conocidos o estimables, brechas de implementación y aproximaciones para llevar ciertos costos a valores por metro cúbico o metro cúbico equivalente.

En consecuencia, este capítulo utiliza dichos costos técnicos como insumo para definir **cómo se pueden financiar, distribuir, cofinanciar, recuperar o respaldar** los gastos asociados a la implementación de los modelos de negocio. Esto incluye costos de trazabilidad digital, control documental, identificación física, ensayos técnicos, certificaciones, auditorías, verificaciones externas, control de calidad, MRV, pasaportes digitales, seguros, garantías y capital de trabajo.

El enfoque financiero propuesto se organiza bajo tres criterios: primero, que los instrumentos respondan a una necesidad real del modelo de negocio; segundo, que estén asociados a hitos verificables de legalidad, trazabilidad, calidad, certificación o aceptación técnica; y tercero, que no trasladen de forma desproporcionada los costos al actor más débil de la cadena. Por ello, los esquemas financieros deben diseñarse de manera diferenciada

para cada modelo: en el Modelo 1, asociados a madera para construcción y empresas ancla; en el Modelo 2, a centros de acopio, sublotes, talleres y productos finales; y en el Modelo 3, a residuos, biomasa, biochar, MRV y eventuales mercados de carbono.

Finalmente, el capítulo mantiene la delimitación institucional ya planteada en el Subproducto 1.3: la Gobernación de Cundinamarca puede actuar como **articuladora, estructuradora, gestora, facilitadora neutral y promotora de condiciones habilitantes**, pero no como compradora, vendedora, intermediaria comercial, banco, garante directo de pagos privados o responsable de las operaciones de compraventa entre NDFyB y transformadores. Bajo esta lógica, los esquemas financieros aquí planteados buscan dar viabilidad económica a los mecanismos técnicos trabajados en este documento, sin sustituir la autonomía comercial de los actores ni duplicar los incentivos previamente formulados.

La estructuración de los esquemas financieros parte de una regla central: **cada instrumento debe responder a una necesidad financiera concreta, estar asociado a un riesgo específico y activarse contra una evidencia verificable**. Por tanto, no se propone un mecanismo único para toda la cadena, sino una combinación de instrumentos diferenciados según el modelo de negocio, el tipo de actor, el costo que se busca cubrir y el momento de la operación.

Esta lógica es coherente con el Subproducto 1.3, en el cual se concluyó que el mecanismo financiero no debe entenderse como una repetición de la ventanilla de cofinanciación ni como un subsidio general, sino como un mecanismo orientado a facilitar recursos recuperables, garantías parciales, anticipos condicionados, capital de trabajo y pagos contra hitos asociados a operaciones reales de suministro programado.

En consecuencia, el diseño financiero debe partir de cinco preguntas operativas, que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 36. Preguntas operativas para el diseño financiero

Pregunta de estructuración	Decisión que permite tomar
¿Qué costo se debe financiar?	Trazabilidad, control de calidad, certificación, ensayos, auditorías, MRV, transporte, secado, inventario, maquinaria o capital de trabajo.
¿Quién debe asumir o compartir el costo?	NDFyB, empresa ancla, centro de acopio, taller, operador de biochar, comprador, cooperación, sector público o mecanismo financiero.
¿Qué riesgo se busca reducir?	Falta de liquidez, incumplimiento de entrega, rechazo por calidad, pérdida de trazabilidad, mora en pagos, falta de certificación, riesgo técnico o riesgo climático.
¿Qué evidencia activa el pago o desembolso?	SUNL, expediente digital, acta de recepción, medición de humedad, ficha técnica, certificación, auditoría, validación externa, aceptación del comprador o registro MRV.
¿Cómo se recupera o sostiene el recurso?	Pago del comprador, factura, contrato de suministro, venta del producto, acuerdo de compra futura, crédito, garantía, cofinanciación condicionada o recuperación parcial.

Fuente: Geotem SAS.

La secuencia de la lógica de estructuración se resume en la siguiente figura.

Figura 25. Secuencia lógica de estructuración financiera.



Fuente: Geotem SAS.

Esta secuencia permite que los esquemas financieros se articulen con los componentes técnicos ya desarrollados en este documento. En trazabilidad, los costos dependen del volumen anual, número de lotes, eventos trazables, herramientas digitales, auditorías, pasaportes digitales, control de calidad, MRV y beneficios esperados; además, el documento plantea que los resultados de las plantillas deben actualizarse con cotizaciones reales, pilotos y datos operativos.

De esta manera, los esquemas financieros deben diferenciar entre cuatro tipos de costos:

Tabla 37. Tipos de costos versus los tratamientos financieros recomendados.

Tipo de costo	Tratamiento financiero recomendado
Costos habilitantes no recuperables	Cofinanciación condicionada, apoyo parcial o pago contra cierre de brecha.
Costos operativos recuperables	Capital de trabajo, componente rotatorio recuperable, crédito puente, factoring o confirming.
Costos de inversión en activos	Crédito verde, leasing, garantías o cofinanciación parcial cuando exista beneficio colectivo.
Costos de certificación, auditoría o MRV	Pago por hitos, cofinanciación inicial, recuperación gradual vía precio, contrato, mercado diferenciado o créditos de carbono.

Fuente: Geotem SAS.

La estructuración financiera también debe respetar el principio de gradualidad. No todos los actores deben asumir desde el inicio el costo completo de certificaciones, auditorías externas, blockchain, MRV avanzado o pasaportes digitales sofisticados. Este documento ya plantea una ruta escalonada de certificación que inicia con un mínimo viable de legalidad,

trazabilidad, cadena de custodia y protocolos internos; luego avanza hacia consolidación con FSC, PEFC, ISO 38200, ISO 9001 o ISO 14001; y finalmente incorpora certificaciones de diferenciación como FSC Project, LEVEL, GREENGUARD, EBC, Puro.earth o Verra, según el mercado y el modelo de negocio.

Por tanto, la lógica financiera se organiza en tres niveles, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 38. Niveles y alcance de la lógica financiera.

Nivel	Alcance	Instrumentos más adecuados
Mínimo viable	Legalidad, trazabilidad básica, QR, expediente digital, control documental, recepción y calidad mínima.	Cofinanciación condicionada, pagos contra hitos, capital de trabajo recuperable.
Consolidación operativa	Secado, clasificación, sublotes, fichas técnicas, cadena de custodia, ensayos, auditorías internas y control de inventarios.	Crédito verde, garantías, leasing, componente rotatorio, factoring o confirming.
Diferenciación de mercado	Certificaciones, pasaporte digital robusto, auditorías externas, verificación independiente, MRV avanzado y carbono.	Pagos contra certificación, acuerdos de compra futura, cofinanciación parcial, leasing, garantías y contratos de largo plazo.

Fuente: Geotem SAS.

En síntesis, la lógica de estructuración financiera no consiste en financiar todos los costos de manera uniforme, sino en asignar el instrumento adecuado según el tipo de necesidad. Los costos que generan beneficio colectivo o habilitan la entrada al sistema pueden recibir cofinanciación condicionada; los costos que se recuperan con ventas deben manejarse como capital de trabajo o instrumentos recuperables; las inversiones en activos deben canalizarse mediante crédito, leasing o garantías; y los costos de certificación, auditoría o MRV deben activarse progresivamente contra hitos verificables y solo cuando exista una expectativa razonable de recuperación comercial, reputacional o climática.

5.2 Costos unitarios de trazabilidad, control de calidad, certificación y MRV como base para dimensionar los instrumentos financieros

La definición de los esquemas financieros debe partir de los costos unitarios ya estimados en los capítulos técnicos anteriores. Estos valores permiten identificar cuánto cuesta implementar los mecanismos de trazabilidad, control de calidad, certificación y MRV por unidad trazada, y sirven como base para definir si el costo debe cubrirse mediante pago contra hito, cofinanciación condicionada, mecanismo recuperable, crédito, garantía, leasing o acuerdo comercial.

En este documento, el costo de trazabilidad se estimó a partir de plantillas por modelo de negocio, considerando volumen anual trazado, número de lotes, eventos, costos de implementación, operación, herramientas tecnológicas, auditorías, pasaportes digitales, control de calidad, MRV y beneficios esperados. En ese sentido, se señala que estos resultados deben entenderse como una herramienta flexible, actualizable con cotizaciones reales, pilotos y datos operativos de los actores participantes.

La fórmula base utilizada para dimensionar estos costos es la siguiente:

$$\text{Costo unitario} = \frac{\text{Costo anual total del componente}}{\text{Volumen anual trazado o verificado}}$$

Para efectos financieros, no todos los costos deben sumarse automáticamente. Algunos ya están incorporados dentro del costo de trazabilidad, como control documental, registros, auditorías internas, pasaporte digital o MRV básico en el Modelo de Negocio 3. Otros, como certificaciones externas, verificaciones climáticas o ensayos especializados, deben adicionarse solo cuando el modelo, el mercado o el comprador los exijan.

Tabla 39. Costos unitarios de referencia para la estructuración financiera.

Modelo de negocio	Costo unitario de trazabilidad ajustado	Costos de certificación aplicables	Tratamiento financiero recomendado
Modelo 1: madera para construcción	**$95.259 COP/m³**	FSC/PEFC CoC o ISO 38200 como base de cadena de custodia. Referencia de planeación: **$1.000–$5.000 COP/m³** para operación media. FSC Project Certification solo si aplica a una obra específica.	Cubrir mediante pagos contra recepción conforme, cofinanciación de trazabilidad inicial, aporte de empresa ancla y certificación solo para proyectos demostrativos.
Modelo 2: centros de acopio, talleres y productos en madera	**$137.470 COP/m³**	FSC/PEFC CoC o ISO 38200 como base. LEVEL, GREENGUARD, ISO 9001 o ISO 14001 solo si existe mercado o comprador que lo exija.	Usar componente rotatorio para inventario y sublotes; cofinanciar brechas de certificación, secado, clasificación y control de calidad; trasladar parte del costo al producto final cuando haya diferenciación comercial.
Modelo 3: residuos, biomasa, biochar y MRV	**$63.386 COP/m³eq**	Verra: referencia de planeación **$6.000–$15.000 COP/m³eq**. Puro.earth: referencia media **$25.000–$26.000 COP/m³eq**. EBC/WBC requiere cotización específica.	Separar CAPEX del equipo, OPEX operativo, MRV y verificación climática. Financiar mediante leasing, fondo operativo recuperable, pagos por servicio, venta de biochar y acuerdos de compra futura de carbono.

Fuente: Geotem SAS.

Estos valores permiten establecer una base para dimensionar los instrumentos financieros sin convertirlos en tarifas definitivas. En particular, el costo unitario de trazabilidad refleja la implementación del sistema mínimo y operativo por modelo; mientras que los costos de certificación corresponden a componentes adicionales que deben activarse de forma gradual, según el nivel de madurez de la cadena y la existencia de demanda comercial o climática. La siguiente tabla presenta lo anterior.

Tabla 40. Tipo de costos para la selección de instrumentos financieros.

Tipo de costo	Ejemplos	Instrumento financiero más adecuado
Trazabilidad básica	QR, expediente digital, registros, control documental, pasaporte digital mínimo.	Cofinanciación condicionada, pago contra hito o aporte compartido entre actores.
Control de calidad	Medición de humedad, clasificación, matriz de defectos, fichas técnicas, ensayos básicos.	Cofinanciación de costos habilitantes, pago contra aceptación técnica o capital de trabajo recuperable.
Certificación de cadena de custodia	FSC CoC, PEFC CoC, ISO 38200.	Pago contra certificación, cofinanciación parcial o recuperación gradual vía precio de venta.
Certificación de producto o mercado	FSC Project, LEVEL, GREENGUARD, ISO 9001, ISO 14001.	Financiar solo con comprador, proyecto o mercado identificado.
MRV y carbono	Balance de masa, reportes MRV, Verra, Puro.earth, verificación externa.	Leasing, acuerdos de compra futura, pagos por resultados, cofinanciación climática o recuperación con créditos de carbono.

Fuente: Geotem SAS.

En consecuencia, el capítulo financiero no debe asumir que todos los actores deben pagar desde el inicio el costo completo de trazabilidad, certificación y MRV. La recomendación es aplicar un esquema gradual: primero financiar la trazabilidad mínima y el control de calidad básico; luego avanzar hacia certificaciones de cadena de custodia y auditorías externas; y finalmente incorporar certificaciones de diferenciación, MRV avanzado o carbono cuando exista escala, mercado y capacidad de recuperación.

En síntesis, los costos unitarios permiten pasar de una propuesta general de instrumentos financieros a una estructuración concreta por modelo. Para el Modelo de Negocio 1, el foco está en financiar la trazabilidad hasta obra y la aceptación técnica; para el Modelo de Negocio 2, en cubrir la mayor complejidad de sublotes, secado, calidad y productos finales; y para el Modelo de Negocio 3, en separar el costo de trazabilidad y MRV básico de los costos adicionales de certificación climática y verificación externa.

5.3 Necesidades financieras, riesgos y brechas por modelo de negocio

La estructuración de los instrumentos financieros requiere diferenciar, para cada modelo de negocio, tres elementos: **necesidad financiera**, **riesgo a cubrir** y **brecha que debe cerrarse**. Esta diferenciación permite evitar que los instrumentos se diseñen de manera general y, en cambio, se orienten a resolver los puntos críticos de implementación de la trazabilidad, el control de calidad, la certificación, la validación sectorial y, cuando aplique, el MRV.

Esta lógica es coherente con el Subproducto 1.3, en el cual se planteó que el mecanismo de apalancamiento financiero debe facilitar capital de trabajo, anticipos condicionados, garantías, pagos contra hitos y respaldo a operaciones verificables, sin convertirse en subsidio general ni en capital de trabajo libre. Asimismo, responde al enfoque de este documento, donde la trazabilidad se define como una capa operativa que debe integrar legalidad, identificación física, control de calidad, cadena de custodia, producto final,

residuos, biochar y MRV según el modelo de negocio. Lo anterior se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 41. Matriz de necesidades financieras, riesgos y brechas por modelo de negocio

Modelo de negocio	Necesidades financieras principales	Riesgos que deben cubrirse	Brechas que deben cerrarse	Implicación financiera
Modelo 1. Madera para construcción	Capital de trabajo para alistamiento, movilización, acopio, trazabilidad del lote, recepción técnica, control de humedad, clasificación, ensayos básicos, pasaporte digital y aceptación en obra.	Incumplimiento de entrega, diferencias entre volumen autorizado, movilizado y recibido, daño durante transporte, rechazo por humedad o defectos, falta de aptitud técnica para uso constructivo y pérdida de trazabilidad hasta la obra.	Falta de fichas técnicas por especie, baja estandarización de clasificación, necesidad de ensayos físicos o mecánicos, costos de cadena de custodia y brechas para certificación FSC/PEFC/ISO 38200 cuando el mercado lo exija.	Requiere combinar pagos contra recepción conforme, pólizas de transporte o cumplimiento, cofinanciación de trazabilidad inicial, aporte de empresa ancla y certificación solo cuando exista proyecto o comprador que lo justifique.
Modelo 2. Centros de acopio, talleres y productos en madera	Capital de trabajo para compra y rotación de inventario, secado, clasificación, generación de sublotes, almacenamiento, control de calidad, despacho a talleres, pasaporte digital de producto y certificación de cadena de custodia.	Inventario inmovilizado, rechazo por humedad o calidad, deterioro por almacenamiento, pérdida de vínculo lote-sublote, baja liquidez de talleres, devolución de producto final y dificultad para sostener certificaciones o auditorías.	Brechas en infraestructura de secado, medición de humedad, control de inventarios, segregación, registros de transformación, fichas de desempeño, capacidad de auditoría y preparación para FSC/PEFC CoC, ISO 38200, ISO 9001, ISO 14001, LEVEL o GREENGUARD cuando aplique.	Requiere un componente rotatorio de capital de trabajo recuperable para inventario y sublotes, pagos fraccionados por pedido, cofinanciación de brechas de calidad y certificación, factoring o confirming para talleres y seguros de inventario.
Modelo 3. Residuos, biomasa, biochar y MRV	Recursos para separación y registro de residuos, pesaje, medición de humedad, preparación de biomasa, operación de pirólisis, control de calidad del biochar, balance de masa, MRV, verificaciones	Ingreso de residuos sin trazabilidad, biomasa con humedad inadecuada, contaminación del material, bajo rendimiento de pirólisis, biochar no conforme, inconsistencias en MRV, no verificación	Brechas en separación de residuos por lote madre, medición de biomasa, control de contaminantes, parámetros de pirólisis, ensayos de biochar, sistemas MRV, verificación externa y certificaciones como	Requiere separar CAPEX, OPEX y costos de verificación: leasing o crédito para equipo, componente operativo recuperable para biomasa y MRV básico, seguro de maquinaria, pagos

Modelo de negocio	Necesidades financieras principales	Riesgos que deben cubrirse	Brechas que deben cerrarse	Implicación financiera
	externas y certificaciones climáticas.	de créditos de carbono y retraso en monetización climática.	EBC/WBC, Puro.earth o Verra.	por servicio, acuerdos de compra futura y financiación climática contra verificación.

Fuente: Geotem SAS.

Para el caso del **Modelo de Negocio 1**, la necesidad financiera se concentra en asegurar que la madera legalmente trazada llegue a la empresa ancla y posteriormente a la obra con condiciones técnicas aceptables. La mayor exposición está en el tránsito entre origen, recepción, acondicionamiento y aceptación constructiva. Por ello, los instrumentos deben reducir el riesgo de incumplimiento, rechazo técnico o pérdida de trazabilidad, especialmente cuando la madera se destine a usos estructurales, semiestructurales o proyectos demostrativos.

Por su parte, el **Modelo de Negocio 2**, la necesidad financiera es más intensiva en capital de trabajo, porque el centro de acopio debe comprar, estabilizar, clasificar, secar y mantener inventario antes de que el producto sea transformado y pagado por talleres o compradores finales. En este modelo, la principal brecha no es solo financiera, sino también técnica: el valor del producto depende de la estabilidad dimensional, la clasificación, el secado, la homogeneidad del sublote y la aceptación en taller. En este documento se reconoce que el desempeño del material para este modelo depende de su estabilidad, apariencia, facilidad de maquinado, acabado y aceptación comercial.

Frente al **Modelo de Negocio 3**, las necesidades financieras son diferentes porque combinan operación productiva, tecnología y monetización climática. No basta con financiar la trazabilidad del residuo; también se requieren recursos para controlar humedad, contaminantes, granulometría, parámetros de pirólisis, calidad del biochar y evidencia de aplicación. En este documento se señala que, cuando el biochar se asocia a atributos climáticos o créditos de carbono, la trazabilidad del residuo, el balance de masa, los parámetros de pirólisis y la evidencia de aplicación son fundamentales para evitar beneficios climáticos soportados en biomasa sin procedencia demostrable.

De manera transversal, las brechas financieras se pueden agrupar en cuatro tipos, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 42. Tipo de brechas y modelos de negocio.

Tipo de brecha	Descripción	Modelos donde aplica
Brecha de liquidez	Falta de recursos para operar antes de recibir el pago del comprador.	Modelos 1, 2 y 3
Brecha técnica	Falta de equipos, ensayos, fichas técnicas, medición de humedad, clasificación o control de calidad.	Modelos 1, 2 y 3
Brecha de certificación	Falta de preparación documental, auditorías, cadena de custodia, sistemas de gestión o verificación externa.	Modelos 1, 2 y 3

Tipo de brecha	Descripción	Modelos donde aplica
Brecha de monetización	Dificultad para recuperar el costo de trazabilidad, certificación o MRV mediante precio, contrato, mercado diferenciado o créditos de carbono.	Principalmente Modelos 2 y 3

Fuente: Geotem SAS.

En síntesis, el análisis por modelo evidencia que los instrumentos financieros no deben limitarse a financiar inversiones generales. Deben diseñarse para cubrir costos específicos, reducir riesgos verificables y cerrar brechas concretas de implementación. Por ello, el Modelo 1 requiere instrumentos asociados a suministro, recepción conforme y aceptación constructiva; el Modelo 2 requiere mecanismos de liquidez, inventario y calidad; y el Modelo 3 requiere una estructura diferenciada que separe operación de biomasa, inversión tecnológica, MRV y certificación climática.

5.4 Instrumentos financieros aplicables

Los instrumentos financieros propuestos deben operar de manera complementaria y diferenciada. No se trata de crear un único producto financiero para toda la cadena, sino de seleccionar el instrumento adecuado según el tipo de costo, el riesgo que se busca cubrir, el actor beneficiario y el hito verificable que activa el desembolso, pago o recuperación. Esta lógica es coherente con el análisis del Subproducto 1.3, en el cual el mecanismo de apalancamiento financiero se concibe como un instrumento para facilitar liquidez, capital de trabajo, garantías, anticipos condicionados y pagos contra hitos asociados a operaciones reales de suministro programado, sin convertirse en subsidio general ni en intervención directa de la Gobernación en operaciones privadas.

5.4.1 Pólizas, seguros y garantías

Las pólizas, seguros y garantías son instrumentos de mitigación de riesgos. No financian directamente la operación, pero reducen la exposición de los actores frente a incumplimientos, pérdidas, daños, mora o fallas en la entrega. Para los modelos de negocio propuestos, resultan especialmente útiles en transporte, inventarios, maquinaria, cumplimiento de entregas y respaldo crediticio. En Colombia, el Fondo Nacional de Garantías —FNG— señala que su función es facilitar el acceso al crédito mediante garantías para empresas y hogares, lo que resulta útil para actores con restricciones de garantías reales.

Tabla 43. Instrumentos de mitigación de riesgos mediante pólizas, seguros y garantías por modelo de negocio.

Instrumento	¿Qué cubre?	Modelo donde aplica mejor	Pasos para implementarlo	Claves de uso
Seguro de transporte	Pérdida, daño o deterioro de madera, biomasa o biochar durante la movilización.	Modelos 1, 2 y 3.	1. Definir ruta y valor asegurado. 2. Identificar responsable del seguro. 3. Asociar la póliza al lote, SUNL y expediente	Debe vincularse al lote trazado y no solo al vehículo.

Instrumento	¿Qué cubre?	Modelo donde aplica mejor	Pasos para implementarlo	Claves de uso
			digital. 4. Exigir evidencia de entrega.	
Seguro de inventario	Deterioro, pérdida, incendio, humedad, robo o siniestro en centros de acopio o bodegas.	Modelo 2.	1. Identificar inventario asegurable. 2. Valorar existencias. 3. Definir condiciones mínimas de almacenamiento. 4. Registrar entradas y salidas.	Requiere inventarios actualizados y trazabilidad lote-sublote.
Seguro de maquinaria y equipo	Daños o interrupciones en secadores, equipos de transformación o pirólisis.	Modelos 2 y 3.	1. Inventariar activos. 2. Valorar equipo. 3. Definir responsable de operación. 4. Asegurar mantenimiento.	Es clave para el equipo móvil de pirólisis.
Póliza de cumplimiento	Incumplimiento de entrega, plazos, condiciones técnicas o compromisos contractuales.	Modelos 1 y 2.	1. Incluir obligación asegurable en contrato. 2. Definir valor asegurado. 3. Condicionar liberación de pagos a cumplimiento.	Útil en contratos con empresa ancla o compradores institucionales.
Garantía financiera	Respaldo parcial para acceder a crédito o capital de trabajo.	Modelos 1, 2 y 3.	1. Identificar necesidad de crédito. 2. Vincular contrato, pedido o flujo esperado. 3. Gestionar garantía con FNG, FINAGRO u operador financiero.	Reduce barreras de acceso a financiación.

Fuente: Geotem SAS.

Ventajas. Reducen la percepción de riesgo, facilitan acceso a crédito, protegen activos y dan mayor confianza al comprador.

Desventajas. Generan costos adicionales, exigen documentación, no cubren todos los riesgos y pueden requerir historial financiero o condiciones mínimas de operación.

Recomendación práctica. Iniciar con dos coberturas básicas: seguro de transporte para los Modelos de Negocio 1 y 2, y seguro de maquinaria/equipo para el Modelo de Negocio 3. Las pólizas de cumplimiento deben reservarse para acuerdos de suministro programado o contratos con compradores que exijan mayor respaldo.

5.4.2 Pagos contra hitos, certificación sectorial, verificación externa y aceptación técnica

Los pagos contra hitos permiten liberar recursos solo cuando existe evidencia verificable de avance, cumplimiento o aceptación. Este instrumento es especialmente útil cuando hay poca confianza inicial entre actores o cuando el costo técnico —trazabilidad, calidad, certificación o MRV— debe reconocerse progresivamente. Este documento ya define capas de autocontrol, validación cruzada y auditoría externa para verificar legalidad, trazabilidad,

calidad, cadena de custodia, balance de masa, desempeño técnico, MRV o atributos climáticos. La siguiente tabla presenta estos hitos.

Tabla 44. Hitos verificables, evidencias mínimas y pagos asociados por modelo de negocio.

Hito verificable	Evidencia mínima	Pago o desembolso asociado	Modelo aplicable
Lote autorizado y documentado	Permiso, autorización, PMF, SUNL, código de lote y expediente digital.	Anticipo parcial o crédito puente.	Modelos 1 y 2.
Despacho conforme	SUNL, ruta, transportador, volumen, especie y registro fotográfico.	Pago contra movilización.	Modelos 1 y 2.
Recepción conforme	Acta de recepción, cotejo documental, volumen recibido y estado físico.	Segundo pago o liberación parcial.	Modelos 1 y 2.
Validación técnica	Medición de humedad, clasificación, ficha técnica, matriz de defectos.	Pago contra aceptación técnica.	Modelos 1 y 2.
Certificación o verificación externa	Certificado, informe de auditoría, verificación de cadena de custodia o MRV.	Pago por desempeño o reconocimiento de diferencial.	Modelos 1, 2 y 3.
Biochar producido y aplicado	Balance de masa, lote de biochar, evidencia de aplicación y reporte MRV.	Pago por servicio, pago climático o liberación de saldo.	Modelo 3.

Fuente: Geotem SAS.

5.4.2.1 Pasos para implementarlo.

Los pasos para implementar pagos contra hitos y verificación técnica se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 45. Pasos para implementar pagos contra hitos y verificación técnica.

Paso	Acción
1	Definir los hitos del contrato o acuerdo de suministro.
2	Asociar cada hito con evidencia documental, técnica o digital.
3	Definir porcentaje de pago por hito.
4	Designar quién verifica: comprador, centro de acopio, unidad técnica, laboratorio o auditor.
5	Registrar el cumplimiento en el expediente digital.
6	Liberar el pago, retenerlo o activar corrección según resultado.

Fuente: Geotem SAS.

Ventajas. Reduce riesgo moral, mejora confianza, evita anticipos sin respaldo, conecta el pago con trazabilidad y calidad.

Desventajas. Puede retrasar liquidez si los hitos son muy exigentes, requiere capacidad de verificación y puede generar controversias si los criterios no están claros.

Recomendación práctica. Para el Modelo 1, usar pagos contra recepción conforme y aceptación técnica. Para el Modelo 2, usar pagos fraccionados por pedido, sublote y

producto final. Para el modelo de negocio 3, usar pagos por residuo validado, biochar conforme y MRV verificado.

5.4.3 Componente rotatorio de capital de trabajo recuperable

El componente rotatorio de capital de trabajo recuperable es una modalidad operativa dentro del Mecanismo Departamental de Apalancamiento Financiero. No debe presentarse como un fondo-cuenta autónomo, salvo que exista concepto jurídico favorable. Su función es entregar recursos recuperables para operaciones verificables y reponerlos con pagos futuros, facturas, contratos, órdenes de compra o ingresos asociados a la venta de madera, productos, biochar o servicios climáticos. Lo anterior se presenta en las siguientes tablas.

Tabla 46. Elementos operativos del componente rotatorio de capital de trabajo recuperable.

Elemento	Definición práctica
Objeto	Financiar temporalmente costos de operación recuperables.
No es	Subsidio general, donación, fondo-cuenta autónomo ni crédito libre.
Administrador sugerido	Operador fiduciario, financiero o administrativo especializado.
Fuente de recuperación	Pago del comprador, factura, contrato, orden de compra, venta de producto o ingreso por servicio.
Usos elegibles	Compra de madera legal, transporte, acopio, secado, clasificación, sublotes, biomasa, MRV básico.
Usos no elegibles	Compra sin trazabilidad, deudas previas, gastos generales, utilidades o activos sin relación con la ruta.

Fuente: Geotem SAS.

Tabla 47. Usos recomendados del componente rotatorio de capital de trabajo recuperable por modelo de negocio.

Modelo	Uso recomendado
Modelo 1	Anticipo recuperable para alistamiento, transporte, trazabilidad y recepción del lote.
Modelo 2	Cupo rotatorio para compra y reposición de inventario en centros de acopio y talleres.
Modelo 3	Capital operativo para recolección, preparación de biomasa, operación MRV básica y procesamiento de residuos.

Fuente: Geotem SAS.

Tabla 48. Pasos para implementar el componente rotatorio de capital de trabajo recuperable.

Paso	Acción
1	Definir si opera mediante convenio, fiducia, operador financiero o proyecto de inversión.
2	Establecer cupos máximos por actor y por operación.
3	Exigir operación verificable: contrato, pedido, orden de compra o programación de suministro.
4	Verificar legalidad, trazabilidad y capacidad de recuperación.
5	Desembolsar contra hito inicial.
6	Recuperar con cargo al pago del comprador o ingreso del proyecto.
7	Reutilizar el recurso en nuevas operaciones elegibles.

Fuente: Geotem SAS.

Ventajas. Mejora liquidez, reduce dependencia de crédito bancario, permite rotación de inventarios y sostiene operaciones de baja escala.

Desventajas. Riesgo de mora, necesidad de administración rigurosa, riesgo de uso indebido y necesidad de reglas claras de recuperación.

Recomendación práctica. Usarlo primero en el Modelo 2, porque allí la necesidad de inventario, secado, clasificación y rotación de sublotes es mayor. En el Modelo 3 puede aplicarse a operación de biomasa, pero no al CAPEX principal del equipo de pirólisis.

5.4.4 Cofinanciación condicionada de costos habilitantes y brechas de certificación

La cofinanciación condicionada permite cubrir parcialmente costos que habilitan la participación de los actores en la cadena, pero que no siempre pueden recuperarse de manera inmediata. El Subproducto 1.3 ya plantea que la cofinanciación no debe operar como transferencia automática, sino como apoyo parcial sujeto a contrapartida, trazabilidad, legalidad, cumplimiento de hitos y resultados verificables. Los costos habilitantes y los pasos para implementarlo se presentan en la siguientes tablas.

Tabla 49. Costos habilitantes sujetos a cofinanciación condicionada por modelo de negocio.

Tipo de costo habilitante	Ejemplos	Modelo aplicable
Trazabilidad inicial	QR, expediente digital, fichas de lote, digitalización documental.	Modelos 1, 2 y 3.
Control de calidad	Equipos de humedad, clasificación, matriz de defectos, fichas técnicas.	Modelos 1 y 2.
Secado y acondicionamiento	Presecado, adecuación de bodegas, separadores, almacenamiento.	Modelo 2.
Brechas de certificación	Diagnóstico, capacitación, auditoría interna, cadena de custodia, alistamiento documental.	Modelos 1, 2 y 3.
MRV y biochar	Balance de masa, registro de biomasa, evidencia de aplicación, preparación para verificación.	Modelo 3.

Fuente: Geotem SAS.

Tabla 50. Pasos para implementar la cofinanciación condicionada de costos habilitantes.

Paso	Acción
1	Definir línea financiable: trazabilidad, calidad, certificación o MRV.
2	Exigir contrapartida en dinero, especie, personal, infraestructura o compromiso verificable.
3	Evaluar pertinencia técnica y relación con la ruta.
4	Aprobar apoyo parcial con tope y porcentaje definido.
5	Desembolsar contra evidencia o pagar directamente a proveedores.
6	Verificar uso del recurso y cumplimiento del resultado.
7	Cerrar, suspender o exigir reintegro si hay incumplimiento.

Fuente: Geotem SAS.

Ventajas. Reduce barreras de entrada, permite cerrar brechas técnicas y acelera la preparación para certificaciones o mercados diferenciados.

Desventajas. Requiere soporte jurídico y presupuestal, puede generar dependencia si no se exige contrapartida y debe evitar financiar activos privados sin beneficio claro para la cadena.

Recomendación práctica. Usarla para costos de trazabilidad, calidad y certificación que generen beneficios colectivos o que sean indispensables para la permanencia de los transformadores. No debe financiar compra ordinaria de madera.

5.4.5 Instrumentos complementarios: crédito verde, factoring, confirming, leasing y acuerdos de compra futura

Estos instrumentos complementan los anteriores y permiten resolver necesidades específicas de inversión, liquidez o monetización futura. FINAGRO dispone de productos de crédito, crédito sostenible, garantías, incentivos como ICR, ISA y CIF, así como líneas especiales de crédito, lo cual permite conectar proyectos forestales o agroindustriales con instrumentos financieros existentes. Lo anterior se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 51. Instrumentos financieros complementarios, aplicaciones y precauciones de uso.

Instrumento	Definición práctica	Mejor aplicación	Pasos clave	Ventajas	Precauciones
Crédito verde	Crédito para inversiones sostenibles, infraestructura, equipos o mejoras productivas con beneficio ambiental.	Modelos 1, 2 y 3.	Formular plan de inversión, demostrar sostenibilidad, gestionar con banco o FINAGRO.	Permite financiar activos y mejoras de mediano plazo.	Requiere capacidad de pago y garantías.
Factoring	Anticipo de facturas o cuentas por cobrar.	Modelos 1 y 2.	Emitir factura aceptada, cederla a entidad financiera, recibir liquidez anticipada.	Mejora caja sin esperar pago completo.	Depende de calidad del pagador y formalización de facturas.
Confirming	El comprador confirma obligaciones de pago para que proveedores accedan a liquidez.	Modelos 1 y 2.	Empresa ancla confirma pago, entidad financiera anticipa al proveedor.	Útil cuando hay comprador fuerte.	Requiere empresa ancla organizada y pagadora confiable.
Leasing	Financia uso o adquisición de activos productivos.	Modelos 2 y 3.	Identificar activo, estructurar contrato, pagar cánones.	Útil para secadores, maquinaria o pirólisis.	No debe usarse para capital de trabajo.
Acuerdos de compra futura u offtake	Compromiso de compra futura de madera, biochar o carbono.	Modelos 1 y 3.	Definir volumen, calidad, precio, hitos y condiciones de entrega.	Reduce incertidumbre de mercado y mejora bancabilidad.	Debe evitar prometer volúmenes o créditos no verificados.
Garantías parciales	Respaldo para facilitar crédito o cumplimiento.	Modelos 1, 2 y 3.	Vincular operación, evaluar riesgo, solicitar garantía con entidad competente.	Reduce percepción de riesgo.	No elimina obligación de pago del beneficiario.

Fuente: Geotem SAS.

Los instrumentos de financiación de cadenas de suministro permiten apoyar capital de trabajo y reducir riesgos entre compradores y proveedores; una experiencia reciente de IFC y Standard Chartered creó una facilidad de riesgo compartido de USD 300 millones para fortalecer cadenas de suministro y apoyar capital de trabajo de empresas en África, lo que muestra la utilidad de combinar financiamiento, mitigación de riesgo y proveedores pequeños o medianos en cadenas productivas.

5.4.5.1 Aplicación por modelo.

En la siguiente tabla se presentan los instrumentos financieros complementarios prioritarios por modelo de negocio.

Tabla 52. Instrumentos financieros complementarios prioritarios por modelo de negocio.

Modelo	Instrumentos complementarios prioritarios
Modelo 1	Crédito verde para trazabilidad y adecuaciones; confirming con empresa ancla; póliza de cumplimiento; factoring sobre facturas; acuerdo de suministro de largo plazo.
Modelo 2	Componente rotatorio, factoring, confirming, seguro de inventario, crédito verde para secado y clasificación, cofinanciación de certificación.
Modelo 3	Leasing para equipo de pirólisis, crédito verde para infraestructura ambiental, seguro de maquinaria, offtake de biochar, acuerdos de compra futura de carbono y pagos contra MRV.

Fuente: Geotem SAS.

5.4.5.2 Recomendación práctica.

El crédito verde y el leasing deben usarse para inversión en activos; el factoring y confirming para liquidez de corto plazo; las garantías para mejorar acceso a crédito; y los acuerdos de compra futura para hacer financiable una operación antes de que se materialice el ingreso final. En el modelo de negocio 3, los ingresos por carbono deben tratarse como ingresos condicionados a verificación, no como flujo cierto desde el inicio.

5.4.6 Síntesis operativa de instrumentos financieros por modelo de negocio

La siguiente tabla presenta una síntesis operativa por modelo.

Tabla 53. Síntesis operativa de instrumentos financieros por modelo de negocio.

Modelo	Instrumentos prioritarios	Instrumentos secundarios	No recomendado al inicio
Modelo 1	Pago contra hitos, seguro de transporte, póliza de cumplimiento, confirming con empresa ancla.	Crédito verde, garantía parcial, cofinanciación de trazabilidad o certificación.	Certificaciones costosas sin comprador o proyecto específico.
Modelo 2	Componente rotatorio de inventario, pagos fraccionados, seguro de inventario, factoring.	Crédito verde, confirming, cofinanciación de secado/calidad/certificación.	Comprar inventario sin trazabilidad o sin pedido.
Modelo 3	Leasing, seguro de maquinaria, pago por servicio, MRV por hitos, offtake de biochar.	Crédito verde, acuerdos de compra futura de carbono, cofinanciación climática.	Financiar carbono sin verificación o sin trazabilidad de biomasa.

Fuente: Geotem SAS.

En conclusión, los instrumentos financieros deben implementarse de manera gradual y vinculada a evidencias verificables. La prioridad no es sofisticar el mecanismo desde el inicio, sino asegurar que cada desembolso, pago, garantía o recuperación esté asociado a un lote, sublote, producto, residuo, biochar o hito técnico claramente documentado.

5.5 Reglas para financiar certificaciones, auditorías, ensayos y verificaciones externas

La financiación de certificaciones, auditorías, ensayos y verificaciones externas debe aplicarse de manera **gradual, condicionada y proporcional** al nivel de madurez de cada modelo de negocio. No se recomienda financiar certificaciones de alto costo desde el inicio si no existe volumen suficiente, comprador identificado, mercado que reconozca el atributo o capacidad operativa para sostener auditorías posteriores.

Esta regla es coherente con el enfoque de este documento, en el cual las certificaciones se plantean como una ruta escalonada que inicia con legalidad, trazabilidad y cadena de custodia interna, y avanza progresivamente hacia certificaciones de diferenciación comercial, climática o reputacional. Asimismo, el Subproducto 1.3 ya había contemplado la posibilidad de financiar costos habilitantes como trazabilidad digital, estudios de mercado, fichas técnicas, certificaciones grupales o verificaciones independientes, siempre que exista beneficio para la cadena y no se trate de un apoyo general sin resultados verificables. Estas reglas se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 54. Reglas mínimas de financiación

Regla	Aplicación práctica
1. Financiar solo certificaciones pertinentes	La certificación debe estar asociada a una exigencia de mercado, comprador, norma técnica, proyecto demostrativo, MRV o estrategia de diferenciación.
2. Diferenciar alistamiento de certificación	Se puede cofinanciar diagnóstico, capacitación, fichas técnicas, protocolos, ensayos o preauditorías antes de financiar la auditoría formal.
3. Exigir contrapartida	El beneficiario debe aportar recursos, personal, infraestructura, información, tiempo técnico o compromisos verificables.
4. Pagar contra hitos	Los desembolsos deben condicionarse a entrega de diagnóstico, informe de ensayo, auditoría, certificación, verificación externa o cierre de brecha.
5. Evitar doble financiación	No se debe financiar dos veces el mismo costo mediante ventanilla, mecanismo recuperable, cooperación u otro incentivo.
6. Financiar de forma proporcional	El apoyo debe ajustarse al tamaño del actor, volumen trazado, capacidad de permanencia y beneficio esperado.
7. No financiar sellos sin sostenibilidad operativa	Si el actor no puede sostener vigilancia anual, registros o auditorías posteriores, debe priorizarse fortalecimiento previo.

Fuente: Geotem SAS.

5.5.1 Costos financiables y no financiables

Se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 55. Costos financiables y no financiables

Tipo de costo	Puede financiarse	Condición
Diagnóstico de brechas	Sí	Debe estar asociado a FSC, PEFC, ISO 38200, ISO 9001, ISO 14001, EBC/WBC, Verra, Puro.earth u otro estándar aplicable.
Capacitación y adecuación documental	Sí	Debe fortalecer trazabilidad, calidad, cadena de custodia, MRV o cumplimiento de requisitos.
Ensayos físicos, mecánicos o de biochar	Sí	Deben estar vinculados a fichas técnicas, aceptación de mercado, MRV o certificación.
Auditorías internas o preauditorías	Sí	Deben preparar al actor para una certificación o verificación externa.
Auditoría externa o certificación formal	Sí, de manera condicionada	Solo si existe comprador, mercado, piloto o estrategia clara de recuperación del costo.
Vigilancia anual o recertificación	Condicionado	Debe existir plan de sostenibilidad financiera para mantener el estándar.
Certificaciones de producto de nicho	Condicionado	Solo si hay línea de producto, comprador o proyecto que lo demande.
Gastos generales sin vínculo con certificación	No	No deben financiarse gastos administrativos ordinarios sin resultado verificable.
Certificaciones no relacionadas con los modelos	No	Deben excluirse certificaciones sin relación directa con la cadena forestal, el producto o el MRV.

Fuente: Geotem SAS.

5.5.2 Aplicación por modelo de negocio

Las certificaciones, auditorías, ensayos y verificaciones externas deben financiarse como **costos habilitantes progresivos**, no como gastos aislados. Su financiación debe responder a una brecha concreta, un estándar identificado, un hito verificable y una expectativa razonable de recuperación mediante mayor valor comercial, acceso a mercado, reducción de riesgos, diferenciación reputacional o ingresos climáticos. Se desglosa en la siguiente tabla.

Tabla 56. Aplicación por modelo de negocio

Modelo	Qué se puede financiar primero	Qué se financia solo en etapa madura
Modelo 1: madera para construcción	Ensayos de especie, humedad, clasificación, fichas técnicas, cadena de custodia interna, preparación FSC/PEFC/ISO 38200.	FSC Project Certification, auditorías externas de proyectos demostrativos o certificaciones exigidas por obra específica.
Modelo 2: centros de acopio, talleres y productos en madera	Secado, control de humedad, clasificación, fichas de sublote, trazabilidad interna, preparación FSC/PEFC CoC o ISO 38200.	LEVEL, GREENGUARD, ISO 9001, ISO 14001 o certificaciones de producto cuando exista mercado institucional o comprador definido.
Modelo 3: residuos, biomasa, biochar y MRV	Balance de masa, caracterización de residuos, ensayos básicos de biochar, MRV inicial y trazabilidad de biomasa.	EBC/WBC, Verra, Puro.earth, validación/verificación externa y emisión de créditos de carbono.

Fuente: Geotem SAS.

5.6 Reglas de operación y gobernanza del mecanismo recuperable

El mecanismo recuperable debe entenderse como un componente operativo del **Mecanismo Departamental de Apalancamiento Financiero**, no como un fondo-cuenta autónomo ni como una entidad financiera. Su finalidad es facilitar liquidez, capital de trabajo recuperable, anticipos condicionados, garantías parciales o pagos contra hitos para operaciones reales de suministro, trazabilidad, calidad, certificación o MRV.

Este mecanismo debe articularse con la gobernanza ya definida en el Subproducto 1.2 y en el Producto 2, evitando crear estructuras paralelas. En dichos documentos se plantea una arquitectura basada en tres instancias: **Comité de Dirección de la Alianza**, **Comité Operativo de Abastecimiento** y **Unidad de Cumplimiento y Salvaguardas**, diferenciando funciones estratégicas, operativas y de verificación bajo principios de legalidad, trazabilidad, transparencia, corresponsabilidad, debida diligencia y mejora continua. La siguientes tablas muestran estos principios y la gobernanza operativa.

Tabla 57. Principios de operación

Principio	Regla práctica
No sustitución de la relación comercial	La Gobernación no compra, vende, garantiza pagos privados ni define precios entre actores.
Recuperabilidad	Todo recurso recuperable debe tener fuente clara de repago: factura, contrato, orden de compra, pago del comprador, venta de producto o ingreso climático.
Trazabilidad del recurso	Cada desembolso debe asociarse a un lote, sublote, producto, residuo, biochar, contrato o hito verificable.
Separación de funciones	Quien administra recursos no decide beneficiarios; quien verifica cumplimiento no debe ser el beneficiario directo.
No duplicidad	Debe existir registro único de apoyos para evitar financiar dos veces el mismo costo.
Gradualidad	Debe iniciar con pilotos controlados y escalar solo si hay recuperación, baja mora y cumplimiento técnico.
Condicionalidad	Los desembolsos se activan contra hitos, evidencias y cumplimiento de salvaguardas.

Fuente: Geotem SAS.

Tabla 58. Gobernanza operativa del mecanismo

Instancia	Función en el mecanismo recuperable
Comité de Dirección de la Alianza	Define lineamientos estratégicos, criterios generales, topes, prioridades, sectores elegibles y reglas de escalamiento. No aprueba operaciones comerciales particulares ni negocia precios.
Secretaría de Bienestar Verde	Actúa como secretaría técnica del mecanismo, coordina convocatorias, consolida información, articula actores y prepara reportes.
Comité Operativo de Abastecimiento	Evalúa pertinencia técnica y comercial de cada solicitud: volumen, especie, ruta, calidad, trazabilidad, secado, certificación, MRV y relación con acuerdos de suministro.
Unidad de Cumplimiento y Salvaguardas	Verifica legalidad forestal, trazabilidad, alertas, conflictos de interés, debida diligencia, riesgos socioambientales y cumplimiento de condiciones.

Instancia	Función en el mecanismo recuperable
Secretaría de Hacienda	Revisa disponibilidad presupuestal, tratamiento contable, recuperaciones, cartera, provisiones, cupos y sostenibilidad financiera.
Secretaría Jurídica	Revisa figura jurídica, convenios, contratos, fiducia, instrumentos recuperables, límites institucionales y causales de suspensión o reintegro.
Operador fiduciario, financiero o administrativo	Administra recursos, pagos, recuperaciones, subcuentas, reportes financieros y cartera. No selecciona beneficiarios ni define criterios de política.
Control interno, supervisión o auditoría	Revisa soportes, conciliaciones, cumplimiento de reglas, cartera, transparencia y rendición de cuentas.

Fuente: Geotem SAS.

El Subproducto 1.3 ya planteó que el operador fiduciario, financiero o administrativo puede administrar recursos, pagos, recuperaciones y reportes, pero las decisiones de asignación deben permanecer en las instancias públicas competentes con soporte técnico, jurídico, financiero y de trazabilidad. A continuación, se muestra el flujo mínimo de operación.

Tabla 59. Flujo mínimo de operación

Paso	Acción
1. Apertura del ciclo o ventanilla controlada	Se definen monto disponible, líneas elegibles, topes, requisitos y calendario.
2. Postulación	El actor presenta solicitud, plan de uso, soporte comercial, trazabilidad y propuesta de recuperación.
3. Revisión documental	Se verifica existencia legal, vinculación a la ruta, ausencia de alertas críticas y soportes mínimos.
4. Concepto técnico y comercial	El Comité Operativo evalúa si la solicitud corresponde a una operación real y viable.
5. Revisión de cumplimiento y salvaguardas	La Unidad de Cumplimiento verifica legalidad, trazabilidad, riesgos y debida diligencia.
6. Evaluación financiera	Se revisa capacidad de repago, fuente de recuperación, garantías y cupo máximo.
7. Aprobación condicionada	La instancia competente aprueba, condiciona, aplaza o rechaza la solicitud.
8. Formalización	Se suscribe instrumento: contrato, pagaré, cesión de derechos, convenio, carta de instrucciones o acuerdo de pago.
9. Desembolso o activación	El operador gira, paga directamente o activa respaldo contra el hito aprobado.
10. Seguimiento y recuperación	Se verifica uso, cumplimiento, pago, recuperación, mora y cierre.

Fuente: Geotem SAS.

5.6.1 Garantías y soportes mínimos

Se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 60. Tipo de operación y soportes mínimos

Tipo de operación	Soporte mínimo requerido
Anticipo recuperable	Orden de compra, contrato, programación de suministro, pagaré o cesión de derechos de pago.
Capital de trabajo para inventario	Lote trazado, SUNL, expediente digital, ficha de lote, plan de rotación y comprador esperado.

Tipo de operación	Soporte mínimo requerido
Financiamiento de sublotes	Registro lote-sublote, clasificación, humedad, inventario y destino previsto.
Biomasa o biochar	Lote madre, ficha de residuo, peso, humedad, balance de masa, lote de biochar y evidencia de uso.
Certificación o auditoría	Diagnóstico de brechas, cotización, estándar aplicable, cronograma e hito de verificación.
MRV o carbono	Plan MRV, metodología, trazabilidad de biomasa, verificador previsto y fuente de monetización esperada.

Fuente: Geotem SAS.

5.6.2 Causales de suspensión o no desembolso

Se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 61. Causales de suspensión o no desembolso y efecto.

Causal	Efecto
Pérdida de trazabilidad del lote, sublote, residuo o biochar	Suspensión del desembolso o bloqueo preventivo.
Uso de madera sin soporte legal	Cancelación del apoyo y reporte a la instancia correspondiente.
Información falsa o incompleta	Pérdida del beneficio y posible exigencia de reintegro.
Mora o incumplimiento de recuperación	Restricción de nuevos cupos y activación de cobro.
Uso de recursos en gastos no aprobados	Suspensión, reintegro o exclusión temporal.
Conflicto de interés no declarado	Revisión por Unidad de Cumplimiento y posible exclusión.
Incumplimiento de salvaguardas socioambientales	Suspensión hasta corrección o cierre de la operación.

Fuente: Geotem SAS.

5.6.3 Aplicación preferente por modelo

El mecanismo recuperable debe operar como una herramienta financiera de bajo riesgo institucional, con reglas claras de elegibilidad, verificación, desembolso, recuperación y control. Su función es cerrar brechas de liquidez sin reemplazar la negociación comercial ni crear una estructura paralela de gobernanza. Para ello, debe apoyarse en las instancias ya definidas para la ruta de vinculación y en un operador financiero o fiduciario que administre los recursos sin tomar decisiones públicas de asignación.

Tabla 62. Uso recomendado por modelo.

Modelo	Uso recomendado del mecanismo recuperable
Modelo 1	Anticipos recuperables para alistamiento, trazabilidad, transporte y recepción conforme de lotes destinados a empresa ancla u obra.
Modelo 2	Cupo rotatorio para inventario, secado, clasificación, sublotes y pagos fraccionados por pedido. Es el modelo donde el mecanismo tiene mayor aplicabilidad inicial.
Modelo 3	Capital operativo para biomasa, MRV básico, trazabilidad de residuos y producción inicial de biochar. El CAPEX del equipo debe manejarse por leasing, crédito o cofinanciación separada.

Fuente: Geotem SAS.

5.7 Esquema financiero diferenciado por modelo de negocio

Con base en los costos unitarios estimados para trazabilidad, control de calidad, certificación y MRV, cada modelo de negocio requiere una combinación distinta de instrumentos financieros. La diferencia principal está en el tipo de flujo que se debe financiar: en el **Modelo de Negocio 1** predomina el suministro hacia construcción; en el **Modelo de Negocio 2**, la rotación de inventario, secado, sublotes y productos finales; y en el **Modelo de Negocio 3**, la operación de biomasa, biochar, MRV y eventual monetización climática.

5.7.1 Modelo de Negocio 1: transformación industrial y construcción

En el Modelo de Negocio 1, el esquema financiero debe facilitar que la madera legal y trazable llegue desde los NDFyB hasta la empresa ancla y posteriormente a la obra, con condiciones técnicas verificadas. La prioridad es cubrir capital de trabajo, transporte, trazabilidad, control de recepción, validación técnica y, cuando aplique, certificación de cadena de custodia o certificación de proyecto. Lo anterior se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 63. Componente y propuesta financiera modelo de negocio 1.

Componente	Propuesta financiera
Costo unitario base	Trazabilidad estimada en **$95.259 COP/m³**. Certificación de cadena de custodia como referencia: **$1.000–$5.000 COP/m³** en operación media.
Instrumento principal	Pago contra hitos: anticipo parcial, pago contra despacho con SUNL, pago contra recepción conforme y saldo contra aceptación técnica.
Instrumentos de respaldo	Seguro de transporte, póliza de cumplimiento, garantía parcial y, cuando exista empresa ancla sólida, confirming o pago temprano.
Costos financiables	Identificación del lote, QR, expediente digital, verificación documental, control de humedad, clasificación, ensayos básicos, ficha técnica y pasaporte digital de obra.
Certificación aplicable	FSC/PEFC CoC o ISO 38200 cuando exista demanda del comprador; FSC Project Certification solo para proyectos demostrativos o de alto valor reputacional.
Recuperación del costo	A través del precio pactado con la empresa ancla, pagos por cumplimiento, reducción de rechazos y valor reputacional del proyecto constructivo.

Fuente: Geotem SAS.

5.7.1.1 Esquema recomendado

Anticipo parcial para alistamiento y movilización + seguro de transporte + pago contra recepción conforme + validación técnica + saldo contra aceptación en obra.

Este modelo no requiere un mecanismo rotatorio complejo desde el inicio. La empresa ancla puede asumir o cofinanciar parte del costo de trazabilidad y certificación cuando estos atributos le generen valor comercial, reputacional o acceso a proyectos sostenibles.

5.7.2 Modelo de Negocio 2: centros de acopio, acondicionamiento y distribución, talleres especializados, y mobiliario, carpintería especializada y soluciones arquitectónicas

En el Modelo de Negocio 2, el esquema financiero debe resolver principalmente la necesidad de capital de trabajo para comprar, clasificar, secar, almacenar y transformar madera antes de recibir el pago del taller o comprador final. Este modelo presenta el mayor costo unitario de trazabilidad, porque incorpora centros de acopio, sublotes, control de inventario, secado, talleres, productos finales y pasaportes digitales.

Tabla 64. Componente y propuesta financiera modelo de negocio 2.

Componente	Propuesta financiera
Costo unitario base	Trazabilidad estimada en **$137.470 COP/m³**. Certificación de cadena de custodia como referencia: **$1.000–$5.000 COP/m³** en operación media.
Instrumento principal	Componente rotatorio de capital de trabajo recuperable para inventario, secado, clasificación y generación de sublotes.
Instrumentos de respaldo	Seguro de inventario, factoring, confirming, pagos fraccionados por pedido y garantías parciales.
Costos financiables	Compra de madera legal, acondicionamiento, secado, medición de humedad, clasificación, generación de sublotes, fichas técnicas, pasaporte digital y control de calidad.
Certificación aplicable	FSC/PEFC CoC o ISO 38200 como base. ISO 9001, ISO 14001, LEVEL o GREENGUARD solo si existe mercado institucional o comprador que lo demande.
Recuperación del costo	Venta de sublotes, pagos de talleres, facturas, pedidos confirmados, productos finales diferenciados y reducción de devoluciones o rechazos.

Fuente: Geotem SAS.

5.7.2.1 Esquema recomendado

Cupo rotatorio para inventario + pago fraccionado por pedido + seguro de inventario + factoring o confirming para talleres + cofinanciación de brechas de calidad y certificación.

Este es el modelo donde el mecanismo recuperable tiene mayor aplicabilidad, porque el centro de acopio funciona como nodo de agregación de valor y necesita liquidez permanente para sostener inventario trazado, seco, clasificado y técnicamente apto.

5.7.3 Modelo de Negocio 3: residuos, biomasa, biochar y MRV

En el Modelo de Negocio 3, el esquema financiero debe separar tres tipos de necesidades: inversión en equipo, operación del sistema y verificación climática. A diferencia de los Modelos 1 y 2, aquí los ingresos no provienen únicamente de la venta de madera o productos transformados, sino también de la valorización de residuos, venta de biochar y eventual monetización de carbono.

Tabla 65. Componente y propuesta financiera modelo de negocio 3.

Componente	Propuesta financiera
Costo unitario base	Trazabilidad estimada en **$63.386 COP/m³eq**. Certificación climática: Verra **$6.000–$15.000 COP/m³eq**; Puro.earth **$25.000–$26.000 COP/m³eq** en escala media.

Componente	Propuesta financiera
Instrumento principal	Leasing o crédito de inversión para equipo móvil de pirólisis; componente operativo recuperable para biomasa, trazabilidad y MRV básico.
Instrumentos de respaldo	Seguro de maquinaria, seguro de transporte de biomasa, pagos por servicio, acuerdos de compra futura de biochar y offtake de carbono.
Costos financiables	Separación y registro de residuos, pesaje, humedad, preparación de biomasa, operación de pirólisis, balance de masa, calidad del biochar, evidencia de aplicación y MRV.
Certificación aplicable	EBC/WBC para calidad del biochar; Verra o Puro.earth para remociones de carbono; verificación externa cuando exista escala suficiente.
Recuperación del costo	Pago por servicio de valorización de residuos, venta de biochar, acuerdos de compra futura, créditos de carbono verificados y posibles recursos climáticos.

Fuente: Geotem SAS.

5.7.3.1 Esquema recomendado

Leasing para equipo + seguro de maquinaria + fondo operativo recuperable para biomasa y MRV + pago por lote procesado + venta de biochar + acuerdos de compra futura de carbono contra verificación.

En este modelo no se recomienda financiar la certificación climática completa desde el inicio. Primero debe consolidarse la trazabilidad de residuos, el balance de masa, el control de calidad del biochar y el MRV básico. Solo cuando exista volumen suficiente, demanda de biochar y posibilidad real de verificación, debe avanzarse hacia Puro.earth, Verra, EBC o WBC.

5.7.4 Síntesis del esquema financiero por modelo.

El esquema financiero debe ser proporcional al riesgo y a la capacidad de recuperación de cada modelo. El Modelo de Negocio 1 requiere confianza contractual y pagos contra aceptación; el Modelo de Negocio 2 requiere liquidez rotativa para inventario y calidad; y el Modelo de Negocio 3 requiere separar inversión tecnológica, operación, MRV y certificación climática para no sobredimensionar el costo desde la fase piloto. Lo anterior se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 66. Síntesis del esquema financiero por modelo.

Modelo	Instrumento financiero central	Complementos recomendados	Condición para escalar
Modelo 1	Pagos contra hitos y recepción conforme.	Seguro de transporte, póliza de cumplimiento, garantía parcial y cofinanciación de trazabilidad.	Existencia de empresa ancla, lote trazado, aceptación técnica y destino en obra.
Modelo 2	Componente rotatorio de capital de trabajo recuperable.	Seguro de inventario, factoring, confirming, pagos fraccionados y cofinanciación de calidad/certificación.	Rotación de inventario, sublotes trazados, reducción de rechazos y pagos oportunos.
Modelo 3	Leasing + componente operativo recuperable + pagos contra MRV.	Seguro de maquinaria, venta de biochar, offtake, acuerdos de carbono y cofinanciación climática.	Biomasa trazable, biochar conforme, MRV verificable y mercado identificado.

Fuente: Geotem SAS.

5.8 Hitos verificables para desembolsos, pagos, garantías, certificaciones y recuperación de recursos

Los desembolsos, pagos, garantías y recuperaciones del mecanismo financiero deben estar asociados a **hitos verificables**, no a compromisos generales. Cada hito debe contar con evidencia documental, técnica o digital que permita confirmar el avance de la operación, reducir riesgos y definir si procede el pago, la activación de una garantía, la recuperación del recurso o el escalamiento del beneficiario. Lo anterior se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 67. Hitos verificables por modelo de negocio

Modelo de negocio	Hito verificable	Evidencia mínima	Uso financiero
Modelo de Negocio 1 transformación industrial y construcción	Lote autorizado y documentado	Permiso, autorización, PMF o documento equivalente; SUNL; expediente digital; código de lote.	Activa anticipo parcial o capital de trabajo para alistamiento.
	Despacho conforme	SUNL, ruta, transportador, volumen, especie, registro fotográfico y seguro de transporte.	Activa pago contra movilización o cobertura de transporte.
	Recepción conforme en empresa ancla	Acta de recepción, cotejo de volumen, especie, estado físico y expediente del lote.	Activa segundo pago o liberación parcial.
	Validación técnica	Medición de humedad, clasificación visual, matriz de defectos, ficha técnica o ensayo cuando aplique.	Activa pago contra aceptación técnica.
	Incorporación en obra o componente	Registro de destino, obra, componente constructivo, pasaporte digital o ficha de aceptación.	Activa saldo final o reconocimiento de diferencial comercial.
Modelo de negocio 2 centros de acopio, acondicionamiento y distribución, talleres especializados, y mobiliario, carpintería especializada y soluciones arquitectónicas	Pedido o acuerdo confirmado	Orden de compra, contrato, programación de suministro o carta de intención.	Habilita cupo rotatorio o anticipo recuperable.
	Recepción de lote en centro de acopio	SUNL, acta de recepción, código de lote, volumen, especie y estado físico.	Activa desembolso para acopio, inventario o acondicionamiento.
	Clasificación, secado y generación de sublotes	Ficha de sublote, medición de humedad, clasificación, inventario y destino previsto.	Activa pago parcial o continuidad del cupo.
	Despacho a taller	Remisión, acta de entrega, ficha técnica, producto esperado y aceptación del taller.	Activa factoring, confirming o pago fraccionado.
	Producto final aceptado	Evidencia de transformación, pasaporte digital, aceptación del comprador o factura.	Activa saldo, recuperación del cupo o renovación del apoyo.

Modelo de negocio	Hito verificable	Evidencia mínima	Uso financiero
Modelo 3: residuos, biomasa, biochar y MRV	Residuo trazable identificado	Lote madre, empresa generadora, tipo de residuo, peso o volumen, humedad y registro fotográfico.	Activa pago por acopio o capital operativo recuperable.
	Biomasa preparada	Registro de secado, trituración, cribado, humedad y lote de biomasa.	Activa pago contra preparación o continuidad operativa.
	Pirólisis ejecutada	Registro de biomasa ingresada, parámetros de proceso, rendimiento y lote de biochar.	Activa pago por lote procesado.
	Biochar conforme	Ensayo básico, ficha de calidad, lote, empaque o destino comercial.	Activa venta, pago por servicio o liberación parcial.
	Aplicación y MRV	Evidencia de aplicación, predio o usuario, reporte MRV y balance de masa.	Activa verificación, pago climático o recuperación asociada a carbono.

Fuente: Geotem SAS.

5.8.1 Regla operativa

Ningún desembolso debe realizarse sin evidencia mínima del hito correspondiente. Si el hito no se cumple, el pago debe suspenderse, condicionarse a corrección o trasladarse a revisión de la Unidad de Cumplimiento y Salvaguardas. Cuando existan recursos recuperables, la recuperación debe vincularse al pago del comprador, factura, contrato, venta de producto, pago por servicio o ingreso climático verificado.

5.9 Pilotos financieros, indicadores y escalamiento progresivo

La implementación de los instrumentos financieros debe iniciar mediante **pilotos controlados**, con pocos actores, volúmenes acotados y reglas claras de seguimiento. El propósito no es financiar toda la cadena desde el inicio, sino probar si los instrumentos funcionan, si los actores cumplen los hitos, si los recursos se recuperan y si los costos de trazabilidad, calidad, certificación o MRV pueden sostenerse financieramente. Las siguientes tablas muestran los pilotos financieros y los indicadores mínimos recomendados.

Tabla 68. Pilotos financieros recomendados

Modelo	Piloto financiero sugerido	Instrumentos a probar	Resultado esperado
Modelo 1: transformación industrial y construcción	Ruta NDFyB – empresa ancla – obra piloto.	Anticipo parcial, seguro de transporte, pago contra recepción conforme y aceptación técnica.	Verificar si el esquema reduce incumplimientos, rechazos y presión de caja del proveedor.
Modelo 2: centros de acopio, acondicionamiento y distribución, talleres	Centro de acopio con grupo reducido de	Componente rotatorio de inventario, pagos fraccionados, seguro	Validar rotación del inventario, recuperación

Modelo	Piloto financiero sugerido	Instrumentos a probar	Resultado esperado
especializados, y mobiliario, carpintería especializada y soluciones arquitectónicas	talleres y sublotes trazados.	de inventario, factoring o confirming.	del recurso y reducción de rechazos por calidad.
Modelo 3: residuos, biomasa, biochar y MRV	Empresas generadoras de residuos trazables y operación piloto de biochar.	Capital operativo recuperable, leasing o crédito para equipo, seguro de maquinaria, pagos por lote procesado y MRV básico.	Validar costo real de operación, rendimiento, calidad del biochar, trazabilidad del residuo y potencial de monetización.

Fuente: Geotem SAS.

Tabla 69. Indicadores mínimos de seguimiento

Tipo de indicador	Indicadores recomendados
Financieros	Monto desembolsado, monto recuperado, tasa de recuperación, mora, costo financiero por m³, costo de trazabilidad por m³, costo de certificación por m³.
Operativos	Número de lotes, sublotes, residuos o lotes de biochar financiados; tiempos de desembolso; tiempos de pago; rotación de inventario.
Técnicos	Porcentaje de lotes aceptados, rechazos por calidad, humedad conforme, sublotes trazados, biochar conforme, reportes MRV completos.
De riesgo	Alertas activadas, incumplimientos, pérdida de trazabilidad, uso indebido de recursos, siniestros, garantías activadas.
Comerciales	Volumen vendido, facturas pagadas, productos aceptados, compradores recurrentes, contratos renovados, precio diferencial obtenido.
De escalamiento	Número de actores que cumplen, operaciones renovadas, reducción de mora, reducción de rechazos y permanencia en la ruta.

Fuente: Geotem SAS.

5.9.1 Criterios para escalar

Los niveles y condiciones para avanzar se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 70. Criterios para escalar

Nivel	Condición para avanzar
Piloto inicial	Operación con pocos actores, trazabilidad completa, bajo monto y seguimiento cercano.
Ampliación controlada	Recuperación oportuna de recursos, baja mora, cumplimiento de hitos y reducción de rechazos.
Escalamiento	Demanda comprobada, actores con buen historial, certificaciones o verificaciones sostenibles y capacidad de administrar mayor volumen.

Fuente: Geotem SAS.

5.9.2 Regla de decisión

El mecanismo solo debe escalar cuando el piloto demuestre: i) recuperación adecuada de recursos; ii) trazabilidad completa; iii) cumplimiento de hitos técnicos; iv) reducción de rechazos o incumplimientos; y v) existencia de mercado o comprador que permita sostener

los costos. Si estos criterios no se cumplen, el instrumento debe ajustarse antes de ampliar beneficiarios, cupos o modelos.

6 CONSOLIDACIÓN DE RECOMENDACIONES ESTRATÉGICAS

A partir del desarrollo de este documento, las recomendaciones estratégicas deben orientarse a facilitar la implementación progresiva de los mecanismos de **trazabilidad, control de calidad, certificación, validación sectorial, MRV y esquemas financieros diferenciados**. Su propósito es reducir riesgos de implementación, mejorar la confianza entre actores y asegurar que los tres modelos de negocio avancen de manera gradual, verificable y financieramente viable.

6.1 Recomendaciones estratégicas para el Modelo de Negocio 1: transformación industrial y construcción

Se recomienda iniciar el Modelo de Negocio 1 con **pilotos de suministro programado** entre uno o dos NDFyB y una empresa ancla del sector construcción, priorizando lotes con trazabilidad completa, SUNL, expediente digital, ficha técnica y destino constructivo definido. Esta recomendación mantiene lo planteado previamente sobre la necesidad de acuerdos de suministro de mediano plazo, pero lo aterriza a operaciones verificables y pagos contra hitos.

También se recomienda priorizar un grupo reducido de especies pesadas o semipesadas con potencial constructivo, para concentrar los costos de identificación, ensayos físico-mecánicos, clasificación visual, control de humedad y construcción de fichas técnicas. Esto evita dispersar recursos en muchas especies sin información suficiente y permite generar evidencia técnica útil para la aceptación en obra.

Desde el punto de vista financiero, se recomienda estructurar este modelo con **anticipo parcial, seguro de transporte, pago contra recepción conforme, validación técnica y saldo contra aceptación en obra**. La certificación FSC/PEFC CoC o ISO 38200 debe abordarse como ruta progresiva, y la FSC Project Certification solo debe considerarse para proyectos demostrativos o compradores que valoren expresamente ese atributo.

6.2 Recomendaciones estratégicas para el Modelo de Negocio 2: centros de acopio, acondicionamiento y distribución, talleres especializados, y mobiliario, carpintería especializada y soluciones arquitectónicas

Se recomienda consolidar los Centros de Acopio, Acondicionamiento y Distribución como **nodos técnicos de agregación de valor**, no solo como bodegas de almacenamiento. Estos centros deben aplicar protocolos de recepción, medición de humedad, clasificación, secado, generación de sublotes, control de inventarios y matriz de defectos críticos.

De manera complementaria, se recomienda implementar pilotos con micro-lotes o sublotes en talleres especializados, con el fin de validar trabajabilidad, estabilidad dimensional, comportamiento en corte, lijado, ensamble y acabado. Los resultados deben alimentar

fichas de desempeño por especie o grupo funcional, para reducir incertidumbre técnica en el mercado de mobiliario, carpintería y soluciones arquitectónicas.

Financieramente, este modelo debe priorizar un **componente rotatorio de capital de trabajo recuperable** para compra, secado, clasificación y reposición de inventario, acompañado de pagos fraccionados por pedido, seguro de inventario, factoring o confirming cuando existan facturas o pedidos aceptados. Las certificaciones LEVEL, GREENGUARD, ISO 9001 o ISO 14001 deben considerarse solo cuando exista una línea de producto o comprador que justifique su costo.

6.3 Recomendaciones estratégicas para el Modelo de Negocio 3: residuos, biomasa, biochar y MRV

Se recomienda iniciar el Modelo de Negocio 3 con un piloto controlado de residuos trazables, antes de avanzar hacia certificaciones climáticas o créditos de carbono. El piloto debe validar origen del residuo, vínculo con lote madre, humedad, peso, preparación de biomasa, parámetros de pirólisis, rendimiento, calidad del biochar, uso final y MRV básico. Esta recomendación ajusta el planteamiento inicial sobre pirólisis portátil, incorporando el énfasis actual en trazabilidad de residuos y balance de masa.

La certificación climática debe abordarse de forma escalonada. Primero debe consolidarse la trazabilidad del residuo y la calidad básica del biochar; luego, si existe volumen suficiente y demanda, avanzar hacia EBC/WBC; y finalmente evaluar Puro.earth o Verra cuando haya capacidad de MRV, verificación externa y expectativa real de monetización climática.

Desde el punto de vista financiero, se recomienda separar **CAPEX, OPEX y costos de verificación**. El equipo de pirólisis debería financiarse mediante leasing, crédito de inversión o cofinanciación específica; la operación de biomasa y MRV básico mediante componente operativo recuperable; y la certificación climática mediante pagos contra verificación, acuerdos de compra futura u offtake de biochar o carbono.

6.4 Recomendaciones estratégicas transversales

Se recomienda mantener la trazabilidad como **activo técnico, comercial y financiero** de los tres modelos. Esto implica no limitarla a documentos de origen, sino integrarla con identificación física, expediente digital, cadena de custodia, control de calidad, pasaporte digital, certificaciones y, para el Modelo de Negocio 3, MRV y carbono.

También se recomienda aplicar la gobernanza ya definida en el Subproducto 1.2 y Producto 2, evitando crear nuevas instancias paralelas. La implementación debe apoyarse en el **Comité de Dirección de la Alianza**, el **Comité Operativo de Abastecimiento** y la **Unidad de Cumplimiento y Salvaguardas**, diferenciando decisiones estratégicas, operativas y de verificación. El Producto 2 ya planteó que estas instancias permiten diferenciar funciones estratégicas, operativas y de verificación bajo principios de legalidad, trazabilidad, transparencia, corresponsabilidad, debida diligencia y mejora continua.

Se recomienda fortalecer alianzas con universidades, laboratorios y centros técnicos para caracterización de especies, ensayos físicos y mecánicos, validación de trabajabilidad,

análisis de biochar y construcción de fichas técnicas. Esta recomendación sigue siendo pertinente, pero debe articularse con los protocolos de calidad y validación sectorial ya desarrollados.

Asimismo, se recomienda avanzar en certificación de manera gradual: primero legalidad, trazabilidad, cadena de custodia interna y control de calidad; luego FSC/PEFC CoC, ISO 38200, ISO 9001 o ISO 14001 cuando exista madurez operativa; y finalmente certificaciones de diferenciación como FSC Project, LEVEL, GREENGUARD, EBC/WBC, Puro.earth o Verra solo cuando exista mercado, escala y capacidad de sostenimiento.

Finalmente, se recomienda implementar los tres modelos mediante **pilotos financieros y técnicos**, con indicadores de trazabilidad, costos por m³, aceptación técnica, recuperación de recursos, reducción de rechazos, permanencia de actores y escalamiento. El Producto 2 ya advierte que los supuestos económicos deben validarse y ajustarse con las partes interesadas antes de avanzar a implementación, incluyendo volúmenes, precios, costos logísticos, inversiones, mecanismos de financiación y distribución de beneficios.

6.5 Síntesis de recomendaciones prioritarias

La siguiente tabla presenta la síntesis de las recomendaciones consideradas como prioritarias.

Tabla 71. Síntesis de recomendaciones prioritarias

Eje	Recomendación prioritaria
Implementación	Iniciar con pilotos controlados por modelo, no con escalamiento inmediato.
Trazabilidad	Usar expediente digital, QR, cadena de custodia y pasaporte digital como base común.
Calidad	Aplicar matriz de defectos críticos, control de humedad, clasificación y fichas técnicas.
Certificación	Avanzar por niveles: mínimo viable, consolidación y diferenciación.
Financiación	Usar pagos contra hitos, cofinanciación condicionada, seguros, garantías y componente recuperable.
Gobernanza	Usar las instancias ya definidas: Comité de Dirección, Comité Operativo y Unidad de Cumplimiento.
Mercado	Priorizar empresas ancla, talleres aliados, productos demostrativos y compradores que reconozcan trazabilidad.
Modelo de negocio 3	No monetizar carbono sin trazabilidad de biomasa, balance de masa, MRV y verificación externa.

Fuente: Geotem SAS.

7 CONCLUSIONES

A continuación, se anotan las principales conclusiones:

- El documento consolida los mecanismos técnicos, operativos, financieros y de gobernanza necesarios para que los tres modelos de negocio puedan implementarse bajo condiciones de **legalidad, trazabilidad, calidad, certificación progresiva, validación sectorial y viabilidad financiera**.

- La trazabilidad debe entenderse como un **sistema integral**, no como una herramienta tecnológica aislada. Por ello, la propuesta articula código único de lote, QR, expediente digital, cadena de custodia, control de calidad, pasaporte digital, interoperabilidad con instrumentos oficiales y, para el Modelo de negocio 3, trazabilidad de residuos, biochar y MRV.
- Los tres modelos requieren una trazabilidad diferenciada. En el **Modelo de negocio 1**, la trazabilidad debe llegar hasta la obra, vivienda, cabaña, infraestructura o solución constructiva. En el **Modelo de negocio 2**, debe conservar el vínculo entre lote, sublote, taller y producto final. En el **Modelo de negocio 3**, debe extenderse desde el lote madre de madera legal hasta el residuo, biomasa, biochar, uso final, MRV y eventual valorización climática.
- La cadena de custodia es el eje operativo que permite evitar pérdida de identidad del material, mezcla de madera trazada con madera sin soporte, inconsistencias de volumen, rupturas documentales y riesgos de lavado de madera. Por ello, se complementa con matriz de defectos críticos, protocolo de alerta temprana, conciliación de inventarios y evidencias verificables.
- El control de calidad y la validación sectorial son indispensables para que la trazabilidad tenga valor comercial. No basta con demostrar que la madera es legal; también debe verificarse que sea **técnicamente apta** para construcción, mobiliario, carpintería, soluciones arquitectónicas, biochar o uso ambiental.
- La Matriz de Defectos Críticos y Criterios de Aceptación/Rechazo cumple una doble función: protege la legalidad y continuidad documental del lote, y al mismo tiempo permite clasificar el material según su aptitud técnica, definiendo si se acepta, se acepta condicionado, se mantiene en cuarentena o se rechaza.
- Las certificaciones deben abordarse de manera gradual. El punto de partida no debe ser certificar todo desde el inicio, sino construir un **mínimo viable** basado en legalidad, trazabilidad, cadena de custodia interna, fichas técnicas y control de calidad. Posteriormente podrán incorporarse FSC, PEFC, ISO 38200, ISO 9001, ISO 14001, FSC Project, LEVEL, GREENGUARD, EBC/WBC, Puro.earth o Verra, según el modelo y la demanda del mercado.
- Los costos de trazabilidad y certificación deben tratarse como insumos financieros. Las estimaciones por metro cúbico permiten dimensionar cuánto cuesta implementar el sistema y facilitan definir si el costo debe cubrirse mediante pagos contra hitos, cofinanciación condicionada, mecanismos recuperables, seguros, garantías, crédito verde, leasing, factoring, confirming o acuerdos de compra futura.
- El análisis financiero muestra que cada modelo requiere una estructura distinta. El **Modelo de negocio 1** se apoya principalmente en pagos contra recepción conforme y aceptación técnica; el **Modelo de negocio 2** requiere un componente rotatorio de capital de trabajo recuperable para inventario, secado, clasificación y sublotes; y el **Modelo de negocio 3** exige separar inversión en equipo, operación de biomasa, MRV, verificación climática y monetización de biochar o carbono.
- Los costos estimados para la implementación de los mecanismos de trazabilidad, control de calidad, certificación, validación sectorial y MRV deben entenderse como

valores de planeación y no como tarifas definitivas. Estos cálculos están sujetos a la validación de información operativa, comercial, técnica y financiera por parte de los actores que participen en cada modelo de negocio, incluyendo volúmenes reales movilizados, número de lotes, frecuencia de despachos, costos logísticos, requerimientos de certificación, ensayos, auditorías, verificaciones externas y condiciones específicas de mercado.

- No obstante, los supuestos utilizados fueron alineados con las estimaciones económicas desarrolladas en el Producto 2 para cada modelo de negocio, con el fin de mantener coherencia entre la viabilidad económica de los modelos y los costos incrementales asociados a los mecanismos descritos en este Producto 3. En consecuencia, los valores por metro cúbico o metro cúbico equivalente permiten contar con una base inicial para dimensionar instrumentos financieros, pagos contra hitos, cofinanciación condicionada, mecanismos recuperables y esquemas de distribución de costos; sin embargo, deberán actualizarse a partir de pilotos, cotizaciones reales y datos verificados de operación antes de su adopción definitiva.
- Se recomienda implementar un **Mecanismo Departamental de Apalancamiento Financiero**, dentro del cual pueda operar un componente rotatorio recuperable, sujeto a validación jurídica, fiscal y presupuestal.
- La Gobernación de Cundinamarca debe mantener un rol de **articuladora, estructuradora, gestora y facilitadora neutral**, sin actuar como compradora, vendedora, intermediaria comercial, banco ni garante directo de obligaciones privadas. Su papel debe concentrarse en habilitar condiciones, coordinar actores, promover pilotos, apoyar trazabilidad, facilitar acceso a instrumentos financieros y fortalecer la gobernanza.
- La gobernanza para los temas trabajados en este docuemnto debe apoyarse en las instancias ya definidas en los productos previos: Comité de Dirección de la Alianza, Comité Operativo de Abastecimiento y Unidad de Cumplimiento y Salvaguardas. No se requiere crear estructuras paralelas, sino asignar funciones claras para decisión estratégica, operación, verificación, gestión de riesgos y seguimiento.
- La implementación debe realizarse mediante **pilotos técnicos y financieros diferenciados**. Estos pilotos permitirán validar especies, lotes, sublotes, residuos, costos, aceptación de mercado, capacidad de recuperación de recursos, funcionamiento de los instrumentos financieros y pertinencia de avanzar hacia certificaciones o mercados más exigentes.
- El Modelo de Negocio 3 representa una oportunidad de economía circular y valorización climática, pero no debe avanzar hacia créditos de carbono sin demostrar primero trazabilidad del residuo, balance de masa, calidad del biochar, evidencia de aplicación, MRV consistente y verificación externa.
- En conjunto, se demuestra que la viabilidad de los modelos de negocio no depende únicamente de conectar oferta y demanda, sino de construir una arquitectura completa de confianza: trazabilidad verificable, calidad técnica, certificación

gradual, gobernanza clara, instrumentos financieros diferenciados y pilotos que permitan escalar con evidencia.

8 ANEXOS

ANEXO_1_Matriz_Defectos_Criticos_Cadena_Custodia_Aceptacion_Rechazo.xlsx

ANEXO_2_Guia_Explicativa_Matriz_Defectos_Criticos_Criterios aceptacion rechazo.docx

ANEXO_3_Protocolo_Alerta_Temprana_Cadena_Custodia.docx

ANEXO_4_Modelo_1_Costo_m3_Trazabilidad_Construccion_Guia.xlsx

ANEXO_5_Modelo_2_Costo_m3_Trazabilidad_Acopio_Talleres_Guia.xlsx

ANEXO_6_Modelo_3_Costo_m3eq_Trazabilidad_Biochar_MRV_Guia.xlsx

ANEXO_7_P3_6.2.1-008 (11-03-2026) - Cotización pruebas fisicas y mecanicas Gobernación de Cundinamarca (firmada).pdf

ANEXO_8_P3_PROTOCOLO ENTREGA DE MUESTRAS PARA IDENTIFICACIÓN DE MADERA.pdf

ANEXO_9_PROTOCOLO ENTREGA DE MUESTRAS PARA PRUEBAS FÍSICAS y MECÁNICAS 2025.pdf

ANEXO_10_Protocolo para trabajo de campo-PNT0001.pdf

9 REFERENCIAS

AIS. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Arévalo Lara, K. N. (2023). Apoyo en la evaluación del sistema nacional de trazabilidad forestal de Colombia en el control y seguimiento al aprovechamiento y movilización forestal [Trabajo de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Asociación de Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible (ASOCARS). (2022). Trazabilidad forestal en Colombia. https://asocars.org/lofl/wp-content/uploads/2022/06/TRAZABILIDAD_FORESTAL_COLOMBIA_130622_pliegos.pdfhttps://www.gob.pe/institucion/osinfor/noticias/1329815-peru-acredito-el-origen-legal-de-mas-de-500-000-metros-cubicos-de-madera-durante-el-2025

Banco Agrario de Colombia. (2024). Crédito verde.

Barrios Peña, M. I., & Moreno González, I. O. (2003). Estudio de las propiedades físicas y mecánicas del nogal cafetero Cordia alliodora Ruiz y Pavón del CURN, en el Municipio de Armero Guayabal Tolima - Tesis de pregrado-. Facultad de Ingeniería Forestal, Universidad del Tolima.

Corpoboyacá. (2023). Salvoconducto Único Nacional en Línea (SUNL). https://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2023/03/Salvoconducto-SUNL.pdf

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR. (s.f.). Salvoconducto Único Nacional en línea-SUNL para la movilización de especímenes de la diversidad biológica. https://www.car.gov.co/vercontenido/5606

Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2022). Gestión del conocimiento y fortalecimiento institucional en proyectos de desarrollo productivo.

Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2022). Gestión del riesgo y gobernanza en cadenas productivas.

Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2022). Lineamientos de gobernanza colaborativa y gestión del riesgo en cadenas productivas.

Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2022). Lineamientos para el fortalecimiento de la gobernanza y legalidad forestal en Colombia.

Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2022). Lineamientos para la gestión del riesgo y fortalecimiento de cadenas productivas sostenibles.

Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2022). Lineamientos para la gestión del riesgo en proyectos de inversión pública

Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2022). Lineamientos para la interoperabilidad de sistemas de información ambiental y productiva.

Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2023). Análisis de la cadena forestal maderable en Colombia y lineamientos para su fortalecimiento. DNP.

Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2023). Lineamientos para el fortalecimiento de la cadena forestal maderable en Colombia. DNP.

FAO. (2021). Building responsible forest value chains. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

FAO. (2021). Strengthening governance in forest value chains. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

FAO. (2021). Strengthening sustainable forest value chains: Governance, traceability and market access. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

FAO. (2021). Sustainable forest value chains: Governance, certification and market incentives. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

FAO. (2022). Transparency and traceability in forest product markets.

FEDEMADERAS. (2023). Diagnóstico del mercado e industrialización–comercialización de la madera en Colombia. Federación Nacional de Industriales de la Madera.

Figorilli, S., Antonucci, F., Costa, C., Pallottino, F., Raso, L., & Menesatti, P. (2018). A blockchain implementation prototype for the electronic open source traceability of wood along the whole supply chain. Sensors, 18(9), 3133. https://doi.org/10.3390/s18093133

Finagro. (2025). Línea de Transformación Productiva y Sostenible (LTPS).

Finagro. (2025). MinAgricultura habilita recursos para subsidiar tasas e incentivar inversión con ICR.

Fondo Nacional de Garantías. (2025). EMP 001 – Garantía Empresarial Multipropósito; EMP080 – Garantía Pyme Preferente; EMP 063 – Garantía para Microcrédito Rural; ¿Qué tipo de garantías tenemos en el FNG?

Forest Stewardship Council (FSC). (2021). Chain of Custody Standard.

Forest Stewardship Council. (s.f.). Certificaciones. FSC Latinoamérica. https://latinoamerica.fsc.org/es-ni/certificaciones-0

FSC. (2021). Chain of Custody Standard.

FSC Colombia. (2024). Certificación FSC en Colombia. https://www.fsc.org/co

Grupo ACMS Consultores (2025, 21 de noviembre). [¿Cuánto cuesta la certificación ISO 9001?] [Vídeo] Youtube https://www.youtube.com/watch?v=HoAoHZSVAFs

Grupo ACMS Consultores. (s.f.). Costes de la certificación PEFC. https://www.grupoacms.com/consultora/costes-de-la-certificacion-pefc?utm_source=copilot.com

Guzmán, J. A. (2004). Tecnología de la madera. Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

He, Z., & Turner, P. (2022). Blockchain applications in forestry: A systematic literature review. Applied Sciences, 12(8), 3723. https://doi.org/10.3390/app12083723

ICONTEC. (2011). NTC 206-3: Maderas. Uso y calibración de medidores portátiles de humedad. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

ICONTEC. (2020). Normas técnicas colombianas para madera aserrada y productos forestales.

ICONTEC. (2020). Normas técnicas colombianas para productos de madera.

ICONTEC. (2020). NTC 1274: Maderas. Terminología. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

ICONTEC. (2020). NTC 2261: Maderas. Madera aserrada. Clasificación visual. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

IDEAM. (2021). Evaluación de riesgos y gobernanza ambiental en el sector forestal colombiano.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). (2022a). DOF+ rastreabilidade. Governo Federal do Brasil. https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/biodiversidade/flora-e-madeira/documento-de-origem-florestal-dof/dof-rastreabilidade

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). (2022b, 2 de diciembre). Ibama implementa Sistema DOF+ Rastreabilidade. https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/noticias/2022/ibama-implementa-sistema-dof-rastreabilidade

ISO. (2021). ISO management system standards overview. International Organization for Standardization.

Kaplan, R. S., & Anderson, S. R. (2007). *Time-driven activity-based costing: A simpler and more powerful path to higher profits*. Harvard Business School Press. Link.

Kaulen, A., Stopfer, L., Lippert, K., & Purfürst, T. (2023). Systematics of forestry technology for tracing the timber supply chain. Forests, 14(9), 1718. https://doi.org/10.3390/f14091718

Laboratorio de Dendrología - Universidad del Tolima. (2013). Protocolo de normalización del trabajo: Protocolo para trabajo de campo (PNT N° 001). Facultad de Ingeniería Forestal, Universidad del Tolima.

Laboratorio de Tecnología de la Madera [LTM] - Universidad del Tolima. (2026). Estudio de propiedades físicas y mecánicas de una especie: Cotización 6.2.1-008. Facultad de Ingeniería Forestal, Universidad del Tolima.

Laboratorio de Tecnología de la Madera [LTM] - Universidad del Tolima. (2025). Protocolo entrega de muestras para pruebas físicas, mecánicas y de trabajabilidad. Facultad de Ingeniería Forestal, Universidad del Tolima.

Laboratorio de Tecnología de la Madera [LTM] - Universidad del Tolima. (2018). Protocolo entrega de muestras para identificación de madera. Facultad de Ingeniería Forestal, Universidad del Tolima.

MinAmbiente. (2023). Estrategia nacional de control a la deforestación y gobernanza forestal. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

MinComercio. (2022). Lineamientos para el fortalecimiento de la industria forestal y de la madera en Colombia. Ministerio de Comercio, Industria y Turismo.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). Guía de compra y consumo responsable de madera en Colombia. Bogotá: MinAmbiente. https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Gui%CC%81a-de-Compra-y-Consumo-Responsable-de-Madera-en-Colombia.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). Salvoconducto Único Nacional en Línea – SUN: lineamientos operativos. MinAmbiente.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022). Estrategias de control a la deforestación y fortalecimiento de la legalidad forestal. MinAmbiente.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022). Lineamientos de legalidad forestal y control de la movilización de productos forestales.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022). Política nacional para el control de la deforestación y la gestión sostenible de los bosques. MinAmbiente.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MinAmbiente). (2022). Política para la gestión sostenible de los bosques y la legalidad forestal en Colombia.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2023). Compras públicas sostenibles y trazabilidad de productos forestales. MinAmbiente.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2023). Estrategias de control y transparencia en cadenas forestales.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2023). Estrategias de economía forestal y aprovechamiento sostenible del bosque natural. MinAmbiente.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2023). Estrategia nacional de control, trazabilidad y legalidad forestal.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MinAmbiente). (2023). Estrategias para la legalidad forestal y la trazabilidad de la madera en Colombia.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2023). Fortalecimiento del Sistema de Información Ambiental de Colombia – VITAL.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MinAmbiente). (2023). Lineamientos de gobernanza forestal y control a la deforestación.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2023). Lineamientos para la gobernanza, trazabilidad y transparencia en la cadena forestal en Colombia.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MinAmbiente). (2023). Lineamientos para la trazabilidad y control de productos forestales maderables en Colombia.

Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2022). Competitividad y estándares de calidad en cadenas productivas.

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2021). Guías técnicas para el uso de madera en la construcción.

Moreno González, I. O. (2003). Apuntes de especialización en Producción y Transformación de Maderas: Áreas de secado y preservado de la madera; y procesos industriales de la madera [Apuntes de clase]. Facultad de Ingeniería Forestal, Universidad del Tolima.

Mgaza, A. (2022). Tracking the trade: Increasing efficiency and transparency in Tanzania's timber sector. Targeting Natural Resource Corruption (TNRC) / TRAFFIC / World Wildlife Fund.

https://assets.worldwildlife.org/www-prd/documents/7kwlmro4p9_Tanzania_Timber_Tracker_Final_.pdf

Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre (OSINFOR). (s. f.a). Observatorio OSINFOR. Sistema de Información Gerencial del OSINFOR (SIGO SFC). https://sigosfc.osinfor.gob.pe/observatorio-osinfor/

Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre (OSINFOR). (s. f.b). Observatorio OSINFOR. https://observatorio.osinfor.gob.pe/

Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre (OSINFOR). (2026, 8 de enero). Perú acreditó el origen legal de más de 500 000 metros cúbicos de madera durante el 2025.

Puro.earth. (2021–2022). Pre-CORC framework; Launching Pre-CORCs to facilitate carbon removal prepayments.

Puro.earth. (2025). How to buy CORCs carbon credits; Buyer FAQs; Launching the CORC Offtake Allocation Service.

QLS Consultoría. (s.f.). Servicios FSC. QLS Consultoría S.A.S. https://www.qlsconsultoria.com/servicios-fsc

RGI Grupo. (s.f.). Curso Auditor Interno Ambiental ISO 14001 2015 [Curso en línea]. https://www.rgi.com.co/producto/curso-auditor-interno-ambiental-iso-14001-2015/

Seguros Mundial. (2025). Tu Carga Segura: Protege lo que mueve el mundo.

SENA. (2021). Manual técnico para el uso de la madera en carpintería y construcción. Servicio Nacional de Aprendizaje.

SGS. (s.f.). Certificación de gestión forestal. SGS Colombia. Recuperado el 11 de marzo de 2026, de https://www.sgs.com/es-co/services/fsc-certificacion-de-la-gestion-forestal

Venegas Deza, R. (2012). Guía de certificación forestal. WWF-Colombia. ISBN impreso: 978-958-8353-37-1; ISBN e-book: 978-958-8353-38-8. https://wwfint.awsassets.panda.org/downloads/certificacion_forestal_web.pdf

Visión Amazonía. (2021). Lineamientos técnicos para Núcleos de Desarrollo Forestal y control del aprovechamiento. Programa Visión Amazonía.

Visión Amazonía. (2022). Buenas prácticas para la gobernanza forestal y la comercialización sostenible de la madera.

Visión Amazonía. (2022). Gobernanza forestal y control del aprovechamiento sostenible.

Visión Amazonía. (2023). Núcleos de Desarrollo Forestal como estrategia para la conservación y el desarrollo sostenible en la Amazonía colombiana. Programa Visión Amazonía.

VPA Africa–Latin America Facility. (s. f.). Ghana: Background. European Forest Institute. https://flegtvpafacility.org/countries/ghana/background/

World Resources Institute. (2023). *Global Forest Review: Supply chain transparency and traceability*. World Resources Institute.