

Resultados de las simulaciones y análisis de escenarios de la iniciativa TEEB AgriFood Colombia

Acuerdo de Cooperación 19-091 sobre el proyecto entre el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt

Equipo de trabajo

Camilo Garzón, MSc.	Línea de bienestar y servicios ecosistémicos
Clarita Bustamante Zamudio, MSc.	Línea de sostenibilidad de paisajes urbano-regionales
Johan Manuel Redondo, PhD.	Línea de modelamiento y análisis
Jeimy Andrea García	Línea de sostenibilidad de paisajes urbano-regionales
Diana Lara, MSc.	Línea de gobernanza y equidad
Adriana Camelo	Oficina de Asuntos Internacionales, Política y Cooperación
Jorge Amador, PhD.	Línea de indicadores y modelamiento
Danny Ibarra, PhD.	Línea de análisis para el estudio de la biodiversidad
Diana Rengifo	Oficina de Comunicaciones
Jairo Alejandro Hernández, MSc.	Oficina de Comunicaciones
Laura Catalina Garzón	Oficina de Comunicaciones
Emmerson Pastás	Línea de diálogo de saberes y ciencia participativa
María Margarita Arteaga, MEM	Gerente de proyecto

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt
Bogotá, D.C., mayo 2021

Tabla de contenido

Agradecimientos	13
Introducción	14
1. Redes de Implicaciones	16
1.1. Definición del objeto de estudio	19
1.2. Identificación de las unidades de paisaje del espacio de estudio físico	19
1.3. Construyendo la Red de Implicaciones	20
1.4. Cálculo de la incidencia o sensibilidad de cada una de las unidades de paisaje	30
1.5. Identificación de las prioridades de gestión	30
1.6. Identificación de tipologías de gestión	31
1.7. Definición de lineamientos de gestión según tipologías	31
2. Dinámica de Sistemas	32
2.1. Diagrama causal	32
2.2. Modelo matemático del comportamiento tendencial del paisaje	34
2.2.1. Provisión de alimentos	35
2.2.2. Almacenamiento de carbono	51
2.2.3. Control de la erosión	55
2.2.4. Oferta y regulación hídrica	57
2.2.5. Polinización y provisión de hábitat	62
2.2.6. Turismo de naturaleza	65
2.2.7. Poblaciones del paisaje	66
2.2.8. Seguridad alimentaria	69
2.2.9. Heterogeneidad de los usos en el paisaje	86
2.2.10. Validación del modelo de Dinámica de Sistemas	87
2.3 Impactos del COVID-19 en las trayectorias de los sistemas agroalimentarios presentes en el Valle de Sibundoy, Putumayo	88
2.3.1. Revisión de bibliografía COVID-19	89
2.3.2. Consideraciones para la simulación del escenario SARS-COVID19 en paisajes rurales	92
2.4 Consideraciones para la simulación de de los sistemas agroalimentarios presentes en el Valle de Sibundoy, Putumayo, bajo perspectiva de cambio climático	92

3. Diseño muestral y selección de herramientas para la recolección de información	95
4. Formulación de recomendaciones	97
4.1. Formulación de tipologías	98
4.2. Recomendaciones de lineamientos de política	102
Paisajes vulnerados	105
Herramientas de fortalecimiento de capacidades para la implementación de la planificación del territorio	107
Eficacia de los instrumentos económicos en el cambio del uso del suelo que cumpla con la funcionalidad socioecosistémica del territorio	110
Generación de pactos sociales por el territorio y Cumplimiento de los pactos	110
4.2.1. Tipología 1	113
4.2.2. Tipología 2	117
4.2.3. Tipología 3	121
4.2.4. Tipología 4	124
4.2.5. Tipología 5	128
4.2.6. Tipología 6	131
4.2.7. Tipología 7	135
4.2.8. Tipología 8	138
4.2.9. Tipología 9	141
4.3. Conexión entre los modelos	144
5. Simulación de escenarios de política y sus efectos en la evolución de los servicios ecosistémicos y el bienestar	146
5.1. Escenarios	147
5.1.1. Escenario 0: BAU	151
5.1.2. Escenario 1: Buenas Prácticas Agropecuarias (BPA)	153
5.1.3. Escenario 2: Mejor tecnología en la cadena de valor	155
5.1.4. Escenario 3: Infraestructura agropecuaria y vial	158
5.1.5. Escenario 4: Incentivos a la transformación de productos	160
5.1.6. Escenario 5: Incentivos a la restauración	162
5.1.7. Escenario 6: Incentivos a la conservación	165
5.1.8. Escenario 7: Fortalecimiento de la chagra indígena	167

5.1.9.	Escenario 8: Integración de recomendaciones	169
5.1.10.	Escenario 9: COVID-19	172
5.1.11.	Escenario 10: Degradación	174
5.2.	Comparación por tipologías	176
5.2.1.	Tipología 1	177
5.2.2.	Tipología 2	179
5.2.3.	Tipología 3	182
5.2.4.	Tipología 4	185
5.2.5.	Tipología 5	188
5.2.6.	Tipología 6	190
5.2.7.	Tipología 7	193
5.2.8.	Tipología 8	196
5.2.9.	Tipología 9	199
5.3.	Cuadro resumen de los resultados obtenidos	202
6.	Conclusiones	204
7.	Bibliografía	207
	Glosario	215
	Anexos	217

Lista de Tablas

Tabla 1. Tipo de Arreglo en los Paisajes Priorizados	19
Tabla 2: Valor del parámetro p de mosaico de un uso agropecuario, de acuerdo con su número de coberturas.	87
Tabla 3: Valores potenciales de influencia de cada uno de los atributos de la red de implicaciones. Los colores verdes son los atributos más influyentes, mientras que los colores más rojos son los menos influyentes.	98
<i>Tabla 4: Atributos priorizados y número de paisajes para cada tipología de gestión identificada</i>	99
Tabla 5. Tabla de atributos y condicionantes priorizadas de acuerdo con las tipologías de gestión	103
Tabla 6. Características de la población víctima de conflicto armado en el Valle del Sibundoy	105
Tabla 7. Estado Actual de los EOT - Municipios Valle de Sibundoy	108
Tabla 8. Relación entre los condicionantes del modelo de línea base y el modelo dinámico de paisaje (parte 1)	145
Tabla 9. Relación entre los condicionantes del modelo de línea base y el modelo dinámico de paisaje (parte 2)	146
Tabla 10. Escenarios de políticas para realizar simulaciones	148
Tabla 11. Supuestos del Escenario 1 de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA)	153
Tabla 12. Supuestos del Escenario 2 de Mejor tecnología en la cadena de valor	156
Tabla 13. Supuestos del Escenario 3 de Mejores construcciones e infraestructura vial (Construcciones)	158
Tabla 14. Supuestos del Escenario 4 de Incentivos a la transformación de productos (bioeconomía)	160
Tabla 15. Supuestos del Escenario 5 de Incentivos a la restauración	162
Tabla 16. Supuestos del Escenario 6 de Incentivos a la conservación	165
Tabla 17. Supuestos del Escenario 7 de Fortalecimiento de la chagra indígena	168
Tabla 18. Supuestos del Escenario 8 de Integración de recomendaciones	169
Tabla 19. Supuestos del Escenario 9 de COVID	172
Tabla 20. Supuestos del Escenario 10 de Degradación	174
Tabla 21: Unidades de paisaje priorizadas	218
Tabla 22: Atributos del sistema socioecológico de la Red de Implicaciones.	224
Tabla 23: Condicionantes utilizadas para el análisis de Redes de Implicaciones.	224
<i>Tabla 24: Tipologías identificadas para las primeras n-prioridades, siendo n=1, ..., 7.</i>	260

Lista de Figuras

Figura 1: Fases de la iniciativa TEEB AgriFood Colombia. Fuente: elaboración propia.	15
Figura 2. ID Unidades de paisaje priorizadas según tipo de arreglo	20
Figura 3: Red de Implicaciones directas, indirectas y acumulativas para el cálculo de la incidencia de la política de ordenamiento territorial. En amarillo, se encuentran la intervención inicial y la implicación terminal, en negro, aparecen las implicaciones directas e indirectas de la red y en café, se encuentra los condicionantes de cada una de las relaciones.	24
Figura 4: Diagrama causal general para el análisis del paisaje estudiado.	33
Figura 5: Representación de los usos y las áreas naturales en el diagrama de niveles y flujos. Aparecen dos usos porque a partir de ellos se puede extender hasta m por el método de inducción.	36
Figura 6: Representación de la producción y rendimiento del i —ésimo uso agropecuario del paisaje en el diagrama de niveles y flujos.	40
Figura 7: Representación de la producción y rendimiento de una de las áreas naturales en el diagrama de niveles y flujos. Las representaciones de herbazales y humedales son equivalentes.	45
Figura 8: Representación del modelo de provisión de alimentos desde las especies pecuarias en el diagrama de niveles y flujos.	49
Figura 9: Representación del modelo de provisión de alimentos de los usos en el diagrama de niveles y flujos.	50
Figura 10: Representación del balance de carbono en el diagrama de niveles y flujos.	52
Figura 11: Representación de la erosión del suelo del paisaje en el diagrama de niveles y flujos.	57
Figura 12: Representación del balance hidrológico representado en el modelo.	58
Figura 13: Representación de la oferta y regulación hídrica en el diagrama de niveles y flujos.	59
Figura 14: Representación de la polinización en el diagrama de niveles y flujos.	63
Figura 15: Representación del turismo de naturaleza en el diagrama de niveles y flujos.	66
Figura 16: Representación de las poblaciones en el diagrama de niveles y flujos.	67
Figura 17: Representación del indicador de la calidad de la seguridad alimentaria del paisaje en el diagrama de niveles y flujos.	72
Figura 18: Representación del indicador de la calidad de la seguridad alimentaria de animales del paisaje en el diagrama de niveles y flujos.	76
Figura 19: Representación del VPN en el diagrama de niveles y flujos.	79
Figura 20: Representación de la heterogeneidad en el diagrama de niveles y flujos.	87
Figura 21: Factores potenciales que pueden afectar la seguridad alimentaria a nivel macro y el progreso hacia las metas del ODS-2 en el contexto de la pandemia COVID-19 de 2020. Tomado de Udmale et al, 2020.	90

Figura 22: Mapa de la incidencia de la política de ordenamiento territorial en el área de estudio. Los colores menos intensos fueron asignados a las unidades de paisaje con mayor incidencia de la política de ordenamiento territorial.	97
Figura 23: Mapa de las tipologías de gestión identificadas para cada unidad de paisaje. El número y color identifican las tipologías distintas.	101
Figura 24: Pasos 1 y 2 para formular recomendaciones de lineamientos de política.	102
Figura 25: Pasos 3 y 4 para formular recomendaciones de lineamientos de política.	103
Figura 26: Red de Implicaciones que resalta los atributos y los condicionantes priorizados para la Tipología 1	113
Figura 27: Fotos de las unidades de paisaje que pertenecen a la Tipología 1	113
Figura 28: Red de Implicaciones que resalta los atributos y los condicionantes priorizados para la Tipología 2	117
Figura 29: Fotos de las unidades de paisaje que pertenecen a la Tipología 2	118
Figura 30: Red de Implicaciones que resalta los atributos y los condicionantes priorizados para la Tipología 3	122
Figura 31: Fotos de las unidades de paisaje que pertenecen a la Tipología 3	122
Figura 32: Red de Implicaciones que resalta los atributos y los condicionantes priorizados para la Tipología 4	124
Figura 33: Fotos de las unidades de paisaje que pertenecen a la Tipología 4	125
Figura 34: Red de Implicaciones que resalta los atributos y los condicionantes priorizados para la Tipología 5	128
Figura 35: Fotos de las unidades de paisaje que pertenecen a la Tipología 5	129
Figura 36: Red de Implicaciones que resalta los atributos y los condicionantes priorizados para la Tipología 6	131
Figura 37: Fotos de las unidades de paisaje que pertenecen a la Tipología 6	132
Figura 38: Red de Implicaciones que resalta los atributos y los condicionantes priorizados para la Tipología 7	135
Figura 39: Fotos de las unidades de paisaje que pertenecen a la Tipología 7	135
Figura 40: Red de Implicaciones que resalta los atributos y los condicionantes priorizados para la Tipología 8	138
Figura 41: Fotos de las unidades de paisaje que pertenecen a la Tipología 8	139
Figura 42: Red de Implicaciones que resalta los atributos y los condicionantes priorizados para la Tipología 9	142
Figura 43: Fotos de las unidades de paisaje que pertenecen a la Tipología 9	142
Figura 44. Comparación de los efectos del Escenario 1: Buenas Prácticas Agropecuarias BPA y el escenario BAU, para los indicadores erosión superficial del paisaje ESP, flujo de caja FC, índice de calidad de seguridad alimentaria humana ICSA y provisión de agua PrAP.	155
Figura 45. Comparación de los efectos del Escenario 2 y el escenario BAU, para los indicadores flujo de caja FC, erosión superficial del paisaje ESP, provisión de agua PrAP y índice de provisión de alimentos , en diferentes paisajes. Fuente: elaboración propia.	157

Figura 46. Comparación de los efectos del Escenario 3 y el escenario BAU, para los indicadores flujo de caja FC, índice de calidad de seguridad alimentaria humana ICSA e índice de provisión de alimentos IPAL, en diferentes paisajes.	159
Figura 47. Comparación de los efectos del Escenario 4 y el escenario BAU, para los indicadores flujo de caja FC y provisión de agua PrAP, en diferentes paisajes.	161
Figura 48. Comparación de los efectos del Escenario 5 y el escenario BAU, para los indicadores flujo de caja FC, ingresos totales por turismo de naturaleza ITTN, heterogeneidad del paisaje H, provisión de hábitat PHab, índice de provisión de alimentos IPAL, índice de carbono e índice de calidad de seguridad alimentaria humana ICSA, en diferentes paisajes.	164
Figura 49. Comparación de los efectos del Escenario 6 y el escenario BAU, para los indicadores flujo de caja FC, ingresos totales por turismo de naturaleza ITTN, heterogeneidad del paisaje H, provisión de hábitat PHab, índice de provisión de alimentos IPAL, índice de carbono e índice de provisión de alimentos IPAL, en diferentes paisajes.	167
Figura 50. Comparación de los efectos del Escenario 6 y el escenario BAU, para los indicadores índice de calidad de seguridad alimentaria humana ICSA, índice de provisión de alimentos IPAL y flujo de caja FC, en diferentes paisajes.	168
Figura 51. Comparación de los efectos del Escenario 8 y el escenario BAU, para los indicadores flujo de caja FC, ingresos totales por turismo de naturaleza ITTN, índice de calidad de seguridad alimentaria humana ICSA, índice de provisión de alimentos IPAL, heterogeneidad del paisaje H, índice de carbono y provisión de hábitat PHab, en diferentes paisajes.	171
Figura 52. Comparación de los efectos del Escenario 9 y el escenario BAU, para los indicadores flujo de caja FC e índice de calidad de seguridad alimentaria humana ICSA.	173
Figura 53. Comparación de los efectos del Escenario 8 y el escenario BAU, para los indicadores flujo de caja FC, heterogeneidad del paisaje H, provisión de hábitat PHab, índice de carbono y erosión superficial del paisaje ESP, en diferentes paisajes.	176
Figura 54: Variación de los indicadores de cada escenario por unidad de análisis comparado con el BAU en el año 2040.	203

Lista de Gráficas

Gráfica 1. Principales amenazas para las unidades de paisaje de la tipología 1, porcentaje de hectáreas (izquierda). Comparación entre la gestión estipulada de las áreas de las unidades de paisaje de la tipología 1 según instrumento de ordenamiento territorial, porcentaje de hectáreas (derecha).	114
Gráfica 2. Coberturas actuales de las unidades de paisaje de la tipología 1, porcentaje de hectáreas (izquierda). Bioma recomendado para las áreas de las unidades de paisaje de la tipología 1, porcentaje de hectáreas (derecha).	114
Gráfica 3. Principales amenazas para las unidades de paisaje de la tipología 2, porcentaje de hectáreas (izquierda). Comparación entre la gestión estipulada de las áreas de las unidades de paisaje de la tipología 2 según instrumento de ordenamiento territorial, porcentaje de hectáreas (derecha).	118
Gráfica 4. Coberturas actuales de las unidades de paisaje de la tipología 2, porcentaje de hectáreas (izquierda). Bioma recomendado para las áreas de las unidades de paisaje de la tipología 2, porcentaje de hectáreas (derecha).	119
Gráfica 5. Principales amenazas para las unidades de paisaje de la tipología 3, porcentaje de hectáreas (izquierda). Comparación entre la gestión estipulada de las áreas de las unidades de paisaje de la tipología 3 según instrumento de ordenamiento territorial, porcentaje de hectáreas (derecha).	122
Gráfica 6. Coberturas actuales de las unidades de paisaje de la tipología 3, porcentaje de hectáreas (izquierda). Bioma recomendado para las áreas de las unidades de paisaje de la tipología 3, porcentaje de hectáreas (derecha).	123
Gráfica 7. Principales amenazas para las unidades de paisaje de la tipología 4, porcentaje de hectáreas (izquierda). Comparación entre la gestión estipulada de las áreas de las unidades de paisaje de la tipología 4 según instrumento de ordenamiento territorial, porcentaje de hectáreas (derecha).	126
Gráfica 8. Coberturas actuales de las unidades de paisaje de la tipología 4, porcentaje de hectáreas (izquierda). Bioma recomendado para las áreas de las unidades de paisaje de la tipología 4, porcentaje de hectáreas (derecha).	126
Gráfica 9. Principales amenazas para las unidades de paisaje de la tipología 5, porcentaje de hectáreas (izquierda). Comparación entre la gestión estipulada de las áreas de las unidades de paisaje de la tipología 5 según instrumento de ordenamiento territorial, porcentaje de hectáreas (derecha).	129
Gráfica 10. Coberturas actuales de las unidades de paisaje de la tipología 5, porcentaje de hectáreas (izquierda). Bioma recomendado para las áreas de las unidades de paisaje de la tipología 5, porcentaje de hectáreas (derecha).	129
Gráfica 11. Principales amenazas para las unidades de paisaje de la tipología 6, porcentaje de hectáreas (izquierda). Comparación entre la gestión estipulada de las áreas de las unidades de paisaje de la tipología 6 según instrumento de ordenamiento territorial, porcentaje de hectáreas (derecha).	132

Gráfica 12. Coberturas actuales de las unidades de paisaje de la tipología 6, porcentaje de hectáreas (izquierda). Bioma recomendado para las áreas de las unidades de paisaje de la tipología 6, porcentaje de hectáreas (derecha).	133
Gráfica 13. Principales amenazas para las unidades de paisaje de la tipología 7, porcentaje de hectáreas (izquierda). Comparación entre la gestión estipulada de las áreas de las unidades de paisaje de la tipología 7 según instrumento de ordenamiento territorial, porcentaje de hectáreas (derecha).	136
Gráfica 14. Coberturas actuales de las unidades de paisaje de la tipología 7, porcentaje de hectáreas (izquierda). Bioma recomendado para las áreas de las unidades de paisaje de la tipología 7, porcentaje de hectáreas (derecha).	136
Gráfica 15. Principales amenazas para las unidades de paisaje de la tipología 8, porcentaje de hectáreas (izquierda). Comparación entre la gestión estipulada de las áreas de las unidades de paisaje de la tipología 8 según instrumento de ordenamiento territorial, porcentaje de hectáreas (derecha).	140
Gráfica 16. Coberturas actuales de las unidades de paisaje de la tipología 8, porcentaje de hectáreas (izquierda). Bioma recomendado para las áreas de las unidades de paisaje de la tipología 8, porcentaje de hectáreas (derecha).	140
Gráfica 17. Principales amenazas para las unidades de paisaje de la tipología 9, porcentaje de hectáreas (izquierda). Comparación entre la gestión estipulada de las áreas de las unidades de paisaje de la tipología 9 según instrumento de ordenamiento territorial, porcentaje de hectáreas (derecha).	142
Gráfica 18. Coberturas actuales de las unidades de paisaje de la tipología 9, porcentaje de hectáreas (izquierda). Bioma recomendado para las áreas de las unidades de paisaje de la tipología 9, porcentaje de hectáreas (derecha).	143
Gráfica 19. Efecto del Cambio Climático en la Provisión Hídrica PrAP del Paisaje 44	152
Gráfica 20. Comparación de los efectos de la Tipología 1 y el escenario BAU, para los indicadores flujo de caja FC, ingresos totales por turismo de naturaleza ITTN, índice de carbono, índice de calidad de seguridad alimentaria humana ICSA, provisión de hábitat PHab y provisión de agua PrAP, en el Paisaje 16.	178
Gráfica 21. Comparación de los efectos de la Tipología 2 y el escenario BAU, para los indicadores flujo de caja FC, índice de carbono, erosión superficial del paisaje ESP, índice de calidad de seguridad alimentaria humana ICSA, índice de provisión de alimentos IPAL, provisión de hábitat PHab y provisión de agua PrAP, en el Paisaje 38.	181
Gráfica 22. Comparación de los efectos de la Tipología 3 y el escenario BAU, para los indicadores flujo de caja FC, índice de calidad de seguridad alimentaria humana ICSA, índice de provisión de alimentos IPAL, provisión de hábitat PHab, provisión de agua PrAP e índice de carbono, en el Paisaje 23.	184
Gráfica 23. Comparación de los efectos de la Tipología 4 y el escenario BAU, para los indicadores índice de carbono, erosión superficial del paisaje ESP, heterogeneidad del paisaje H, flujo de caja FC, índice de calidad de seguridad alimentaria humana ICSA, índice de provisión de alimentos IPAL y provisión de hábitat PHab, en el Paisaje 54.	186

Gráfica 24. Comparación de los efectos de la Tipología 4 y el escenario BAU, para los indicadores índice de calidad de seguridad alimentaria humana ICSA y flujo de caja FC, en el Paisaje 54.	187
Gráfica 25. Comparación de los efectos de la Tipología 5 y el escenario BAU, para los indicadores flujo de caja FC, heterogeneidad del paisaje H, provisión de hábitat PHab, índice de provisión de alimentos IPAL, ingresos totales por turismo de naturaleza ITTN, índice de carbono y erosión superficial del paisaje ESP, en el Paisaje 30.	189
Gráfica 26. Comparación de los efectos de la Tipología 6 y el escenario BAU, para los indicadores flujo de caja FC, índice de provisión de alimentos IPAL, índice de calidad de seguridad alimentaria humana ICSA, provisión de hábitat PHab, índice de carbono y erosión superficial del paisaje ESP, en el Paisaje 4.	192
Gráfica 27. Comparación de los efectos de la Tipología 6 y el escenario BAU, para el indicador flujo de caja FC en el Paisaje 58.	193
Gráfica 28. Comparación de los efectos de la Tipología 7 y el escenario BAU, para los indicadores flujo de caja FC, índice de carbono, erosión superficial del paisaje ESP, índice de provisión de alimentos IPAL y provisión de hábitat PHab, en el Paisaje 12.	195
Gráfica 29. Comparación de los efectos de la Tipología 7 y el escenario BAU, para el indicador flujo de caja FC en el Paisaje 8.	196
Gráfica 30. Comparación de los efectos de la Tipología 8 y el escenario BAU, para los indicadores flujo de caja FC, índice de carbono, erosión superficial del paisaje ESP, heterogeneidad del paisaje H, índice de calidad de seguridad alimentaria humana ICSA, índice de provisión de alimentos IPAL y provisión de hábitat PHab, en el Paisaje 20.	198
Gráfica 31. Comparación de los efectos de la Tipología 8 y el escenario BAU, para el indicador índice de calidad de seguridad alimentaria humana ICSA en el Paisaje 37.	199
Gráfica 32. Comparación de los efectos de la Tipología 9 y el escenario BAU, para los indicadores flujo de caja FC, heterogeneidad del paisaje H, índice de calidad de seguridad alimentaria humana ICSA, índice de provisión de alimentos IPAL, provisión de hábitat PHab e índice de carbono, en el Paisaje 60.	201

Lista de Anexos

Anexo 1. Unidades de paisaje priorizadas	217
Anexo 2. Atributos y Condicionantes del modelo de Red de Implicaciones	224
Anexo 3. Resultados de la aplicación de los 3 criterios para identificar cuántas prioridades de gestión configurarían una tipología de gestión	260

Agradecimientos

Primero que todo, un agradecimiento a los productores, dueños de predios y funcionarios de las alcaldías de Santiago, Colón, San Francisco y Sibundoy, en Putumayo, que nos brindaron información relevante para la consecución de la iniciativa TEEB AgriFood Colombia. Este trabajo espera retornar los apoyos realizados y aportar con información relevante para la toma de decisiones en el ordenamiento territorial del Valle de Sibundoy.

Un agradecimiento a Roberto Campaña y a Adriana Castro por el trabajo que realizaron en la recolección de información en los municipios del Valle de Sibundoy.

Agradecimientos a Carlos Cortés y Mariana Noguera, del Instituto Alexander von Humboldt, por su oportuno apoyo en la recolección de información secundaria que fue utilizada para las simulaciones de los modelos.

Agradecimientos también a Paola Morales, del Instituto Alexander von Humboldt, por su acompañamiento y sus comentarios a lo largo de la construcción de la Red de Implicaciones que fueron útiles para su finalización.

Y, finalmente, gracias a los miembros del comité directivo de la iniciativa TEEB AgriFood Colombia que estuvieron en la construcción de Red de Implicaciones y que dieron retroalimentación válida para el proceso.

Introducción

La iniciativa “Implementación de la economía de los ecosistemas y la biodiversidad: Apoyando la biodiversidad y el manejo sostenible de tierras en paisajes agrícolas” tuvo como propósito usar el enfoque TEEB AgriFood en temas de agricultura y alimentación para analizar las relaciones entre los servicios ecosistémicos y las cadenas de valor del área de estudio. Estas conexiones del sistema socioecológico para la co-producción de servicios genera notorios beneficios para el ser humano, como lo son la provisión de alimentos, el acceso a agua, el ingreso económico, entre otros (TEEB, 2018). Este acercamiento al entendimiento de las relaciones existentes entre los servicios ecosistémicos, la agricultura y el bienestar humano, es susceptible de ser modelada y simulada, permitiendo así, aproximar los posibles efectos de las distintas intervenciones que pudieran planificarse sobre el área de estudio, aportando insumos para la formulación y evaluación de políticas agrícolas y ambientales en la región.

En particular, la iniciativa TEEB AgriFood Colombia busca generar recomendaciones para el diseño de políticas agrícolas, ambientales y/o de ordenamiento territorial en el Valle de Sibundoy (Putumayo, Colombia) que tengan en cuenta, los cambios del uso del suelo, los flujos de servicios ecosistémicos, las conexiones entre las distintas cadenas de valor y el bienestar del paisaje, sustentado con evidencia científica de carácter socioeconómico y ambiental, enmarcado en un análisis de agroecosistemas multifuncionales, los cuales serán estudiados a la luz de diferentes escenarios de política que inciden en el cambio del uso del suelo en el Valle de Sibundoy. Para esto, la iniciativa contempla 9 pasos a seguir, como se muestra en la Figura 1.

Para lograr su objetivo, la iniciativa contempla dos modelos: el primer modelo, denominado modelo de línea base, se basa en la metodología de Redes de Implicaciones (Redondo & Bustamante-Zamudio, 2020), corresponde al análisis de línea base de la incidencia que tienen las políticas agrícolas, ambientales y de ordenamiento territorial en el área de estudio; mientras que el segundo modelo, denominado modelo dinámico, se basa en la metodología de la Dinámica de Sistemas (Sterman, 2000), analiza el comportamiento tendencial de los arreglos entre los usos del suelo, los agroecosistemas y el bienestar humano en la cadena de valor. Como se verá, los resultados del modelo de análisis de línea base sirvieron como fundamento para la definición de escenarios que fueron simulados en el modelo de comportamiento tendencial.

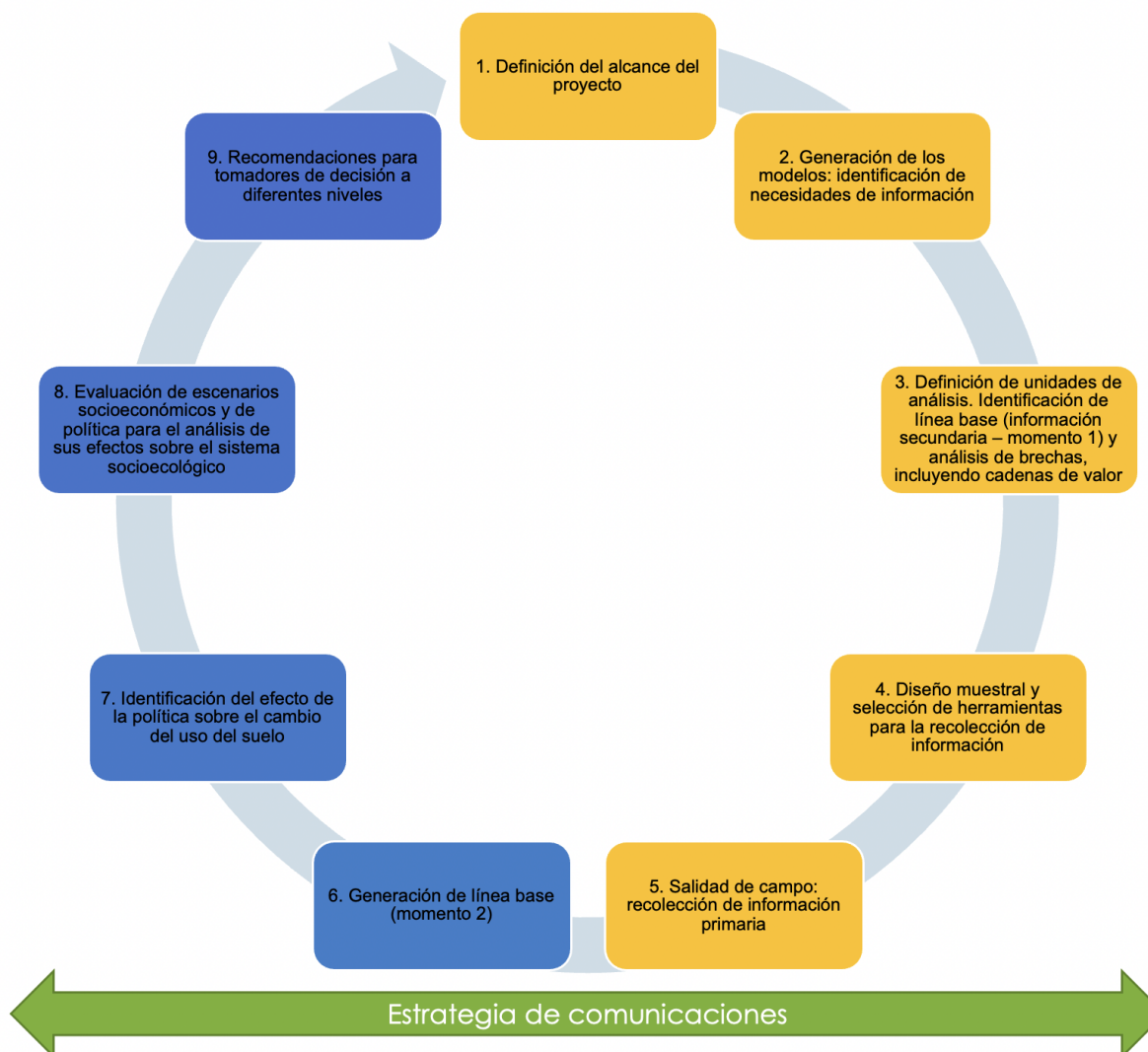


Figura 1: Fases de la iniciativa TEEB AgriFood Colombia. Fuente: elaboración propia.

El objetivo de este informe es presentar los modelos matemáticos desarrollados y los resultados de su simulación en cada uno de los paisajes del área de estudio, incluyendo ecuaciones, fuentes de información y manera en la que fueron interconectados.

El documento presenta en el Capítulo 1, la construcción del modelo basado en Redes de Implicaciones para el análisis de línea base de la incidencia que tienen las políticas agrícolas, ambientales y de ordenamiento territorial en el área de estudio. En el Capítulo 2 se presenta el modelo basado en Dinámica de Sistemas para el análisis del comportamiento tendencial de los arreglos entre los usos del suelo, los agroecosistemas y el bienestar humano en la cadena de valor. El Capítulo 3 presenta el diseño del trabajo de campo y de recolección de la información que fue

usado para la simulación de los modelos. El Capítulo 4 presenta los resultados de la simulación realizada con el modelo de línea base, para la obtención de tipologías y lineamientos de gestión socioecológica requeridos para el incremento de la incidencia de las políticas agrícolas, ambientales y de ordenamiento territorial en el área de estudio. En el capítulo 5 se presenta los resultados de las simulaciones de los escenarios de política con el modelo de comportamiento tendencial y su análisis correspondiente. Finalmente, en el capítulo 6 se presentan las conclusiones. Al final del documento se encuentra un glosario de la terminología utilizada en este documento. De este modo, se presentan y desarrollan las fases 4 a 8 de la iniciativa Teeb AgriFood Colombia, mostradas en la Figura 1.

1. Redes de Implicaciones

Tal como se detalló en el *“Producto 2.2 Propuesta metodológica y modelos de evaluación”*, para analizar la incidencia que tienen las políticas agrícolas, ambientales y de ordenamiento territorial en el área de estudio, se desarrolló un modelo basada en Redes de Implicaciones. Esta es una metodología de análisis desarrollada por Redondo & Bustamante-Zamudio (2020), que permite identificar lineamientos y prioridades para la gestión del paisaje. Se basa en cadenas de relaciones causa-efecto, en las que se consideran las implicaciones directas, indirectas y acumulativas (aditivas o sinérgicas) de los diferentes tipos de acciones sobre paisajes, sin consideración de realimentaciones, porque es un análisis que se realiza sobre un instante de tiempo (no es un análisis dinámico). Esta metodología ha sido utilizada en Colombia por la Unidad de Planeación Minero Energética para establecer la sensibilidad socioambiental de los paisajes a la implementación de los planes de expansión de transmisión eléctrica y transporte de hidrocarburos con ductos y carro-tanques (Plan-In, 2017) y por el Instituto Humboldt para el análisis multidimensional de la potencialidad de los recursos y atractivos naturales, orientando la gestión sostenible del turismo de naturaleza en Colombia (Bustamante-Zamudio et al, 2019).

La metodología se basa en los siguientes pasos (Redondo & Bustamante-Zamudio, 2020):

1. **Definición del tipo de estudio que se realiza:** aquí se define una única acción que será considerada sobre cada uno de los paisajes del área de estudio. En este documento, es de interés la acción de las políticas agrícolas, ambientales y de ordenamiento territorial en cada uno de los paisajes identificados en el Valle de Sibundoy (Colombia).
2. **Elaboración de las Redes de Implicaciones:** en este paso se realiza la construcción de las Redes de Implicaciones para la acción definida. Se dice “redes” porque la acción puede considerar diferentes fases, cada una de las cuales debe ser representada con una Red de Implicaciones propia. En este trabajo solo se considera una Red de Implicaciones dado que solo se considera la fase de implementación de la planificación del territorio. La Red de Implicaciones es una teoría general del sistema socioecológico, que es representada a través de una red tipo árbol que inicia con una de las fases de la acción que será considerada sobre cada uno de los paisajes

del área de estudio y termina en un atributo que lleva el nombre del análisis. En este documento el atributo inicial se denominó “Implementación de la planificación del territorio”, mientras que el atributo final aparecerá como “Incidencia de la política de ordenamiento territorial”. Los atributos intermedios se corresponden con la implicaciones directas e indirectas que el atributo inicial genera sobre el sistema socioecológico. Las relaciones entre los atributos de la red son ponderadas a través de objetos denominados “condicionantes” que determinan la intensidad de la relación y permiten la inclusión de los datos de cada una de las unidades de paisaje, haciendo que, la Red de Implicaciones, como teoría general, permita obtener resultados espacio-específicos para cada paisaje simulado. Esta actividad se puede realizar a través del análisis de referencias secundarias y/o del consenso de expertos por medio de talleres. La red presentada en este trabajo se obtuvo a través del consenso de expertos.

3. **Identificación de las unidades de paisaje del espacio físico de estudio:** aquí se realiza el establecimiento de los criterios de partición del espacio físico de estudio para la obtención de las unidades de paisaje. Se espera que las bases de datos espaciales que se obtengan posean información para todas las unidades de paisaje definidas. De forma alternativa, podría realizarse una rasterización de las bases de datos espaciales obtenidas bajo la condición que cada capa cubra completamente el espacio físico de estudio. Esta actividad se realiza a través de talleres con expertos.
4. **Cálculo de la incidencia o sensibilidad de cada una de las unidades de paisaje:** el cálculo de la incidencia o sensibilidad ocurre por medio de la simulación de las Redes de Implicaciones con los datos que cada unidad de paisaje a aportado a través de los denominados condicionantes. Se recomienda que los valores de los condicionantes se encuentren normalizados para poderlos operar matemáticamente sin tener dificultades con las unidades que cada uno de ellos tiene. Se sugiere que el valor de incidencia sea un número entre cero y uno, de modo que, pueda expresarse cualitativamente mediante colores en un sistema de información geográfica, obteniendo el que se denomina mapa de incidencia.

Debe tenerse en consideración que, en este trabajo, sobre cada unidad de paisaje en el área de estudio, se tiene la incidencia de un conjunto específico de políticas nacionales, departamentales, municipales y sectoriales, que no necesariamente son las mismas que aplican para la unidad de paisaje adyacente y que no tienen conflicto entre sí por la coherencia que deben tener desde su formulación y objeto de aplicación.

5. **Identificación de las prioridades de gestión:** Dado que la intensidad en la incidencia de dos unidades puede ser la misma (compartir la misma asignación de color en el mapa de incidencia), pero sus causas pueden ser diferentes, y considerando que esta incidencia fue obtenida a partir de una red ponderada tipo árbol que hemos denominado Red de Implicaciones, es posible calcular los atributos de la red que tienen la mayor influencia, usando el algoritmo PWP propuesto en Díaz (2014), permitiendo identificar las “prioridades de

gestión” a partir de los valores de influencia de los atributos en la red. Este análisis hace que, dos paisajes con intensidades de incidencia o sensibilidad iguales, no sean gestionados como si tuvieran las mismas prioridades, sino que conduce a la definición de tipologías de gestión, como se explica en el siguiente ítem.

6. **Identificación de las tipologías de gestión:** Una n -tipología de gestión para una Red de Implicaciones con m -atributos, es un conjunto con n prioridades de gestión en el top n , que satisface $n < m$. De este modo, se puede considerar que todas la unidades de paisaje con el mismo conjunto de n prioridades de gestión conforman una tipología de gestión. Esta aproximación es clave para la formulación de lineamientos porque permite identificar lo que es prioritario de atender en cada unidad de paisaje, pero además, al tener en cuenta todas la unidades de paisaje que tienen las mismas prioridades y configurarlas en una sola clase denominada tipología de gestión, la proposición de lineamientos puede realizarse en consideración de lo que cada paisaje realmente necesita.
7. **Definición de los lineamientos de gestión de acuerdo con las tipologías:** En este paso se realiza la definición de lineamientos de gestión para cada una de las tipologías identificadas. Esta actividad se realiza a través de talleres con expertos.
8. **Definición de escenarios:** Nótese que, hasta este punto, se han obtenido prioridades de gestión y tipologías de gestión mediante la simulación de la Red de Implicaciones con cada uno de los datos que alimentaron el modelo a través de los condicionantes, lo que se constituyó en sí mismo como una línea base del área de estudio, ofreciendo información para la proposición de los lineamientos generados por el consenso de expertos, haciendo que estos lineamientos cuenten con la validación empírica del juicio de expertos.

Sin embargo, tratando de imponer otra prueba de validación a los lineamientos obtenidos, se propuso construir un modelo de prescripción que nos indicara que pasaría si se implementaran los mencionados lineamientos en el horizonte de tiempo a 2030.

Básicamente, lo que se espera de esta segunda prueba de validación es la verificación de la viabilidad del sistema socioecológico en términos del bienestar de la población y de sus ecosistemas, revisando si el comportamiento tendencial de los lineamientos propuestos logran el efecto esperado o conducen a estados indeseables o comportamientos contraintuitivos.

El modelo de prescripción se elaboró a través de la metodología de la Dinámica de Sistemas que, en principio, se alimentaría de los escenarios que se definen a partir de cada lineamiento, entendiéndose que cada escenario estaría constituido por tres arreglos de parámetros distintos: el pesimista, el moderado y el optimista. Como se verá, se agregaron dos escenarios adicionales relacionados con el cambio climático y la pandemia del Covid Sars – 19, con los

mismos arreglos de análisis. Al final, se muestran los resultados de las simulaciones de todos los lineamientos considerados, clasificándolos bajo las categorías de viables o no viables.

La viabilidad de un lineamiento vendrá dada por la capacidad de mejorar el bienestar del escenario actual del sistema socioecológico, denominado “Escenario Business As Usual”, en su escenario pesimista.

El desarrollo de estos pasos se presenta explícitamente a continuación.

1.1. Definición del objeto de estudio

El objetivo de la iniciativa TEEB AgriFood Colombia es “generar evidencia científica de los impactos socioeconómicos y ambientales de diferentes escenarios de uso del suelo en Putumayo (Valle de Sibundoy), que guíe la política agrícola, ambiental y de ordenamiento territorial”. En este marco, como punto de partida de los análisis y, de modo que, se pudiera contar con un diagnóstico inicial de línea base, se define como objeto de la red de implicaciones, calcular la incidencia de las políticas de ordenamiento territorial en el área de estudio, por la implementación de la planificación del territorio. Estas políticas incluyen la política agrícola y la política ambiental.

1.2. Identificación de las unidades de paisaje del espacio de estudio físico

En este paso, que se lleva a cabo en talleres con expertos o a partir de una revisión robusta del estado del arte, se definen los criterios C_i , $i = 1, \dots, n$, para la partición del espacio físico de estudio E y obtener las unidades de paisaje P , es decir, $P = E / \{C_1, \dots, C_n\}$. Estos criterios deben ser biológicos, físicos y antrópicos.

Para la iniciativa TEEB AgriFood Colombia, siguiendo los criterios de partición y priorización del área de estudio presentados en el producto 2.1. “Documento con la línea base de información y el análisis de brechas priorizaron”, se obtuvieron 62 unidades de paisaje priorizadas, que corresponden a 49 tipos de paisaje diferentes, los cuales cubren un área de 11130,52 hectáreas, representando el 24,1% del Valle de Sibundoy. De estos paisajes, 36 contienen arreglos de usos agropecuarios y áreas naturales, 20 corresponden a áreas naturales y 6 son de usos agropecuarios exclusivamente, vea Tabla 1 y Figura 2.

Tabla 1. Tipo de Arreglo en los Paisajes Priorizados

Tipo de arreglo en Paisaje	Área (ha)	% Área Paisajes en el área de estudio	% Área Valle del Sibundoy
----------------------------	-----------	---------------------------------------	---------------------------

Agropecuario	1664,41	14,95	3,61
Agropecuario - Natural	9303,26	83,58	20,18
Natural	162,85	1,46	0,35
Total paisajes priorizados	11130,52	100	24,14
Total Valle del Sibundoy	46104,27		100

Fuente: elaboración propia a partir de Corpoamazonía (2010).

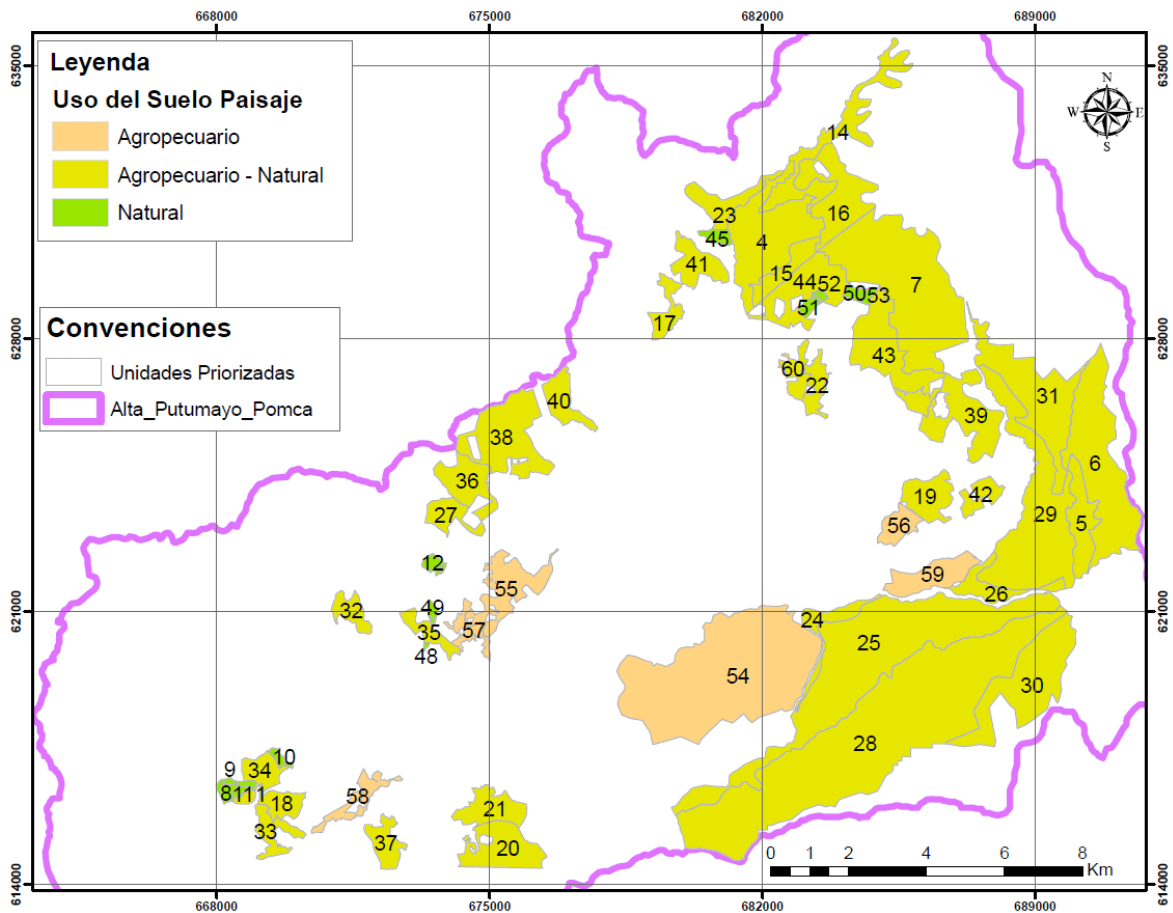


Figura 2. ID Unidades de paisaje priorizadas según tipo de arreglo

Fuente: elaboración propia.

1.3. Construyendo la Red de Implicaciones

Las Redes de Implicaciones son 3 –tuplas (A, R, X) de atributos del sistema socioecológico A , relaciones causales con ponderaciones espacio-específicas R entre los atributos y datos espacializados normalizados X que permiten la ponderación de las relaciones.

El propósito de la red es reconocer la incidencia o sensibilidad que una intervención antrópica tiene sobre los sistemas socioecológicos. La idea es representar las n implicaciones directas $A_1^{p_1}$, $p = 1, \dots, n$, sobre el sistema socioecológico de cada una de las etapas del plan, programa, proyecto o política que materializa la intervención antrópica, pero también, las implicaciones indirectas de diferentes órdenes $A_j^{p_j}$, $j > 1$, $p_j > 1$, hasta una implicación final que se corresponde con la sensibilidad o incidencia del objeto de estudio. En este proceso, se hacen explícitas las multicausalidades y multiefectos de los atributos del sistema socioecológico que son representadas.

La red resultante es una red tipo árbol, por lo que no se tienen en consideración realimentaciones, lo cual tiene sentido porque la red es el resultado del análisis para un momento determinado.

Las relaciones $R_{jk}^{p_j q_k}: A_j^{p_j} \rightarrow A_k^{q_k}$ entre atributos satisfacen las siguientes propiedades:

- Las relaciones tienen una sola dirección $R_{jk}^{p_j q_k} \neq R_{kj}^{q_k p_j}$.
- El método rechaza las realimentaciones.
- Las relaciones se ponderan en el rango unitario $R_{jk}^{p_j q_k} \in [0, 1]$, de modo que, sea posible el cálculo entre variables con unidades distintas.
- Las relaciones $R_{jk}^{p_j q_k}$ se ponderan a partir de funciones $f_{jk}^{p_j q_k}$ que dependen de condicionantes locales $x_i \in X$, $i = 1, \dots, m$, es decir: $R_{jk}^{p_j q_k} = f_{jk}^{p_j q_k}(x_1, \dots, x_m)$. Los condicionantes son datos específicos de cada unidad paisaje que resuelven la pregunta: ¿de qué depende la relación? La función f establece la forma en que los datos x_1, \dots, x_m condicionan la relación.

Los atributos $A_j^{p_j}$ satisfacen las siguientes propiedades:

- Los atributos tienen pesos en el rango unitario. Estos pesos se calculan como el producto de los valores de la relación y el atributo que le preceden: $A_k^{q_k} = A_j^{p_j} R_{jk}^{p_j q_k} \in [0, 1]$.

- Las relaciones R_{jk} acumulativas en un atributo $A_k^{r_k}$ pueden ser aditivas: $A_k^{r_k} = \max(A_j^{p_j} R_{jk}^{p_j r_k}, A_j^{q_j} R_{jk}^{q_j r_k}) \in [0, 1]$ o sinérgico $A_k^{r_k} \neq \max(A_j^{p_j} R_{jk}^{p_j r_k}, A_j^{q_j} R_{jk}^{q_j r_k}) \in [0, 1]$. Una relación acumulativa ocurre cuando al menos dos atributos actúan sobre otro. Esta forma de articulación puede hacer que los efectos de las relaciones se sumen al atributo o que se produzcan sinergias. Cuando se agregan los efectos a las relaciones se dice que hay un efecto acumulativo aditivo y su cálculo es simplemente el valor superior de los efectos. Pero cuando los efectos no suman, cualquiera que sea el caso, se dice que el efecto sobre el atributo involucrado es sinérgico, por lo que su cálculo debe establecerse con una relación diferente a la utilizada en los efectos acumulativos aditivos.

Para la iniciativa TEEB AgriFood Colombia se construyó la Red de Implicaciones que se presenta en la Figura 3. Esta red se explica a continuación:

- La implementación de la planificación del territorio aumenta la diversidad de intereses entre actores (condicionado por las intencionalidades de uso actuales y proyectadas en el territorio), provocando el incremento de los conflictos socioecológicos (condicionado por los conflictos de uso y por la sensibilidad de distintas intencionalidades). Los conflictos socioecológicos entonces, dan lugar 1) al aumento de paisajes vulnerados (entendidos como paisajes con ecosistemas vulnerables, con susceptibilidades a las inundaciones, con vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico y con riesgo de victimización) que deterioran la funcionalidad socioecosistémica del territorio (de acuerdo con el nivel de afectación del paisaje) y 2) a la disminución de la implementación de instrumentos de gestión para la intervención en la propiedad y en la estructura predial, que podría mejorar la funcionalidad socioecosistémica del territorio.
- La implementación de la planificación del territorio también genera herramientas de fortalecimiento de capacidades cuando se cuenta con un presupuesto y con capacidad técnica para ese propósito, además de contar con un catastro multipropósito, lo cual determina un camino completamente distinto al propuesto en el ítem anterior, ya que, 1) si se cuenta con fuentes de financiamiento de los instrumentos económicos, conocimiento y acceso a los instrumentos económicos aplicables, articulación entre los instrumentos económicos ambientales y agropecuarios y la duración de los instrumentos es suficiente para generar el cambio del uso del suelo, entonces aumentará la eficacia de los instrumentos económicos¹ en el cambio del uso del suelo, mejorando la funcionalidad socioecosistémica del territorio, 2) y si existe afinidad política entre los actores del territorio para la aprobación presupuestal, existen instancias de coordinación, hay confianza de la sociedad en las instituciones y también hay confianza entre los actores

¹ En este estudio se tomaron seis categorías de instrumentos económicos: 1) subsidios/exenciones 2) compensaciones 3) certificados 4) pago por servicios ambientales 5) cuotas/vedas y 6) impuestos/multas/tasas.

gubernamentales, entonces aumentará la coordinación entre los actores para la implementación de la planificación del territorio.

- Esta eficacia de los instrumentos económicos también genera 1) el fortalecimiento de las cadenas productivas, en la medida que la duración de los instrumentos es suficiente para fortalecer las cadenas de valor, las comunidades se encuentra fortalecidas y las cadenas de valor se encuentren alineadas con la funcionalidad socioecosistémica, 2) la apropiación social y cumplimiento de la política pública por parte de los actores del territorio, condicionado a la existencia de comunidades fortalecidas, a que los actores del territorio tengan la percepción de estar recibiendo beneficios y que otros también los reciben, a que las sanciones sean mayores que los beneficios de hacer trampa, a que la percepción indique que hay una capacidad institucional para hacer cumplir la política y a la existencia de alternativas para las limitaciones derivadas de la política para ciertos usos o aprovechamientos y 3) la legitimidad y credibilidad de las instituciones.
- De este modo, es notable que la generación de pactos sociales por el territorio es determinado por 1) la legitimidad y credibilidad de las instituciones, cuanto más confianza tenga la sociedad en sus instituciones, 2) la apropiación social y cumplimiento de la política pública por parte de los actores del territorio, en la medida que las reglas sean claras y conocidas por los actores en el momento de hacer los pactos y que exista confianza en las instituciones, entre los actores gubernamentales y entre los actores de la sociedad, y por 3) la coordinación entre los actores para la implementación de la planificación territorial, en consideración de las instancias de concertación, de la incorporación de sistemas locales de uso del territorio en el ordenamiento territorial a partir de los conocimientos, prácticas e innovaciones tradicionales y del presupuesto asignado a los actores. Esta generación de pactos sociales por el territorio, por su parte, determina el cumplimiento de los pactos, cuando cuenta con la capacidad técnica, con la apropiación de la tecnología y de los recursos financieros y con la disponibilidad de tiempo para cumplir los pactos, mientras que el cumplimiento de los pactos conduce al fortalecimiento de las cadenas productivas y a la funcionalidad socioecosistémica del territorio.
- La funcionalidad socioecosistémica del territorio aumenta la demanda de infraestructura de servicios que, a su vez, aumenta el fortalecimiento de las cadenas productivas, cuando cuenta con tecnología, asistencia técnica y construcciones para el desarrollo de la actividad agropecuaria alineadas con la funcionalidad socioecosistémica, con financiación y gestión ambiental, y con un balance entre oferta y demanda de servicios públicos.
- La funcionalidad socioecosistémica del territorio (condicionada por la oferta de servicios ecosistémicos, la heterogeneidad del paisaje y el nivel de afectación del paisaje), junto con el fortalecimiento de las capacidades productivas (condicionado por la inversión distribuida de recursos en cada uno de los eslabones, la debida destinación de los recursos, y la asistencia técnica alineada con la funcionalidad socioecosistémica), dan lugar a la productividad del territorio.

- Cuando la demanda de infraestructura de servicios rompe el balance entre la oferta y demanda de servicios públicos, conduce al deterioro del bienestar del territorio. Mientras que, cuando la productividad del territorio conduce a la generación de empleo formal, al balance entre la oferta y demanda de servicios ecosistémicos y a la disponibilidad de esos mismos servicios, el bienestar del territorio aumenta.
- De este modo, se dice que la incidencia de la política de ordenamiento territorial viene dada por el bienestar que es capaz de generar en el territorio por su implementación.

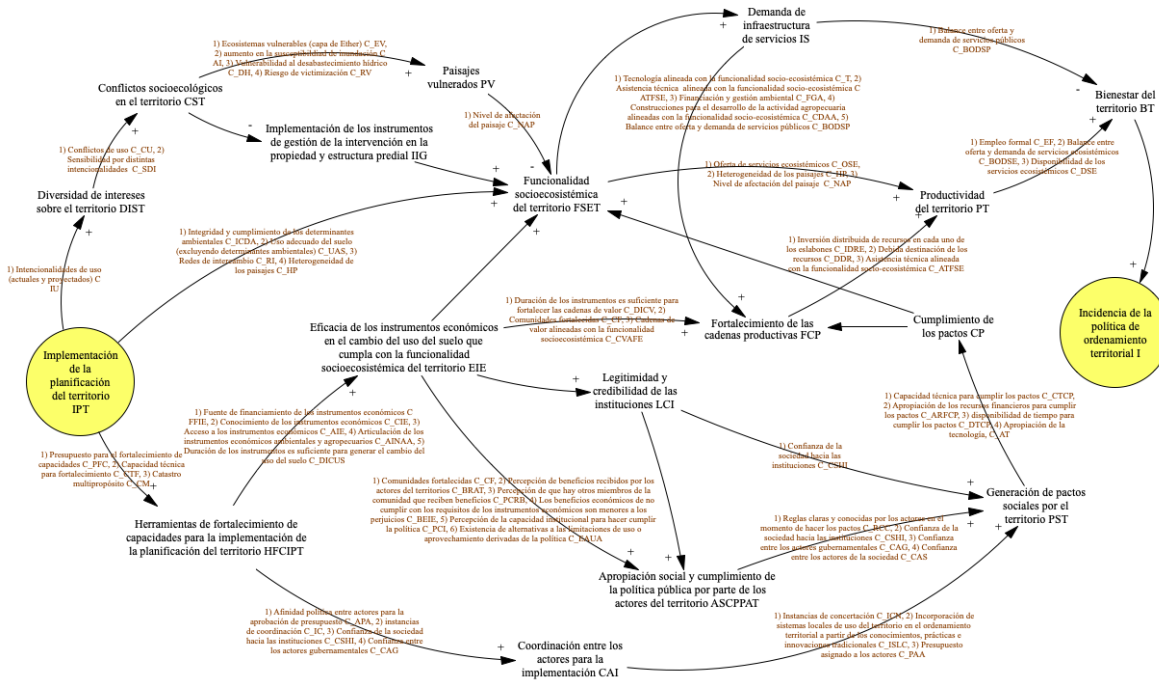


Figura 3: Red de Implicaciones directas, indirectas y acumulativas para el cálculo de la incidencia de la política de ordenamiento territorial. En amarillo, se encuentran la intervención inicial y la implicación terminal, en negro, aparecen las implicaciones directas e indirectas de la red y en café, se encuentra los condicionantes de cada una de las relaciones.

A cada una de las relaciones condicionadas de la Figura 3, que fueron argumentadas en los párrafos previos, se les ha expresado matemáticamente en función de los condicionantes que a cada una de ellas se les asignó, de acuerdo con la fórmula de ponderación de relaciones ya mencionada:

$$R_{jk}^{p,q} = f_{jk}^{p,q}(x_1, \dots, x_m)$$

donde $x_i \in X$, $i = 1, \dots, m$, son los condicionantes locales.

El ejercicio de modelamiento fue realizado, en términos generales, a partir de: 1) la normalización de los condicionantes al intervalo unitario, de modo que, se pudiera realizar operaciones entre ellos, 2) la ponderación por criterio de experto de los condicionantes, obtenida a través de múltiples talleres de trabajo y 3) la interpretación de los modelos mentales de los expertos a través de ecuaciones. Detalles sobre las fuentes de datos de cada uno de los condicionantes son presentados en el Anexo 2.

La diversidad de intereses sobre el territorio generados por la implementación de la planificación del territorio $DIST_{\leftarrow IPT}$ está condicionada por las intencionalidades de uso actuales y proyectadas C_{IU} , clasificadas en intensidades cuyo valor máximo es nueve (9), vea descripción de los condicionantes en la Tabla 23 del Anexo 2. La expresión matemática asignada a esta relación permite asignar un valor entre cero y uno, como sigue:

$$DIST_{\leftarrow IPT} = C_{IU}/9$$

Los conflictos socioecológicos del territorio generados por la diversidad de intereses sobre el territorio $CST_{\leftarrow DIST}$ están condicionados de forma promedio por los conflictos de uso C_{CU} y la sensibilidad por distintas intencionalidades C_{SDI} , es decir:

$$CST_{\leftarrow DIST} = (C_{CU} + C_{SDI})/2$$

La implementación de los instrumentos de gestión de la intervención en la propiedad y estructura predial afectados por los conflictos socioecológicos del territorio $IIG_{\leftarrow CST}$ fueron valuados con el mínimo valor del intervalo unitario para significar que los conflictos disminuyen la implementación de los instrumentos de gestión:

$$IIG_{\leftarrow CST} = 0$$

La funcionalidad socioecosistémica del territorio, determinada por la implementación de los instrumentos de gestión de la intervención en la propiedad y estructura predial $FSET_{\leftarrow IIG}$, es valuada con el máximo del intervalo unitario:

$$FSET_{\leftarrow IIG} = 1$$

Los paisajes vulnerados generados por los conflictos socioecológicos del territorio $PV_{\leftarrow CST}$ están condicionados por los ecosistemas vulnerables C_{EV} , por el aumento de las inundaciones C_{AI} , por el desabastecimiento hídrico C_{DH} y por el riesgo de victimización C_{RV} :

$$PV_{\leftarrow CST} = (C_{EV} + C_{AI} + C_{DH} + C_{RV})/4$$

La funcionalidad socioecosistémica del territorio afectada por los paisajes vulnerados $FSET_{\leftarrow PV}$ está condicionada por el nivel de afectación del paisaje C_{NAP} , de tal modo que, si aumentan los paisajes vulnerados, entonces disminuirá la funcionalidad socioecosistémica. Esto se representa como sigue:

$$FSET_{\leftarrow PV} = 1 - C_{NAP}$$

El fortalecimiento de las cadenas productivas generado por la demanda de infraestructura de servicios $FCP_{\leftarrow IS}$ está condicionada por la tecnología alineada con la funcionalidad socioecosistémica C_T , la asistencia técnica alineada con la funcionalidad socioecosistémica C_{ATFSE} , la financiación alineada con la funcionalidad socioecosistémica C_F , las construcciones para el desarrollo de la actividad agropecuaria alineadas con la funcionalidad socio-ecosistémica C_{CDAA} y el balance entre oferta y demanda de servicios públicos C_{BODSP} :

$$FCP_{\leftarrow IS} = (C_T + C_{ATFSE} + C_F + C_{CDAA} + C_{BODSP})/5$$

La productividad del territorio generada por la funcionalidad socioecosistémica del territorio $PT_{\leftarrow FSET}$ está condicionada por la oferta de servicios ecosistémicos C_{OSE} , la heterogeneidad de los paisajes C_{HP} y el nivel de afectación del paisaje C_{NAP} , siendo este último, de acuerdo con el criterio de expertos, ponderado con el doble de valor de los otros condicionantes de esta relación:

$$PT_{\leftarrow FSET} = (C_{OSE} + C_{HP} + 2C_{NAP})/4$$

El bienestar del territorio afectado por la demanda de infraestructura de servicios $BT_{\leftarrow IS}$ está condicionado por el balance entre oferta y demanda de servicios públicos, de tal modo que, si la demanda de infraestructura aumenta, se rompe el balance entre la oferta y demanda de servicios públicos, ocasionando el deterioro del bienestar del territorio, como se había mencionado antes. La ecuación es como sigue:

$$BT_{\leftarrow IS} = 1 - C_{BODSP}$$

El bienestar del territorio generado por la productividad del territorio $BT_{\leftarrow PT}$ está condicionado por el empleo formal C_{EF} , el balance entre oferta y demanda de servicios ecosistémicos C_{BODSE} y la disponibilidad de los servicios ecosistémicos C_{DSE} , como sigue:

$$BT_{\leftarrow PT} = (C_{EF} + C_{BODSE} + C_{DSE})/3$$

La funcionalidad socioecosistémica del territorio determinada por la implementación de la planificación del territorio $FSET_{\leftarrow IPT}$, está condicionada por las redes de intercambio C_{RI} , la

heterogeneidad de los paisajes C_{HP} , la integridad y cumplimiento de los determinantes ambientales C_{ICDA} y el uso adecuado del suelo (excluyendo determinantes ambientales) C_{UAS} :

$$FSET_{\leftarrow IPT} = (C_{RI} + C_{HP} + C_{ICDA} + C_{UAS})/4$$

Las herramientas de fortalecimiento de capacidades para la implementación de la planificación del territorio generadas por la implementación de la planificación del territorio $HFCIPT_{\leftarrow IPT}$ están condicionadas por el presupuesto para el fortalecimiento de capacidades C_{PFC} , la capacidad técnica para el fortalecimiento C_{CTF} y el catastro multipropósito C_{CM} , con ponderaciones distintas, como sigue:

$$HFCIPT_{\leftarrow IPT} = 0.4C_{PFC} + 0.4C_{CTF} + 0.2C_{CM}$$

El condicionante C_{CTF} viene dado en valores de alto, medio y bajo a los que se les asignó los valores 1, 0.6 y 0.2, respectivamente.

La coordinación entre los actores para la implementación generada por las herramientas de fortalecimiento de capacidades para la implementación de la planificación del territorio $CAI_{\leftarrow HFCIPT}$ está condicionada por la afinidad política entre actores para la aprobación de presupuesto C_{APA} , la confianza de la sociedad hacia las instituciones C_{CSHI} y la confianza entre los actores gubernamentales C_{CAG} , de tal modo que, si no existen instancias de coordinación C_{IC} , los demás elementos no tienen sentido. De este modo, se obtiene la siguiente ecuación:

$$CAI_{\leftarrow HFCIPT} = C_{IC} \cdot (0.3 + 0.3C_{APA} + 0.2C_{CSHI} + 0.2C_{CAG})$$

Los condicionantes C_{APA} y C_{CAG} vienen dados en valores de alto, medio y bajo a los que se les asignó los valores 1, 0.6 y 0.2, respectivamente.

La eficacia de los instrumentos económicos en el cambio del uso del suelo que cumpla con la funcionalidad socioecosistémica del territorio generadas por las herramientas de fortalecimiento de capacidades para la implementación de la planificación del territorio $EIE_{\leftarrow HFCIPT}$ están condicionadas por la interacción de las fuentes de financiamiento de los instrumentos económicos C_{FFIE} , por el conocimiento de los instrumentos económicos C_{CIE} , por el acceso a los instrumentos C_{AIE} , por la articulación de los incentivos económicos, ambientales y agropecuarios C_{AIEAA} y por la duración de los instrumentos para generar el cambio del uso del suelo C_{DICUS} , es decir:

$$EIE_{\leftarrow HFCIPT} = C_{FFIE} \cdot C_{CIE} \cdot C_{AIE} \cdot C_{AIEAA} \cdot C_{DICUS}$$

El fortalecimiento de las cadenas productivas generado por la eficacia de los instrumentos económicos en el cambio del uso del suelo que cumpla con la funcionalidad socioecosistémica del territorio $FCP_{\leftarrow EIE}$ está condicionado por la duración de los instrumentos para fortalecer las cadenas de valor C_{DICV} , por las comunidades fortalecidas C_{CF} y por las cadenas de valor alineadas con la funcionalidad socioecosistémica C_{CVAFE} , como sigue:

$$FCP_{\leftarrow EIE} = (C_{DICV} + C_{CF} + C_{CVAFE})/3$$

La funcionalidad socioecosistémica del territorio generada por la eficacia de los instrumentos económicos en el cambio del uso del suelo que cumpla con la funcionalidad socioecosistémica del territorio $FSET_{\leftarrow EIE}$ y por el cumplimiento de los pactos $FSET_{\leftarrow CP}$, fueron calibradas con los valores de media y muy alta, respectivamente, es decir:

$$FSET_{\leftarrow EIE} = 0.6$$

$$FSET_{\leftarrow CP} = 1$$

El fortalecimiento de las cadenas productivas generadas con el cumplimiento de los pactos $FCP_{\leftarrow CP}$ y la demanda de infraestructura de servicios a partir de la funcionalidad socioecosistémica del territorio $IS_{\leftarrow FSET}$, también fueron calibrados tomando los valores de muy alta, es decir:

$$FCP_{\leftarrow CP} = 1$$

$$IS_{\leftarrow FSET} = 1$$

La apropiación social y cumplimiento de la política pública por parte de los actores del territorio generadas por la eficacia de los instrumentos económicos en el cambio del uso del suelo que cumpla con la funcionalidad socioecosistémica del territorio $ASCPPAT_{\leftarrow EIE}$ está condicionada por la existencia de alternativas a las limitaciones de uso o aprovechamiento derivadas de la política C_{EAUA} . Si existen alternativas a las limitaciones de uso o aprovechamiento derivadas de la política C_{EAUA} , entonces la $ASCPPAT_{\leftarrow EIE}$ será al menos baja, sin embargo, podrá llegar a ser muy alta por la suma con ponderaciones de los siguientes condicionantes: comunidades fortalecidas CF , percepción de beneficios recibidos por los actores del territorio C_{BRAT} , percepción que hay otros miembros de la comunidad que reciben beneficios C_{PCRB} , y por la interacción entre los beneficios económicos de no cumplir con los requisitos de los instrumentos económicos porque son menores a los perjuicios C_{BEIE} y la percepción de la capacidad institucional para hacer cumplir la política C_{PCI} . Ahora que, si no existen alternativas a las limitaciones de uso o aprovechamiento derivadas de la política C_{EAUA} , entonces la $ASCPPAT_{\leftarrow EIE}$ será nula. A continuación, la representación matemática de estos argumentos:

$$ASCPPAT_{\leftarrow EIE} = \{0.2 + 0.3C_{CF} + 0.2C_{BRAT} + 0.1C_{PCRB} + 0.2C_{BEIE}C_{PCI} \text{ si } C_{EAUA} = "si" \text{ o si } C_{EAUA} \neq "si"\}$$

La legitimidad y credibilidad de las instituciones generada por la eficacia de los instrumentos económicos en el cambio del uso del suelo que cumpla con la funcionalidad socioecosistémica del territorio $LCI_{\leftarrow EIE}$ y la apropiación social y cumplimiento de la política pública por parte de los actores del territorio generada por la legitimidad y credibilidad de las instituciones $ASCPPAT_{\leftarrow LCI}$ han sido calibradas en el modelo como muy altas, es decir:

$$\begin{aligned} LCI_{\leftarrow EIE} &= 1 \\ ASCPPAT_{\leftarrow LCI} &= 1 \end{aligned}$$

La generación de pactos sociales por el territorio determinada por la coordinación entre los actores para la implementación $PST_{\leftarrow CAI}$ se definió como la interacción entre el condicionante instancias de concertación C_{ICN} y la suma ponderada de los condicionantes presupuesto asignado a los actores C_{PAA} e incorporación de sistemas locales de uso del territorio en el ordenamiento territorial a partir de los conocimientos, prácticas e innovaciones tradicionales C_{ISLC} :

$$PST_{\leftarrow CAI} = C_{ICN} \cdot (0.7C_{PAA} + 0.3C_{ISLC})$$

La generación de pactos sociales por el territorio determinada por la apropiación social y cumplimiento de la política pública por parte de los actores del territorio $PST_{\leftarrow ASCPPAT}$ es la suma ponderada de los siguientes condicionantes: reglas claras y conocidas por los actores en el momento de hacer los pactos C_{RCC} , confianza de la sociedad hacia las instituciones $C_{SHI'}$, confianza entre los actores gubernamentales C_{CAG} y confianza entre los actores de la sociedad C_{CAS} :

$$PST_{\leftarrow ASCPPAT} = 0.4C_{RCC} + 0.2C_{SHI'} + 0.2C_{CAG} + 0.2C_{CAS}$$

El condicionante C_{CAG} viene dado en valores de alto, medio y bajo a los que se les asignó los valores 1, 0.6 y 0.2, respectivamente.

La generación de pactos sociales por el territorio determinada por la legitimidad y credibilidad de las instituciones $PST_{\leftarrow LCI}$ está condicionado exclusivamente por el valor de la confianza de la sociedad hacia las instituciones $C_{SHI'}$, es decir:

$$PST_{\leftarrow LCI} = C_{SHI'}$$

El cumplimiento de los pactos provocado por la generación de pactos sociales por el territorio $CP_{\leftarrow PST}$ está condicionado por los siguientes condicionantes: capacidad técnica para cumplir los pactos $C_{CTCP'}$, apropiación de los recursos financieros para cumplir los pactos $C_{ARFCP'}$

disponibilidad de tiempo para cumplir los pactos C_{DTCP} y apropiación de la tecnología C_{AT} , como se muestra a continuación:

$$CP_{\leftarrow PST} = 0,3C_{CTCP} + 0,3C_{ARFCP} + 0,1C_{DTCP} + 0,3C_{AT}$$

La productividad del territorio generada por el fortalecimiento de las cadenas productivas $PT_{\leftarrow FCP}$ es la suma entre el condicionante asistencia técnica alineada con la funcionalidad socioecosistémica C_{ATFSE} y la interacción de los condicionantes: inversión distribuida de recursos en cada uno de los eslabones C_{IDRE} y debida destinación de los recursos C_{DDR} , como se muestra a continuación:

$$PT_{\leftarrow FCP} = 0,6C_{ATFSE} + 0,4C_{IDRE}C_{DDR}$$

Finalmente, la incidencia de la política de ordenamiento territorial en el paisaje I viene dada por el bienestar del territorio BT , lo cual se representa haciendo que su relación sea uno, es decir:

$$I_{\leftarrow BT} = 1$$

De este modo, se obtiene la red de implicaciones completamente formulada para la realización de los cálculos de incidencia en cada una de las unidades de paisaje definidas, los cuales se presentan en la Sección 4 de resultados.

1.4. Cálculo de la incidencia o sensibilidad de cada una de las unidades de paisaje

Durante este paso se alimenta la Red de Implicaciones obtenida en la Sección 1.3, con las bases de datos espaciales de cada una de las unidades de paisaje que fueron determinadas por los condicionantes, obteniéndose la incidencia de la política de ordenamiento territorial de cada paisaje en el área de estudio. Los resultados son presentados a través de un sistema de información geográfica utilizando valores de color que permiten revisar la calificación obtenida por cada paisaje en forma cualitativa. Este resultado se presenta en la Sección 4.

Para el cálculo de la incidencia, debe recordarse que los atributos tienen pesos en el rango unitario:

$$A_k^{q_k} = A_j^{p_j} R_{jk}^{p_j q_k} \in [0, 1]$$

y que las relaciones R_{jk} acumulativas en un atributo $A_k^{r_k}$ pueden ser aditivas: $A_k^{r_k} = \max(A_j^{p_j} R_{jk}^{p_j r_k}, A_j^{q_j} R_{jk}^{q_j r_k}) \in [0, 1]$ o sinérgicas $A_k^{r_k} \neq \max(A_j^{p_j} R_{jk}^{p_j r_k}, A_j^{q_j} R_{jk}^{q_j r_k}) \in [0, 1]$. De este modo, considerando las relaciones como aditivas, y aplicando estas fórmulas, se obtiene el valor de la incidencia de la red.

1.5. Identificación de las prioridades de gestión

Considerando que la incidencia estudiada se obtiene de una compleja red tipo árbol de aspectos sociales, ambientales y económicos, es posible calcular cuáles son el conjunto de atributos que más influyen en la incidencia/sensibilidad obtenida en cada paisaje en relación con el plan, programa, proyecto o política identificados y cuáles son los atributos que más dependen de la red sistémica del paisaje. Las influencias de la red son usadas para encontrar las prioridades de gestión, mientras que las dependencias de la red están orientadas a la obtención de los efectos esperados. De esta forma, al identificar las prioridades de manejo y los efectos esperados, se puede establecer un ranking de prioridades y efectos de cada paisaje.

Las influencias y dependencias de los atributos de la red se calculan mediante el algoritmo PWP (Díaz, 2012), organizando de mayor a menor influencia, lo que permite obtener prioridades de gestión para cada unidad de paisaje:

$$T = \frac{1}{e-1} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{D^k}{k!}$$

Donde D es la matriz de Redes de Implicaciones y T es la matriz de influencias indirectas. El desarrollo se expone en la Sección 4.

1.6. Identificación de tipologías de gestión

Dado que, dos unidades espaciales en el mapa de incidencia obtenido pueden tener la misma calificación cualitativa, pero no necesariamente las mismas prioridades de gestión, se ha establecido que el conjunto de todas las unidades espaciales con las mismas prioridades de gestión define una tipología de gestión.

Esta aproximación facilita la proposición de lineamientos de gestión y hace consciente al tomador de decisiones sobre que, si bien diferentes paisajes tienen la misma incidencia crítica por la implementación, la manera de gestionarlas no necesariamente debe ser la misma. El desarrollo se expone en la Sección 4.1.

1.7. Definición de lineamientos de gestión según tipologías

Una vez identificadas las tipologías de gestión, se definen los lineamientos de gestión para cada una de las tipologías identificadas mediante talleres con expertos. Los lineamientos abordan la gestión socioeconómica y ambiental de cada tipología en las unidades espaciales de análisis. La forma de proponer los lineamientos se basa en la identificación de estrategias establecidas que cambien convenientemente los valores de los condicionantes utilizados en las relaciones. Por lo

tanto, los lineamientos deben cambiar la ponderación en la estructura de la red. El desarrollo se expone en la Sección 4.2.

2. Dinámica de Sistemas

Para cumplir con el objetivo de la iniciativa TEEB AgriFood Colombia, el segundo modelo que se desarrolló se basa en la Dinámica de Sistemas. Este modelo estudia las relaciones entre el uso del suelo, la provisión de servicios ecosistémicos, las cadenas de valor asociadas y el bienestar humano en el territorio, este último abordado desde un enfoque de seguridad alimentaria y acceso al agua potable. A continuación, se describe la metodología de modelamiento y se expone el modelo matemático base que se construyó específicamente para la iniciativa TEEB AgriFood Colombia.

La Dinámica de Sistemas es una metodología sistémica de modelamiento matemático desarrollada por Jay Forrester del MIT, en la que se obtiene un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias dependientes del tiempo, a partir de un diagrama de causas y efectos, el cual es traducido en ecuaciones a través de una representación denominada diagrama de niveles y flujos.

La metodología para el modelamiento con Dinámica de Sistemas tiene diferentes versiones, (por ejemplo, vea Sterman (2000, pág. 86)), sin embargo, en esta ocasión se considerará la metodología propuesta por Aracil & Gordillo (1997) basada en tres pasos:

1. **Conceptualización:** en este paso se trata la construcción de un diagrama causal del sistema para el problema definido, a través de enunciados de las relaciones de causa y efecto entre los diferentes atributos del sistema, donde necesariamente se espera la identificación de bucles de realimentación. Esta actividad se puede realizar a través de talleres con expertos y/o revisión de información secundaria.
2. **Formulación:** consiste en la traducción del diagrama causal a un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias que serán denominadas el modelo matemático del sistema. La traducción se hace a través de un diagrama denominado el diagrama de niveles y flujos, en el que se realiza la interpretación de los atributos del diagrama causal con niveles (variables de estado), flujos (razones de cambio), variables auxiliares y parámetros, lo cual permite la definición de ecuaciones de nivel, ecuaciones de flujo y ecuaciones auxiliares, que por sustitución darán lugar al modelo matemático.
3. **Evaluación:** en este paso final se realiza la calibración, validación y puesta en producción del modelo matemático. La calibración se realiza con los datos de la línea base y la validación con las técnicas propuestas por Barlas (1996) para esta técnica de modelamiento.

2.1. Diagrama causal

En Dinámica de Sistemas el diagrama causal es ampliamente conocido y definido por diferentes autores, de acuerdo con Ford (2019), este es una herramienta que representa ciclos cerrados de relaciones causa-efecto. Esta representación se da como un diagrama que busca capturar cómo se interrelacionan las variables del sistema y cómo las variables externas los impactan. De igual manera, Bassi et al, (2020) establece que el diagrama causal es una representación esquemática de indicadores y variables clave del sistema en evaluación, que muestra las conexiones causales entre ellos y contribuye a la identificación de bucles de retroalimentación y puntos de entrada de políticas.

De esta forma, se puede afirmar que, el diagrama causal es el constructo en el que se entretajan sistémicamente todos los enunciados causales del sistema representado, de modo que se hagan visibles sus realimentaciones y multicausalidades. Puede ser considerado como el punto de partida para la explicación del modelo que se construye, pero, en la práctica, no es necesario iniciar desde este punto.

A continuación, se presenta el diagrama causal del paisaje, vea Figura 4 donde se muestran los atributos que fueron modelados matemáticamente a través de variables mucho más desagregadas, como se verá en la Sección 2.2. La presentación muestra de forma explícita y sintetizada los atributos endógenos del sistema, es decir, los atributos del sistema socioecológico que forman parte de las estructuras de realimentación o se desprenden de ellas.

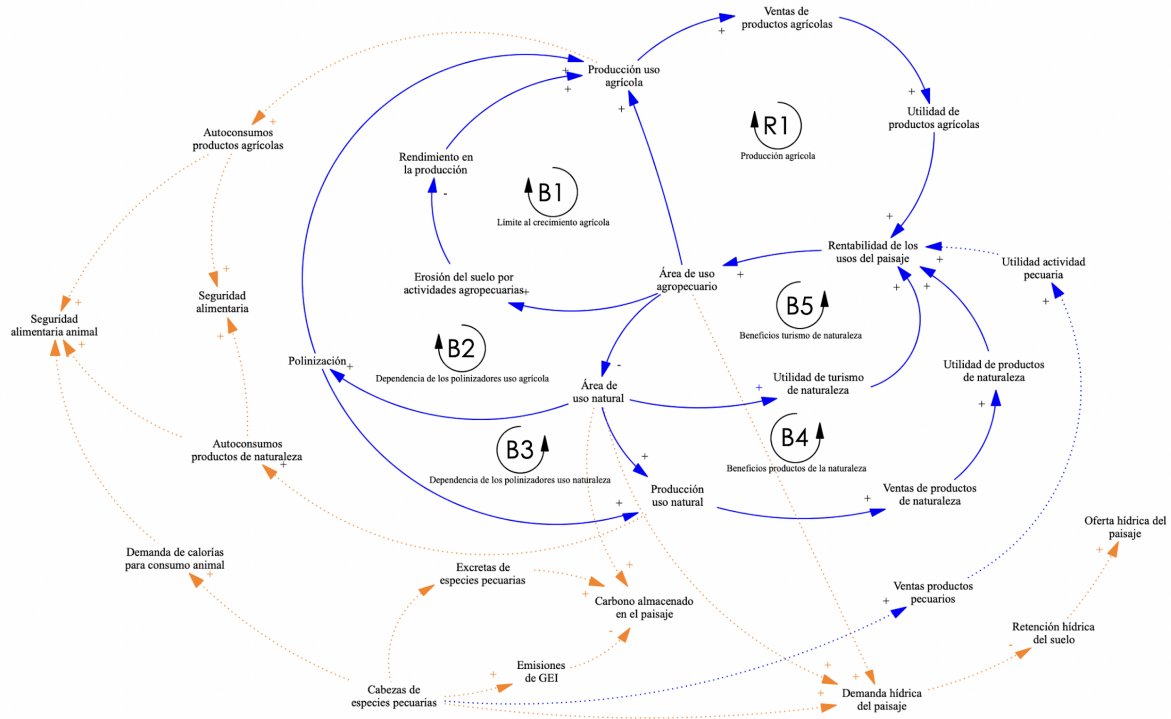


Figura 4: Diagrama causal general para el análisis del paisaje estudiado.

Siguiendo la Figura 4, el incremento del área de uso agropecuario del paisaje conduce al incremento de la producción de uso agrícola, lo que a su vez hace que haya mayores ventas de los productos agrícolas obtenidos, incrementando la utilidad por la venta de estos productos, con lo que la rentabilidad de los usos del paisaje aumenta, conduciendo al aumento de las áreas de uso agropecuario, dando lugar al ciclo de refuerzo *R1*, que se denominó “Producción agrícola”. Este bucle muestra una perspectiva reduccionista de la producción agrícola, en la que básicamente, se produce y se obtienen ganancias, por lo que, siempre se demanda más áreas de uso agropecuario para obtener beneficios monetarios. Sin embargo, el aumento de las áreas de uso agropecuario conduce al aumento de actividades de preparación para nuevas siembras del mismo cultivo u otros, en los cultivos no permanentes, que favorecen la erosión del suelo, disminuyendo el rendimiento de los usos agropecuarios y, por lo tanto, su producción, dando lugar al ciclo de balance *B1*, denominado “Límite al crecimiento agrícola”.

Dado que, el incremento de las áreas de uso agropecuario ocurre disminuyendo las áreas de uso natural, consideradas aquí como bosques, herbazales y humedales, se disminuye la provisión de hábitat para los polinizadores, a la vez que su efecto de polinización, condicionando la producción de los usos agropecuarios y la producción de los usos naturales, vea ciclo de balance *B2* (dependencia de los polinizadores usos agrícolas) y *B3* (dependencia de los polinizadores uso naturaleza).

Las áreas de uso natural dan lugar al ciclo de balance *B4* de “Beneficios de productos de la naturaleza”, en el que la producción del uso natural da lugar a productos de naturaleza que, a partir de su venta, permiten obtener utilidades que son consideradas en la rentabilidad del paisaje, pero también, al ciclo de balance *B5* de “Beneficios del turismo de naturaleza”, que también da lugar a utilidades que serán consideradas en la rentabilidad del paisaje.

Ahora que, buscando representar los indicadores de la consultoría y debido a que las producciones de los usos del paisaje no son solo utilizadas para la venta, sino también, para el autoconsumo (para alimentación humana, para alimentación de especies pecuarias y para la obtención de semillas), se ha considerado la manera como esos autoconsumos afectan la seguridad alimentaria de las personas y de las especies pecuarias, de acuerdo con sus demandas, derivadas de factores de consumo y número de individuos. También se tuvo en cuenta cómo los usos del paisaje afectan el carbono y la oferta hídrica del paisaje, sin considerar sus realimentaciones, lo cual no compromete los resultados obtenidos, a pesar que, hubiera sido deseable, pero expandía los alcances definidos para este proyecto y los recursos para ejecutarlo.

2.2. Modelo matemático del comportamiento tendencial del paisaje

En esta sección se presenta cómo a través de la Dinámica de Sistemas, se obtuvo un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias de primer orden, para el análisis del comportamiento tendencial de diferentes escenarios, en cada una de las unidades de paisaje del área de estudio del Valle de Sibundoy.

El modelo es una teoría general para la representación del sistema socioecológico en cada una de las n unidades de paisaje del área de estudio, en cada una de las cuales se tienen m —usos y q —especies de aprovechamiento pecuario, de tal modo que, m y q varían de un paisaje a otro.

En cada paisaje se consideran los productos que se obtienen de los usos, directamente o por transformación, para la venta y el autoconsumo. En el modelo se representaron la provisión de alimentos, el almacenamiento de carbono, el control de la erosión, la oferta y regulación hídrica, la polinización, la provisión de hábitat, el turismo de naturaleza, la seguridad alimentaria y la heterogeneidad de los usos en el paisaje, siguiendo el diagrama causal de la Figura 4.

2.2.1. Provisión de alimentos

En este modelo, la provisión de alimentos se refiere a los alimentos que se obtienen para la venta o el autoconsumo, desde los diferentes usos agropecuarios y áreas naturales que se tienen en el paisaje, dependiendo del rendimiento del suelo en el que se desarrolla el uso. De este modo, se considera que en cada paisaje se tienen m usos agropecuarios, con m distinto para cada paisaje, dados en [hectáreas], los cuales podrían estar constituidos por p coberturas diferentes, y los usos

de bosque B , herbazales H_e y humedales H_u , dados en [hectáreas], representativos de las áreas naturales.

Cada uno de los usos agropecuarios fueron considerados en los momentos de preparación SPU_i , siembra SSU_i y cosecha SCU_i , bajo la lógica que, el suelo preparado se convierte en suelo sembrado por la siembra, el suelo sembrado en suelo cosechado por la cosecha y el suelo cosechado en suelo preparado por la preparación, siempre teniendo en consideración los retardos que ocurren en cada uno de estos momentos.

A continuación, se presenta cómo cada momento del uso agropecuario y cada uso natural se transforman en el tiempo t , tomando como unidad temporal el [trimestre], dando lugar a la producción de los usos del paisaje, vea Figura 5.

El cambio del suelo preparado del i –ésimo uso agropecuario SPU_i depende de la preparación que se hace del mismo uso PpU_i y de las áreas naturales (preparación de bosques $PpBU_i$, preparación de herbazales $PpH_e U_i$ y preparación de humedales $PpH_u U_i$), junto con los cambios que se realicen de otros usos agropecuarios hacia el i –ésimo uso $CU_j U_i$, $j = 1, \dots, m - 1$, y de la siembra del i –ésimo uso agropecuario SSU_i , todos dados en [hectáreas/trimestre], como se muestra a continuación:

$$\frac{d}{dt}SPU_i = PpU_i + PpBU_i + PpH_e U_i + PpH_u U_i + \sum_{j=1}^{m-1} CU_j U_i - SiU_i$$

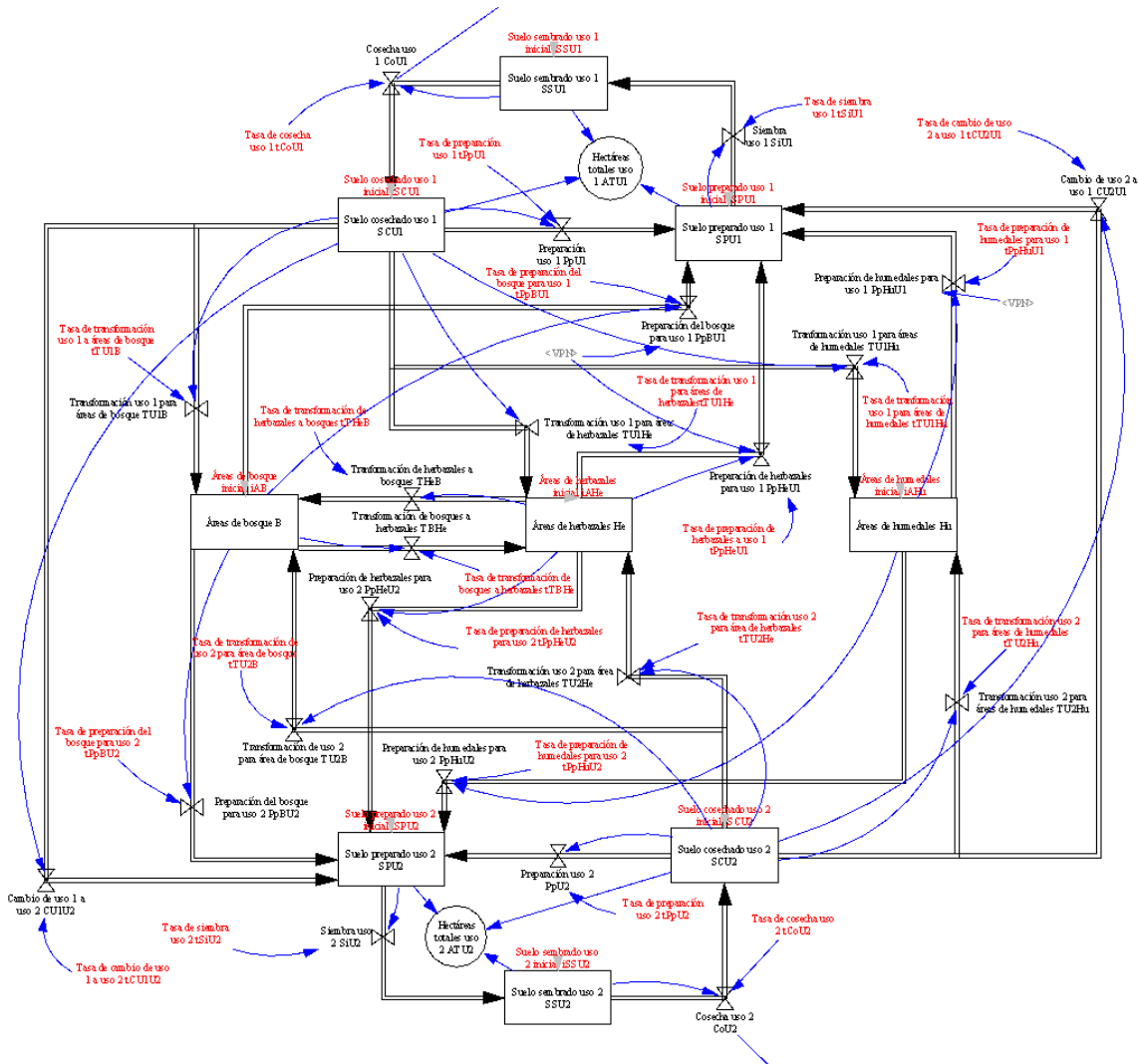


Figura 5: Representación de los usos y las áreas naturales en el diagrama de niveles y flujos. Aparecen dos usos porque a partir de ellos se puede extender hasta m por el método de inducción.

La preparación del i –ésimo uso agropecuario PpU_i ocurre después de un retardo, relacionado con el tiempo que el suelo estará en situación de cosecha. Esto se expresa a través de un retardo de primer orden (Sterman, 2010, p.416) como el producto entre la tasa de preparación del uso agropecuario² [$trimestre^{-1}$] y el área de suelo cosechado del i –ésimo uso agropecuario SCU_i , dada en [hectáreas]:

$$PpU_i = tPpU_i \cdot SCU_i$$

² Esta tasa de flujo define implícitamente la proporción de material que pasa y el tiempo que le toma hacerlo, es decir, el retardo.

Los bosques, herbazales y humedales que serán convertidos en el i –ésimo uso agropecuario mediante la preparación, vienen dadas por tasas de preparación (tasa de preparación de bosques para el i –ésimo uso agropecuario $tPpBU_i$, tasa de preparación de herbazales para el i –ésimo uso agropecuario $tPpH_e U_i$ y tasa de preparación de humedales para el i –ésimo uso agropecuario $tPpH_u U_i$), dadas en $[trimestre^{-1}]$, y por las áreas naturales (bosques B , herbazales H_e y humedales H_u), dadas en $[hectáreas]$, en consideración que, para que estas preparaciones ocurran, debe existir una motivación, aquí definida en términos de la rentabilidad del paisaje expresada como VPN , como se muestra a continuación:

$$\begin{aligned} PpBU_i &= \{tPpBU_i \cdot B \text{ si } VPN > 0 \quad 0 \quad VPN \leq 0 \\ PpH_e U_i &= \{tPpH_e U_i \cdot H_e \text{ si } VPN > 0 \quad 0 \quad VPN \leq 0 \\ PpH_u U_i &= \{tPpH_u U_i \cdot H_u \text{ si } VPN > 0 \quad 0 \quad VPN \leq 0 \end{aligned}$$

Los cambios que se realicen de otros usos agropecuario hacia el i –ésimo uso $CU_j U_i$, $j = 1, \dots, m - 1$, después de un retardo, son el producto entre la tasa de cambio del j –ésimo uso al i –ésimo uso agropecuario $tCU_j U_i$, dada en $[trimestre^{-1}]$, y el área de suelo cosechado del j –ésimo uso agropecuario SCU_j , dado en $[hectáreas]$:

$$CU_j U_i = tCU_j U_i \cdot SCU_j$$

Como se mencionó, el suelo preparado, después de un retardo, se convierte en suelo sembrado, mediante la siembra del i –ésimo uso agropecuario SiU_i , definida como el producto entre la tasa de siembra del i –ésimo uso agropecuario $tSiU_i$, dada en $[trimestre^{-1}]$ y el área de suelo preparado del i –ésimo uso agropecuario SPU_i , dada en $[hectáreas]$:

$$SiU_i = tSiU_i \cdot SPU_i$$

El cambio del suelo sembrado del i –ésimo uso agropecuario SSU_i es la diferencia entre lo que se siembra SiU_i y se cosecha CoU_i del uso agropecuario, todos dados en $[hectáreas/trimestre]$:

$$\frac{d}{dt}SSU_i = SiU_i - CoU_i$$

Donde la siembra del i –ésimo uso agropecuario SiU_i es como se ya se había expresado y la cosecha del i –ésimo uso agropecuario CoU_i es el producto entre la tasa de cosecha del i –ésimo uso agropecuario $tCoU_i$, dada en $[trimestre^{-1}]$ y el área de suelo sembrado del i –ésimo uso

agropecuaria SSU_i , dada en [hectáreas], representando el retardo entre el suelo sembrado y el suelo cosechado:

$$CoU_i = tCoU_i \cdot SSU_i$$

El cambio del suelo cosechado del i –ésimo uso agropecuario SCU_i depende de lo cosechado CoU_i y de lo preparado PpU_i en el mismo uso, de lo que será transformado del uso agropecuario para convertirse en áreas naturales (transformación a bosques TU_iB , transformación a herbazales TU_iH_e y transformación a humedales TU_iH_u) y de lo que se convertirá del uso a otros usos agropecuarios CU_iU_j , todos dados en [hectáreas/trimestre], como se muestra a continuación:

$$\frac{d}{dt}SCU_i = CoU_i - PpU_i - TU_iB - TU_iH_e - TU_iH_u - \sum_{j=1}^{m-1} CU_iU_j$$

La cosecha del i –ésimo uso agropecuario CoU_i y la preparación del i –ésimo uso agropecuario PpU_i ya fueron definidas arriba. Las transformaciones del suelo cosechado del i –ésimo uso agropecuario SCU_i a bosques, herbazales y humedales, dadas en [hectáreas/trimestre] (transformación del bosque al i –ésimo uso agropecuario TU_iB , transformación de herbazales al i –ésimo uso agropecuario TU_iH_e , transformación de humedales al i –ésimo uso agropecuario TU_iH_u) vienen dadas por tasas de transformación en [trimestre⁻¹] (tasa de transformación del i –ésimo uso agropecuario a bosques tTU_iB , tasa de transformación del i –ésimo uso agropecuario a herbazales tTU_iH_e y tasa de transformación del i –ésimo uso agropecuario a humedales tTU_iH_u) y el suelo cosechado del i –ésimo uso agropecuario SCU_i , dado en [hectáreas], como se expresa a continuación:

$$\begin{aligned} TU_iB &= tTU_iB \cdot SCU_i \\ TU_iH_e &= tTU_iH_e \cdot SCU_i \\ TU_iH_u &= tTU_iH_u \cdot SCU_i \end{aligned}$$

Los cambios que se realicen del i –ésimo uso agropecuario a otros usos CU_iU_j , $j = 1, \dots, m - 1$, son el producto entre la tasa de cambio del i –ésimo uso agropecuario al j –ésimo uso agropecuario tCU_iU_j , dada en [trimestre⁻¹], y el área de suelo cosechado del i –ésimo uso agropecuario SCU_i , dado en [hectáreas], después de un retardo:

$$CU_iU_j = tCU_iU_j \cdot SCU_i$$

El cambio de las áreas de bosque B está determinado por las transformaciones de otros usos agropecuarios a bosque $TU_i B$, por la preparación que se hace de los bosques a usos agropecuarios $PpBU_i$ y por los intercambios que tiene con los herbazales (es decir, la transformación de herbazales a bosques $TH_e B$ y la transformación de bosques a herbazales TBH_e), todos dados en [hectáreas/trimestre], como sigue:

$$\frac{d}{dt}B = \sum_{i=1}^m TU_i B + TH_e B - \sum_{i=1}^m PpBU_i - TBH_e$$

Donde la transformación de herbazales a bosques $TH_e B$ y la transformación de bosques a herbazales TBH_e , se define por las tasas de cambio de transformación de herbazales a bosques $tTH_e B$ y de transformación de bosques a herbazales $tTBH_e$, dadas en [trimestre^{-1}], como sigue:

$$TH_e B = tTH_e B \cdot H_e$$

$$TBH_e = tTBH_e \cdot B$$

El cambio de las áreas de herbazales H_e está determinado por las transformaciones de otros usos agropecuarios a herbazales $TU_i H_e$, por la preparación que se hace de los herbazales a usos agropecuarios $PpH_e U_i$ y por los intercambios que tiene con los bosques (es decir, la transformación de herbazales a bosques $TH_e B$ y la transformación de bosques a herbazales TBH_e), todos dados en [hectáreas/trimestre], como sigue:

$$\frac{d}{dt}H_e = \sum_{i=1}^m TU_i H_e + TBH_e - \sum_{i=1}^m PpH_e U_i - TH_e B$$

El cambio de las áreas de humedales H_u , está determinado por las transformaciones de otros usos agropecuarios a bosque $TU_i H_u$ y por la preparación que se hace de los bosques a usos agropecuarios $PpH_u U_i$, todos dados en [hectáreas/trimestre], como sigue:

$$\frac{d}{dt}H_u = \sum_{i=1}^m TU_i H_u - \sum_{i=1}^m PpH_u U_i$$

La producción de los usos que será utilizada para la venta (directa o por transformación) y el autoconsumo (para alimentación humana, para alimentación animal y para semillas), depende de

las cosechas, de sus rendimientos³, de la polinización y de la erosión del suelo, vea Figura 6 y Figura 7.

La producción del i –ésimo uso agropecuario PdU_i dado en [toneladas/trimestre], es el producto entre el rendimiento del i –ésimo uso agropecuario RU_i , dado en [toneladas/hectáreas] y la cosecha CoU_i , dada en [hectáreas/trimestre], bajo la acción de los polinizadores del i –ésimo uso agropecuario PnU_i , como se muestra a continuación:

$$PdU_i = RU_i \cdot CoU_i \cdot PnU_i$$

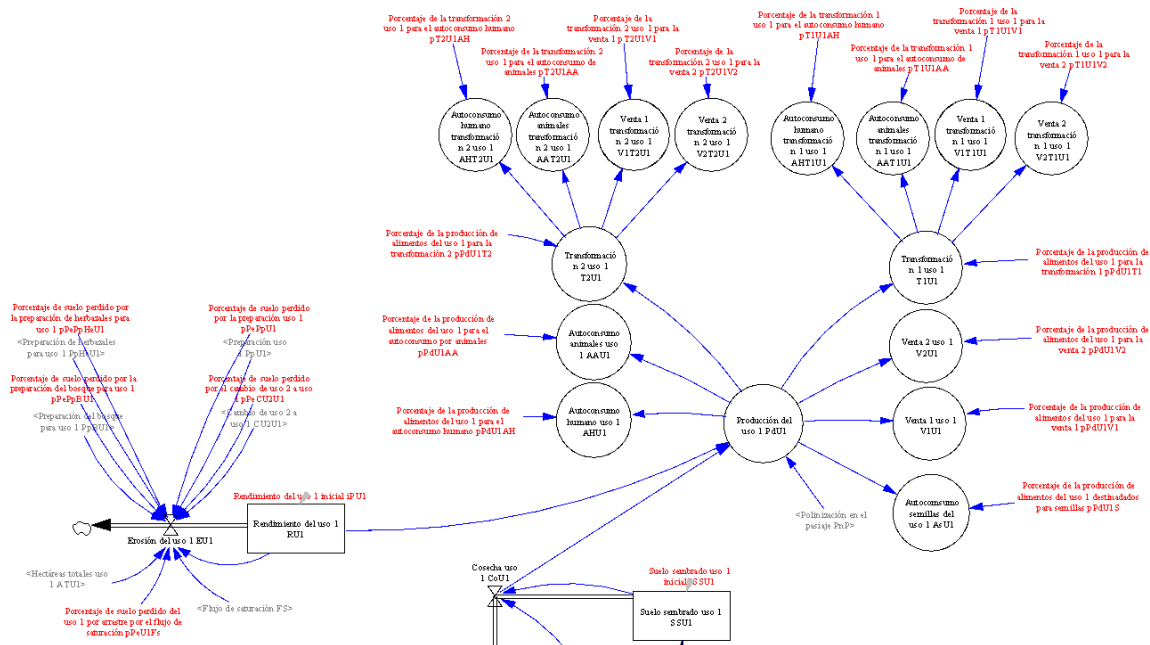


Figura 6: Representación de la producción y rendimiento del i –ésimo uso agropecuario del paisaje en el diagrama de niveles y flujos.

La cosecha del i –ésimo uso agropecuario CoU_i fue explicada líneas arriba, mientras que la polinización del i –ésimo uso agropecuario PnU_i será presentada en la Sección (2.2.5) de este documento.

³ Es claro que la polinización forma parte del cálculo del rendimiento, pero en esta aproximación se han separado para hacer explícito el servicio ecosistémico de polinización y su efecto sobre la producción.

El cambio en un tiempo t , dado en $[trimestre]$, del rendimiento del i –ésimo uso agropecuario RU_i , dado en $[toneladas/hectáreas]$, está determinado negativamente por la erosión del i –ésimo uso agropecuario EU_i , dado en $[toneladas/(hectáreas \cdot trimestre)]$, bajo la ecuación:

$$\frac{d}{dt}RU_i = -EU_i$$

La erosión del i –ésimo uso agropecuario EU_i será presentada en la Sección (2.2.3) de este documento. La producción del i –ésimo uso agropecuario PdU_i se utiliza para ventas directas, autoconsumos (humanos, animales y de semillas) y transformaciones del producto cosechado.

La j –ésima venta directa del i –ésimo uso agropecuario V_jU_i , $i = 1, \dots, m$, $j = 1, \dots, r$, dada en $[hectáreas/trimestre]$, se obtiene a partir de la producción del i –ésimo uso agropecuario PdU_i y el porcentaje de la producción que será utilizado para la j –ésima venta directa del i –ésimo uso agropecuario $pPdU_iV_j$, es decir:

$$V_jU_i = pPdU_iV_j \cdot PdU_i$$

El θ –ésimo autoconsumo con destino al consumo humano del i –ésimo uso agropecuario $AH_\theta U_i$, $i = 1, \dots, m$, $\theta = 1, \dots, s$, dado en $[hectáreas/trimestre]$, se obtiene a partir de la producción del i –ésimo uso agropecuario PdU_i y el porcentaje de la producción que será utilizado para el θ –ésimo autoconsumo con destino al consumo humano del i –ésimo uso agropecuario $pPdU_iAH_\theta$, es decir:

$$AH_\theta U_i = pPdU_iAH_\theta \cdot PdU_i$$

El ϕ –ésimo autoconsumo con destino al consumo animal del i –ésimo uso agropecuario $AA_\phi U_i$, $i = 1, \dots, m$, $\phi = 1, \dots, s$, dado en $[hectáreas/trimestre]$, se obtiene a partir de la producción del i –ésimo uso agropecuario PdU_i y el porcentaje de la producción que será utilizado para el ϕ –ésimo autoconsumo con destino al consumo animal del i –ésimo uso agropecuario $pPdU_iAA_\phi$, es decir:

$$AA_\phi U_i = pPdU_iAA_\phi \cdot PdU_i$$

El ψ –ésimo autoconsumo con destino al uso de semillas del i –ésimo uso agropecuario $As_\psi U_i$, $i = 1, \dots, m$, $\psi = 1, \dots, s$, dado en $[hectáreas/trimestre]$, se obtiene a partir de la producción del i –ésimo uso agropecuario PdU_i y el porcentaje de la producción que será utilizado para el

ψ –ésimo autoconsumo para la obtención de semillas del i –ésimo uso agropecuario $pPdU_i S_\psi$, es decir:

$$As_\psi U_i = pPdU_i S_\psi \cdot PdU_i$$

La k –ésima transformación de los productos obtenidos en el i –ésimo uso agropecuario $T_k U_i$, $i = 1, \dots, m$, $k = 1, \dots, u_i$, dada en *[hectáreas/trimestre]*, se obtiene a partir de la producción del i –ésimo uso PdU_i y el porcentaje de la producción que será utilizado para la k –ésima transformación de los productos obtenidos en el i –ésimo uso agropecuario $pPdU_i T_k$, es decir:

$$T_k U_i = pPdU_i T_k \cdot PdU_i$$

A su vez, de las transformaciones de los productos obtenidos en el i –ésimo uso agropecuario, se obtienen productos para la venta y para los autoconsumos que hacen los humanos y que se ofrecen a los animales.

La l –ésima venta de la k –ésima transformación del i –ésimo uso agropecuario $V_l T_k U_i$, $i = 1, \dots, m$, $k = 1, \dots, u_i$, $l = 1, \dots, v_i$, dada en *[hectáreas/trimestre]*, se obtiene a partir de la k –ésima transformación de los productos obtenidos en el i –ésimo uso agropecuario $T_k U_i$ y del porcentaje de los productos obtenidos de la k –ésima transformación del i –ésimo uso agropecuario que serán utilizados para la l –ésima venta $pPdT_k U_i V_l$, es decir:

$$V_l T_k U_i = pPdT_k U_i V_l \cdot T_k U_i$$

El θ_k –ésimo autoconsumo con destino al consumo humano de la k –ésima transformación del i –ésimo uso agropecuario $AH_{\theta_k} T_k U_i$, $i = 1, \dots, m$, $k = 1, \dots, u_i$, $\theta_k = 1, \dots, wH_i$, dado en *[hectáreas/trimestre]*, se obtiene a partir de la k –ésima transformación de los productos obtenidos en el i –ésimo uso agropecuario $T_k U_i$ y del porcentaje de los productos obtenidos de la k –ésima transformación del i –ésimo uso agropecuario que serán utilizados para el θ_k –ésimo autoconsumo con destino al consumo humano $pPdT_k U_i AH_{\theta_k}$, es decir:

$$AH_{\theta_k} T_k U_i = pPdT_k U_i AH_{\theta_k} \cdot T_k U_i$$

El ϕ_k –ésimo autoconsumo con destino al consumo animal de la k –ésima transformación del i –ésimo uso agropecuario $AA_{\phi_k} T_k U_i$, $i = 1, \dots, m$, $k = 1, \dots, u_i$, $\phi_k = 1, \dots, wA_i$, dado en *[hectáreas/trimestre]*, se obtiene a partir de la k –ésima transformación de los productos obtenidos en el i –ésimo uso agropecuario $T_k U_i$ y del porcentaje de los productos obtenidos de la

k —ésima transformación del i —ésimo uso agropecuario que serán utilizados para el ϕ_k —ésimo autoconsumo con destino al consumo animal $pPdT_k U_i AA_{\phi_k}$, es decir:

$$AA_{\phi_k} T_k U_i = pPdT_k U_i AA_{\phi_k} \cdot T_k U_i$$

La producción de las áreas naturales, de manera homóloga, se utiliza para ventas directas, autoconsumo y transformaciones del producto cosechado.

La producción de las áreas naturales (producción del bosque PdB , producción de los herbazales PdH_e y producción de los humedales PdH_u), dadas en $[toneladas/trimestre]$, es el producto entre sus tasas de producción (del bosque $tPdB$, de los herbazales $tPdH_e$ y de los humedales $tPdH_u$), dadas en $[trimestre^{-1}]$, sus áreas (de bosque B , de herbazales H_e y de humedales H_u), dadas en $[hectárea]$, sus rendimientos (del bosque RB , de los herbazales RH_e y de los humedales RH_u), dados en $[toneladas/hectárea]$ y la polinización (polinización del bosque PnB y polinización de los herbazales PnH_e), como se muestra a continuación:

$$\begin{aligned} PdB &= tPdB \cdot B \cdot RB \cdot PnP \\ PdH_e &= tPdH_e \cdot H_e \cdot RH_e \cdot PnP \\ PdH_u &= tPdH_u \cdot H_u \cdot RH_u \end{aligned}$$

La polinización del paisaje PnP será presentada en la Sección (2.2.5) de este documento.

El cambio en un tiempo t , dado en $[trimestre]$, del rendimiento de las áreas naturales (del bosque RB , de los herbazales RH_e y de los humedales RH_u), dados en $[toneladas/hectáreas]$, está determinado negativamente por su erosión (del bosque EB , de los herbazales EH_e y de los humedales EH_u), dados en $[toneladas/(hectáreas \cdot trimestre)]$, bajo las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} RB &= - EB \\ \frac{d}{dt} RH_e &= - EH_e \\ \frac{d}{dt} RH_u &= - EH_u \end{aligned}$$

Las ecuaciones de erosión serán presentadas en la Sección (2.2.3) de este documento.

La j —ésima venta directa de los productos obtenidos de las áreas naturales (venta de productos de bosques $V_j B$, venta de productos de herbazales $V_j H_e$ y venta de productos de humedales $V_j H_u$, con $j = 1, \dots, rB$ para bosques, $j = 1, \dots, rH_e$ para herbazales y $j = 1, \dots, rH_u$ para humedales), dada en $[hectáreas/trimestre]$, se obtiene a partir de su producción (producción de bosques

PdB , producción de herbazales PdH_e y producción de humedales PdH_u) y del porcentaje de la producción que será utilizado para la j —ésima venta directa de los productos obtenidos de las áreas naturales (porcentaje desde bosques $pPdBV_j$, porcentaje desde herbazales $pPdH_e V_j$ y porcentaje desde humedales $pPdH_u V_j$), es decir:

$$\begin{aligned} V_j B &= pPdBV_j \cdot PdB \\ V_j H_e &= pPdH_e V_j \cdot PdH_e \\ V_j H_u &= pPdH_u V_j \cdot PdH_u \end{aligned}$$

El θ —ésimo autoconsumo con destino al consumo humano de las áreas naturales (autoconsumo de productos de bosques $AH_{\theta_B} B$, autoconsumo de productos de productos de herbazales $AH_{\theta_e} H_e$ y autoconsumo de productos de productos de humedales $AH_{\theta_u} H_u$, con $\theta_B = 1, \dots, sHB$, $\theta_e = 1, \dots, sHH_e$ y $\theta_u = 1, \dots, sHH_u$ para humedales), dado en [hectáreas/trimestre], se obtiene a partir de su producción (producción de bosques PdB , producción de herbazales PdH_e y producción de humedales PdH_u) y del porcentaje de la producción que será utilizado para el θ —ésimo autoconsumo con destino al consumo humano de los productos obtenidos de las áreas naturales (porcentaje desde bosques $pPdBAH_{\theta_B}$, porcentaje desde herbazales $pPdH_e AH_{\theta_e}$ y porcentaje desde humedales $pPdH_u AH_{\theta_u}$), es decir:

$$\begin{aligned} AH_{\theta_B} B &= pPdBAH_{\theta_B} \cdot PdB \\ AH_{\theta_e} H_e &= pPdH_e AH_{\theta_e} \cdot PdH_e \\ AH_{\theta_u} H_u &= pPdH_u AH_{\theta_u} \cdot PdH_u \end{aligned}$$

El ϕ —ésimo autoconsumo con destino al consumo animal de las áreas naturales (autoconsumo de productos de bosques $AA_{\phi_B} B$, autoconsumo de productos de productos de herbazales $AA_{\phi_e} H_e$ y autoconsumo de productos de productos de humedales $AA_{\phi_u} H_u$, con $\phi_B = 1, \dots, sAB$, $\phi_e = 1, \dots, sAH_e$ para herbazales y $\phi_u = 1, \dots, sAH_u$ para humedales), dado en [hectáreas/trimestre], se obtiene a partir de su producción (producción de bosques PdB , producción de herbazales PdH_e y producción de humedales PdH_u) y del porcentaje de la producción que será utilizado para el ϕ —ésimo autoconsumo con destino al consumo animal de los productos obtenidos de las áreas naturales (porcentaje desde bosques $pPdBA\phi$, porcentaje desde herbazales $pPdH_e AA_{\phi_e}$ y porcentaje desde humedales $pPdH_u AA_{\phi_u}$), es decir:

$$AA_{\phi_B} B = pPdBA\phi \cdot PdB$$

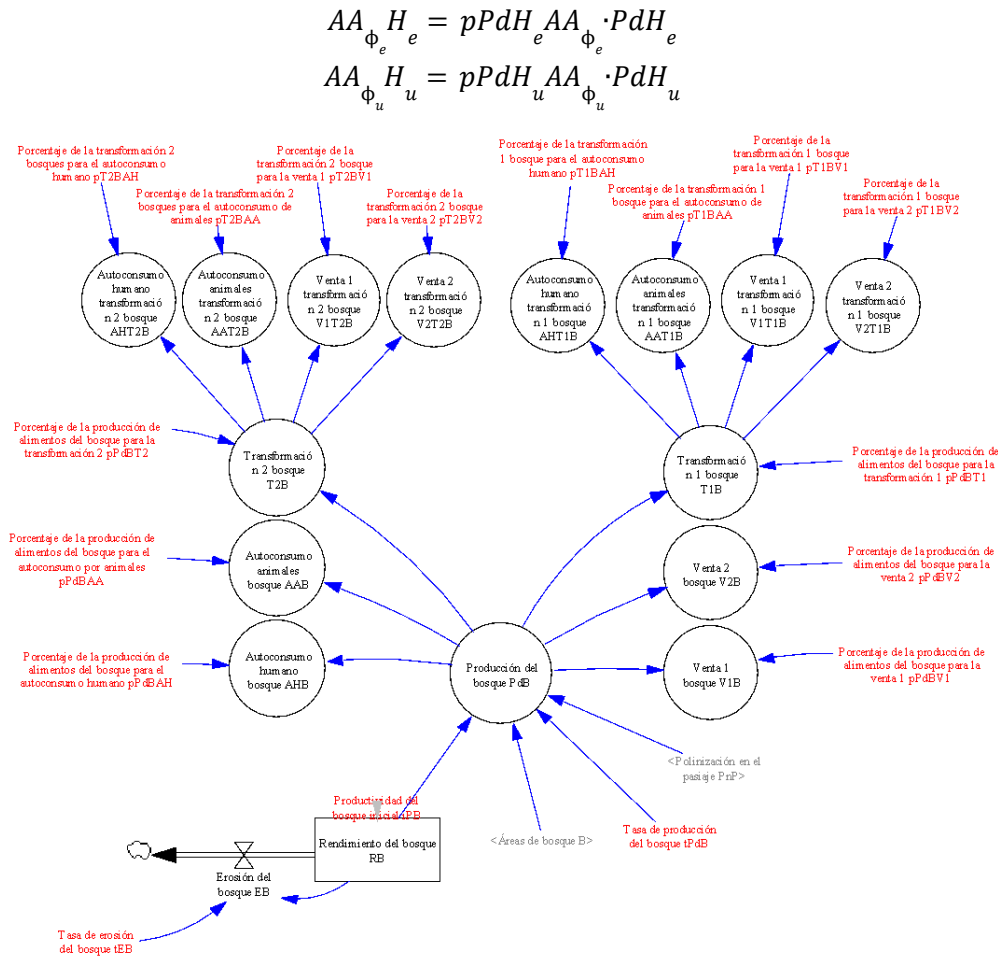


Figura 7: Representación de la producción y rendimiento de una de las áreas naturales en el diagrama de niveles y flujos. Las representaciones de herbazales y humedales son equivalentes.

La k —ésima transformación de los productos obtenidos de las áreas naturales (transformación de productos de bosques $T_k B$, transformación de productos de herbazales $T_k H_e$ y transformación de productos de humedales $T_k H_u$, con $k = 1, \dots, uB$ para bosques, $k = 1, \dots, uH_e$ para herbazales y $k = 1, \dots, uH_u$ para humedales), dada en [hectáreas/trimestre], se obtiene a partir de su producción (producción de bosques PdB , producción de herbazales PdH_e y producción de humedales PdH_u) y del porcentaje de la producción de las áreas naturales que serán transformados (porcentaje desde bosques $pPdBT_k$, porcentaje desde herbazales $pPdH_e T_k$ y porcentaje desde humedales $pPdH_u T_k$), es decir:

$$T_k B = pPdBT_k \cdot PdB$$

$$T_k H_e = pPdH_e T_k \cdot PdH_e$$

$$T_k H_u = pPdH_u T_k \cdot PdH_u$$

De nuevo, de las transformaciones de los productos obtenidos en las áreas naturales, se obtienen productos para la venta y para los autoconsumos que hacen los humanos y los animales (en áreas naturales no se consideran autoconsumos de semillas).

La l –ésima venta de la k –ésima transformación de las áreas naturales (venta de la transformación de productos de bosques $V_{l_B} T_{k_B} B$, venta de la transformación de productos de herbazales $V_{l_e} T_{k_e} H_e$ y venta de la transformación de productos de humedales $V_{l_u} T_{k_u} H_u$, con $k_B = 1, \dots, uB$, $l_B = 1, \dots, vB$, $k_e = 1, \dots, uH_e$, $l_e = 1, \dots, vH_e$, $k_u = 1, \dots, uH_u$, y $l_u = 1, \dots, vH_u$, para humedales), dada en [hectáreas/trimestre], se obtiene a partir de la k –ésima transformación de los productos obtenidos de las áreas naturales (transformación de productos de bosques $T_{k_B} B$, transformación de productos de herbazales $T_{k_e} H_e$ y transformación de productos de humedales $T_{k_u} H_u$) y del porcentaje de los productos obtenidos de la k –ésima transformación de las áreas naturales para la venta (porcentaje desde bosques $pPdT_{k_B} BV_{l_B}$, porcentaje desde herbazales $pPdT_{k_e} H_e V_{l_e}$ y porcentaje desde humedales $pPdT_{k_u} H_u V_{l_u}$), es decir:

$$V_{l_B} T_{k_B} B = pPdT_{k_B} BV_{l_B} \cdot T_{k_B} B$$

$$V_{l_e} T_{k_e} H_e = pPdT_{k_e} H_e V_{l_e} \cdot T_{k_e} H_e$$

$$V_{l_u} T_{k_u} H_u = pPdT_{k_u} H_u V_{l_u} \cdot T_{k_u} H_u$$

El θ_k –ésimo autoconsumo con destino al consumo humano de la k –ésima transformación de las áreas naturales (autoconsumo de la transformación de productos de bosques $AH_{\theta_{k_B}} T_{k_B} B$, autoconsumo de la transformación de productos de herbazales $AH_{\theta_{k_e}} T_{k_e} H_e$ y autoconsumo de la transformación de productos de humedales $AH_{\theta_{k_u}} T_{k_u} H_u$, con $k_B = 1, \dots, uB$, $\theta_{k_B} = 1, \dots, wHB$, $k_e = 1, \dots, uH_e$, $\theta_{k_e} = 1, \dots, wHH_e$, $k_u = 1, \dots, uH_u$, $\theta_{k_u} = 1, \dots, wHH_u$, para humedales), dada en [hectáreas/trimestre], se obtiene a partir de la k –ésima transformación de los productos obtenidos de las áreas naturales (transformación de productos de bosques $T_{k_B} B$, transformación de productos de herbazales $T_{k_e} H_e$ y transformación de productos de humedales $T_{k_u} H_u$) y del porcentaje de los productos obtenidos de la k –ésima transformación de las áreas naturales para

el autoconsumo humano (porcentaje desde bosques $pPdT_{k_B} BAH_{\theta_{k_B}}$, porcentaje desde herbazales $pPdT_{k_e} H_e AH_{\theta_{k_e}}$ y porcentaje desde humedales $pPdT_{k_u} H_u AH_{\theta_{k_u}}$), es decir:

$$\begin{aligned} AH_{\theta_{k_B}} T_{k_B} B &= pPdT_{k_B} BAH_{\theta_{k_B}} \cdot T_{k_B} B \\ AH_{\theta_{k_e}} T_{k_e} H_e &= pPdT_{k_e} H_e AH_{\theta_{k_e}} \cdot T_{k_e} H_e \\ AH_{\theta_{k_u}} T_{k_u} H_u &= pPdT_{k_u} H_u AH_{\theta_{k_u}} \cdot T_{k_u} H_u \end{aligned}$$

El l –ésimo autoconsumo con destino al consumo animal de la k –ésima transformación de las áreas naturales (autoconsumo de la transformación de productos de bosques $AA_l T_k B$, autoconsumo de la transformación de productos de herbazales $AA_l T_k H_e$ y autoconsumo de la transformación de productos de humedales $AA_l T_k H_u$, con $k = 1, \dots, uB_l$, $l = 1, \dots, wAB_l$, para bosques, $k = 1, \dots, uHe_l$, $l = 1, \dots, wAHe_l$, para herbazales y $k = 1, \dots, uHu_l$, $l = 1, \dots, wAHu_l$, para humedales), dada en $[hectáreas/trimestre]$, se obtiene a partir de la k –ésima transformación de los productos obtenidos de las áreas naturales (transformación de productos de bosques $T_k B$, transformación de productos de herbazales $T_k H_e$ y transformación de productos de humedales $T_k H_u$) y del porcentaje de los productos obtenidos de la k –ésima transformación de las áreas naturales para el autoconsumo animal (porcentaje desde bosques $pPdT_k BAA_l$, porcentaje desde herbazales $pPdT_k H_e AA_l$ y porcentaje desde humedales $pPdT_k H_u AA_l$), es decir:

$$\begin{aligned} AA_l T_k B &= pPdT_k BAA_l \cdot T_k B \\ AA_l T_k H_e &= pPdT_k H_e AA_l \cdot T_k H_e \\ AA_l T_k H_u &= pPdT_k H_u AA_l \cdot T_k H_u \end{aligned}$$

Para estimar la provisión de alimentos que se generan desde las especies pecuarias del paisaje, se considera que, en cada paisaje, dependiendo de la μ –ésima especie en producción, se podrían tener η productos alimenticios tipo o ξ subproductos de alimentos del η –ésimo tipo, con destino para la venta o el autoconsumo. Para el caso, un producto como la leche es un producto tipo, mientras que, un producto como el queso, es un subproducto del producto tipo que es la leche.

De esta forma, el producto del η –ésimo tipo de la μ –ésima especie $ATi_{\eta} E_{\mu}$, $\mu = 1, \dots, q$, $\eta = 1, \dots, q_{\eta}$, dado $[tonelada/trimestre]$, se calcula a partir de la tasa de producción de alimentos del η –ésimo tipo de la μ –ésima especie $tATi_{\eta} E_{\mu}$, dada en $[toneladas/(trimestre \cdot cabeza)]$, y las cabezas en ceba de la μ –ésima especie CSE_{μ} con las que se cuenta para obtener dicho producto, dadas en $[cabezas]$, es decir:

$$ATi_{\eta \mu} E = tATi_{\eta \mu} E \cdot CSE_{\mu}$$

El ξ –ésimo subproducto del η –ésimo tipo de la μ –ésima especie $As_{\xi}Ti_{\eta \mu} E$, $\mu = 1, \dots, q$, $\eta = 1, \dots, q_T$, $\xi = 1, \dots, q_s$, dado en *[toneladas/trimestre]*, es un porcentaje $fAs_{\xi}Ti_{\eta \mu} E$ del producto del η –ésimo tipo de la μ –ésima especie $ATi_{\eta \mu} E$ que será convertido en el subproducto, como se muestra a continuación:

$$As_{\xi}Ti_{\eta \mu} E = fAs_{\xi}Ti_{\eta \mu} E \cdot ATi_{\eta \mu} E$$

Una porción de los productos y de los subproductos es destinada a la venta, mientras que la restante se destina al autoconsumo humano.

La venta del producto del η –ésimo tipo de la μ –ésima especie $VATi_{\eta \mu} E$, $\mu = 1, \dots, q$, $\eta = 1, \dots, q_T$, dado en *[tonelada/trimestre]*, se estima con un factor de venta $fVATi_{\eta \mu} E$ del producto del η –ésimo tipo de la μ –ésima especie $ATi_{\eta \mu} E$, que expresa el porcentaje del producto que será vendido, como sigue:

$$VATi_{\eta \mu} E = fVATi_{\eta \mu} E \cdot ATi_{\eta \mu} E$$

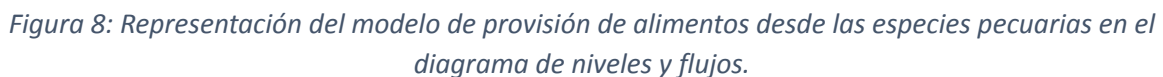
La venta del ξ –ésimo subproducto del η –ésimo tipo de la μ –ésima especie $VAs_{\xi}Ti_{\eta \mu} E$, $\mu = 1, \dots, q$, $\eta = 1, \dots, q_T$, $\xi = 1, \dots, q_s$, dado en *[tonelada/trimestre]*, se estima con un factor de venta $fVAs_{\xi}Ti_{\eta \mu} E$ del ξ –ésimo subproducto del η –ésimo tipo de la μ –ésima especie $As_{\xi}Ti_{\eta \mu} E$, que expresa el porcentaje del subproducto que será vendido, como sigue:

$$VAs_{\xi}Ti_{\eta \mu} E = fVAs_{\xi}Ti_{\eta \mu} E \cdot As_{\xi}Ti_{\eta \mu} E$$

El autoconsumo del producto del η –ésimo tipo de la μ –ésima especie $AHTi_{\eta \mu} E$, $\mu = 1, \dots, q$, $\eta = 1, \dots, q_T$, dado *[tonelada/trimestre]*, se estima con un factor de autoconsumo $fAHTi_{\eta \mu} E$ del producto del η –ésimo tipo de la μ –ésima especie $ATi_{\eta \mu} E$, que expresa el porcentaje del producto que será destinado al autoconsumo, como sigue:

$$AHTi_{\eta \mu} E = fAHTi_{\eta \mu} E \cdot ATi_{\eta \mu} E$$

El autoconsumo del ξ –ésimo subproducto del η –ésimo tipo de la μ –ésima especie $AHS_{\xi}Ti_{\eta \mu} E$, $\mu = 1, \dots, q$, $\eta = 1, \dots, q_T$, $\xi = 1, \dots, q_s$, dado *[tonelada/trimestre]*, se estima con un factor de autoconsumo $fAHS_{\xi}Ti_{\eta \mu} E$ del ξ –ésimo subproducto del η –ésimo tipo de la μ –ésima especie $As_{\xi}Ti_{\eta \mu} E$, que expresa el porcentaje del producto que será destinado al autoconsumo, como sigue:



La venta de carne de la μ – ésima especie V_{CaE}_{μ} , dada en $[tonelada/trimestre]$, depende de la cantidad de carne que se obtiene por cabeza de los animales en ceba de la μ – ésima especie

$fCaE_\mu$, dada en [tonelada/cabeza], del porcentaje de la carne que será destinada para la venta $fVCaE_\mu$, y del beneficio de los animales en ceba de la μ – ésima especie BE_μ , $\mu = 1, \dots, q$, dado en [cabezas/trimestre], como sigue:

$$VCaE_\mu = fCaE_\mu \cdot fVCaE_\mu \cdot BE_\mu$$

El autoconsumo de carne de la μ – ésima especie $AHCaE_\mu$, dada en [tonelada/trimestre], depende de la cantidad de carne que se obtiene por cabeza de los animales en ceba de la μ – ésima especie $fCaE_\mu$, dada en [tonelada/cabeza], del porcentaje de la carne que será destinada para el autoconsumo $fAHCaE_\mu$, y del beneficio de los animales en ceba de la μ – ésima especie BE_μ , $\mu = 1, \dots, q$, dado en [cabezas/trimestre], como sigue:

$$AHCaE_\mu = fCaE_\mu \cdot fAHCaE_\mu \cdot BE_\mu$$

De este modo, la carne total producida por la μ – ésima especie $CaTE_\mu$, dada en [toneladas/trimestre], consiste en la suma de la venta de carne de la μ – ésima especie $VCaE_\mu$ y el autoconsumo de carne de la μ – ésima especie $AHCaE_\mu$, es decir:

$$CaTE_\mu = VCaE_\mu + AHCaE_\mu$$

El indicador de provisión de alimentos $IPAL$, vea Figura 9, dado en [Toneladas/(hectáreas • trimestre)], es una función de la sumatoria de producciones de los usos agropecuarios PdU_i y la producción de las áreas naturales (producción de bosques PdB , producción de herbazales PdH_e y producción de humedales PdH_u), dadas en [toneladas/trimestre], dividido en el área total del paisaje ATP , dada en [hectáreas], es decir:

$$IPAL = \frac{1}{ATP} \left(\sum_{i=1}^m PdU_i + PdB + PdH_e + PdH_u \right)$$

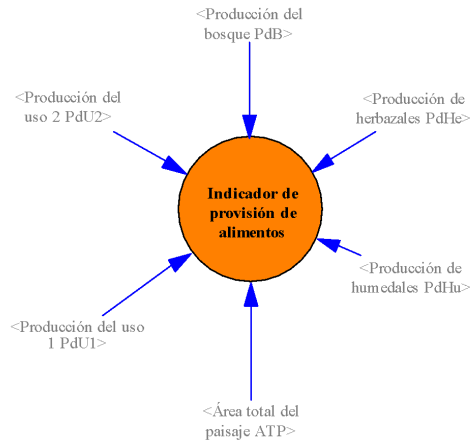


Figura 9: Representación del modelo de provisión de alimentos de los usos en el diagrama de niveles y flujos.

Nótese que los $(r + uv)$ —productos que serán vendidos en el paisaje, serán la sumatoria de los productos de venta directa de cada uso r_i , de los bosques rB , de los herbazales rH_e y de los humedales rH_u , además de los productos que se obtienen de las transformaciones de cada uno de los m usos del paisaje $u_i v_i$, del bosque $u_B vB$, de los herbazales $uH_e vH_e$ y de los humedales $uH_u vH_u$, es decir:

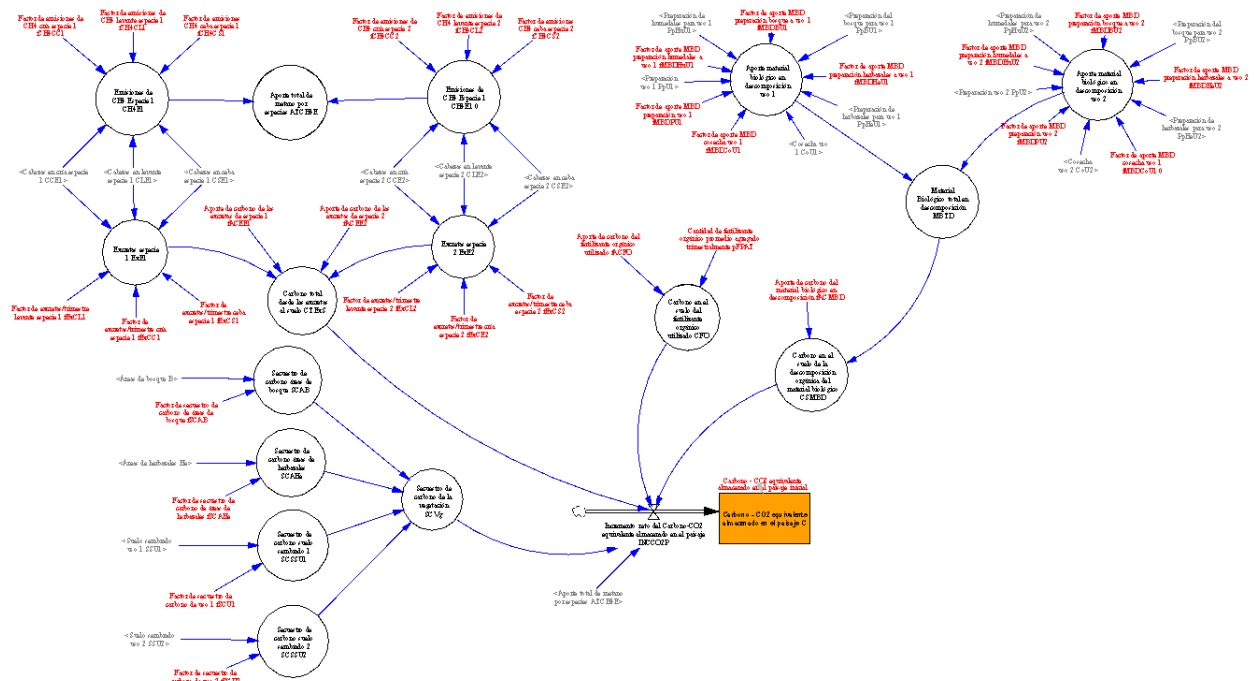
$$r + uv = \sum_{i=1}^m (r_i + u_i v_i) + rB + rH_e + rH_u + u_B vB + uH_e vH_e + uH_u vH_u$$

Por otro lado, los $(s + uw)$ —productos que serán autoconsumidos en el paisaje, serán la sumatoria de los autoconsumos de humanos, animales y semillas, de cada uso $sH_i + sA_i + sS_i$, de los bosques $sHB + sAB$, de los herbazales $sHH_e + sAH_e$ y de los humedales $sHH_u + sAH_u$, además de los autoconsumos de humanos y animales que se obtienen de las transformaciones de cada uno de los m usos del paisaje $u_i wH_i + u_i wA_i$, del bosque $u_B wHB + u_B wAB$, de los herbazales $uH_e wHH_e + uH_e wAH_e$ y de los humedales $uH_u wHH_u + uH_u wAH_u$, es decir:

$$s + uw = \sum_{i=1}^m (sH_i + sA_i + sS_i + u_i wH_i + u_i wA_i) + sHB + sAB + sHH_e + sAH_e + sHH_u + sAH_u + u_B wHB +$$

2.2.2. Almacenamiento de carbono

Los esfuerzos por incrementar el carbono orgánico del suelo han sido denominados secuestro de carbono del suelo, el cual se describe como la remoción a largo plazo o permanente (>100 años) del CO_2 de la atmósfera para almacenarlo en el suelo (Stockmann et al., 2013). El secuestro de carbono del suelo para un paisaje específico es el resultado del balance neto de todos los gases de



El incremento neto del *Carbono* – CO_2 equivalente almacenado en el paisaje *INCCO2P* es la diferencia entre las entradas de carbono (sumatoria del carbono en el suelo de la descomposición orgánica del material biológico *CSMBD* en $[tonCO_2/trimestre]$, del carbono en el suelo del fertilizante orgánico utilizado *CFO* en $[tonCO_2/trimestre]$, del carbono total desde las excretas al suelo *CTExS* en $[tonCO_2/trimestre]$ y del secuestro de carbono de la vegetación *SCVg* en

$[tonCO_2/trimestre]$) y el aporte total de metano por especies $ATCH4E$ en $[tonCO_2/trimestre]$, como se muestra a continuación:

$$INCCO2P = CSMBD + CFO + CTEsS + SCVg - ATCH4E$$

El carbono en el suelo de la descomposición orgánica del material biológico $CSMBD$, dado en $[tonCO_2/trimestre]$, es el producto entre el aporte de carbono del material biológico en descomposición $fACMBD$, dado en $[tonCO_2/ton_{MBD}]$, y el material biológico total en descomposición $MBTD$, dado en $[ton_{MBD}/trimestre]$, como se muestra a continuación:

$$CSMBD = fACMBD \cdot MBTD$$

El material biológico total en descomposición $MBTD$ es la sumatoria de los aportes de material biológico de cada uno de los usos $AMBD_i$, $i = 1, ..., m$, dados en $[ton_{MBD}/trimestre]$, es decir:

$$MBTD = \sum_{i=1}^m AMBD_i$$

Donde cada uno de los aportes de material biológico de cada uno de los usos $AMBD_i$ se calcula a partir de los factores de aporte de las actividades de preparación hacia el i –ésimo uso agropecuario, $i = 1, ..., m$, y de cosecha del mismo, dados en $[ton_{MBD}/hectáreas]$ (factor de aporte MBD preparación i –ésimo uso agropecuario $fMBDPU_i$, factor de aporte MBD preparación bosque a i –ésimo uso agropecuario $fMBDBU_i$, factor de aporte MBD preparación herbazales a i –ésimo uso agropecuario $fMBDHeU_i$, factor de aporte MBD preparación humedales a i –ésimo uso agropecuario $fMBDHuU_i$, factor de aporte MBD cosecha a i –ésimo uso agropecuario $fMBDCoU_i$), como se muestra a continuación:

$$AMBD_i = fMBDPU_i \cdot PpU_i + fMBDBU_i \cdot PpBU_i + fMBDHeU_i \cdot PpHeU_i + fMBDHuU_i \cdot PpHuU_i + fMBDCoU_i \cdot Col$$

El carbono en el suelo del fertilizante orgánico utilizado CFO , dado en $[TonCO_2/trimestre]$, es el producto entre el aporte de carbono del fertilizante orgánico utilizado $fACFO$, dado en $[tonCO_2/ton_{fertilizante}]$, y la cantidad de fertilizante orgánico promedio agregado trimestralmente $pFPAT$, dado en $[ton_{fertilizante}/trimestre]$, es decir:

$$CFO = fACFO \cdot pFPAT$$

El carbono total desde las excretas al suelo $CTEsS$, dado en $[tonCO_2/trimestre]$, es la sumatoria de las excretas de cada una de las especies de aprovechamiento agropecuario en el paisaje $ExEi$,

$i = 1, \dots, q$, dadas en $[ton_{excretas}/trimestre]$, y su respectivo aporte de carbono al suelo $fACCEi$, dado en $[tonCO_2/ton_{excretas}]$, es decir:

$$CTExS = \sum_{i=1}^q ExEi \cdot fACCEi$$

Las excretas de cada una de las especies de aprovechamiento agropecuario en el paisaje $ExEi$, $i = 1, \dots, q$, dadas en $[ton_{excretas}/trimestre]$, se calculan a partir de la cabezas que se tienen de cada especie en cría $CCEi$, levante $CLEi$ y ceba $CSEi$, dadas en $[cabeza]$, y del factor de producción de excretas de cada una de ellas ($fExCCi$ para las crías, $fExCLi$ para las cabezas en levante y $fExCSi$ para las cabezas en ceba, con $i = 1, \dots, q$, dadas en $[ton_{excretas}/(cabeza \cdot trimestre)]$, es decir:

$$ExEi = CCEi \cdot fExCCi + CLEi \cdot fExCLi + CSEi \cdot fExCSi$$

El secuestro de carbono de la vegetación del paisaje SCV_g , dado en $[tonCO_2/trimestre]$, es la suma del secuestro de carbono de las áreas de bosque $SCAB$, el secuestro de carbono de las áreas de herbazales $SCAH_e$ y el secuestro de carbono de todas las áreas de suelo sembrado de los diferentes usos agropecuarios del paisaje $SCSSU_i$, $i = 1, \dots, m$, dados en $[tonCO_2/trimestre]$, es decir:

$$SCV_g = SCAB + SCAH_e + \sum_{i=1}^m SCSSU_i$$

Donde el secuestro de carbono de las áreas de bosque $SCAB$ es el producto entre las áreas de bosque B en $[hectáreas]$ y el factor de secuestro de carbono de las áreas de bosque $fSCAB$ en $[tonCO_2/(hectáreas \cdot trimestre)]$, el secuestro de carbono de las áreas de herbazales $SCAH_e$ es el producto entre las áreas de herbazales H_e en $[hectáreas]$ y el factor de secuestro de carbono de las áreas de herbazales $fSCAH_e$ en $[tonCO_2/(hectáreas \cdot trimestre)]$, y el secuestro de carbono de cada una de las áreas de suelo sembrado de los diferentes usos agropecuarios del paisaje $SCSSU_i$, $i = 1, \dots, m$, es el producto entre el área de suelo sembrado SSU_i de cada uno de los diferentes usos agropecuarios del paisaje $[hectáreas]$ y su respectivo factor de secuestro de carbono $fSCU_i$, $i = 1, \dots, m$, en $[TonCO_2/(hectáreas \cdot trimestre)]$, como se presenta en las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} SCAB &= fSCAB \cdot B \\ SCAH_e &= fSCAH_e \cdot H_e \\ SCSSU_i &= fSCSSU_i \cdot SSU_i \end{aligned}$$

El aporte total de metano por especies pecuarias $ATCH4E$ en $[tonCO_2/trimestre]$ es la sumatoria de las emisiones de metano de cada una de las especies pecuarias del paisaje $CH4E_i$, $i = 1, \dots, q$, dadas en $[ton_{CH_4}/trimestre]$, multiplicadas por el potencial de calentamiento global el cual es un factor de conversión de metano a toneladas de CO_2 equivalente $fCH_4 tonCO_2$ (1 tonelada de metano se corresponde con 25 toneladas de CO_2 equivalente), es decir:

$$ATCH4E = fCH_4 tonCO_2 \cdot \sum_{i=1}^q CH4E_i$$

Donde las emisiones de metano de cada una de las especies pecuarias del paisaje $CH4E_i$, $i = 1, \dots, q$, dadas en $[ton_{CH_4}/trimestre]$, es el producto entre el factor de emisiones de metano de todas las cabezas de especies pecuarias (factor de emisiones de CH_4 de cabezas en cría de la i –ésima especie $fCH4CC_i$, factor de emisiones de CH_4 de cabezas en levante de la i –ésima especie $fCH4CL_i$ y factor de emisiones CH_4 de cabezas en ceba especie de la i –ésima especie $fCH4CS_i$, dados en $[ton_{CH_4}/(cabeza \cdot trimestre)]$) y el número de cabezas en cría CCE_i , en levante CLE_i y en ceba CSE_i , dados en $[cabeza]$, como se muestra a continuación:

$$CH4E_i = \sum_{i=1}^q (fCH4CC_i \cdot CCE_i + fCH4CL_i \cdot CLE_i + fCH4CS_i \cdot CSE_i)$$

2.2.3. Control de la erosión

En este modelo se entiende la erosión como la pérdida físico-mecánica del suelo que genera afectación sobre sus funciones y servicios ecosistémicos, produciendo, particularmente para el objeto de este proceso de modelamiento matemático, la reducción de la capacidad productiva de los mismos (Lal, 2001), expresada en su rendimiento. La aproximación para el modelado de la erosión en este documento ha tomado una vía distinta a la propuesta por métodos empíricos como el de USLE, RUSLE y otros presentados por autores como (Lal, 2001), de modo que la representación sea pertinente para el objeto de modelado.

De esta manera, aquí se expresa la erosión del i -ésimo uso agropecuario, dado en $[toneladas/(hectárea \cdot trimestre)]$, como la pérdida porcentual de suelo X_c en procesos de transformación y arrastre por flujo de saturación de agua, dada en $[hectárea/trimestre]$ (como la preparación del uso agropecuario o el cambio de un uso a otro), que genera cambios en el

rendimiento del uso agropecuario RU_i , dado en $[toneladas/hectáreas]$, para la totalidad del área del uso agropecuario AU_i , dado en $[hectáreas]$, como se muestra a continuación⁴:

$$EU_i = X_c \cdot \frac{RU_i}{\max\{1, AU_i\}}$$

Tales que la pérdida porcentual de suelo X_c se expresa de la siguiente manera:

$$X_c = fPeU_i F_s \cdot F_s + pPePpU_i \cdot PpU_i + pPePpBU_i \cdot PpBU_i + pPePpHeU_i \cdot PpHeU_i + \sum_{j=1}^{m-1} (pPeCU_j U_i \cdot CU_j U_i)$$

Donde $fPeU_i F_s$ es el factor de suelo perdido por arrastre en el i -ésimo uso agropecuario, dado en $[hectárea/m3]$, debido al flujo de saturación F_s , dado en $[m3/trimestre]$, $pPePpU_i$ es el porcentaje de suelo perdido por la preparación del i -ésimo uso agropecuario, PpU_i es la preparación del i -ésimo uso agropecuario, dado en $[hectárea/trimestre]$, $pPePpBU_i$ es el porcentaje de suelo perdido por la preparación del bosque para el i -ésimo uso agropecuario, $PpBU_i$ es la preparación del bosque para el i -ésimo uso agropecuario, dado en $[hectárea/trimestre]$, $pPePpHeU_i$ es el porcentaje de suelo perdido por la preparación de herbazales para el i -ésimo uso agropecuario, $PpHeU_i$ es la preparación de herbazales para el i -ésimo uso agropecuario, dado en $[hectárea/trimestre]$, $pPePpCU_j U_i$ es el porcentaje de suelo perdido por el cambio del j -ésimo uso agropecuario al i -ésimo uso agropecuario, y $PpCU_j U_i$ es el cambio del j -ésimo uso agropecuario al i -ésimo uso agropecuario dado en $[hectárea/trimestre]$.

Por su parte, la erosión de las áreas naturales (erosión de bosques EB , erosión de herbazales EH_e y erosión de humedales EH_u), dadas en $[toneladas/(hectárea \cdot trimestre)]$, se calcula como el producto entre el rendimiento del área natural (rendimiento de bosques RB , rendimiento de herbazales RH_e y rendimiento de humedales RH_u), dada en $[toneladas/hectárea]$, y su tasa de erosión (tasa de erosión de bosques tEB , tasa de erosión de herbazales tEH_e y tasa de erosión de humedales tEH_u), dada en $[trimestre^{-1}]$, como se muestra a continuación:

$$EB = tEB \cdot RB$$

$$EH_e = tEH_e \cdot RH_e$$

⁴ El máximo en la ecuación de erosión de los usos hace que, cuando el área de un uso se haga inferior a una hectárea, se asuma que se tiene una hectárea. El propósito es evitar el cero en el denominador (evitar el polo al infinito), sin romper la conservación del área total del paisaje.

$$EH_u = tEH_u \cdot RH_u$$

De este modo, se define la erosión del suelo del paisaje ESP , dada en $[toneladas/(hectárea \cdot trimestre)]$, como la suma de las erosiones de los usos del paisaje, vea Figura 11, es decir:

$$ESP = EB + EH_e + EH_u + \sum_{i=1}^M EU_i$$

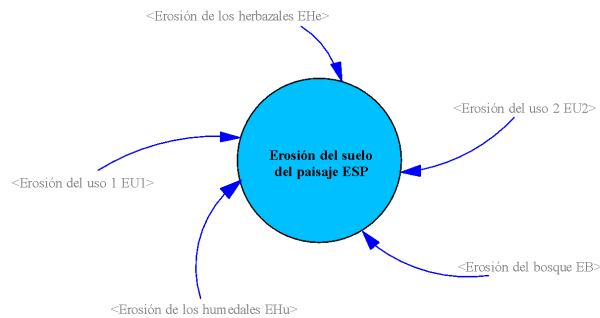


Figura 11: Representación de la erosión del suelo del paisaje en el diagrama de niveles y flujos.

2.2.4. Oferta y regulación hídrica

La oferta hídrica, en este documento, se ha definido como la cantidad de agua que es capaz de retener el suelo, para atender las diferentes demandas hídricas de los usos y áreas naturales de la unidad de análisis del paisaje. Este almacenamiento depende de la precipitación, la evapotranspiración real y la percolación, además de las demandas de usos y áreas naturales, principalmente, aunque también se ha considerado un flujo de salida del paisaje por sobresaturación del suelo.

El modelo desarrollado para este servicio ecosistémico se basa en el modelo mental de la Figura 12 y en su representación a través del diagrama de niveles y flujos de la Figura 13, en donde se ha considerado como única variable de estado la retención hídrica del suelo del paisaje RH_s , simplificando a conveniencia del objeto de este trabajo modelos de precipitación escurriente como el presentado por Redondo et al. (2020) utilizando diagramas de niveles y flujos. Los detalles del modelado se presentan a continuación.

El cambio en la unidad de tiempo t , que en este documento se ha tomado como $[trimestre]$, de la retención hídrica del suelo del paisaje RH_s dada en $[m^3]$, se ha definido como la diferencia entre la infiltración del agua en el suelo F dada en $[m^3/trimestre]$ y la sumatoria de la percolación P_c dada en $[m^3/trimestre]$, la demanda hídrica de los usos y áreas naturales del paisaje DH dada en

$[m^3/\text{trimestre}]$ y el flujo provocado por la saturación del suelo FS dado en $[m^3/\text{trimestre}]$, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\frac{d}{dt}RH_s = F - P_c - DH - FS$$

La ecuación de la infiltración del suelo F dada en $[m^3/\text{trimestre}]$ se ha deducido del principio de continuidad (Chow, Maidment, & Mays, 1994): $\text{Escorrentía} = PPT - ETR - F$, donde PPT es la precipitación y ETR es la evapotranspiración. Al despejar la infiltración F , considerar la escorrentía dada en $[m^3/\text{trimestre}]$ como la suma entre el caudal medido a la salida de la unidad de análisis del paisaje C , el consumo hídrico industrial y energético CIE y el consumo doméstico CDP , y sumar el riego R dado en $[m^3/\text{trimestre}]$, obtenemos la siguiente ecuación de infiltración:

$$F = 10 \cdot ATP \cdot (PPT - ETR) + R - C - CDP - CIE$$

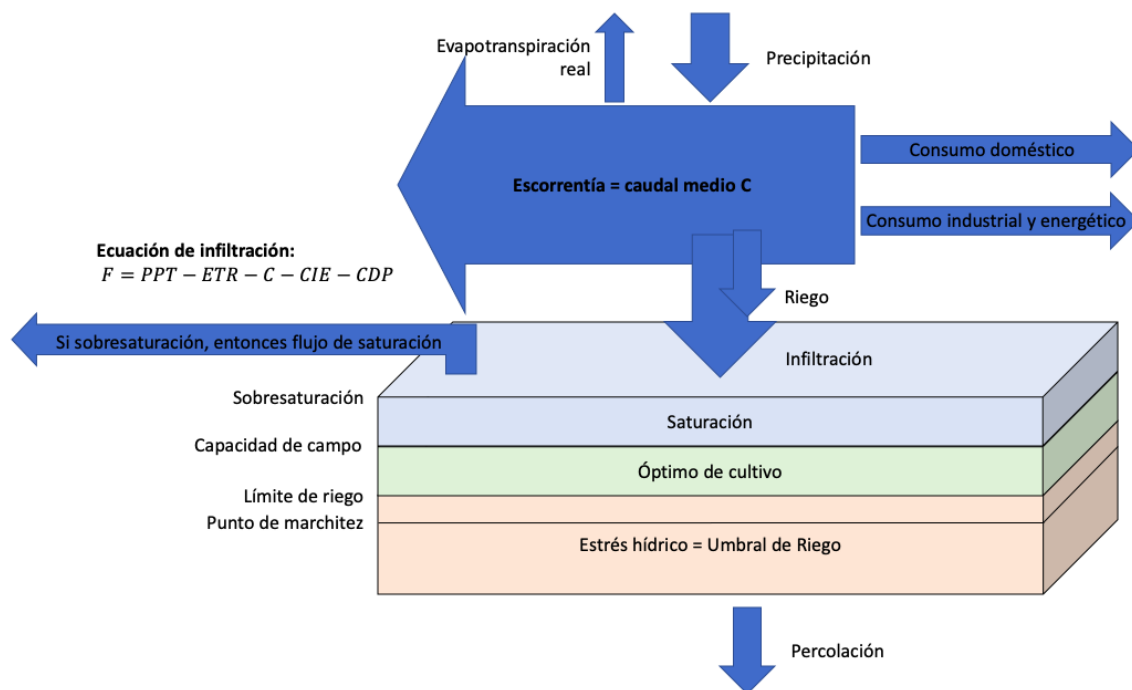


Figura 12: Representación del balance hidrológico representado en el modelo.

Nótese que, dado que la precipitación PPT y la evapotranspiración vienen dadas en $[mm/\text{trimestre}]$, se ha utilizado el factor de conversión $10 \cdot ATP$ para que pueda realizarse la operación aritmética en $[m^3/\text{trimestre}]$, donde ATP es el área de la unidad de análisis del paisaje dada en $[hectáreas]$, vea Sección 2.2.9. Por lo tanto, para obtener la consistencia en las unidades,

se convierten las *hectáreas* a m^2 y los *mm* a *metros*, teniendo en cuenta que, una *hectárea* son $10.000m^2$ y $1.000mm$ son un *metro*.

En este modelo se ha considerado que la precipitación *PPT*, el caudal medio *C* y el consumo hídrico industrial y energético *CIE* son series de tiempo, mientras que la evapotranspiración *ETR*, el consumo doméstico *CDP* y el riego *R* se definieron como se muestra en las líneas que siguen.

La evapotranspiración real *ETR* ha sido definida como fue formulada por Turc (1955) según aparece en el estudio nacional del agua (IDEAM, 2010):

$$ETR = \frac{PPT}{\sqrt{0,9 + \left(\frac{PPT}{L}\right)^2}}$$

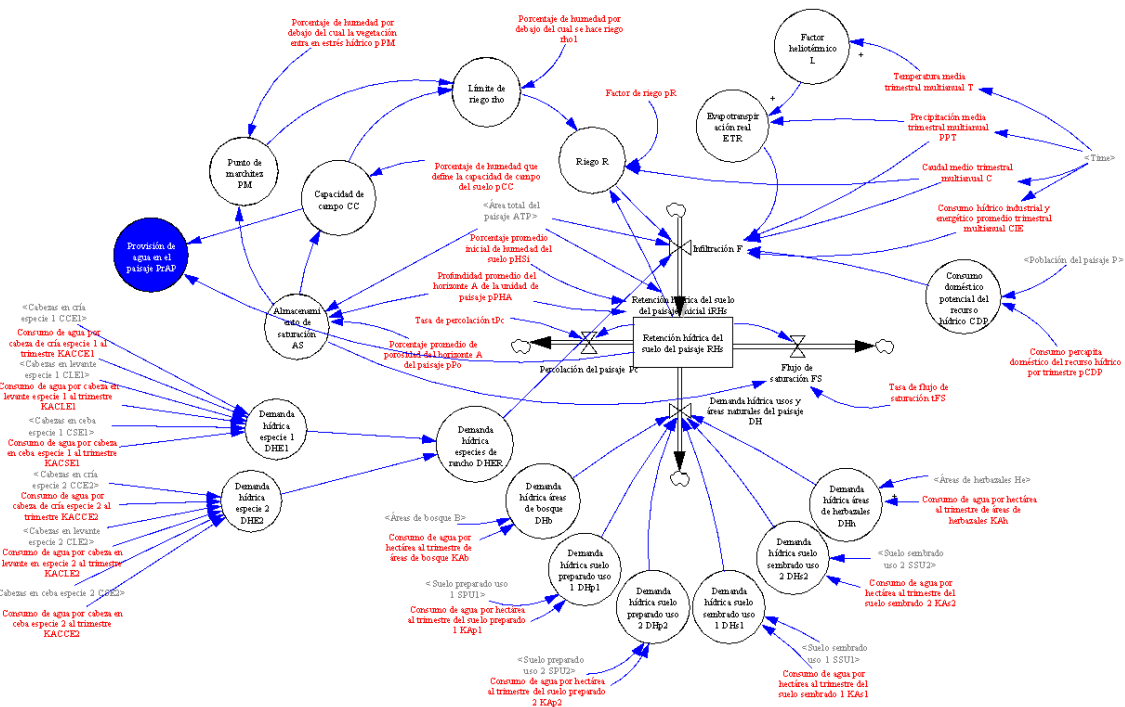


Figura 13: Representación de la oferta y regulación hídrica en el diagrama de niveles y flujos.

Donde *L* es un factor heliotérmico definido a partir de la temperatura media trimestral multianual *T* de la unidad de análisis del paisaje:

$$L = 300 + 25T + 0,005T^2$$

El consumo doméstico CDP dado en $[m^3/\text{trimestre}]$ se obtiene por el producto entre la población de la unidad de análisis del paisaje P dada en $[\text{habitantes}]$ y el consumo per cápita doméstico del recurso hídrico por trimestre $pCDP$ dado en $[m^3/(\text{habitante} \cdot \text{trimestre})]$, es decir:

$$CDP = pCDP \cdot P$$

La población P se ha estimado como una proyección exponencial de la población: $P(t) = P_0 e^{tINP \cdot t}$, donde P_0 es la población del paisaje en el momento inicial de la simulación dada en $[\text{habitantes}]$ y $tINP$ es la tasa de incremento neto de la población dada en $[\text{trimestre}^{-1}]$.

El riego R en $[m^3/\text{trimestre}]$ se ha definido como una función a trozos en la que el riego es nulo solo en el caso en el que se requiere realizar el riego por la insuficiencia del recurso en el suelo, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$R = \begin{cases} pR \cdot C & RH_s < \rho \\ 0 & RH_s \geq \rho \end{cases}$$

Donde pR es un factor adimensional de infraestructura y tecnología que indica la capacidad con la que cuenta el paisaje para obtener recurso hídrico del caudal y usarlo para el riego y ρ es el valor límite dado en $[m^3]$ por debajo del cual es necesaria la realización del riego R . El valor límite de riego ρ se calcula como una proporción adimensional ρ_1 de la diferencia entre la capacidad de campo CC y el punto de marchitez PM dados en $[m^3]$ que se suma al punto de marchitez PM :

$$\rho = \rho_1 \cdot (CC - PM) + PM = \rho_1 CC - (\rho_1 - 1)PM$$

La capacidad de campo CC en $[m^3]$ y el punto de marchitez PM en $[m^3]$ se calculan a partir de un almacenamiento teórico de saturación del paisaje AS en $[m^3]$ como sigue:

$$\begin{aligned} CC &= pCC \cdot AS \\ PM &= pPM \cdot AS \end{aligned}$$

Donde pCC es el porcentaje promedio de humedad que define la capacidad de campo del suelo de todos los usos de la unidad de paisaje y pPM es el porcentaje promedio de humedad por debajo del cual la vegetación de todos los usos de la unidad de paisaje entra en estrés hídrico. La fórmula para el cálculo del almacenamiento teórico de saturación del paisaje AS es como sigue:

$$AS = 10000 \cdot ATP \cdot pPHA \cdot pPo$$

Donde ATP es el área de la unidad de paisaje en $[\text{hectáreas}]$ sobre la que se realiza el análisis, $pPHA$ dada en $[m]$ es la profundidad promedio del horizonte A en la unidad de paisaje y pPo es el porcentaje promedio de porosidad del horizonte A en la unidad de paisaje.

La percolación P_c dada en $[m^3/trimestre]$ se calcula a partir del producto entre la tasa de flujo de percolación tP_c dada en $[trimestre^{-1}]$ y el almacenamiento de la retención hídrica del suelo del paisaje RH_s dado en $[m^3]$, como se muestra a continuación:

$$P_c = tP_c \cdot RH_s$$

La demanda hídrica de los usos del paisaje DH dada en $[m^3/trimestre]$ es la sumatoria entre la demanda hídrica de bosques DH_b dada en $[m^3/trimestre]$, la demanda hídrica de herbazales DH_h dada en $[m^3/trimestre]$, la demanda hídrica de los m usos agropecuarios preparados $(DH_p)_i$, con $i = 1, \dots, m$, dadas en $[m^3/trimestre]$, la demanda hídrica de los m usos agropecuarios sembrados $(DH_s)_i$, $i = 1, \dots, m$, dadas en $[m^3/trimestre]$ y la demanda hídrica de las especies pecuarias $DHEP$ (ganadería, porcicultura, avicultura, etc.), dada en $[m^3/trimestre]$, como se expresa a continuación:

$$DH = DH_b + DH_h + \sum_{i=1}^m (DH_p)_i + \sum_{i=1}^m (DH_s)_i + DHEP$$

La demanda hídrica de bosques DH_b dada en $[m^3/trimestre]$, es el producto entre el consumo de agua al trimestre del bosque KAb , dado en $[m^3/(hectárea \cdot trimestre)]$, y el área del bosque, dado en $[hectárea]$:

$$DH_b = KAb \cdot B$$

La demanda hídrica de herbazales DH_h dada en $[m^3/trimestre]$, es el producto entre el consumo de agua al trimestre de los herbazales KAh , dado en $[m^3/(hectárea \cdot trimestre)]$, y el área de herbazales, dado en $[hectárea]$:

$$DH_h = KAh \cdot H_e$$

La demanda hídrica del i -ésimo uso preparado $(DH_p)_i$, con $i = 1, \dots, m$, dadas en $[m^3/trimestre]$, es el producto entre el consumo de agua al trimestre del suelo agropecuario preparado del i -ésimo uso KAp_i , dado en $[m^3/(hectárea \cdot trimestre)]$, y el suelo preparado del i -ésimo uso agropecuario SPU_i , dado en $[hectárea]$:

$$(DH_p)_i = KAp_i \cdot SPU_i$$

La demanda hídrica de los m usos agropecuarios sembrados $(DH_s)_i$, $i = 1, \dots, m$, dadas en $[m^3/\text{trimestre}]$, es el producto entre el consumo de agua al trimestre del suelo sembrado del i –ésimo uso agropecuario KAs_i , dado en $[m^3/(\text{hectárea} \cdot \text{trimestre})]$, y el suelo sembrado del i –ésimo uso agropecuario SSU_i , dado en $[\text{hectárea}]$:

$$(DH_s)_i = KAs_i \cdot SSU_i$$

La demanda hídrica de las especies pecuarias $DHEP$ (ganadería, porcicultura, avicultura, etc.), dada en $[m^3/\text{trimestre}]$, es la sumatoria de las demandas hídricas de las diferentes especies en el paisaje DHE , dadas en $[m^3/\text{trimestre}]$:

$$DHEP = \sum_{i=1}^q DHE_i$$

Con $DHE_i = CACCE_i \cdot CCE_i + CACLE_i \cdot CLE_i + CACSE_i \cdot CSE_i$, donde $CACCE_i$ es el consumo de agua por cabeza de cría de la i –ésima especie, CCE_i son las cabezas en cría de la i –ésima especie, $CACLE_i$ es el consumo de agua por cabeza en levante de la i –ésima especie, CLE_i son las cabezas en levante de la i –ésima especie, $CACSE_i$ es el consumo de agua por cabeza en seba de la i –ésima especie y CSE_i son las cabezas en seba de la i –ésima especie.

El flujo provocado por la saturación del suelo FS dado en $[m^3/\text{trimestre}]$, ocurre cuando la retención hídrica del suelo RH_s supera el almacenamiento teórico de saturación del paisaje AS en $[m^3]$. En ese momento se espera que el flujo de saturación corresponda al exceso entre la retención hídrica del suelo RH_s y el almacenamiento teórico de saturación del paisaje AS , con una tasa de flujo de saturación tFS , dada en $[\text{trimestre}^{-1}]$.

$$FS = \{tFS \cdot (RH_s - AS) \mid RH_s > AS \text{ o } RH_s \leq AS\}$$

Finalmente, el indicador de provisión de agua $PrAP$, está expresado como el cociente de la retención hídrica del suelo del paisaje RH_s y la capacidad de campo CC .

$$PrAP = \frac{RH_s}{CC}$$

2.2.5. Polinización y provisión de hábitat

La polinización es un servicio ecosistémico que depende de los polinizadores del paisaje, así que el modelo de polinización consiste en una representación de las poblaciones de polinizadores del paisaje y de su efecto sobre la producción de los usos y las áreas naturales. Estos polinizadores

pueden tomarse como el conjunto total de polinizadores, como la población total de un cierto polinizador o como la población polinizadora dominante de cada uso y área natural del paisaje.

El modelo de polinización involucra dos importantes elementos: la capacidad de soporte y el efecto Alle. La capacidad de soporte se refiere al número de individuos que es capaz de soportar el uso antes acabar completamente el recurso para el sostenimiento del polinizador. El efecto Alle se refiere a un límite inferior de población por debajo del cual la capacidad de reproducción de la especie se reduce drásticamente, impidiendo que la especie sea capaz de evitar su desaparición del sistema. Su representación en el diagrama de niveles y flujos se encuentra en la Figura 14.

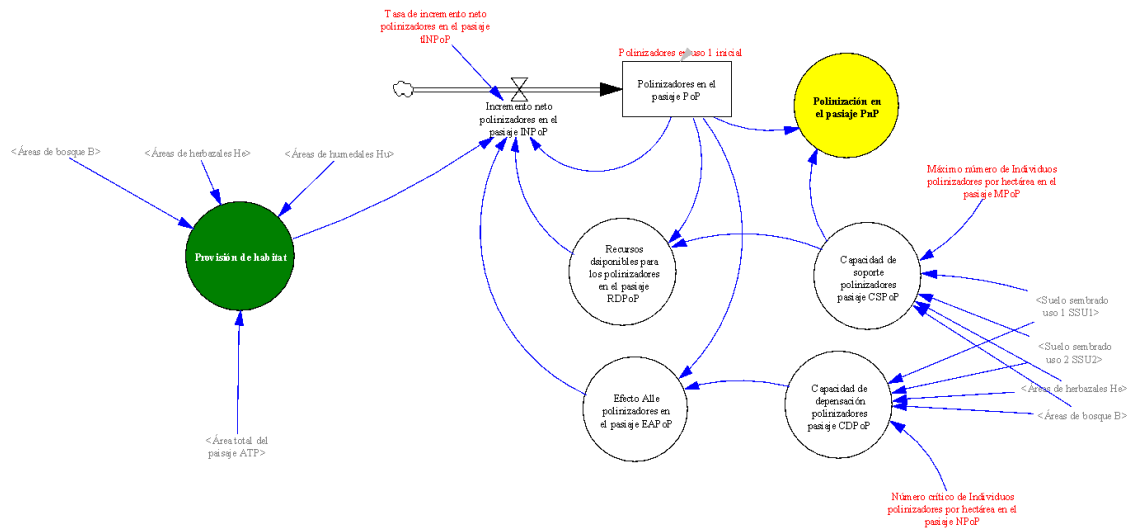


Figura 14: Representación de la polinización en el diagrama de niveles y flujos.

Aquí se estableció que el cambio de la población de polinizadores para el paisaje PoP , como una cantidad adimensional, en un tiempo t , dado en $[trimestre]$, viene dado por el incremento neto de polinizadores en el paisaje $INPoP$, dado en $[trimestre^{-1}]$, es decir:

$$\frac{d}{dt}PoP = INPoP$$

Este incremento neto de polinizadores en el paisaje $INPoP$ viene definido por la tasa de incremento neto de polinizadores en el $tINPoP$, dado en $[trimestre^{-1}]$, la población adimensional de polinizadores del paisaje PoP , los recursos adimensionales disponibles para los polinizadores en el paisaje $RDPoP$, el efecto Alle adimensional de los polinizadores en el paisaje $EAPoP$ y del indicador adimensional de la provisión de hábitat $PHab$ como se muestra a continuación:

$$INPoP = tINPoP \cdot PoP \cdot RDPoP \cdot EAPoP \cdot PHab$$

Los recursos disponibles para los polinizadores en el paisaje $RDPoP$ dependen de los polinizadores en el paisaje PoP y de la capacidad de soporte de los polinizadores en el paisaje $CSPoP$, como sigue:

$$RDPoP = 1 - \frac{PoP}{CSPoP}$$

Donde la capacidad de soporte adimensional de los polinizadores en el paisaje $CSPoP$, depende de la ponderación de los suelos sembrados de los usos SSU_i , de los bosques B y de los herbazales H_e , con respecto al área total del paisaje, dados en [hectáreas], y del número máximo adimensional de Individuos polinizadores que podría encontrarse por hectárea en el paisaje $MPoP$ sin afectar sus servicios ecosistémicos, dado en [hectáreas⁻¹], como se muestra a continuación:

$$CSPoP = MPoP \cdot \frac{1}{ATP} \left(\sum_{i=1}^m SSU_i + B + H_e \right)$$

Por su parte, el efecto Alle adimensional de los polinizadores en el paisaje $EAPoP$ depende de los polinizadores en el paisaje PoP , y de la capacidad adimensional de depensación de los polinizadores en el paisaje $CDPoP$, como sigue:

$$EAPoP = \frac{PoP}{CDPoP} - 1$$

La capacidad adimensional de depensación de los polinizadores en el paisaje $CDPoP$, depende de la ponderación de los suelos sembrados de los usos SSU_i , de los bosques B y de los herbazales H_e , con respecto al área total del paisaje, dados en [hectáreas], y del número crítico adimensional de Individuos polinizadores que podría encontrarse por hectárea en el paisaje $NPoP$ a partir del cual la población tiende a la desaparición en el uso, dado en [hectárea⁻¹], como se muestra a continuación:

$$CDPoP = NPoP \cdot \frac{1}{ATP} \left(\sum_{i=1}^m SSU_i + B + H_e \right)$$

De este modo, la polinización en el paisaje PnP , como servicio ecosistémico, se define adimensionalmente como el cociente entre los polinizadores del paisaje y la capacidad de soporte de los polinizadores en el paisaje $CSPoP$, es decir:

$$PnP = \frac{PoP}{CSPoP}$$

Por su parte, el indicador de provisión de hábitat se construyó a partir de las áreas de bosques, herbazales y de suelos sembrados, de manera que se pondera su representatividad con respecto a la totalidad del área del paisaje. De este modo, el indicador adimensional de provisión de hábitat $PHab$, está dado como el cociente entre la suma de áreas de bosques B , áreas de herbazales H_e y

áreas de humedales H_u , expresadas en [hectáreas], con el área total del paisaje ATP , dado en [hectáreas], es decir:

$$PHab = \frac{(B + H_e + H_u)}{ATP}$$

2.2.6. Turismo de naturaleza

El turismo de naturaleza del paisaje, interpretado en este apartado exclusivamente como ecoturismo en áreas naturales por las características específicas del área de estudio, depende de la existencia de atractivos y recursos de ecoturismo (en bosques $AREB$, en herbazales $AREH_e$ y en humedales $AREH_u$), de un área mínima viable para su desarrollo en cada una de las áreas naturales (área mínima viable para tener atractivos y recursos de ecoturismo en bosques $AmVAREB$, área mínima viable para tener atractivos y recursos de ecoturismo en herbazales $AmVAREH_e$ y área mínima viable para tener atractivos y recursos de ecoturismo en humedales $AmVAREH_u$), dada en [hectáreas], de unos ingresos percibidos por el ecoturismo (ingresos por visitante de atractivos y recursos de ecoturismo en bosques $IAREB$, ingresos por visitante de atractivos y recursos de ecoturismo en herbazales $IAREH_e$ e ingresos por visitante de atractivos y recursos de ecoturismo en humedales $IAREH_u$), dados en [COP\$/visitante] y de un número promedio de visitantes de atractivos y recursos de ecoturismo al trimestre (en bosques $NAREB$, en herbazales $NAREH_e$ y en humedales $NAREH_u$), dado en [visitante/trimestre], vea Figura 15. De este modo, se calculan los ingresos totales por turismo de naturaleza en el paisaje $ITTN$, dados en [COP\$/trimestre], es decir:

$$ITTN = \{IAREB \cdot NAREB \mid AREB = 1 \mid 0 \mid AREB = 0\} + \{IAREH_e \cdot NAREH_e \mid AREH_e = 1 \mid 0 \mid AREH_e = 0\} + \{IAREH_u \cdot NAREH_u \mid AREH_u = 1 \mid 0 \mid AREH_u = 0\}$$

Donde:

$$\begin{aligned} AREB &= \{0 \mid B < AmVAREB \mid 1 \mid B \geq AmVAREB\} \\ AREH_e &= \{0 \mid H_e < AmVAREH_e \mid 1 \mid H_e \geq AmVAREH_e\} \\ AREH_u &= \{0 \mid H_u < AmVAREH_u \mid 1 \mid H_u \geq AmVAREH_u\} \end{aligned}$$

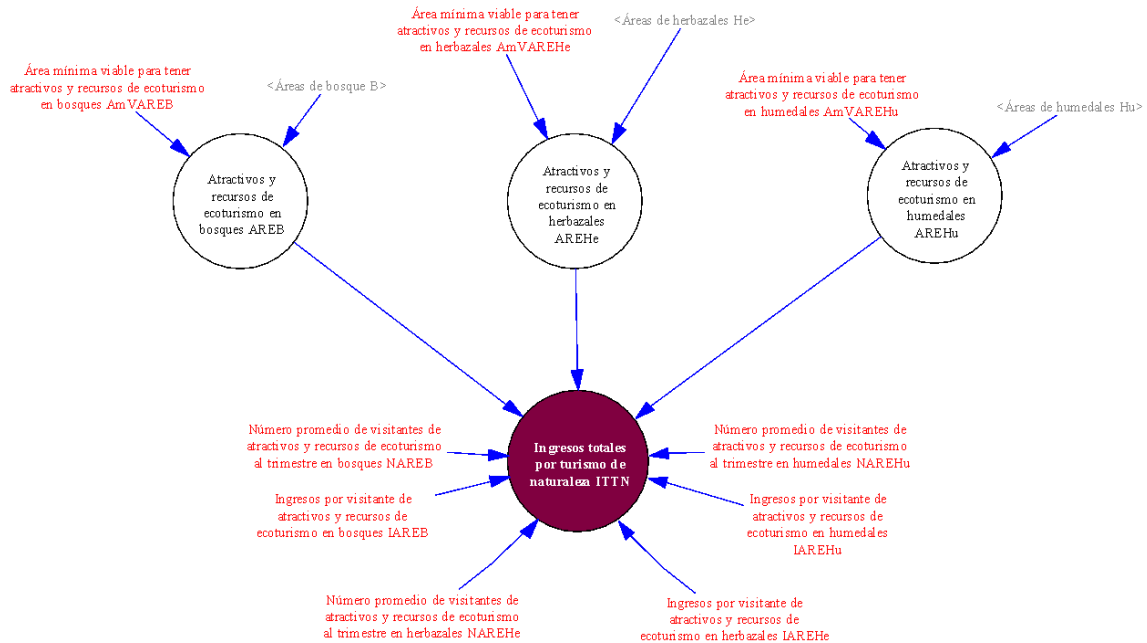


Figura 15: Representación del turismo de naturaleza en el diagrama de niveles y flujos.

Los ingresos obtenidos son utilizados en el modelo de seguridad alimentaria que se presentará en la Sección 2.2.8.

2.2.7. Poblaciones del paisaje

En este apartado se abordan los modelos de poblaciones (humanas y animales) que fueron elaborados.

Para la población humana se ha elaborado un sencillo modelo de crecimiento exponencial en el que el cambio de la población del paisaje P , dada en $[habitantes]$, para un tiempo t , dado en $[trimestre]$, es proporcional a la población del paisaje, con un factor de proporcionalidad $tINP$, dado en $[trimestre^{-1}]$, denominado tasa de incremento neto de la población, es decir:

$$\frac{d}{dt}P = tINP \cdot P$$

Para las poblaciones animales en la explotación pecuaria se consideraron tres momentos distintos del desarrollo animal: cría, levante y ceba. Su representación en el diagrama de niveles y flujos se presenta en la Figura 16.

El cambio de la población de crías o cabezas en cría de la μ -ésima especie CCE_{μ} , dada en $[cabeza]$, para un tiempo t , dado en $[trimestre]$, depende de la cría CE_{μ} y de las cabezas de cría

que se venden VCE_{μ} , se pierden $PCCE_{\mu}$ y que pasan a levante LE_{μ} , todas ellas dadas en $[cabeza/trimestre]$, como se muestra a continuación:

$$\frac{d}{dt}CCE_{\mu} = CE_{\mu} - VCE_{\mu} - PCCE_{\mu} - LE_{\mu}$$

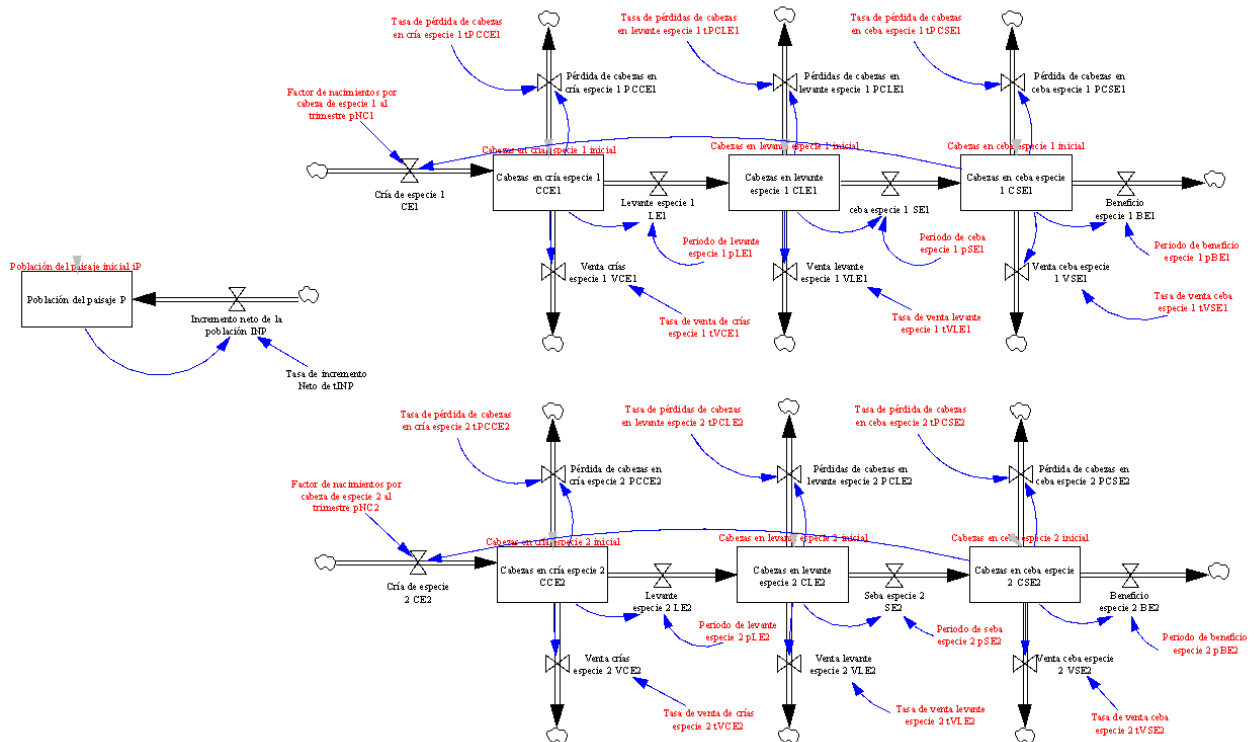


Figura 16: Representación de las poblaciones en el diagrama de niveles y flujos.

La cría de la μ -ésima especie CE_μ dada en $[cabeza/trimestre]$, es el producto entre el factor de nacimientos por cabeza de la μ -ésima especie al trimestre pNC_μ , dado en $[cabezas/(cabeza \cdot trimestre)]$, y las cabezas en ceba de la μ -ésima especie CSE_μ , dadas en $[cabeza]$, es decir:

$$CE_{\mu} = pNC_{\mu} \cdot CSE_{\mu}$$

La venta de la μ -ésima especie VCE_{μ} dada en $[cabeza/trimestre]$, es el producto entre la tasa de venta de crías de la μ -ésima especie al trimestre $tVCE_{\mu}$, dada en $[trimestre^{-1}]$, y las cabezas en cría de la μ -ésima especie CCE_{μ} , dadas en $[cabeza]$, es decir:

$$VCE_{\mu} = tVCE_{\mu} \cdot CCE_{\mu}$$

La pérdida de la μ -ésima especie $PCCE_{\mu}$ dada en $[cabeza/trimestre]$, es el producto entre la tasa de pérdida de crías de la μ -ésima especie al trimestre $tPCCE_{\mu}$, dada en $[trimestre^{-1}]$, y las cabezas en cría de la μ -ésima especie CCE_{μ} , dadas en $[cabeza]$, es decir:

$$PCCE_{\mu} = tPCCE_{\mu} \cdot CCE_{\mu}$$

El levante de la μ -ésima especie LE_{μ} dada en $[cabeza/trimestre]$, es el cociente entre las cabezas en cría de la μ -ésima especie CCE_{μ} , dadas en $[cabeza]$ y el periodo de levante de crías de la μ -ésima especie al trimestre pLE_{μ} , dada en $[trimestre]$, es decir:

$$LE_{\mu} = \frac{CCE_{\mu}}{pLE_{\mu}}$$

El cambio de la población en levante o cabezas en levante de la μ -ésima especie CLE_{μ} , dada en $[cabeza]$, para un tiempo t , dado en $[trimestre]$, depende del levante LE_{μ} y de las cabezas en levante que se venden VLE_{μ} , se pierden $PCLE_{\mu}$ y que pasan a ceba SE_{μ} , todas ellas dadas en $[cabeza/trimestre]$, como se muestra a continuación:

$$\frac{d}{dt}CLE_{\mu} = LE_{\mu} - VLE_{\mu} - PCLE_{\mu} - SE_{\mu}$$

El levante fue presentado líneas atrás. La venta de la μ -ésima especie en levante VLE_{μ} dada en $[cabeza/trimestre]$, es el producto entre la tasa de venta de cabezas en levante de la μ -ésima especie al trimestre $tVLE_{\mu}$, dada en $[trimestre^{-1}]$, y las cabezas en levante de la μ -ésima especie CLE_{μ} , dadas en $[cabeza]$, es decir:

$$VLE_{\mu} = tVLE_{\mu} \cdot CLE_{\mu}$$

La pérdida de la μ -ésima especie en levante $PCLE_{\mu}$ dada en $[cabeza/trimestre]$, es el producto entre la tasa de pérdida de cabezas en levante de la μ -ésima especie al trimestre $tPCLE_{\mu}$, dada en $[trimestre^{-1}]$, y las cabezas en levante de la μ -ésima especie CLE_{μ} , dadas en $[cabeza]$, es decir:

$$PCLE_{\mu} = tPCLE_{\mu} \cdot CLE_{\mu}$$

La ceba de la μ -ésima especie SE_{μ} dada en $[cabeza/trimestre]$, es el cociente entre las cabezas en levante de la μ -ésima especie CLE_{μ} , dadas en $[cabeza]$ y el periodo de ceba de la μ -ésima especie al trimestre pSE_{μ} , dada en $[trimestre]$, es decir:

$$SE_{\mu} = \frac{CLE_{\mu}}{pSE_{\mu}}$$

El cambio de la población en ceba o cabezas en ceba de la μ –ésima especie CSE_{μ} , dada en $[cabeza]$, para un tiempo t , dado en $[trimestre]$, depende de la ceba SE_{μ} y de las cabezas en ceba que se venden VSE_{μ} , se pierden $PCSE_{\mu}$ y que se benefician BE_{μ} , todas ellas dadas en $[cabeza/trimestre]$, como se muestra a continuación:

$$\frac{d}{dt}CSE_{\mu} = SE_{\mu} - VSE_{\mu} - PCSE_{\mu} - BE_{\mu}$$

La ceba fue presentada líneas atrás. La venta de la μ –ésima especie en ceba VSE_{μ} dada en $[cabeza/trimestre]$, es el producto entre la tasa de venta de cabezas en ceba de la μ –ésima especie al trimestre $tVSE_{\mu}$, dada en $[trimestre^{-1}]$, y las cabezas en ceba de la μ –ésima especie CSE_{μ} , dadas en $[cabeza]$, es decir:

$$VSE_{\mu} = tVSE_{\mu} \cdot CSE_{\mu}$$

La pérdida de la μ –ésima especie en ceba $PCSE_{\mu}$ dada en $[cabeza/trimestre]$, es el producto entre la tasa de pérdida de cabezas en ceba de la μ –ésima especie al trimestre $tPCSE_{\mu}$, dada en $[trimestre^{-1}]$, y las cabezas en ceba de la μ –ésima especie CSE_{μ} , dadas en $[cabeza]$, es decir:

$$PCSE_{\mu} = tPCSE_{\mu} \cdot CSE_{\mu}$$

El beneficio de la μ –ésima especie BE_{μ} dada en $[cabeza/trimestre]$, es el cociente entre las cabezas en ceba de la μ –ésima especie CSE_{μ} , dadas en $[cabeza]$ y el periodo después del cual se hace el beneficio de un animal en ceba de la μ –ésima especie al trimestre pBE_{μ} , dada en $[trimestre]$, es decir:

$$BE_{\mu} = \frac{CSE_{\mu}}{pBE_{\mu}}$$

2.2.8. Seguridad alimentaria

Para la representación del módulo de seguridad alimentaria se ha considerado la demanda nutricional calórica que hace la población del paisaje de una canasta básica en la que se consideran 12 grupos alimenticios. Para esto, se revisa la capacidad de abastecerse alimentos que tiene la población desde tres fuentes: los autoconsumos de los productos directos o transformados del paisaje, los consumos locales de la producción y las ganancias generadas en el paisaje por las actividades económicas. De este modo, se obtiene un indicador de calidad de la seguridad alimentaria y un indicador de rentabilidad del paisaje (VPN), a través de los cuales se garantiza el

acceso físico y económico a los alimentos, respectivamente, para todos los instantes de tiempo (estabilidad de la seguridad alimentaria).

El indicador de calidad de la seguridad alimentaria humana $ICSA$ pondera si se satisface la brecha adimensional BG_{σ} , $\sigma = 1, \dots, 12$, entre la demanda calórica trimestral del σ –ésimo grupo alimenticio DCG_{σ} , dada en [calorías/trimestre], y la capacidad de todos los autoconsumos humanos que se realizan en el paisaje de atender esa demanda, dada en [calorías/trimestre], para ello se vale de la función $ICSA_{\sigma}$, que asigna a las brechas BG_{σ} positivas el valor unitario, de tal modo que, permite reconocer la diversidad de la canasta alimenticia, con respecto a los grupos alimenticios G_{σ} definidos, es decir:

$$ICSA = \frac{1}{12} \sum_{\sigma=1}^{12} ICSA_{\sigma}$$

$$ICSA_{\sigma} = \begin{cases} 1 & BG_{\sigma} > 0 \\ 0 & BG_{\sigma} \leq 0 \end{cases}$$

La brecha del σ –ésimo grupo alimenticio BG_{σ} se calcula a partir de un filtro de los autoconsumos del paisaje que pertenecen al σ –ésimo grupo, de tal modo que, se puedan sumar las calorías aportadas por los usos (calorías aportadas por el θ –ésimo autoconsumo humano del i –ésimo uso $CAA_{\theta} U_i$ y por el θ_k –ésimo autoconsumo de la k –ésima transformación del i –ésimo uso $CAA_{\theta_k} T_k U_i$, $i = 1, \dots, m$, $k = 1, \dots, u_i$, $\theta = 1, \dots, sH_i$, $\theta_k = 1, \dots, wH_i$, dadas en [calorías/trimestre]), las áreas naturales (calorías aportadas por el θ –ésimo autoconsumo humano de bosques $CAA_{\theta} B$, $\theta_B = 1, \dots, sHB$, herbazales $CAA_{\theta_e} H_e$, $\theta_e = 1, \dots, sH_e$ y humedales $CAA_{\theta_u} H_u$, $\theta_u = 1, \dots, sH_u$, y de la k –ésima transformación de bosques $CAA_{\theta_{kB}} T_k B$, $k_B = 1, \dots, uB$, $\theta_{kB} = 1, \dots, wH_B$, herbazales $CAA_{\theta_{ke}} T_k H_e$, $k_e = 1, \dots, uH_e$, $\theta_{ke} = 1, \dots, wHH_e$, y humedales $CAA_{\theta_{ku}} T_k H_u$, $k_u = 1, \dots, uH_u$, $\theta_{ku} = 1, \dots, wHH_u$, dadas en [calorías/trimestre]) y las especies de rancho (calorías aportadas por el autoconsumo humano de carne de la μ –ésima especie $CAACaE_{\mu}$, del η –ésimo tipo de la μ –ésima especie $CAATi_{\eta} E_{\mu}$ y el ξ –ésimo subproducto del η –ésimo tipo de la μ –ésima especie $CAAs_{\xi} Ti_{\eta} E_{\mu}$, $\mu = 1, \dots, q$, $\eta = 1, \dots, q_T$, $\xi = 1, \dots, q_s$, dadas en [calorías/trimestre]) que pertenecen al mismo grupo alimenticio, para finalmente, compararlas con la demanda calórica del σ –ésimo grupo alimenticio DCG_{σ} , dada en [calorías/trimestre], como sigue:

$$BG_{\sigma} = \left\{ \sum_{\theta=1}^{sH_i} \sum_{i=1}^m CAA_{\theta} U_i pGA_{\theta} U_i = \sigma \ 0 \ pGA_{\theta} U_i \neq \sigma \right\} + \left\{ \sum_{\theta_k=1}^{wH_i} \sum_{k=1}^{u_i} \sum_{i=1}^m CAA_{\theta_k} T_k U_i pGA_{\theta_k} T_k U_i = \sigma \ 0 \ pGA_{\theta_k} T_k U_i \neq \sigma \right\} + \left\{ \sum_{\theta_B=1}^{sH_B} \sum_{B=1}^{u_B} \sum_{i=1}^m CAA_{\theta_B} T_k B pGA_{\theta_B} T_k B = \sigma \ 0 \ pGA_{\theta_B} T_k B \neq \sigma \right\} + \left\{ \sum_{\theta_e=1}^{sH_e} \sum_{e=1}^{u_e} \sum_{i=1}^m CAA_{\theta_e} T_k H_e pGA_{\theta_e} T_k H_e = \sigma \ 0 \ pGA_{\theta_e} T_k H_e \neq \sigma \right\} + \left\{ \sum_{\theta_u=1}^{sH_u} \sum_{u=1}^{u_u} \sum_{i=1}^m CAA_{\theta_u} T_k H_u pGA_{\theta_u} T_k H_u = \sigma \ 0 \ pGA_{\theta_u} T_k H_u \neq \sigma \right\} + \left\{ \sum_{\theta_{kB}=1}^{wH_B} \sum_{k_B=1}^{u_{kB}} \sum_{i=1}^m CAA_{\theta_{kB}} T_k B pGA_{\theta_{kB}} T_k B = \sigma \ 0 \ pGA_{\theta_{kB}} T_k B \neq \sigma \right\} + \left\{ \sum_{\theta_{ke}=1}^{wHH_e} \sum_{k_e=1}^{u_{H_e}} \sum_{i=1}^m CAA_{\theta_{ke}} T_k H_e pGA_{\theta_{ke}} T_k H_e = \sigma \ 0 \ pGA_{\theta_{ke}} T_k H_e \neq \sigma \right\} + \left\{ \sum_{\theta_{ku}=1}^{wHH_u} \sum_{k_u=1}^{u_{H_u}} \sum_{i=1}^m CAA_{\theta_{ku}} T_k H_u pGA_{\theta_{ku}} T_k H_u = \sigma \ 0 \ pGA_{\theta_{ku}} T_k H_u \neq \sigma \right\} + \left\{ \sum_{\mu=1}^q \sum_{\eta=1}^{q_T} \sum_{\xi=1}^{q_s} CAACaE_{\mu} pGA_{\mu} = \sigma \ 0 \ pGA_{\mu} \neq \sigma \right\} + \left\{ \sum_{\mu=1}^q \sum_{\eta=1}^{q_T} \sum_{\xi=1}^{q_s} CAATi_{\eta} E_{\mu} pGA_{\mu} = \sigma \ 0 \ pGA_{\mu} \neq \sigma \right\} + \left\{ \sum_{\mu=1}^q \sum_{\eta=1}^{q_T} \sum_{\xi=1}^{q_s} CAAs_{\xi} Ti_{\eta} E_{\mu} pGA_{\mu} = \sigma \ 0 \ pGA_{\mu} \neq \sigma \right\}$$

Las calorías aportadas por el θ –ésimo autoconsumo humano del i –ésimo uso agropecuario $CAA_{\theta}U_i$ y por el θ_k –ésimo autoconsumo de la k –ésima transformación del i –ésimo uso agropecuario $CAA_{\theta_k}T_kU_i$, $i = 1, \dots, m$, $k = 1, \dots, u_i$, $\theta = 1, \dots, sH_i$, $\theta_k = 1, \dots, wH_i$, dadas en $[calorías/trimestre]$, se calculan a partir del producto entre las calorías por tonelada que ofrecen (calorías por tonelada del θ –ésimo autoconsumo humano del i –ésimo uso $cAA_{\theta}U_i$ y calorías por tonelada del θ_k –ésimo autoconsumo de la k –ésima transformación del i –ésimo uso agropecuario $cAA_{\theta_k}T_kU_i$, dadas en $[calorías/tonelada]$) y las toneladas de producto obtenidas del autoconsumo humano del i –ésimo uso agropecuario $AH_{\theta}U_i$ y de la k –ésima transformación del i –ésimo uso agropecuario $AH_{\theta_k}T_kU_i$, dadas en $[toneladas/trimestre]$ como sigue:

$$CAA_{\theta}U_i = cAA_{\theta}U_i \cdot AH_{\theta}U_i$$

$$CAA_{\theta_k}T_kU_i = cAA_{\theta_k}T_kU_i \cdot AH_{\theta_k}T_kU_i$$

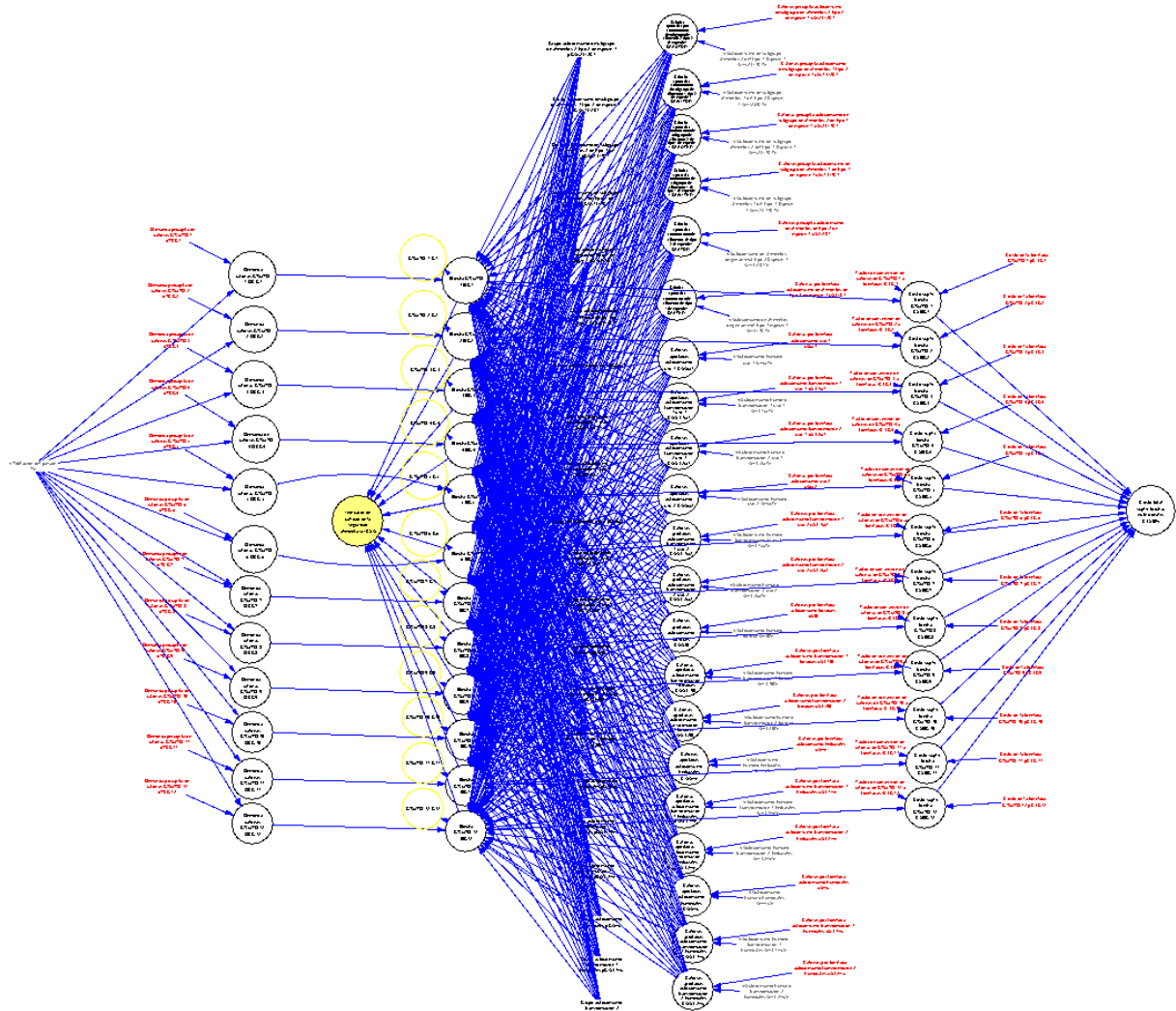


Figura 17: Representación del indicador de la calidad de la seguridad alimentaria del paisaje en el diagrama de niveles y flujos.

Las calorías aportadas por el θ –ésimo autoconsumo humano de bosques $CAA_{\theta} B$, $\theta_B = 1..., sHB$, herbazales $CAA_{\theta_e} H_e$, $\theta_e = 1..., sH_e$ y humedales $CAA_{\theta_u} H_u$, $\theta_u = 1..., sH_u$, y de la k –ésima transformación de bosques $CAA_{\theta_{kB}} T_{k_B} B$, $k_B = 1, ..., uB$, $\theta_{kB} = 1, ..., wH_B$, herbazales $CAA_{\theta_{ke}} T_{k_e} H_e$, $k_e = 1, ..., uH_e$, $\theta_{ke} = 1, ..., wH_e$, y humedales $CAA_{\theta_{ku}} T_{k_u} H_u$, $k_u = 1, ..., uH_u$, $\theta_{ku} = 1, ..., wH_u$, dadas en [calorías/trimestre], se calculan a partir de las calorías por tonelada que ofrecen las áreas naturales (calorías por tonelada de bosques $cAA_{\theta} B$, herbazales $cAA_{\theta_e} H_e$ y humedales $cAA_{\theta_u} H_u$ y calorías por tonelada de la k –ésima transformación de bosques $cAA_{\theta_{kB}} T_{k_B} B$,

herbazales $cAA_{\theta_{ke} T_{ke} H_e}$ y humedales $cAA_{\theta_{ku} T_{ku} H_u}$, dadas en $[calorías/tonelada]$, y las toneladas de producto obtenidas para el autoconsumo humano desde áreas naturales (autoconsumo humano de bosques $AH_{\theta_B} B$, herbazales $AH_{\theta_e} H_e$ y humedales $AH_{\theta_u} H_u$ y de transformaciones de bosques $AH_{\theta_{kB} T_{kB} B}$, herbazales $AH_{\theta_{ke} T_{ke} H_e}$ y humedales $AH_{\theta_{ku} T_{ku} H_u}$), dadas en $[toneladas/trimestre]$ como sigue:

$$\begin{aligned} CAA_{\theta_B} B &= cAA_{\theta_B} B \cdot AH_{\theta_B} B \\ CAA_{\theta_e} H_e &= cAA_{\theta_e} H_e \cdot AH_{\theta_e} H_e \\ CAA_{\theta_u} H_u &= cAA_{\theta_u} H_u \cdot AH_{\theta_u} H_u \\ CAA_{\theta_{kB} T_{kB} B} &= cAA_{\theta_{kB} T_{kB} B} \cdot AH_{\theta_{kB} T_{kB} B} \\ CAA_{\theta_{ke} T_{ke} H_e} &= cAA_{\theta_{ke} T_{ke} H_e} \cdot AH_{\theta_{ke} T_{ke} H_e} \\ CAA_{\theta_{ku} T_{ku} H_u} &= cAA_{\theta_{ku} T_{ku} H_u} \cdot AH_{\theta_{ku} T_{ku} H_u} \end{aligned}$$

Las calorías aportadas por el autoconsumo humano de carne de la μ –ésima especie $CAACaE_{\mu}$, $\mu = 1, \dots, q$, es el producto entre las calorías por tonelada de carne de la μ –ésima especie $cAACaE_{\mu}$, dadas en $[calorías/tonelada]$, y las toneladas de carne de la μ –ésima especie $AHCaE_{\mu}$, dadas en $[toneladas/trimestre]$, es decir:

$$CAACaE_{\mu} = cAACaE_{\mu} \cdot AHCaE_{\mu}$$

Las calorías aportadas por el autoconsumo humano del η –ésimo tipo de la μ –ésima especie $CAATi_{\eta \mu} E_{\mu}$ y el ξ –ésimo subproducto del η –ésimo tipo de la μ –ésima especie $CAAs_{\xi \eta \mu} Ti_{\eta \mu} E_{\mu}$, $\mu = 1, \dots, q$, $\eta = 1, \dots, q_T$, $\xi = 1, \dots, q_s$, se calculan a partir del producto entre las calorías por tonelada que ofrecen (calorías por tonelada del η –ésimo tipo de la μ –ésima especie $cATi_{\eta \mu} E_{\mu}$ y del ξ –ésimo subproducto del η –ésimo tipo de la μ –ésima especie $cAs_{\xi \eta \mu} Ti_{\eta \mu} E_{\mu}$), dadas en $[calorías/tonelada]$, y las toneladas de producto obtenidas del autoconsumo humano del η –ésimo tipo de la μ –ésima especie $AHTi_{\eta \mu} E_{\mu}$ y del ξ –ésimo subproducto del η –ésimo tipo de la μ –ésima especie $AHS_{\xi \eta \mu} Ti_{\eta \mu} E_{\mu}$, dadas en $[toneladas/trimestre]$, como sigue:

$$\begin{aligned} CAATi_{\eta \mu} E_{\mu} &= cATi_{\eta \mu} E_{\mu} \cdot AHTi_{\eta \mu} E_{\mu} \\ CAAs_{\xi \eta \mu} Ti_{\eta \mu} E_{\mu} &= cAs_{\xi \eta \mu} Ti_{\eta \mu} E_{\mu} \cdot AHS_{\xi \eta \mu} Ti_{\eta \mu} E_{\mu} \end{aligned}$$

La demanda calórica del σ –ésimo grupo alimenticio DCG_{σ} , dada en $[calorías/trimestre]$, es el producto entre la población P del paisaje, dada en $[habitantes]$, y la demanda per cápita de

calorías del σ –ésimo grupo alimenticio $dPCG_{\sigma}$, dada en $[calorías/(habitante \cdot trimestre)]$, es decir:

$$DCG_{\sigma} = dPCG_{\sigma} \cdot P$$

Para identificar la distribución de la canasta de alimentos del paisaje, de acuerdo con los grupos alimenticios, se ha propuesto que, si la brecha del σ –ésimo grupo alimenticio BG_{σ} es positiva, entonces se marque con la unidad al grupo G_{σ} , de lo contrario se ponga cero, ya que, si la brecha es positiva para cualquier valor, se está cumpliendo con el abastecimiento de las calorías que se demandan en el grupo, es decir:

$$G_{\sigma} = \{1 \text{ } BG_{\sigma} > 0 \text{ } 0 \text{ } BG_{\sigma} \leq 0\}$$

El indicador de calidad de la seguridad alimentaria animal $ICSAA$ pondera si se satisface la brecha adimensional de consumo animal BCA , entre la demanda calórica trimestral DCA , dada en $[calorías/trimestre]$, y la capacidad de todos los autoconsumos animales que se realizan en el paisaje de atender esa demanda, dada en $[calorías/trimestre]$, para ello se vale de la función $ICSAA$, que asigna a la brecha BCA positiva el valor unitario, de tal modo que, permite reconocer si se abastece adecuadamente las calorías a los animales de rancho, es decir:

$$ICSAA = \{1 \text{ } BCA > 0 \text{ } 0 \text{ } BCA \leq 0\}$$

Al igual que con la seguridad alimentaria humana, la brecha de consumo animal BCA se calcula a partir de un filtro de los autoconsumos del paisaje, de tal modo que, se puedan sumar las calorías aportadas por los usos agropecuarios (calorías aportadas por el ϕ –ésimo autoconsumo animal del i –ésimo uso agropecuario $CAA_{\phi_i} U_i$ y por el ϕ_k –ésimo autoconsumo de la k –ésima transformación del i –ésimo uso agropecuario $CAA_{\phi_k} T_k U_i$, $i = 1, \dots, m$, $k = 1, \dots, u_i$, $\phi = 1, \dots, sA_i$, $\phi_k = 1, \dots, wA_i$, dadas en $[calorías/trimestre]$) y las áreas naturales (calorías aportadas por el ϕ –ésimo autoconsumo animal de bosques $CAA_{\phi_B} B$, $\phi_B = 1, \dots, sAB$, herbazales $CAA_{\phi_e} H_e$, $\phi_e = 1, \dots, sA_e$ y humedales $CAA_{\phi_u} H_u$, $\theta_u = 1, \dots, sA_u$, y de la k –ésima transformación de bosques $CAA_{\phi_{kB}} T_{kB} B$, $k_B = 1, \dots, uB$, $\phi_{kB} = 1, \dots, wA_B$, herbazales $CAA_{\phi_{ke}} T_{ke} H_e$, $k_e = 1, \dots, uH_e$, $\phi_{ke} = 1, \dots, wAH_e$, y humedales $CAA_{\phi_{ku}} T_{ku} H_u$, $k_u = 1, \dots, uH_u$, $\phi_{ku} = 1, \dots, wAH_u$, dadas en $[calorías/trimestre]$), para finalmente, compararlas con la demanda calórica DCA , dada en $[calorías/trimestre]$, como sigue:

$$BCA = \left\{ \sum_{\phi=1}^{sA_i} \sum_{i=1}^m CAA_{\phi_i} U_i pGA_{\phi_i} U_i = \rho \text{ } 0 \text{ } pGA_{\phi_i} U_i \neq \rho \right\} + \left\{ \sum_{\phi_k=1}^{wA_i} \sum_{k=1}^{u_i} \sum_{i=1}^m CAA_{\phi_k} T_k U_i pGA_{\phi_k} T_k U_i = \rho \text{ } 0 \text{ } pGA_{\phi_k} T_k U_i \neq \rho \right\} + \left\{ \sum_{\phi_B=1}^{sAB} CAA_{\phi_B} B pGA_{\phi_B} B = \rho \text{ } 0 \text{ } pGA_{\phi_B} B \neq \rho \right\} + \left\{ \sum_{\phi_e=1}^{sA_e} CAA_{\phi_e} H_e pGA_{\phi_e} H_e = \rho \text{ } 0 \text{ } pGA_{\phi_e} H_e \neq \rho \right\} + \left\{ \sum_{\phi_u=1}^{sA_u} CAA_{\phi_u} H_u pGA_{\phi_u} H_u = \rho \text{ } 0 \text{ } pGA_{\phi_u} H_u \neq \rho \right\} + \left\{ \sum_{\phi_{kB}=1}^{wA_B} \sum_{k_B=1}^{uB} CAA_{\phi_{kB}} T_{kB} B pGA_{\phi_{kB}} T_{kB} B = \rho \text{ } 0 \text{ } pGA_{\phi_{kB}} T_{kB} B \neq \rho \right\} + \left\{ \sum_{\phi_{ke}=1}^{wA_{H_e}} \sum_{k_e=1}^{uH_e} CAA_{\phi_{ke}} T_{ke} H_e pGA_{\phi_{ke}} T_{ke} H_e = \rho \text{ } 0 \text{ } pGA_{\phi_{ke}} T_{ke} H_e \neq \rho \right\} + \left\{ \sum_{\phi_{ku}=1}^{wA_{H_u}} \sum_{k_u=1}^{uH_u} CAA_{\phi_{ku}} T_{ku} H_u pGA_{\phi_{ku}} T_{ku} H_u = \rho \text{ } 0 \text{ } pGA_{\phi_{ku}} T_{ku} H_u \neq \rho \right\}$$

Las calorías aportadas por el ϕ –ésimo autoconsumo animal del i –ésimo uso agropecuario $CAA_{\phi} U_i$ y por el ϕ_k –ésimo autoconsumo de la k –ésima transformación del i –ésimo uso agropecuario $CAA_{\phi_k} T_k U_i$, $i = 1, \dots, m$, $k = 1, \dots, u_i$, $\phi = 1, \dots, sA_i$, $\phi_k = 1, \dots, wA_i$, dadas en [calorías/trimestre], se calculan a partir del producto entre las calorías por tonelada que ofrecen (calorías por tonelada del ϕ –ésimo autoconsumo animal del i –ésimo uso agropecuario $cAA_{\phi} U_i$ y calorías por tonelada del ϕ_k –ésimo autoconsumo de la k –ésima transformación del i –ésimo uso agropecuario $cAA_{\phi_k} T_k U_i$, dadas en [calorías/tonelada]) y las toneladas de producto obtenidas del autoconsumo animal del i –ésimo uso agropecuario $AA_{\phi} U_i$ y de la k –ésima transformación del i –ésimo uso agropecuario $AA_{\phi_k} T_k U_i$, dadas en [toneladas/trimestre] como sigue:

$$CAA_{\phi} U_i = cAA_{\phi} U_i \cdot AA_{\phi} U_i$$

$$CAA_{\phi_k} T_k U_i = cAA_{\phi_k} T_k U_i \cdot AA_{\phi_k} T_k U_i$$

$\phi_{ku} = 1, \dots, wAH_u$, dadas en $[calorías/trimestre]$, se calculan a partir de las calorías por tonelada que ofrecen las áreas naturales (calorías por tonelada de bosques $cAA_{\phi_B} B$, herbazales $cAA_{\phi_e} H_e$ y humedales $cAA_{\phi_u} H_u$ y calorías por tonelada de la k -ésima transformación de bosques $cAA_{\phi_{kB}} T_{k_B} B$, herbazales $cAA_{\phi_{ke}} T_{k_e} H_e$ y humedales $cAA_{\phi_{ku}} T_{k_u} H_u$), dadas en $[calorías/tonelada]$, y las toneladas de producto obtenidas para el autoconsumo animal desde áreas naturales (autoconsumo animal de bosques $AA_{\phi_B} B$, herbazales $AA_{\phi_e} H_e$ y humedales $AA_{\phi_u} H_u$ y de transformaciones de bosques $AA_{\phi_{kB}} T_{k_B} B$, herbazales $AA_{\phi_{ke}} T_{k_e} H_e$ y humedales $AA_{\phi_{ku}} T_{k_u} H_u$), dadas en $[toneladas/trimestre]$ como sigue:

$$\begin{aligned} CAA_{\phi_B} B &= cAA_{\phi_B} B \cdot AA_{\phi_B} B \\ CAA_{\phi_e} H_e &= cAA_{\phi_e} H_e \cdot AA_{\phi_e} H_e \\ CAA_{\phi_u} H_u &= cAA_{\phi_u} H_u \cdot AA_{\phi_u} H_u \\ CAA_{\phi_{kB}} T_{k_B} B &= cAA_{\phi_{kB}} T_{k_B} B \cdot AA_{\phi_{kB}} T_{k_B} B \\ CAA_{\phi_{ke}} T_{k_e} H_e &= cAA_{\phi_{ke}} T_{k_e} H_e \cdot AA_{\phi_{ke}} T_{k_e} H_e \\ CAA_{\phi_{ku}} T_{k_u} H_u &= cAA_{\phi_{ku}} T_{k_u} H_u \cdot AA_{\phi_{ku}} T_{k_u} H_u \end{aligned}$$

La demanda calórica del ρ -ésimo grupo alimenticio $DCGA_{\rho}$, dada en $[calorías/trimestre]$, es el producto entre las poblaciones de las especies del paisaje (en sus etapas de crías CCE_{μ} , levante CLE_{μ} y ceba CSE_{μ} de la μ -ésima especie, $\mu = 1, \dots, q$), dadas en $[cabezas]$, y la demanda per cápita de calorías del ρ -ésimo grupo alimenticio de la μ -ésima especie (demanda per cápita de crías $dPCGA_{\rho} CE_{\mu}$, animales en levante $dPCGA_{\rho} LE_{\mu}$ y animales en ceba $dPCGA_{\rho} SE_{\mu}$), dada en $[calorías/(cabezas \cdot trimestre)]$, es decir:

$$DCGA_{\rho} = \sum_{\mu=1}^q (CCE_{\mu} \cdot dPCGA_{\rho} CE_{\mu} + CLE_{\mu} \cdot dPCGA_{\rho} LE_{\mu} + CSE_{\mu} \cdot dPCGA_{\rho} SE_{\mu})$$

Para identificar la distribución de la canasta de alimentos del paisaje, de acuerdo con los grupos alimenticios, se ha propuesto que, si la brecha del ρ -ésimo grupo alimenticio BGA_{ρ} es positiva, entonces se marque con la unidad al grupo G_{ρ} , de lo contrario se ponga cero, ya que, si la brecha es positiva para cualquier valor, se está cumpliendo con el abastecimiento de las calorías que se demandan en el grupo, es decir:

$$G_{\rho} = \{1 \text{ si } BGA_{\rho} > 0 \text{ } 0 \text{ si } BGA_{\rho} \leq 0\}$$

Los costos de la rentabilidad del paisaje involucrando las demandas y costos de productos del paisaje para autoconsumos, los costos de otras demandas de productos del mismo paisaje que no se autoconsumen, sino que se compran y los ingresos que se obtienen de toda la actividad agropecuaria. El supuesto es que, si el VPN del paisaje converge a un valor positivo, para un $t > T$, $T \in \mathbb{R}$, entonces hay acceso económico a los alimentos.

Los costos generales que se consideran en esta sección deben considerar implícitamente los costos de asistencia técnica, de servicios públicos, de insumos, de maquinaria, de transporte, de herramientas y de mano de obra al trimestre.

La expresión diferencial para el cálculo del VPN , define el VPN , dado en $[COP\$]$, como la acumulación del flujo de caja FC , dado en $[COP\$/trimestre]$, es decir:

$$\frac{d}{dt}VPN = FC$$

El flujo de caja del paisaje en este modelo es la diferencia entre los ingresos y costos del paisaje, dados en $[COP\$/trimestre]$. Los ingresos considerados son 1) los ingresos de los usos agropecuarios del suelo ITU_i , $i = 1, \dots, m$, 2) los ingresos de las especies animales de aprovechamiento agropecuario ITE_μ , $\mu = 1, \dots, q$, 3) los ingresos de las áreas naturales (de bosques ITB , de herbazales ITH_e y de humedales ITH_u) y 4) los ingresos totales del turismo de naturaleza $ITTN$. Los costos considerados son 1) costo total suplir brechas nutricionales humanas $CTSBN$, 2) costo total suplir brechas nutricionales animales $CTSBNA$, 3) costo de producción de las especies animales $CTPdE_\mu$, 4) costo de producción de los usos $CTPdU_i$ y 5) costo total de producción de las áreas naturales (de bosques $CTPdB$, de herbazales $CTPdH_e$ y de humedales $CTPdH_u$).

$$FC = \sum_{i=1}^m (ITU_i - CTPdU_i) + \sum_{\mu=1}^q (ITE_\mu - CTPdE_\mu) + ITB + ITH_e + ITH_u + ITTN - CTSBN - CTSBNA - C$$

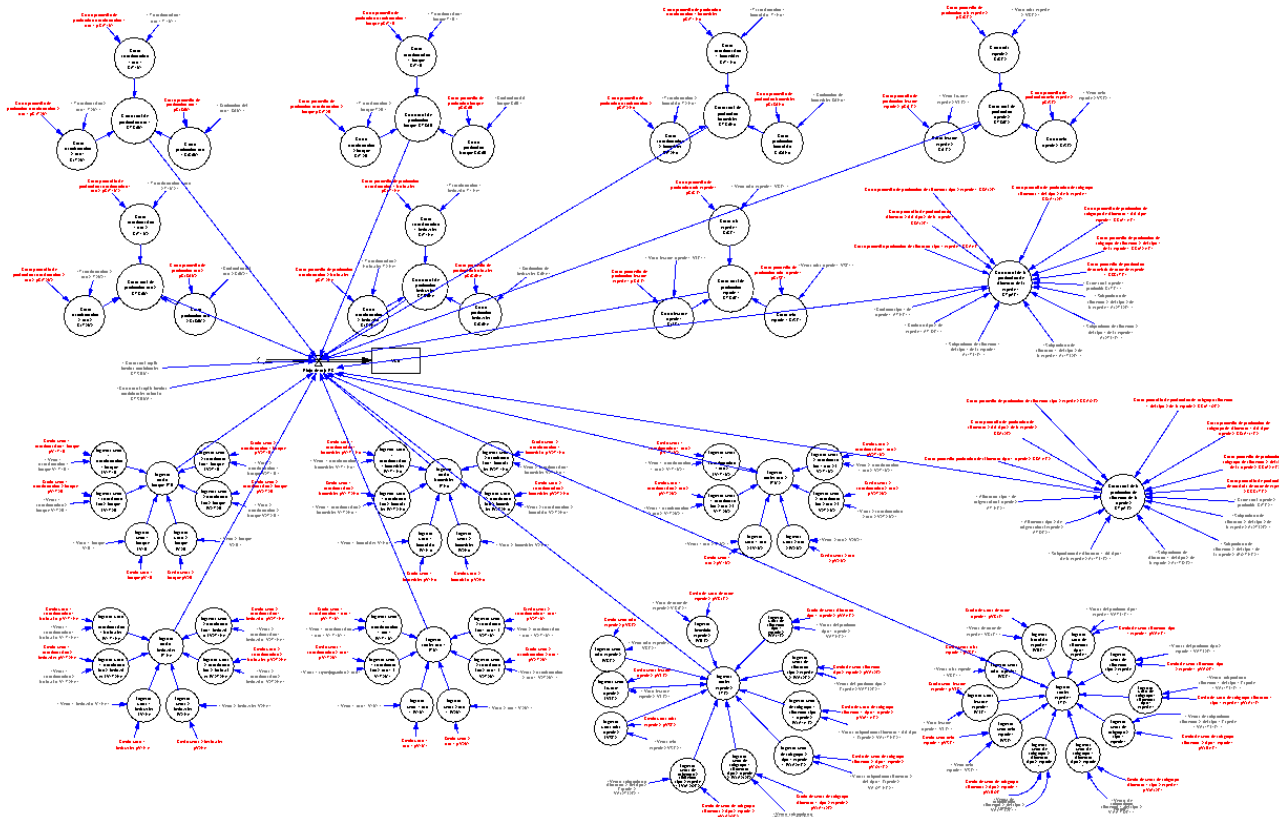


Figura 19: Representación del VPN en el diagrama de niveles y flujos.

Los ingresos totales del i –ésimo uso agropecuario ITU_i , $i = 1, \dots, m$, dados en $[COP\$/trimestre]$, son la suma de los ingresos de la j –ésima venta, $j = 1, \dots, r_i$, del i –ésimo uso agropecuario $IV_j U_i$ y de los ingresos de la l –ésima venta de la k –ésima transformación del i –ésimo uso agropecuario $IV_l T_k U_i$, $l = 1, \dots, v_i$, $k = 1, \dots, u_i$, es decir:

$$ITU_i = \sum_{j=1}^{r_i} IV_j U_i + \sum_{l=1}^{v_i} \sum_{k=1}^{u_i} IV_l T_k U_i$$

Donde los ingresos $IV_j U_i$ son el producto entre el precio de la j –ésima venta, $j = 1, \dots, r_i$, del i –ésimo uso agropecuario $pV_j U_i$, dado en $[COP\$/tonelada]$, y la j –ésima venta, $j = 1, \dots, r_i$, del i –ésimo uso agropecuario $V_j U_i$, dado en $[tonelada/trimestre]$, mientras que los ingresos $IV_l T_k U_i$ son el producto entre el precio de la l –ésima venta, $l = 1, \dots, v_i$, de la k –ésima transformación, $k = 1, \dots, u_i$, del i –ésimo uso agropecuario $pV_l T_k U_i$, dado en $[COP\$/tonelada]$,

y la l –ésima venta, $l = 1, \dots, v_i$, de la k –ésima transformación, $k = 1, \dots, u_i$, del i –ésimo uso agropecuario $V_l T_k U_i$, dado en $[tonelada/trimestre]$, es decir:

$$IV_j U_i = pV_j U_i \cdot V_j U_i$$

$$IV_l T_k U_i = pV_l T_k U_i \cdot V_l T_k U_i$$

Las ventas de los usos agropecuario (directas $V_j U_i$ y de transformación $V_l T_k U_i$) se definieron en la Sección 2.2.1.

Los ingresos totales de las especies animales de aprovechamiento agropecuario ITE_μ , $\mu = 1, \dots, q$, dados en $[COP\$/trimestre]$, corresponden a los ingresos por la venta de cabezas de crías de la μ –ésima especie $IVCE_\mu$, la venta de cabezas en levante de la μ –ésima especie $IVLE_\mu$, la venta de cabezas en ceba de la μ –ésima especie $IVSE_\mu$, los ingresos por el beneficio de la μ –ésima especie $IVBE_\mu$, los ingresos por venta del η –ésimo tipo de alimentos de la μ –ésima especie $IVATi_{\eta \mu}$ y los ingresos por venta del ξ –ésimo subgrupo del η –ésimo tipo de alimentos de la μ –ésima especie $IVAs_{\xi \eta \mu}$, $\eta = 1, \dots, q_\tau$, $\xi = 1, \dots, q_s$, como se muestra a continuación:

$$ITE_\mu = IVCE_\mu + IVLE_\mu + IVSE_\mu + IVBE_\mu + IVATi_{\eta \mu} + IVAs_{\xi \eta \mu}$$

Donde los ingresos $IVCE_\mu$ son el producto entre el precio de venta de las cabezas de crías de la μ –ésima especie $pVCE_\mu$, dado en $[COP\$/cabeza]$, y la venta de las crías de la μ –ésima especie VCE_μ , dada en $[cabeza/trimestre]$, los ingresos $IVLE_\mu$ son el producto entre el precio de venta de los animales en levante de la μ –ésima especie $pVCE_\mu$, dado en $[COP\$/cabeza]$, y la venta de los animales en levante de la μ –ésima especie VCE_μ , dada en $[cabeza/trimestre]$, los ingresos $IVSE_\mu$ son el producto entre el precio de venta de los animales en ceba de la μ –ésima especie $pVCE_\mu$, dado en $[COP\$/cabeza]$, y la venta de los animales en ceba de la μ –ésima especie VCE_μ , dada en $[cabeza/trimestre]$, los ingresos $IVBE_\mu$ son el producto entre el precio de venta de carne de la μ –ésima especie $pVCaE_\mu$, dado en $[COP\$/cabeza]$, y la venta de carne de la μ –ésima especie $VCaE_\mu$, dada en $[cabeza/trimestre]$, los ingresos $IVATi_{\eta \mu}$ son el producto entre el precio de venta del η –ésimo tipo de alimentos de la μ –ésima especie $pVATi_{\eta \mu}$, dado en $[COP\$/tonelada]$, y la venta del η –ésimo tipo de alimentos de la μ –ésima especie $VATi_{\eta \mu}$, dada en $[tonelada/trimestre]$, y los ingresos $IVAs_{\xi \eta \mu}$ son el producto entre el precio de venta de los subgrupos de alimentos ξ tipo η de la μ –ésima especie $pVSA_{\xi \eta \mu}$, dado en

[COP\$/tonelada] y la venta del ξ –ésimo subgrupo del η –ésimo tipo de alimentos de la μ –ésima especie $VAs_{\xi\eta\mu}TiE$, dada en [tonelada/trimestre], como se muestra a continuación:

$$\begin{aligned}
 IVCE_{\mu} &= pVCE_{\mu} \cdot VCE_{\mu} \\
 IVLE_{\mu} &= pVLE_{\mu} \cdot VLE_{\mu} \\
 IVSE_{\mu} &= pVSE_{\mu} \cdot VSE_{\mu} \\
 IVBE_{\mu} &= pVCaE_{\mu} \cdot VCaE_{\mu} \\
 IVATiE_{\eta\mu} &= \sum_{\eta=1}^{q_T} pVATiE_{\eta\mu} \cdot VATiE_{\eta\mu} \\
 IVAs_{\xi\eta\mu}TiE &= \sum_{\xi=1}^{q_s} \sum_{\eta=1}^{q_T} pVAs_{\xi\eta\mu}TiE \cdot VAs_{\xi\eta\mu}TiE
 \end{aligned}$$

Los ingresos totales de las áreas naturales (de bosques ITB , de herbazales ITH_e y de humedales ITH_u) son la suma de los ingresos de la j –ésima venta de las áreas naturales (ingresos por ventas en bosques IV_jB , $j = 1, \dots, rB$, en herbazales IV_jH_e , $j = 1, \dots, rH_e$, y en humedales IV_jH_u , $j = 1, \dots, rH_u$) y de los ingresos de la l –ésima venta de la k –ésima transformación de las áreas naturales (ingresos de ventas después de transformación en bosques IV_lT_kB , $l = 1, \dots, vB$, $k = 1, \dots, uB$, herbazales $IV_lT_kH_e$, $l = 1, \dots, vH_e$, $k = 1, \dots, uH_e$, y humedales $IV_lT_kH_u$, $l = 1, \dots, vH_u$, $k = 1, \dots, uH_u$), es decir:

$$\begin{aligned}
 ITB &= \sum_{j=1}^{rB} IV_jB + \sum_{l=1}^{vB} \sum_{k=1}^{uB} IV_lT_kB \\
 ITH_e &= \sum_{j=1}^{rH_e} IV_jH_e + \sum_{l=1}^{vH_e} \sum_{k=1}^{uH_e} IV_lT_kH_e \\
 ITH_u &= \sum_{j=1}^{rH_u} IV_jH_u + \sum_{l=1}^{vH_u} \sum_{k=1}^{uH_u} IV_lT_kH_u
 \end{aligned}$$

Donde los ingresos por venta directa de las áreas naturales (IV_jB para bosques, IV_jH_e para herbazales y IV_jH_u para humedales) son el producto entre el precio de la j –ésima venta del área natural (precio productos de bosque pV_jB , $j = 1, \dots, rB$, de herbazales pV_jH_e , $j = 1, \dots, rH_e$, y de humedales pV_jH_u , $j = 1, \dots, rH_u$) dados en [COP\$/tonelada], y la j –ésima venta del área natural (productos vendidos de bosque V_jB , $j = 1, \dots, rB$, de herbazales V_jH_e , $j = 1, \dots, rH_e$, y humedales V_jH_u , $j = 1, \dots, rH_u$), dados en [tonelada/trimestre], mientras que los ingresos por ventas después de transformación (IV_lT_kB para ingresos de bosques, $l = 1, \dots, vB$, $k = 1, \dots, uB$, $IV_lT_kH_e$ para ingresos de herbazales, $l = 1, \dots, vH_e$, $k = 1, \dots, uH_e$, y $IV_lT_kH_u$ para ingresos de

humedales, $l = 1, \dots, vH_u$, $k = 1, \dots, uH_u$) son el producto entre el precio de la l –ésima venta, de la k –ésima transformación, de los productos de áreas naturales (precio de los productos obtenidos después de la transformación de productos tomados de bosques $pV_l T_k B$, de herbazales $pV_l T_k H_e$ y de humedales $pV_l T_k H_u$), dados en $[COP\$/tonelada]$, y la l –ésima venta, $l = 1, \dots, v$, de la k –ésima transformación, $k = 1, \dots, u$, de las áreas naturales (venta de los productos de la transformación de bosque $V_l T_k B$, de herbazales $V_l T_k H_e$ y de humedales $V_l T_k H_u$) dados en $[tonelada/trimestre]$, es decir:

$$\begin{aligned} IV_j B &= pV_j B \cdot V_j B \\ IV_j H_e &= pV_j H_e \cdot V_j H_u \\ IV_j H_u &= pV_j H_u \cdot V_j H_u \\ IV_l T_k B &= pV_l T_k B \cdot V_l T_k B \\ IV_l T_k H_e &= pV_l T_k H_e \cdot V_l T_k H_e \\ IV_l T_k H_u &= pV_l T_k H_u \cdot V_l T_k H_u \end{aligned}$$

Las ventas de los productos de las áreas naturales, directas y de transformación, se definieron en la Sección 2.2.1. Finalmente, los ingresos totales del turismo de naturaleza $ITTN$ se presentaron en la Sección 2.2.6.

El costo total de producción del i –ésimo uso agropecuario $CTPdU_i$ es el costo de la producción del i –ésimo uso agropecuario $CtPdU_i$, $i = 1, \dots, m$, y el costo de cada una de las transformaciones que se realicen en el uso agropecuario $CtT_k U_i$, $k = 1, \dots, u_i$, es decir:

$$CTPdU_i = CtPdU_i + \sum_{k=1}^{u_i} CtT_k U_i$$

Donde el costo de la producción del i –ésimo uso agropecuario $CtPdU_i$, es el producto entre el costo promedio de producción del i –ésimo uso agropecuario $pCtPdU_i$, dado en $[COP\$/tonelada]$, y la producción del i –ésimo uso agropecuario PdU_i , dado en $[toneladas/trimestre]$, mientras que el costo de la k –ésima transformación del i –ésimo uso agropecuario $CtT_k U_i$ es el producto entre el costo promedio de producción de la k –ésima transformación del i –ésimo uso agropecuario $pCtT_k U_i$, dado en $[COP\$/tonelada]$, y la k –ésima transformación del i –ésimo uso agropecuario $T_k U_i$, dada en $[toneladas/trimestre]$, como se muestra a continuación:

$$CtPdU_i = pCtPdU_i \cdot PdU_i$$

$$CtT_k U_i = pCtT_k U_i \cdot T_k U_i$$

El costo total de producción de la μ –ésima especie animal de aprovechamiento agropecuario $CTPdE_\mu$, es la suma entre el costo de la producción de alimentos $CtPdAE_\mu$, el costo de producir una cría $CtCE_\mu$, un animal en levante $CtLE_\mu$ y un animal en ceba $CtSE_\mu$ de la μ –ésima especie, $\mu = 1, \dots, q$, sin considerar su alimentación, pues ha sido considerada en el costo de consumo animal, líneas atrás. Las ecuaciones se muestran a continuación:

$$CTPdE_\mu = CtPdAE_\mu + CtCE_\mu + CtLE_\mu + CtSE_\mu$$

Aquí, el costo de producción de alimentos de la μ –ésima especie $CtPdAE_\mu$, $\mu = 1, \dots, q$, es la suma entre el costo de producción de la carne de la μ –ésima especie $CtCaE_\mu$, el costo de los productos del η –ésimo tipo de la μ –ésima especie $CtATi_\eta E_\mu$ y el costo del ξ –ésimo subproducto del η –ésimo tipo de la μ –ésima especie $CtAs_\xi Ti_\eta E_\mu$, es decir:

$$CtPdAE_\mu = CtCaE_\mu + \sum_{\eta=1}^{q_T} CtATi_\eta E_\mu + \sum_{\xi=1}^{q_s} \sum_{\eta=1}^{q_T} CtAs_\xi Ti_\eta E_\mu$$

Donde $CtCaE_\mu$ es el producto entre el costo promedio de producción de carne de la μ –ésima especie $pCtCaE_\mu$, dado en $[COP\$/tonelada]$, y las toneladas de carne producida de la μ –ésima especie CaE_μ , dado en $[toneladas/trimestre]$, $CtATi_\eta E_\mu$ es el producto entre el costo promedio de los productos del η –ésimo tipo de la μ –ésima especie $pCtATi_\eta E_\mu$, dado en $[COP\$/tonelada]$, y los productos del η –ésimo tipo de la μ –ésima especie $ATi_\eta E_\mu$, dados en $[tonelada/trimestre]$, finalmente, $CtAs_\xi Ti_\eta E_\mu$ es el producto entre el costo promedio del ξ –ésimo subproducto del η –ésimo tipo de la μ –ésima especie $pCtAs_\xi Ti_\eta E_\mu$, dado en $[COP\$/tonelada]$, y el ξ –ésimo subproducto del η –ésimo tipo de la μ –ésima especie $As_\xi Ti_\eta E_\mu$, dado en $[tonelada/trimestre]$, como se muestra a continuación:

beneficio de los animales en ceba de la μ –ésima especie

$$\begin{aligned} CtCaE_\mu &= pCtCaE_\mu \cdot CaE_\mu \\ CtATi_\eta E_\mu &= pCtATi_\eta E_\mu \cdot ATi_\eta E_\mu \\ CtAs_\xi Ti_\eta E_\mu &= pCtAs_\xi Ti_\eta E_\mu \cdot As_\xi Ti_\eta E_\mu \end{aligned}$$

El costo de producir crías de la μ –ésima especie $CtCE_\mu$ es el producto entre el costo promedio de producción de una cría de la μ –ésima especie $pCtCE_\mu$, dado en $[COP\$/cabeza]$, y el número de cabezas de crías vendidas de la μ –ésima especie VCE_μ , dado en $[cabeza/trimestre]$. El costo de

producir animales en levante de la μ –ésima especie $CtLE_{\mu}$ es el producto entre el costo promedio de producción de un animal en levante de la μ –ésima especie $pCtLE_{\mu}$, dado en $[COP\$/cabeza]$, y el número de cabezas de animales en levante vendidos de la μ –ésima especie VLE_{μ} , dado en $[cabeza/trimestre]$. El costo de producir animales en ceba de la μ –ésima especie $CtSE_{\mu}$ es el producto entre el costo promedio de producción de un animal en ceba de la μ –ésima especie $pCtSE_{\mu}$, dado en $[COP\$/cabeza]$, y el número de cabezas de animales en ceba vendidos de la μ –ésima especie VSE_{μ} , dado en $[cabeza/trimestre]$, como se muestra a continuación:

$$\begin{aligned} CtCE_{\mu} &= pCtCE_{\mu} \cdot VCE_{\mu} \\ CtLE_{\mu} &= pCtLE_{\mu} \cdot VLE_{\mu} \\ CtSE_{\mu} &= pCtSE_{\mu} \cdot VSE_{\mu} \end{aligned}$$

El costo total de suplir brechas nutricionales humanas $CTNH$, dado en $[COP\$/trimestre]$, es la sumatoria de los costos de suplir la brecha de cada grupo $CSBG_{\sigma}$, $\sigma = 1, \dots, 12$, dados en $[COP\$/trimestre]$, como sigue:

$$CTSN = \sum_{\sigma=1}^{12} CSBG_{\sigma}$$

El costo de suplir la brecha en el σ –ésimo grupo $CSBG_{\sigma}$, dado en $[COP\$/trimestre]$, es nulo cuando la brecha del σ –ésimo grupo BG_{σ} es nula o positiva, porque hay suficiencia del σ –ésimo grupo alimenticio pero, en el caso contrario, es el producto entre el opuesto de la brecha del σ –ésimo grupo BG_{σ} , porque la brecha es negativa, dado en $[caloría/trimestre]$, el costo de la tonelada del σ –ésimo grupo $pCTG_{\sigma}$, dado en $[COP\$/tonelada]$, y un factor de conversión de calorías del σ –ésimo grupo a toneladas $fCTG_{\sigma}$, dado en $[tonelada/caloría]$, como se expresa a continuación:

$$CSBG_{\sigma} = \{-BG_{\sigma} \cdot fCTG_{\sigma} \cdot pCTG_{\sigma} \mid BG_{\sigma} < 0 \mid 0 \mid BG_{\sigma} \geq 0\}$$

La brecha del σ –ésimo grupo BG_{σ} fue presentada líneas arriba.

El costo total de suplir brechas nutricionales animales $CTSBNA$, dado en $[COP\$/trimestre]$, es la sumatoria de los costos de suplir la brecha de cada grupo alimenticio animal $CSBGA_{\rho}$, $\rho = 1, 2, 3$, dados en $[COP\$/trimestre]$, como sigue:

$$CTSBNA = \sum_{\sigma=1}^3 CSBGA_{\rho}$$

El costo de suplir la brecha en el ρ –ésimo grupo animal $CSBGA_{\rho}$, dado en $[COP\$/trimestre]$, es nulo cuando la brecha del ρ –ésimo grupo animal BGA_{ρ} es nula o positiva, porque hay suficiencia del ρ –ésimo grupo alimenticio pero, en el caso contrario, es el producto entre el opuesto de la brecha del ρ –ésimo grupo animal BGA_{ρ} , porque la brecha es negativa, dado en $[caloría/trimestre]$, el costo de la tonelada del ρ –ésimo grupo $pCTGA_{\rho}$, dado en $[COP\$/tonelada]$, y un factor de conversión de calorías del ρ –ésimo grupo a toneladas $fCTGA_{\rho}$, dado en $[tonelada/caloría]$, como se expresa a continuación:

$$CSBGA_{\rho} = \begin{cases} -BGA_{\rho} \cdot fCTGA_{\rho} \cdot pCTGA_{\rho} & BGA_{\rho} < 0 \\ 0 & BGA_{\rho} \geq 0 \end{cases}$$

La brecha del ρ –ésimo grupo animal BGA_{ρ} fue presentada líneas arriba.

El costo total de producción de las áreas naturales (de bosques $CTPdB$, de herbazales $CTPdH_e$ y de humedales $CTPdH_u$) es el costo de la producción de las áreas naturales (costo de bosques $CtPdB$, de herbazales $CtPdH_e$ y de humedales $CtPdH_u$) y el costo de cada una de las transformaciones que se realicen en las áreas naturales (en bosques CtT_kB , $k = 1, \dots, uB_i$, en herbazales CtT_kH_e , $k = 1, \dots, uHe_i$ y en humedales CtT_kH_u , $k = 1, \dots, uHu_i$) es decir:

$$\begin{aligned} CTPdB &= CtPdB + \sum_{k=1}^{uB_i} CtT_kB \\ CTPdH_e &= CtPdH_e + \sum_{k=1}^{uHe_i} CtT_kH_e \\ CTPdH_u &= CtPdH_u + \sum_{k=1}^{uHu_i} CtT_kH_u \end{aligned}$$

Donde el costo de la producción de las áreas naturales (en bosques $CtPdB$, en herbazales $CtPdH_e$ y en humedales $CtPdH_u$), es el producto entre el costo promedio de producción de las áreas naturales (en bosques $pCtPdB$, en herbazales $pCtPdH_e$ y en humedales $pCtPdH_u$), dado en $[COP\$/tonelada]$, y la producción de las áreas naturales (en bosques PdB , en herbazales PdH_e y en humedales PdH_u), dado en $[toneladas/trimestre]$, mientras que el costo de la k –ésima transformación de cada una de las áreas naturales (en bosques CtT_kB , en herbazales CtT_kH_e y en humedales CtT_kH_u) es el producto entre el costo promedio de producción de la k –ésima transformación de cada una de las áreas naturales (en bosques $pCtT_kB$, en herbazales $pCtT_kH_e$ y en humedales $pCtT_kH_u$), dado en $[COP\$/tonelada]$, y la k –ésima transformación de cada una

de las áreas naturales (en bosques $T_k B$, en herbazales $T_k H_e$ y en humedales $T_k H_u$), dada en [toneladas/trimestre], como se muestra a continuación:

$$\begin{aligned} CtPdB &= pCtPdB \cdot PdB \\ CtPdH_e &= pCtPdH_e \cdot PdH_e \\ CtPdH_u &= pCtPdH_u \cdot PdH_u \\ CtT_k B &= pCtT_k B \cdot T_k B \\ CtT_k H_e &= pCtT_k H_e \cdot T_k H_e \\ CtT_k H_u &= pCtT_k H_u \cdot T_k H_u \end{aligned}$$

2.2.9. Heterogeneidad de los usos en el paisaje

La heterogeneidad en los usos del suelo es una medida de la participación porcentual que tienen los diferentes usos del paisaje, de acuerdo con su área. Este indicador considera la existencia de diferentes coberturas en los usos agropecuarios, lo que brinda la posibilidad que los usos sean de mosaicos (Bustamante-Zamudio et al., 2019).

La heterogeneidad es calculada con la siguiente fórmula:

$$H = \frac{N \cdot (1 - H_v) - p_{\min}}{p_{\max} - p_{\min}}$$

Donde H es la heterogeneidad en los usos del suelo para un cierto paisaje, N es el número de usos identificados en el paisaje, p_i es el parámetro de mosaico del i —ésimo uso, dado por las coberturas del uso agropecuario, como se muestra en la Tabla 2 y H_v es la heterogeneidad virtual, que se calcula con la siguiente fórmula:

$$H_v = 1 - \frac{1}{N \cdot ATP} \left(p_{\max} \cdot (B + H_e + H_u) + \sum_{i=1}^N AU_i \cdot p_i \right)$$

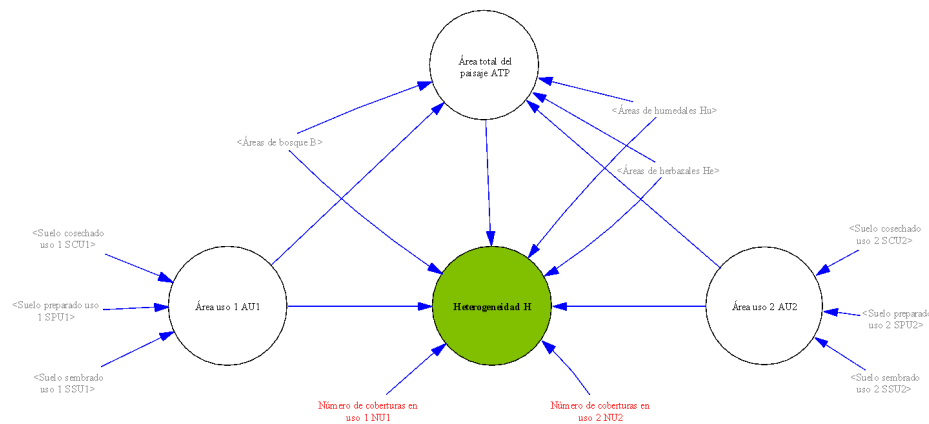


Figura 20: Representación de la heterogeneidad en el diagrama de niveles y flujos.

Donde AU_i es el área del i –ésimo uso agropecuario, B es el área de bosque, H_e es el área de herbazales, H_u es el área de los humedales y ATP es el área total del paisaje analizado:

$$ATP = B + H_e + H_u + \sum_{i=1}^m AU_i$$

Tales que:

$$AU_i = SPU_i + SSU_i + SCU_i$$

La heterogeneidad virtual H_v es una medida auxiliar utilizada para el cálculo de la heterogeneidad en los usos del suelo de un cierto paisaje que corresponde al promedio ponderado de áreas de los usos y tipos de áreas naturales del paisaje.

Tabla 2: Valor del parámetro p de mosaico de un uso agropecuario, de acuerdo con su número de coberturas.

Número de coberturas en el uso	Valor del parámetro de mosaicos p
Uso con una (1) cobertura	$p_{min} = 1$
Uso con dos (2) coberturas	2
Uso con tres (3) coberturas	3
Uso con cuatro (4) coberturas	4
Cinco o más (≥ 5) coberturas o áreas naturales	$p_{max} = 5$

Fuente: elaboración propia.

2.2.10. Validación del modelo de Dinámica de Sistemas

Para la validación del modelo basado en Dinámica de Sistemas se implementaron diferentes técnicas reportadas en Barlas (1996).

Las pruebas de confirmación empírica de estructura y de confirmación empírica de parámetros fueron realizadas a través de talleres con expertos de diferentes instituciones, principalmente Instituto Humboldt y Agrosavia.

Algunos de los modelos más discutidos, como el modelo de oferta hídrica y el modelo de erosión, particularmente, también fueron sometidos a las pruebas de confirmación teórica de estructura y de confirmación teórica de parámetros, como podrá revisarse con las citaciones realizadas.

En todos los casos se realizó la prueba de consistencia dimensional que aparece en toda la explicación de los modelos verificándose que las unidades fueron propuestas de forma adecuada.

Durante las simulaciones se realizaron pruebas de valores extremos que nos permitieron reconocer los límites y alcances del modelo, encontrando que el sistema alcanza un horizonte de hasta 30 años sin generar comportamientos irregulares como la explosión exponencial.

Muchas de las simulaciones que se realizaron para presentar los resultados fueron previamente revisadas con análisis de sensibilidad del sistema a la variación de parámetros basados en el método de Monte Carlo, obteniendo una respuesta adecuada, como la que se mostrará en la Sección 5.

Finalmente, se hicieron pruebas de relación entre fases para comparar el comportamiento entre parejas de variables de estado y verificar la consistencia entre lo representado y lo simulado.

No se hicieron pruebas de comparación con series de tiempo porque los datos son insuficientes para la mayoría de los indicadores y variables de estado que fueron consideradas en este trabajo de modelamiento y simulación.

2.3 Impactos del COVID-19 en las trayectorias de los sistemas agroalimentarios presentes en el Valle de Sibundoy, Putumayo

La actual pandemia provocada por el contagio del COVID-19 ha generado durante el año 2020 diversos impactos en los sistemas agroalimentarios a lo largo del planeta. Colombia no ha sido la excepción y, siendo uno de los países con mayor número absoluto de contagios en el mundo y teniendo una alta diversidad de sistemas agroalimentarios, evaluar el impacto de la pandemia en los sistemas agroalimentarios del país es de particular relevancia.

La modelación propuesta en este documento tiene la flexibilidad para poder incorporar y simular los impactos socioeconómicos que ha tenido la pandemia del COVID en las unidades de paisajes agroalimentarios en el Valle de Sibundoy, razón por la cual, uno de los escenarios que se simuló fue el escenario COVID-19. Para lo anterior, se realizó una revisión de literatura reciente que analiza los principales impactos que ha tenido la pandemia, sin embargo, dado que la respuesta de los actores

en cada paisaje varía según sus necesidades y sus características socioeconómicas, se corroboró con información recolectada en campo sobre los efectos que ha tenido en los municipios de la zona de estudio.

A continuación, se presenta la revisión de bibliografía realizada que recopila los efectos encontrados en diversos estudios recientes, como informes de organismos multilaterales y reportes locales sobre el impacto del COVID-19. Posteriormente, se presentan los arreglos de parámetros realizados en el modelo basado en Dinámica de Sistemas para simular los impactos del COVID-19 y ver el cambio en el comportamiento que este escenario tiene con respecto al actual. Esta información está acompañada de los datos recopilados en campo que permiten confirmar estos cambios en los parámetros. Finalmente, se presentan los resultados de las modelaciones que exponen los impactos en los sistemas agroalimentarios del Valle de Sibundoy.

2.3.1. Revisión de bibliografía COVID-19

Al no conocerse una tendencia epidemiológica de infección y al ser un virus nuevo para el que no existía vacuna, la pandemia del virus SARS2 COVID-19 ha causado comportamientos dramáticos en el sector socioeconómico. La respuesta de mitigación global se ha centrado en estrategias de salud pública para acortar y reducir la propagación de la transmisión viral a través de la higiene de manos, el distanciamiento social y el confinamiento en casa (cuarentenas).

De manera aproximada se estima que, al menos un tercio de la población mundial estuvo en confinamiento y una gran parte de la actividad económica se había detenido durante los meses del primer brote epidemiológico del COVID-19 en cada país. Los alimentos y el acceso a ellos comenzaron a generar una preocupación por el posible desabastecimiento en general, cierres de mercados, tiendas y restricciones de compras, reforzaron esa preocupación junto con las imágenes de estantes de supermercados vacíos que aparecieron en los medios de comunicación (Bakalis et al, 2020). Lo anterior, permitió la creación de un imaginario de déficit de aprovisionamiento, haciendo que la población en general creara un impulso temporal en las compras de alimentos.

En este panorama, se suponía un impacto inevitable sobre el sector agroalimentario, que comenzó a evidenciarse con las modificaciones en las dinámicas de abastecimiento de alimentos locales, regionales y nacionales en diferentes países a nivel mundial (Fei, Ni & Santini, 2020). De acuerdo con Bakalis et al (2020), esta pandemia desafió a todo el sistema de la cadena alimentaria, probablemente debido a las restricciones de viajes, incluido el transporte de mano de obra (agrícola y de otro tipo) y suministros, siendo el detonante de la interrupción en la producción de alimentos, la logística y los servicios relacionados con alimentos, lo que representó y está representando un desafío para la capacidad de continuar proporcionando alimentos suficientes, mitigando la variación de precios o ausencia de clientes quienes por el confinamiento redujeron el número de visitas a lugares cotidianos de compras rurales y lugares de gran expendio.

Las cadenas globales de suministro de alimentos son de naturaleza compleja y las posibles perturbaciones en cualquiera de las variables que conforman dichas cadenas de suministro de alimentos pueden ser causadas por diferentes factores (Udmale et al, 2020), tales como: alteraciones en los actores de los componentes del lado de la oferta del equilibrio alimentario, por ejemplo: producción, inventario, precios, combustible, transporte, así como componentes del lado de la demanda, por ejemplo: patrones de consumo, población, migración por la pandemia, los cuales combinados afectan de manera sinérgica el suministro general de alimentos y los componentes que mantienen una seguridad alimentaria (Figura 21).

De acuerdo con Galanakis (2020), se puede afirmar que el suministro de alimentos estuvo interrumpido de forma general y las personas que pasan hambre se podrían haber duplicado durante los confinamientos. Para evitar una escasez masiva de alimentos, es de suma importancia que los países garanticen la operación de las cadenas de suministro de alimentos, para esto se sugieren estrategias tales como, expandir los programas de asistencia alimentaria de emergencia y brindar asistencia inmediata a la producción agrícola de los pequeños agricultores impulsando el comercio electrónico. Asimismo, se propone centrarse en los cuellos de botella logísticos clave, por ejemplo: transporte de alimentos obstaculizado entre provincias y alimentos perecederos como la pesca, las verduras y las frutas (Galanakis, 2020).

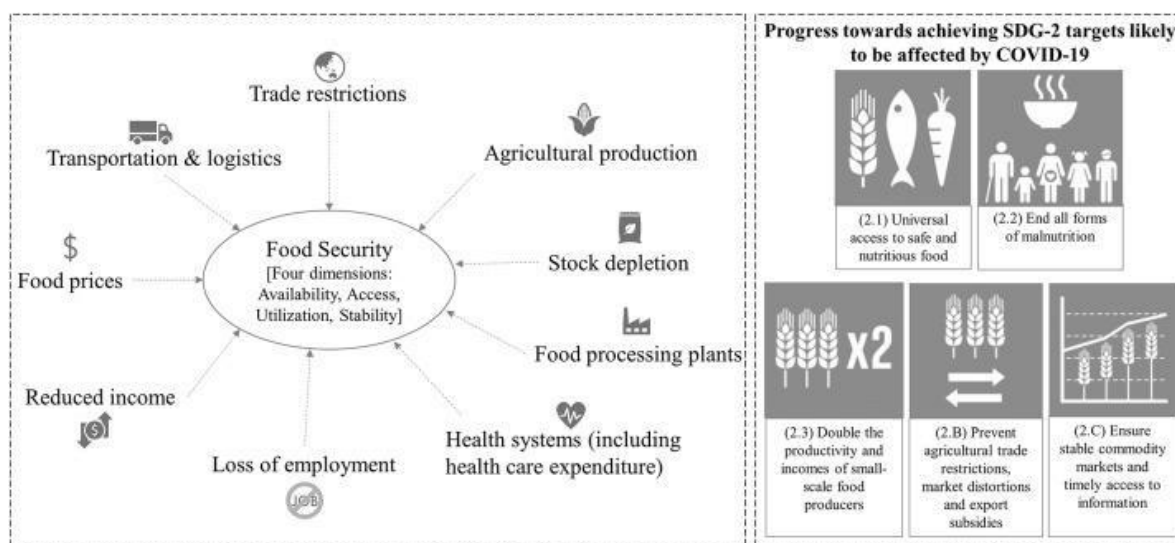


Figura 21: Factores potenciales que pueden afectar la seguridad alimentaria a nivel macro y el progreso hacia las metas del ODS-2 en el contexto de la pandemia COVID-19 de 2020. Tomado de Udmale et al, 2020.

Entre las estrategias para la mitigación del impacto en este sector se distinguen las implementadas por la Unión Europea, quién ha demostrado contar con cadenas de suministro resilientes que han proporcionado de forma continua alimentos seguros y de gran calidad a su población (Comisión

Europea, 2020), lo cual no significa que los agricultores y los productores no estén enfrentando dificultades, frente a una creciente presión económica por cambios de precios, bajo la directriz europea de mantener la seguridad alimentaria a pesar de la pandemia. Así pues, la Comisión Europea ha divulgado la adopción de medidas necesarias para apoyar a todos los actores implicados. Se distingue la medida: cadena alimentaria eficiente, en la que se planteó un apoyo directo a los agricultores y a las zonas rurales, basados en préstamos o garantías para los gastos para sufragar los gastos de producción. Otra medida es la inversión para desarrollo rural, en la que se destinan fondos al desarrollo rural, con el fin de pagar a los agricultores y a las pequeñas empresas agroalimentarias por sus productos repesados. Estas medidas han sido discutidas con el fin de aportar una ayuda inmediata a los agricultores y a las empresas más afectados por la crisis, pues la variación de precios, oferta y demanda ha afectado su dinámica comercial diaria.

Por otro lado, el impacto socioeconómico generado al sector turismo tampoco tiene precedentes. Esta pandemia afectó de manera directa el mercado turístico global, como resultado de medidas de prevención tales como el distanciamiento social, reducir el contacto social, evitar lugares concurridos, minimizar los viajes, confinamientos (voluntarios y obligatorios) y el cierre de fronteras (Wojcieszak-Zbierska et al, 2020; Sigala, 2020). Adicional a estos, en algunos países se planteó prohibición de turismo local, por esto, el tráfico de turistas se detuvo abruptamente afectando el turismo, la hotelería y el agroturismo, este último es una forma importante de diversificar ingresos en las zonas de agricultura y las áreas rurales (Kock et al, 2020). Como es conocido, los sistemas agroalimentarios se caracterizan por ser atractivos de turismo, en el marco de lo que se ha denominado agroturismo y algunos presentan zonas rurales donde además se realiza ecoturismo.

Finalmente, se puede afirmar que no ha sido posible estimar el alcance del impacto económico del brote de COVID-19 porque el curso y la duración del brote aún se desconocen, y ambos no se pueden predecir (Uğur & Akbıyık, 2020), sin embargo, el deterioro económico puede ser mucho más significativo que el brote mismo, por esto, algunos autores han sugerido que el nombre debería ser sindemia, en lugar de pandemia, ya que esta ha traído un sin número de problemas sinérgicos desde el punto de vista de salud, de aspectos sociales y económicos, que aún no se pueden calcular, lo cual puede continuar afectando la producción agrícola y los sistemas agroalimentarios, de todos los países que no desarrollen medidas para proteger la seguridad alimentaria.

La FAO (2020), plantea que las experiencias de crisis pasadas han demostrado que evitar ciertas medidas restrictivas del comercio puede ser igualmente importante para formas más directas de apoyar a los consumidores y productores. En este contexto, seguir las directrices internacionales sobre viajes seguros y corredores comerciales puede ayudar a mantener en funcionamiento las cadenas de suministro agroalimentario, mitigar las interrupciones del suministro de alimentos y promover la seguridad alimentaria.

2.3.2. Consideraciones para la simulación del escenario SARS-COVID19 en paisajes rurales

Para la simulación del escenario SARS COVID-19, no se parte de la representación epidemiológica del virus en la región, sino que se tiene en cuenta los efectos socioeconómicos que el virus desencadenó en cada una de las unidades de paisaje, los cuales se pueden incluir al modelo dinámico a partir de arreglos de parámetros que los expresen. Estos efectos y las estrategias para representarlos a través de arreglos de parámetros se describen a continuación:

Efecto 1: Venden barato y compran caro. Los productores, al tener acumulación de productos por falta de acceso al combustible que permita el transporte hasta compradores, se han visto obligados a la disminución de precios o a recibir ofertas por parte de intermediarios que aprovechan la situación para comprar a menores precios. Esto se hace por la ausencia de capacidad de almacenamiento y por evitar que se dañe lo cosechado. Pero, por otro lado, la misma falta de acceso a combustible y, por lo tanto, por la disminución del transporte, hace que los precios de los productos que llegan al valle sean altos.

Estrategia: subir costos y bajar precios.

Efecto 2: Aumento de inmigración. La inmigración conduce al aumento de la población que, preocupada por contagiarse, se aísla y aumenta el autoconsumo, disminuyendo las ventas que hace de sus productos.

Estrategia: aumentar autoconsumos y disminuir ventas

Efecto 3: Afectación al turismo. Durante los primeros meses del confinamiento decretado por el gobierno nacional, es posible que el número de visitantes al Valle de Sibundoy esté cercano a cero. Tras seis meses de confinamiento y con la reactivación del sector de turismo, es posible que el número de visitantes comience a incrementarse, sin embargo, se espera que este número no sea tan alto como el que se venía presentado de acuerdo con los periodos de alta, baja y media temporada turística.

Estrategia: Visitantes igual a cero

2.4 Consideraciones para la simulación de de los sistemas agroalimentarios presentes en el Valle de Sibundoy, Putumayo, bajo perspectiva de cambio climático

Así como el COVID-19 tiene efectos en la dinámica de los sistemas agroalimentarios del Valle de Sibundoy, existen diversos *choques exógenos* con el potencial de afectar estos sistemas. En relación con la provisión futura de servicios ecosistémicos, uno de los *choques exógenos* más relevantes para analizar es el **Cambio Climático**.

Debido a la continua emisión de gases de efecto invernadero y a que estas aún no han disminuido lo suficiente, el IPCC (2018) estima con una alta probabilidad un aumento de 1.5 °C en la temperatura promedio global entre 2030 y 2052, en comparación con la temperatura promedio de niveles pre-industriales. Con estas perspectivas, el comportamiento de muchos sistemas agroalimentarios se verá fuertemente sacudido en todo el mundo, con amplias variaciones a nivel local.

En particular para Colombia, el IDEAM et al. (2015) han realizado pronósticos sobre la evolución de dos variables directamente relacionadas con el cambio climático: temperatura y precipitación. Sus estimaciones han sido realizadas para todos los departamentos de Colombia, con diversas proyecciones hasta 2100, dentro de las cuales incluye una estimación de los impactos que se derivan de los cambios en estas variables climáticas.

Más específicamente para el área de estudio, el Valle de Sibundoy, Putumayo, el IDEAM et al. (2015) realizaron las siguientes proyecciones:

- “Para el fin de siglo el Departamento [de Putumayo] podrá aumentar 2,2°C la temperatura promedio respecto al valor actual. En general, los territorios que menos variarían la temperatura actual serán los asociados al piedemonte, [como lo es el **Valle de Sibundoy**].”
- “En promedio el Departamento [de Putumayo] podrá aumentar precipitaciones en un 6,7% sobre el valor actual. Particularmente los municipios de **Sibundoy, Colón, Santiago, Orito, Valle del Guamuéz y San Miguel**, podrán presentarse aumentos de hasta un 20%.”

Los impactos del cambio climático son susceptibles a ser simulados, tarea que implica el análisis de las relaciones y la proyección de las trayectorias de las variables climáticas precipitación y temperatura, así como también cobertura y formación de nubes, grado de reflexión de las coberturas terrestres (albedo), la circulación de los vientos, entre otras. Debido a que el objetivo de los modelos enunciados consiste en analizar los sistemas agroalimentarios, la modelación endógena del cambio climático escapa al alcance de los modelos expuestos. Razón por la cual, los impactos vinculados al **cambio climático** en cuanto a temperatura y precipitación serán analizados como *choques exógenos* al modelo. En este sentido, se construirá un escenario de **cambio climático** que tenga en consideración distintos arreglos de parámetros para las variables de temperatura y precipitación, y se identificarán los efectos en las trayectorias de los sistemas agroalimentarios en el Valle de Sibundoy.



Trabajando por la biodiversidad

3. Diseño muestral y selección de herramientas para la recolección de información

De acuerdo con la metodología del doble bucle de gestión del conocimiento (Redondo, 2018), los ejercicios de modelamiento matemático conducen a la identificación de las necesidades de información para que estos modelos puedan ser simulados, advirtiéndose los sobrecostos y tiempos perdidos de un monitoreo (captura de información), transmisión, almacenamiento y preprocesamiento de los datos o información que sea realizado de forma desordenada, es decir, adquisición de información que no sería utilizada en los ejercicios de simulación de los modelos.

Una vez completamente desarrollados los modelos, se obtuvo qué información se necesitaba recopilar para alimentar los modelos, lo que determinó a su vez el tipo y el diseño de los instrumentos y herramientas que se necesitaron para recoger en campo la información requerida. Dada la naturaleza de los datos y la necesidad de obtener una muestra representativa, se diseñó una encuesta compuesta por diversos módulos, según los temas de interés identificados.

En el *“Documento Anexo 1. Formulario Encuesta TEEB, primera ronda”* se encuentran las preguntas que se diseñaron para recopilar la información requerida. Este formulario se compone de varios módulos, siendo el más amplio el correspondiente a las actividades agropecuarias y el procesamiento de los productos. Así mismo, se incluyó un modelo de uso de la biodiversidad que permitió identificar qué otros usos se dan a las áreas naturales. En el documento también se incorporó un módulo de relaciones sociales, que identifica los niveles de confianza en la comunidad, los principales actores, y el empoderamiento y la acción política. En seguida se agregó un módulo de seguridad alimentaria, siguiendo las guías sobre diversidad alimentaria y los indicadores formulados por la FAO (FAO, 2013; FAO, 2019). Esta encuesta fue aplicada entre los meses de febrero y marzo de 2020 por dos personas que visitaron las unidades de paisaje del Valle de Sibundoy mapeadas en la **Figura 2** y descritas en el **Anexo 1**.

Debido a la retroalimentación que tuvieron los dos modelos durante el proceso de construcción, surgieron nuevas variables de interés, las cuales se incorporaron en un nuevo instrumento de recolección de información el cual se encuentra en el *“Documento Anexo 2. Formulario Encuesta TEEB, segunda ronda”*. Esta encuesta incluyó un módulo sobre instrumentos económicos y pactos sociales por el territorio, un módulo con preguntas adicionales de cultivos y un último módulo que indaga por los efectos de eventos extremos en las cadenas de valor, como cambio climático, fluctuaciones en el mercado o enfermedades. Esta segunda recolección de información fue realizada en el mes de junio de 2020.

La información que no correspondía a la escala de paisaje o que no fue posible recopilar directamente en campo, fue completada con fuentes secundarias, tal como se describe en el **Anexo 2** para los condicionantes de la Red de Implicaciones. Dentro de estas fuentes, que pueden

ser consultadas de manera extensa en la sección de bibliografía, se encuentra el Censo Nacional Agropecuario (DANE, 2014), las Estadísticas del sector avícola (FENAVI, 2020), los costos de producción del sector ganadero en Colombia (FEDEGAN) (2020) y las Series de precios a mayoristas (DANE, 2019), entre otros. Adicionalmente, se consultaron múltiples estudios sobre producción agrícola, emisiones de carbono y seguridad alimentaria, siendo la FAO la principal fuente de información para este último concepto.

Dado el volumen de información requerida por el modelo, es importante reconocer el desafío que significa unir distintas fuentes de información, en distintos momentos del tiempo y a diferentes escalas. Este, sin duda, es uno de los mayores retos de trabajar con un modelo de la envergadura y del alcance que se formuló en el capítulo anterior.

4. Formulación de recomendaciones

Una vez recopilada la información correspondiente al modelo de línea base, los resultados de aplicar el método de las Redes de Implicaciones permitieron obtener un valor de la incidencia de la política de ordenamiento territorial en el paisaje en cada una de las 62 unidades de paisaje del área de estudio, la cual se presenta en la **Figura 22** a través del color, de tal modo que los paisajes con el color más intenso son aquellos en los que la incidencia es menor.

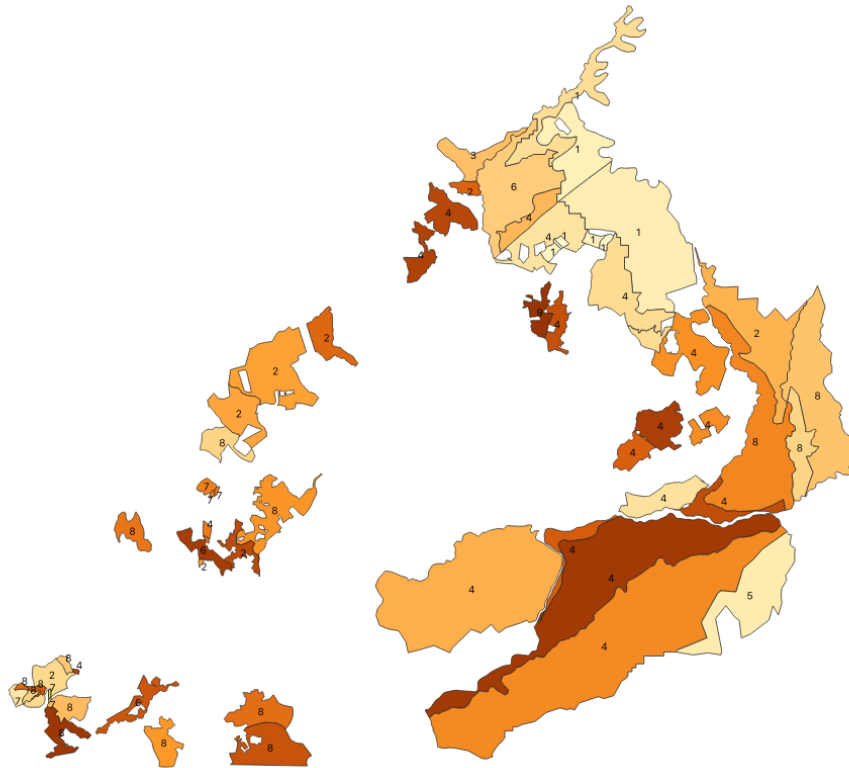


Figura 22: Mapa de la incidencia de la política de ordenamiento territorial en el área de estudio. Los colores menos intensos fueron asignados a las unidades de paisaje con mayor incidencia de la política de ordenamiento territorial.

Fuente: elaboración propia.

Con el fin de identificar las prioridades de gestión a partir de la red de incidencia de la política de ordenamiento territorial del área de estudio, se calculó la influencia que cada atributo tiene en la red, para el caso en el que todos los condicionantes tienen su valor máximo (o mínimo, cuando el atributo tiene una intención negativa, como el “conflicto de uso”), permitiendo obtener el *valor potencial* que tendría cada atributo en la incidencia de política, el cual es comparado con el valor real obtenido a través de la simulación de los valores reales de los condicionantes en cada unidad

de paisaje. La brecha entre el *valor potencial* y el *valor real* determina si el atributo es o no, una prioridad de gestión: a mayor brecha, mayor prioridad.

Se encontró que, por la articulación sistémica de la red de implicaciones, los atributos potencialmente más influyentes son el “uso de herramientas de fortalecimiento de capacidades para la implementación de la planificación del territorio”, los “Paisajes vulnerados”, el “Cumplimiento de los pactos”, la “Eficacia de los instrumentos económicos en el cambio del uso del suelo que cumpla con la funcionalidad socioecosistémica del territorio” y el “Fortalecimiento de las cadenas productivas”. Los valores potenciales de influencia de cada uno de los atributos de la red de implicaciones son presentados en la Tabla 3.

Tabla 3: Valores potenciales de influencia de cada uno de los atributos de la red de implicaciones. Los colores verdes son los atributos más influyentes, mientras que los colores más rojos son los menos influyentes.

No	Atributos	Sigla	Incidencia
1	Apropiación social y cumplimiento de la política pública por parte de los actores del territorio	ASCPPAT	0,701892783
2	Bienestar del territorio	BT	1,262853857
3	Coordinación entre los actores para la implementación	CAI	1,439084868
4	Cumplimiento de los pactos	CP	2,140216312
5	Conflictos socioecológicos en el territorio	CST	0,635288559
6	Diversidad de intereses sobre el territorio	DIST	1,212134777
7	Eficacia de los instrumentos económicos en el cambio del uso del suelo que cumpla con la funcionalidad socioecosistémica del territorio	EIE	2,983227881
8	Fortalecimiento de las cadenas productivas	FCP	1,800252552
9	Funcionalidad socioecosistémica del territorio	FSET	0,594024984
10	Uso de herramientas de fortalecimiento de capacidades para la implementación de la planificación del territorio	HFCIPT	3,448568899
11	Implementación de los instrumentos de gestión de la intervención en la propiedad y estructura predial	IIG	1,613443069
12	Demanda de infraestructura de servicios	IS	0,879460755
13	Legitimidad y credibilidad de las instituciones	LCI	1,551504943

14	Generación de pactos sociales por el territorio	PST	0,60660123 3
15	Productividad del territorio	PT	0,38199231 6
16	Paisajes vulnerados	PV	3,26100687 5

Fuente: elaboración propia.

4.1. Formulación de tipologías

Con la incidencia de cada atributo para cada paisaje, fue posible organizar de mayor a menor cada atributo según su nivel de prioridad, con el fin de construir las tipologías de gestión. Dado que cada tipología agrupa las primeras n-prioridades de gestión para cada paisaje, se identificaron las tipologías de gestión para $n=1, \dots, 10$, con el fin de evaluar el número de prioridades que se debería tener en cuenta para las tipologías. Vale la pena resaltar que no se tuvo en cuenta el orden de las prioridades, es decir, dos paisajes tienen una misma tipología si sus primeras n-prioridades son iguales sin importar el orden en el que se encuentren.

Para seleccionar el número de prioridades que se tuvieron en cuenta para cada tipología, se aplicaron 3 criterios. El primero consiste en que mínimo se tienen 3 prioridades de gestión por tipología, de manera tal que se tomen en cuenta un mínimo número de prioridades para generar los lineamientos. El segundo criterio consiste en el número máximo de tipologías, el cual fue fijado en 10 para limitar el número de lineamientos, dado que cada tipología tiene sus propios lineamientos. Y, finalmente, se calculó la desviación estándar para el número de paisaje por tipología, priorizando la menor desviación estándar, lo que implica que los paisajes están distribuidos de una manera más homogénea entre las tipologías y se minimiza la concentración de paisajes en una sola tipología (**Anexo 3**).

Luego de aplicar los 3 criterios para la identificación de las tipologías, se tomó en consideración el top 5 de las prioridades de gestión del resultado general de la incidencia de política, obteniéndose un total de 9 tipologías que son presentadas y descritas en la Tabla 4.

Tabla 4: Atributos priorizados y número de paisajes para cada tipología de gestión identificada

No. Tipología	Atributos para cada tipología	Sigla	Número de paisajes en la tipología
1	Paisajes vulnerados	PV	8
	Uso de herramientas de fortalecimiento de capacidades para la implementación de la planificación del territorio	HFCIPT	

	Eficacia de los instrumentos económicos en el cambio del uso del suelo que cumpla con la funcionalidad socioecosistémica del territorio	EIE	
	Diversidad de intereses sobre el territorio	DIST	
	Cumplimiento de los pactos	CP	
2	Paisajes vulnerados	PV	9
	Uso de herramientas de fortalecimiento de capacidades para la implementación de la planificación del territorio	HFCIPT	
	Fortalecimiento de las cadenas productivas	FCP	
	Eficacia de los instrumentos económicos en el cambio del uso del suelo que cumpla con la funcionalidad socioecosistémica del territorio	EIE	
	Cumplimiento de los pactos	CP	
3	Paisajes vulnerados	PV	1
	Uso de herramientas de fortalecimiento de capacidades para la implementación de la planificación del territorio	HFCIPT	
	Fortalecimiento de las cadenas productivas	FCP	
	Eficacia de los instrumentos económicos en el cambio del uso del suelo que cumpla con la funcionalidad socioecosistémica del territorio	EIE	
	Diversidad de intereses sobre el territorio	DIST	
4	Paisajes vulnerados	PV	18
	Implementación de los instrumentos de gestión de la intervención en la propiedad y estructura predial	IIG	
	Uso de herramientas de fortalecimiento de capacidades para la implementación de la planificación del territorio	HFCIPT	
	Eficacia de los instrumentos económicos en el cambio del uso del suelo que cumpla con la funcionalidad socioecosistémica del territorio	EIE	
	Cumplimiento de los pactos	CP	
5	Paisajes vulnerados	PV	1
	Demanda de infraestructura de servicios	IS	
	Uso de herramientas de fortalecimiento de capacidades para la implementación de la planificación del territorio	HFCIPT	
	Eficacia de los instrumentos económicos en el cambio del uso del suelo que cumpla con la funcionalidad socioecosistémica del territorio	EIE	
	Cumplimiento de los pactos	CP	
6	Paisajes vulnerados	PV	3
	Legitimidad y credibilidad de las instituciones	LCI	
	Uso de herramientas de fortalecimiento de capacidades para la implementación de la planificación del territorio	HFCIPT	
	Eficacia de los instrumentos económicos en el cambio del uso del suelo que cumpla con la funcionalidad socioecosistémica del territorio	EIE	
	Cumplimiento de los pactos	CP	
7	Paisajes vulnerados	PV	6
	Legitimidad y credibilidad de las instituciones	LCI	

	Uso de herramientas de fortalecimiento de capacidades para la implementación de la planificación del territorio	HFCIPT	
	Eficacia de los instrumentos económicos en el cambio del uso del suelo que cumpla con la funcionalidad socioecosistémica del territorio	EIE	
	Diversidad de intereses sobre el territorio	DIST	
8	Paisajes vulnerados	PV	15
	Legitimidad y credibilidad de las instituciones	LCI	
	Uso de herramientas de fortalecimiento de capacidades para la implementación de la planificación del territorio	HFCIPT	
	Fortalecimiento de las cadenas productivas	FCP	
	Eficacia de los instrumentos económicos en el cambio del uso del suelo que cumpla con la funcionalidad socioecosistémica del territorio	EIE	
9	Paisajes vulnerados	PV	1
	Generación de pactos sociales por el territorio	PST	
	Uso de herramientas de fortalecimiento de capacidades para la implementación de la planificación del territorio	HFCIPT	
	Eficacia de los instrumentos económicos en el cambio del uso del suelo que cumpla con la funcionalidad socioecosistémica del territorio	EIE	
	Cumplimiento de los pactos	CP	

Fuente: elaboración propia.

La descripción de las tipologías implica que, por ejemplo, las recomendaciones de los lineamientos de política para la tipología de gestión 1 deben enfocarse en mejorar los condicionantes que disminuyen los “Paisajes vulnerados”, que mejoran el “Uso de herramientas de fortalecimiento de capacidades para la implementación de la planificación del territorio”, que aumentan la “Eficacia de los instrumentos económicos en el cambio del uso del suelo que cumpla con la funcionalidad socioecosistémica del territorio”, que disminuye la “Diversidad de intereses sobre el territorio” y que aumenta el “Cumplimiento de los pactos”.

Dado que cada tipología agrupa distintas unidades de paisaje, las 9 tipologías pueden ser representadas espacialmente, tal como se muestra en la Figura 23, en donde se identifica la tipología correspondiente para cada una de las 62 unidades de paisajes de estudio.

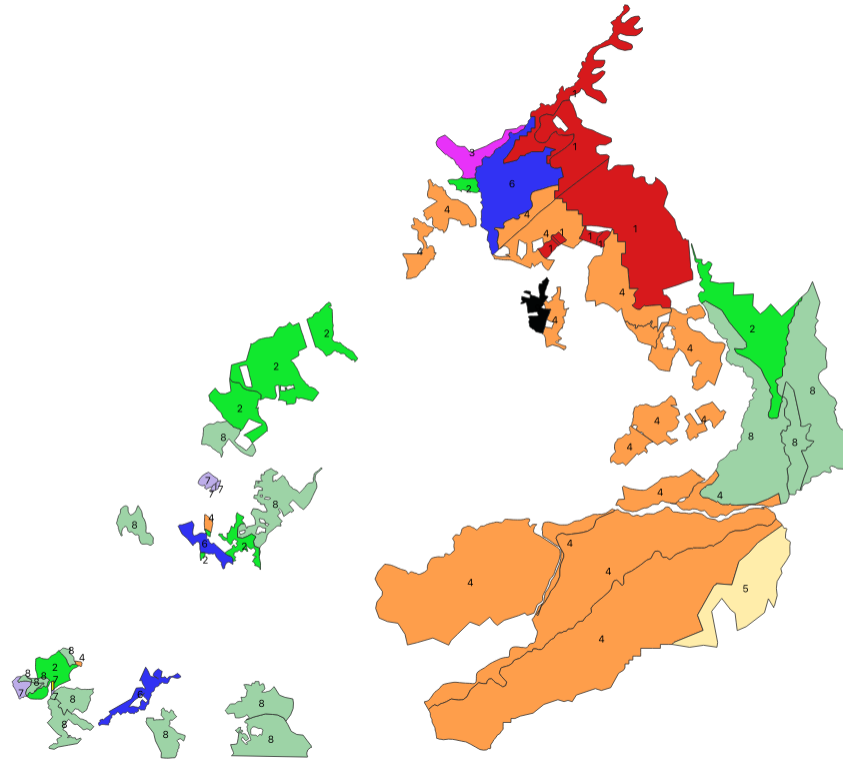


Figura 23: Mapa de las tipologías de gestión identificadas para cada unidad de paisaje. El número y color identifican las tipologías distintas.

Fuente: elaboración propia.

Una vez identificadas las tipologías de gestión, cada una tiene asociados 5 atributos por definición. Para generar un cambio en la incidencia de política de cada paisaje, los lineamientos deben formularse de manera tal que afecten los condicionantes que intervienen en cada uno de los atributos priorizados. Por lo anterior, se deben identificar cuáles son los condicionantes asociados a cada atributo y cuáles de estos son más susceptibles de mejorar, es decir, cuáles se encuentran en niveles más bajos (o más altos, en caso de los condicionantes negativos como “Conflicto de uso”).

Una vez realizada la identificación de condicionantes se tienen todos los ingredientes para realizar la formulación de recomendaciones de lineamientos de políticas. A continuación, se presenta la estructura bajo la cual fueron formulados, así como los insumos para cada tipología.

4.2. Recomendaciones de lineamientos de política

Para formular las recomendaciones de lineamientos de política a partir de las tipologías de gestión y la información de los paisajes pertenecientes a cada tipología, la **Figura 24** y la **Figura 25** exponen

el paso a paso. Los pasos 1 y 2 fueron expuestos en la sección anterior, en donde se presentó la Red de Implicaciones resaltando los atributos y los condicionantes para cada tipología, y en donde se presentó las principales características de las unidades de paisaje que hacen parte de cada tipología.

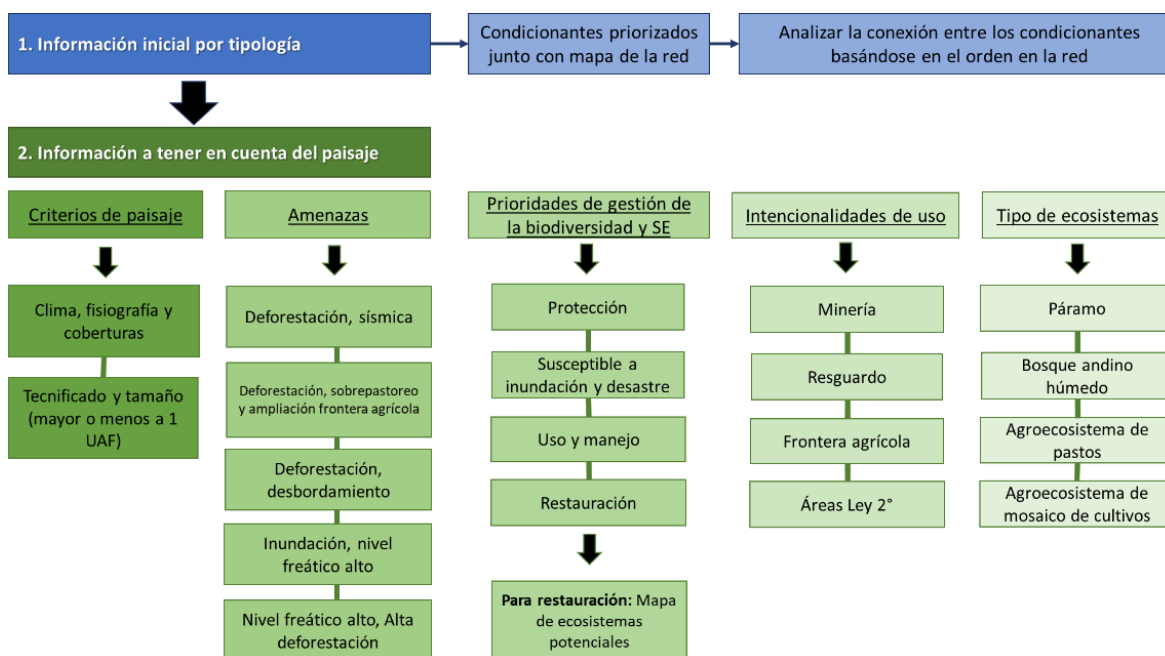


Figura 24: Pasos 1 y 2 para formular recomendaciones de lineamientos de política.

Fuente: elaboración propia.

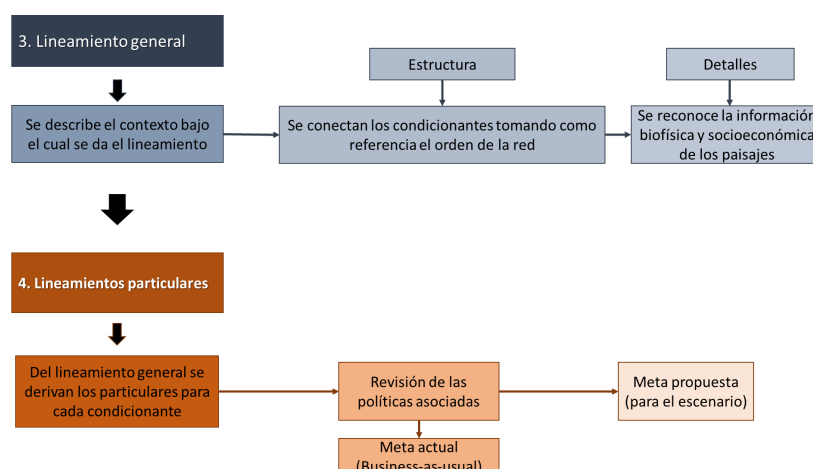


Figura 25: Pasos 3 y 4 para formular recomendaciones de lineamientos de política.

Fuente: elaboración propia.

Primero, se analiza el contexto bajo el cual los condicionantes se identifican como prioridades de gestión. Con los condicionantes priorizados se identifican los condicionantes como primordiales, que tienen efecto sobre los otros. Estos condicionantes sirven como pilar para el lineamiento general. Posteriormente, se analizan los condicionantes desde la parte inicial de la red a la luz de la información de los paisajes (coberturas, amenazas, conservación, intencionalidades de uso, etc.). Por ejemplo, para los lineamientos sobre ecosistemas vulnerables, se tiene en cuenta los tipos de ecosistemas y las acciones de gestión según el POMCA.

A partir del lineamiento general, se formulan lineamientos particulares para los cuales se revisan las políticas relacionadas y las metas concretas. Con esta revisión se genera un diagnóstico sobre las políticas relacionadas con el lineamiento. Finalmente, para cada lineamiento particular se formula una meta dirigida específicamente a los condicionantes que genere un cambio en la incidencia de política y en las tendencias de los servicios ecosistémicos y el bienestar en el modelo dinámico.

A continuación, se presentan las recomendaciones de lineamientos de política para los atributos y condicionantes priorizados, de acuerdo con las generalidades y particularidades de las tipologías de gestión de acuerdo con la Tabla 5.

Tabla 5. Tabla de atributos y condicionantes priorizadas de acuerdo con las tipologías de gestión

Atributos priorizados	Condicionantes más susceptibles	T.1	T.2	T.3	T.4	T.5	T.6	T.7	T.8	T.9
Diversidad de intereses sobre el territorio	Intencionalidades de uso									
Conflictos socioecológicos en el territorio	Conflictos de uso									
	Sensibilidad por distintas intencionalidades									
Paisajes vulnerados	Ecosistemas vulnerables									
	Riesgo de victimización									
Herramientas de fortalecimiento de capacidades para la implementación de la planificación del territorio	Capacidad técnica para el fortalecimiento (Instituciones)									
	Catastro multipropósito									
	Presupuesto para el fortalecimiento de capacidades (instituciones)									
Eficacia de los instrumentos económicos en el cambio del uso del suelo que cumpla con la funcionalidad socioecosistémica del territorio	Acceso a los instrumentos									
	Articulación de los incentivos económicos ambientales y agropecuarios									
	Conocimiento de los instrumentos económicos									
	Duración de los instrumentos es suficiente para generar el cambio del uso del suelo									

no atienden a las particularidades existentes en cada paisaje. Estos atributos para los cuales se pueden generalizar las recomendaciones para todo el Valle de Sibundoy, y no es necesario especificar para cada tipología, son: Paisajes vulnerados, Herramientas de fortalecimiento de capacidades para la implementación de la planificación del territorio, Eficacia de los instrumentos económicos en el cambio del uso del suelo que cumpla con la funcionalidad socioecosistémica del territorio, Generación de pactos sociales por el territorio y Cumplimiento de los pactos.

Paisajes vulnerados

Una de las condicionantes que resultó priorizada para este atributo es el riesgo de victimización, el cual tiene incidencia en todos los municipios de Sibundoy. El riesgo de victimización hace alusión al riesgo de violaciones a los Derechos Humanos e infracciones al Derecho Internacional Humanitario por acciones o sucesos relacionados con el conflicto armado interno, lo cual se traduce en la posibilidad de ocurrencia de afectaciones contra la vida, libertad personal, integridad personal, seguridad y libertad de circulación, bajo los parámetros establecidos por la Ley 1448 de 2011 (Ley de víctimas).

En el Valle del Sibundoy la población víctima es de 10.234 habitantes, representando el 7% del total de víctimas del departamento del Putumayo, lo cual se traduce en un gran reto para el nivel departamental lograr la reducción del número de riesgos de victimización, y para los municipios del Valle mantenerse por lo menos estables, dado el contexto de alta victimización del territorio aledaño.

Tabla 6. Características de la población víctima de conflicto armado en el Valle del Sibundoy

Municipio	Población víctima	%*	Atención y reparación**
Colon	1.537	27,8%	1.373
San Francisco	1.972	35,4%	1.752
Santiago	1.673	22,9%	1.511
Sibundoy	5.088	32,9%	4.515

* Porcentaje del total de la población del Municipio

**Cumplen con los requisitos de Ley para acceder a las medidas de atención y reparación establecidas en la Ley (sujetos de atención y/o reparación) enmarcadas en la superación de la situación de vulnerabilidad de esta población.

Fuente: elaboración propia.

La Unidad para la Atención y la Reparación Integral a las Víctimas identificó para los municipios que componen el Valle, un índice de riesgo de victimización de categoría medio-bajo que responde principalmente a la dinámica de desplazamiento forzado existente. Estos municipios son receptores de población víctima de desplazamiento forzado, proveniente principalmente de los departamentos de Nariño, Caquetá, y Putumayo; posicionándolo en un tema importante para la

política pública de la región y la estabilidad del territorio, a pesar de que estos municipios no se encuentren priorizados dentro de los Programas de Desarrollo con Enfoque Territorial (PDET).

El Plan de Prevención, Asistencia, Atención y Reparación Integral a las Víctimas del Conflicto Armado PAT (Decreto 1084 de 2015) es la herramienta de gestión primordial a nivel municipal para hacer frente al riesgo de victimización, al brindar respuesta local a las familias afectadas y mejorar las condiciones de vida de la población víctima, desde la planeación de estrategias de recuperación y reparación de los derechos en salud, educación, vivienda, generación de ingresos, y protección de tierras. Por lo tanto, el PAT debe estar construido armónicamente con lo establecido en los planes de desarrollo municipal, garantizando así los derechos y el bienestar integral de la población, asumiendo la estrategia de corresponsabilidad dispuesta en el Decreto 2460 de 2015.

Para el contexto del Valle, debe fortalecerse los programas de atención a la población desplazada a largo plazo, partiendo del reconocimiento de que es su mayoría las víctimas de desplazamiento forzado son población rural y/o pertenecen a grupos étnicos, enfocando los esfuerzos en promover y salvaguardar el respeto y la garantía de los derechos humanos desde un marco de atención diferencial que suponga el reconocimiento de la diversidad de grupos étnicos de la región y la importancia de conservación de modos de vida rural.

Se debe aplicar una estrategia de seguimiento y evaluación continua al PAT para lograr una gestión efectiva en beneficio de las víctimas, que nutra a las entidades territoriales de diagnósticos actualizados y que, junto a la Dirección Territorial Departamental de la Unidad para la Atención y Reparación Integral a las Víctimas, puedan determinar fallos en el cumplimiento de las metas. En los documentos PAT 2020-2023 no son claros los mecanismos de seguimiento y evaluación con metas e indicadores.

Las entidades territoriales deberán contar siempre con información suficiente para acceder a las diferentes medidas de reparación integral, así como a programas para su estabilización socioeconómica. Se recomienda aumentar las capacidades técnicas que permitan fortalecer la estrategia de caracterización municipal de la población víctima (artículo 172 de la Ley 1448 de 2011) para aumentar la cobertura de las caracterizaciones, al ser un mecanismo para identificar de primera mano el estado y necesidades de las víctimas que habitan en su territorio para el goce efectivo de derechos.

La superación de la vulnerabilidad de las víctimas en el Valle debe considerar acciones en materia de orientación ocupacional, donde se vincule a la población víctima en procesos económicos rurales, como por ejemplo mano de obra disponible en la producción agropecuaria. También esto resultara útil para procesos de restitución de tierras, en la que la población víctima cuente con proyectos de generación de ingresos y/o apoyo a empleabilidad rural para su estabilización socioeconómica, lo cual contribuye a un desarrollo rural sostenible.

Herramientas de fortalecimiento de capacidades para la implementación de la planificación del territorio

En cuanto a la capacidad técnica y presupuesto para el fortalecimiento de capacidades para la implementación de la planificación del territorio en las instituciones, se tuvieron en cuenta los planes de desarrollo municipales 2020-2023 y el Plan de Acción Institucional - PAI de Corpoamazonia 2020-20203. Es importante señalar que los cuatro municipios del Valle de Sibundoy planean la actualización de los Esquemas de Ordenamiento Territorial -EOT en este periodo, para lo cual deberá tenerse en cuenta que cada municipio requiere una revisión y ajuste de sus componentes de corto, mediano y largo plazo, dependiendo la vigencia de cada uno conforme a la Tabla 7, conforme a lo establecido en la Ley 388 de 1997 (modificada en lo pertinente por las leyes 507 de 1999 y 902 de 2004 y reglamentada por el decreto 1077 de 2015) y en la Ley 1537 de 2012, que señala dicha posibilidad al inicio del periodo constitucional, siempre y cuando haya vencido el término de vigencia de cada uno de ellos.

Tabla 7. Estado Actual de los EOT - Municipios Valle de Sibundoy

DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	TIPO	TIPO DE REVISIÓN	PROCESO	FECHA CONCERTACIÓN	ESTADO EN EL MUNICIPIO	ACUERDO MUNICIPAL VIGENTE	FECHA DE ADOPCIÓN	VIGENCIA	DETERMINANTES AMBIENTALES EXPEDIDAS PARA EL MUNICIPIO (número de Resolución)	OBSERVACIONES	ESTADO 2019
Putumayo	Santiago	EOT	Formulación inicial	Concertado	Res 1063 del 08/09/2003	Adoptado	21 del 30/11/2003	30 de noviembre de 2003	2003 - 2015	Se cuenta con el documento de definición de las determinantes ambientales para los municipios del departamento de Putumayo, el cual están en proceso de revisión para aprobación.	El municipio no ha adelantado proceso de revisión, ajuste o formulación de nuevo EOT.	No se encuentra realizando ajuste de su EOT
	Colón	EOT	Formulación inicial	Concertado	Res 1229 del 05/11/2003	Adoptado	17 del 12/12/2003	12 de diciembre de 2003	2003-2015	Se cuenta con el documento de definición de las determinantes ambientales para los municipios del departamento de Putumayo, el cual están en proceso de revisión para aprobación.		No se encuentra realizando ajuste de su EOT
			Formulación de nuevo plan	Concertado	Res 867 del 22/06/2014	Adoptado	056 del 26/11/2014	26 de noviembre de 2014	2014-2027			
	Sibundoy	EOT	Formulación inicial	Concertado	1271 del 19/11/2003	Adoptado	N° 12 del 2003	2003	2003-2010	Se cuenta con el documento de definición de las determinantes ambientales para los municipios del departamento de Putumayo, el cual están en proceso de revisión para aprobación.		No se encuentra realizando ajuste de su EOT
			Formulación de nuevo plan	Concertado	Res 1112 del 11/11/2011	Adoptado	019 de 08/06/2012	08 de junio de 2012	2011 - 2023			
	San Francisco	EOT	Formulación inicial	Concertado	1385 del 27/12/2002	Adoptado	N° 16 del 03/12/2002	03 de diciembre de 2002	2002-2011	Se cuenta con el documento de definición de las determinantes ambientales para los municipios del departamento de Putumayo, el cual están en proceso de revisión para aprobación.		No se encuentra realizando ajuste de su EOT
			Formulación de nuevo plan	Concertado	Res 0077 del 07/02/2011	Adoptado	012 del 14/12/2011	14 de diciembre de 2011	2011 - 2023			

Fuente: CORPOAMAZONIA, 2019.

Para el caso de las acciones y metas que incorpora Corpoamazonia en su PAI en materia de ordenamiento territorial, se asigna presupuesto para el fortalecimiento de capacidades en la implementación de la planificación, a través del *Subprograma: componente ambiental en instrumentos de planificación y ordenamiento territorial*, orientado a la función de asesoría y apoyo

en Planificación y Ordenación Ambiental del Territorio a entidades territoriales, instituciones y organizaciones de la comunidad, para garantizar que en sus procesos de planificación, ejecución y seguimiento a planes, programas y proyectos, tengan en cuenta e incorporen la dimensión ambiental, los determinantes ambientales, la gestión de riesgo y la adaptación al cambio climático, la Sentencia STC 4360 de 2018 de la Corte Suprema de Justicia. No obstante, lo anterior, esa asignación es genérica para todos los municipios de la jurisdicción de la Corporación, por lo que no hay certeza sobre el porcentaje de asignación que correspondería a los municipios del Valle de Sibundoy. En ese sentido, y si bien se contempla como acción concreta, la asesoría y asistencia técnica a las entidades territoriales sobre la implementación del Componente Ambiental en Planes de Desarrollo Departamental y Municipal, se recomienda la priorización de municipios para el acompañamiento de la actualización de su ordenamiento territorial, de modo que la planificación de los cuatro municipios del Valle del Sibundoy pueda articularse mejor a los instrumentos regionales.

Por su parte, si bien el plan de desarrollo del municipio de Sibundoy asigna presupuesto para la reactivación y fortalecimiento del Comité de Planificación Territorial – CTP como organismo representativo y de consulta sectorial, estos pueden ser insuficientes para el fortalecimiento de capacidades en la implementación de la planificación del territorio, de modo que será necesario una mayor apropiación de recursos. Por otra parte, se resaltan las acciones del plan de desarrollo municipal destinadas a la evaluación del EOT y la respectiva generación de cartografía, sin embargo, es necesario que los recursos sean discriminados por acciones e indicadores, de modo que se asegure su implementación.

En cuanto al fortalecimiento de capacidades institucionales para el ordenamiento territorial, se resalta que el plan de desarrollo de Sibundoy, contempla el fortalecimiento del Consejo Municipal de Desarrollo Rural -CMDR- para la toma de decisiones para la gestión agropecuaria (un poco más de 12 millones de pesos entre 2020-2023 y 1 organización representativa del sector fortalecida), sin embargo, la asignación presupuestal y las metas en el corto plazo requieren un aumento gradual de modo que sea posible evidenciar un cambio significativo en la capacidad técnica de los actores que redunde en los cambios del uso del suelo como consecuencia de la incidencia de la política de ordenamiento territorial.

A su vez, si bien en los planes de desarrollo de Colón y Santiago no se encontraron asignaciones específicas para fortalecer capacidades técnicas en materia de ordenamiento territorial, sí hay rubros específicos para la evaluación del EOT y generar cartografía (Santiago), y formular un Plan de Manejo de recuperación y sostenibilidad del recurso hídrico, tendiente al mantenimiento y conservación de las microcuencas (Colón). Al respecto, debe tenerse en cuenta que es requisito indispensable para cualquier proceso de planificación territorial, contar con suficiente capacidad técnica instalada en las instituciones, sin lo cual será de difícil cumplimiento cualquier esfuerzo presupuestal orientado al ordenamiento que genere cambios en el uso del suelo.

Por último, el fortalecimiento de capacidades para la implementación de la planificación del territorio no se contempla dentro del plan de desarrollo municipal de San Francisco ni en su plan de financiación, de modo que se requiere un apoyo técnico y presupuestal reforzado, a través de una gestión articulada entre la Alcaldía y el Concejo Municipal con la Gobernación de Putumayo y Corpoamazonia.

Parte de una mayor capacidad institucional está asociada al conocimiento en ordenamiento territorial, una correcta planeación, que incluye la destinación de presupuesto para lograrlo y acuerdos para su implementación. Así mismo, la construcción y el uso del Catastro Multipropósito darán la información base para la identificación de predios y los instrumentos económicos que le aplican, de tal manera que permita una mayor facilidad de acceso a los instrumentos ya discutidos⁵.

Eficacia de los instrumentos económicos en el cambio del uso del suelo que cumpla con la funcionalidad socioecosistémica del territorio

En cuanto a la eficacia de los instrumentos económicos, es de resaltar que sólo Santiago y Sibundoy utilizan de manera explícita en sus Planes de Desarrollo instrumentos como los Pagos por Servicios Ambientales (PSA), pero no cuentan con otros instrumentos, tales como el Certificado de Incentivo Forestal (CIF) o los Incentivos a la Capitalización Rural (ICR). Así, la primera recomendación en este aspecto es el impulso y el uso de diversos instrumentos económicos que genere mayores incentivos, ya sea para la conservación, la restauración o el uso sostenible.

Así como la existencia y el uso de los instrumentos es el primer paso, también se encontró que el acceso y el conocimiento del único instrumento detectado, los PSA, eran muy bajos, lo que constituye una barrera para la eficacia de dichos instrumentos. De esta manera, lograr la verdadera eficacia de los instrumentos pasa primero por garantizar que los productores y los dueños de finca los conozcan, por ejemplo, a través de divulgación o de talleres impartidos en las alcaldías; y segundo, pasa por garantizar que los pobladores tengan un fácil acceso.

Una vez se apropien, se divulgue su existencia y se facilite el acceso a los instrumentos económicos, es posible aplicarlos según las acciones de gestión recomendadas. En particular para las zonas de preservación, se sugiere fortalecer los mecanismos de Pagos por Servicios Ambientales (PSA). En cuanto a las zonas de uso de bajo impacto se propone fortalecer los instrumentos como Incentivos a la Capitalización Rural (ICR) orientado hacia la reconversión de las áreas de uso de bajo impacto y se sugiere aumentar la Tasa Compensatoria por Aprovechamiento

⁵ El Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) como máxima autoridad catastral del país, construyó el documento de conceptualización y especificaciones para la operación del catastro multipropósito V.2.1.1 con el apoyo de la SNR. Lo anterior en cumplimiento al Artículo 104 de la Ley 1753 de 2015, Plan Nacional de Desarrollo 2014–2018, «Todos por un nuevo país» y el documento CONPES 3859 de 2016 “Política para la Adopción e Implementación de un Catastro Multipropósito Rural -Urbano”.

Forestal Maderable basada en un sistema de control más eficaz. Por su parte, se sugiere impulsar el Certificado de Incentivo Forestal (CIF) relacionado con uso silvopastoril y manejo de praderas, implementación de cultivos de bajo rendimiento y manejo del recurso hídrico en las áreas donde se puede tener uso en páramo. Y, para las zonas de restauración se recomienda fortalecer el instrumento de Certificado de Incentivo Forestal (CIF) para conservación y para reforestación comercial. Los instrumentos particulares a cada tipología se desarrollan para cada una más adelante.

Generación de pactos sociales por el territorio y Cumplimiento de los pactos

Es de anotar que la Red de Implicaciones considera importante la celebración de pactos que garanticen la incidencia de la política de ordenamiento territorial en los usos del suelo, de modo que asocia como condicionantes la capacidad técnica y apropiación de los recursos financieros para cumplir los pactos, así como un presupuesto asignado a los actores, y reglas claras y conocidas por los actores en el momento de hacer los pactos.

En ese sentido, se considera importante incentivar mecanismos y espacios de coordinación interinstitucional que permitan la articulación de las políticas ambientales y agropecuarias, así como la articulación con la población local que impulse la conformación de acuerdos y pactos por el territorio. Esto debe ir acompañado de una mayor apropiación presupuestal y fortalecimiento de la capacidad técnica para la implementación de la planificación, que supone la celebración y cumplimiento de los pactos. Estos pactos, entendidos como los acuerdos necesarios entre las autoridades y la comunidad que toman decisiones sobre el uso del territorio, para alcanzar los objetivos del ordenamiento territorial.

Sobre el particular en el Valle de Sibundoy, no se encontró información sobre la existencia de instrumentos de ese orden en ninguno de los municipios, y no hay información presupuestal asociada a la celebración y cumplimiento de pactos en los planes de desarrollo. No obstante, es importante tener en cuenta las acciones propuestas en procesos de participación social en los municipios de Santiago y Colón, que pueden concretarse en pactos para el cumplimiento del ordenamiento territorial aun cuando no estén directamente relacionadas en los planes de desarrollo municipales. Por su parte, el plan de desarrollo municipal de San Francisco no contempla acciones asociadas a este propósito participativo, ni en general ni en particular.

Se recomienda impulsar acuerdos o pactos sobre el uso de los recursos que permita una mayor participación de las comunidades y a su vez una mayor apropiación sobre su territorio, para lo cual es necesario apuntar al fortalecimiento de las comunidades, que potencia sus capacidades individuales y colectivas orientadas al cambio y se garantice el derecho a la participación en las decisiones ambientales y ordenamiento del territorio. Los lineamientos de política pública deben orientarse a la consolidación de planes y proyectos para el fortalecimiento del de las comunidades

rurales desde perspectivas integrales y multidimensionales a través de políticas concretas como la Política de Desarrollo Rural, en proceso de creación por parte del Ministerio de Agricultura.

También es importante considerar la baja confianza de la sociedad hacia las instituciones, como resultado de una percepción de la baja eficacia de las instituciones públicas para hacer frente a las problemáticas complejas y situación de vulnerabilidad que afronta la sociedad. Bajo el supuesto de que las instituciones operan de manera óptima, es necesario que todas las entidades gubernamentales, especialmente las alcaldías, adopten mecanismos que garanticen la rendición de cuentas a la ciudadanía como un proceso permanente de la gestión pública, mejorando así la percepción de desempeño que se percibe de las instituciones. Deben existir elementos de transparencia sobre las decisiones adoptadas por las instituciones, como la promoción del control social a través de veedurías y otras instancias de participación ciudadana.

Las instituciones gubernamentales tienen la capacidad promover, regular y garantizar la acción social coordinada, por lo tanto juegan un rol estratégico para el restablecimiento de la confianza entre los actores de la sociedad, especialmente desde la garantía de un marco de legalidad, políticas de equidad social y justicia, que entran a regular el accionar de los demás actores sobre el territorio, posibilitando la cohesión social, la acción colectiva, y en general la generación de pactos sobre el territorio.

Una vez desarrollados los lineamientos generales para los atributos que son comunes a todas las tipologías, a continuación, se desarrollan las recomendaciones generales y particulares para cada tipología, teniendo en cuenta la información de las unidades de paisaje que pertenecen a cada una. Es importante resaltar que una de las principales cualidades de la metodología de Red de Implicaciones es que permite conocer con precisión las necesidades de intervención de los paisajes. Algunas de estas necesidades serán compartidas por todos los municipios, como se acaba de exponer, pero un subconjunto será propio y específico de cada paisaje. Así mismo, la metodología utilizada y la información recolectada dan la posibilidad de aproximarse a las relaciones e interacciones que se dan en cada unidad de paisaje, y las prioridades de intervención que surgen de dichas relaciones. Con este ejercicio se tiene el objetivo de mostrar cómo una metodología puede tener en cuenta estas características de manera tal que las intervenciones sean lo más relevantes y exactas posibles. Así, la formulación de políticas va más allá de la creación de una misma receta para toda una región, o incluso un municipio, reconociendo la heterogeneidad en su interior.

Por último, es importante reconocer que, aunque algunas recomendaciones se realizan para unas tipologías en particular, no implica que no puedan ser implementadas en otras tipologías y en otros paisajes. Estas recomendaciones se enfocan en las necesidades de gestión priorizadas para

cada tipología, pero pueden tener efectos positivos en otras tipologías que tengan las mismas necesidades, sólo que no son prioritarias.

4.2.1. Tipología 1

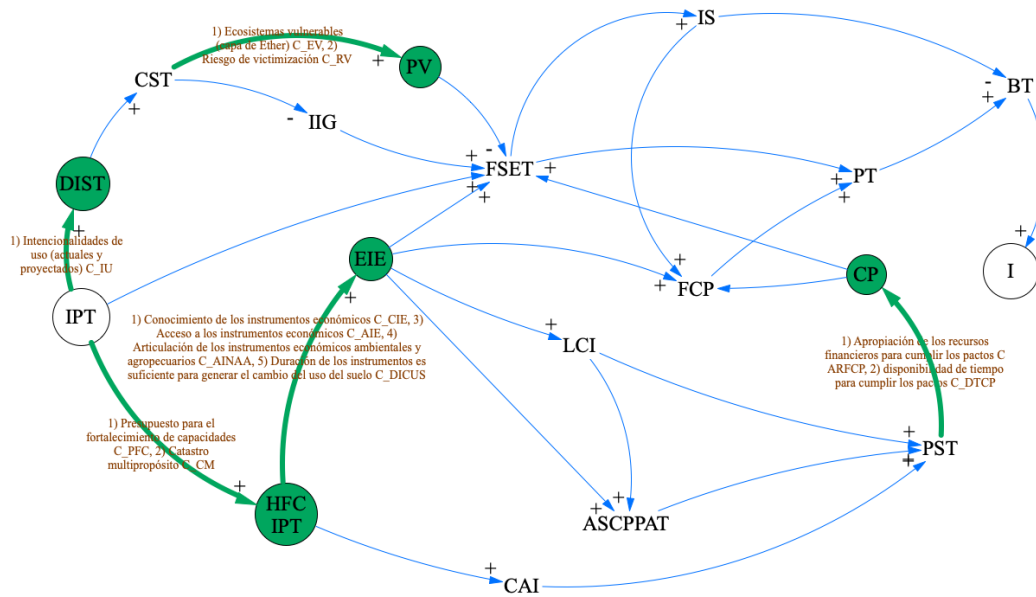


Figura 26: Red de Implicaciones que resalta los atributos y los condicionantes priorizados para la Tipología 1

Fuente: elaboración propia.

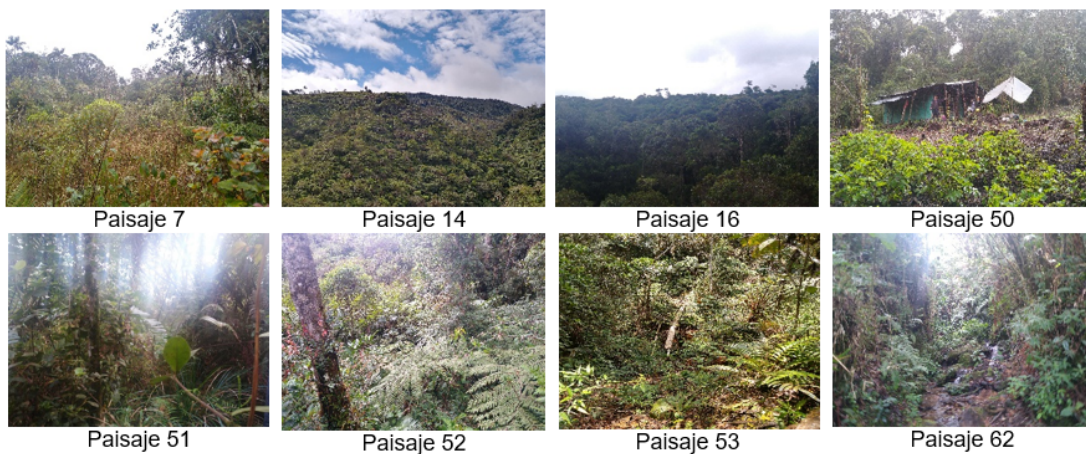
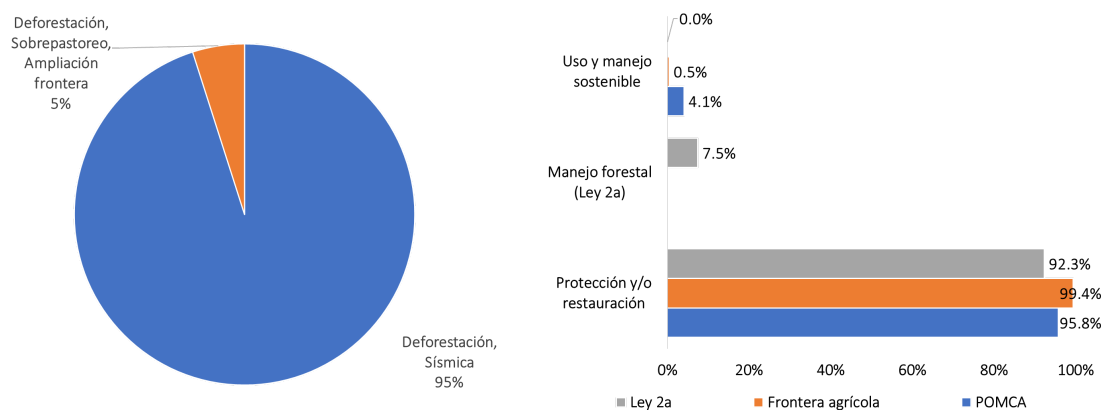


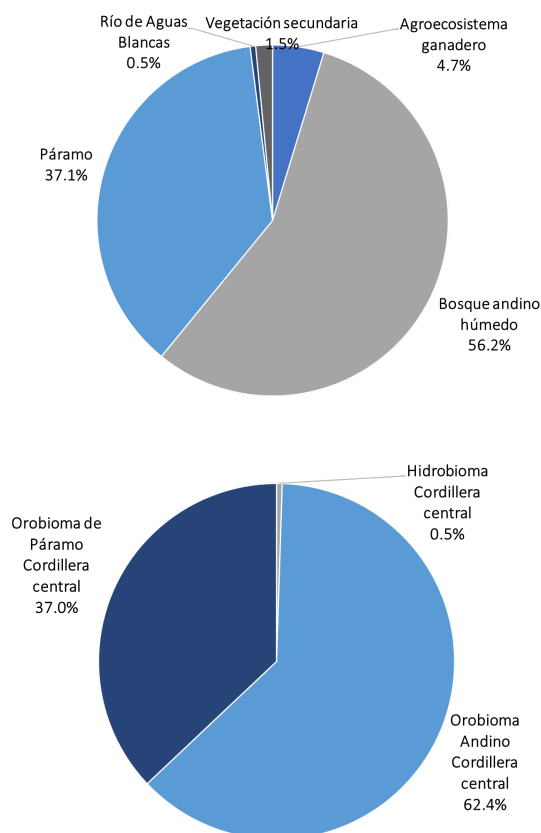
Figura 27. Fotos de las unidades de paisaje que pertenecen a la Tipología 1

Fuente: Adriana Castro y Roberto Campaña. Fotos tomadas durante el trabajo de recolección de información en campo, 2020.



Gráfica 1. Principales amenazas para las unidades de paisaje de la tipología 1, porcentaje de hectáreas (izquierda). Comparación entre la gestión estipulada de las áreas de las unidades de paisaje de la tipología 1 según instrumento de ordenamiento territorial, porcentaje de hectáreas (derecha).

Fuente: Corpoamazonía (Ed.) (2009), UPRA (2018), Ley 2ª de 1959 de Colombia.



Gráfica 2. Coberturas actuales de las unidades de paisaje de la tipología 1, porcentaje de hectáreas (izquierda). Bioma recomendado para las áreas de las unidades de paisaje de la tipología 1, porcentaje de hectáreas (derecha).

Fuente: Instituto SINCHI (2018), IDEAM, IAVH & IIAP (2017).

Recomendaciones generales

De acuerdo con el análisis realizado, la disminución de la vulnerabilidad de los ecosistemas por deforestación y actividad sísmica es necesario, ya que pone en riesgo a las comunidades y en general la sostenibilidad del sistema socioecológico.

Asociado a los índices de deforestación en la amazonia, la Corte Suprema de Justicia profirió la Sentencia STC 4360 de 2018 a través de la cual protegió los derechos al ambiente sano y declaró la Amazonia como sujeto de derechos y, en consecuencia, imparte órdenes para reducir la deforestación. En ese sentido, estableció cuatro mandatos a distintos niveles de la organización del Estado relacionados con la deforestación en la Amazonia. El primero y segundo mandato, a cargo de la Presidencia de la República, y Ministerios de Ambiente y Desarrollo Sostenible, y Agricultura y Desarrollo Rural, con la obligación de formular un Plan de Acción que mitigue las alertas tempranas de deforestación emitidas por el IDEAM y, de otra parte, promuevan la construcción de un Pacto Intergeneracional por la Vida del Amazonas Colombiano (PIVAC). El tercer mandato obliga a los municipios a actualizar de los Planes de Ordenamiento Territorial con un plan de acción de reducción de la deforestación con estrategias de tipo preventivo, obligatorio, correctivo y pedagógico. Por último, la Corte ordena a las autoridades ambientales regionales (CDA, Cormacarena y Corpoamazonia) elaborar un Plan de Acción que contrarreste la deforestación en la amazonia bajo su jurisdicción.

Una buena parte de las acciones y metas que incorpora Corpoamazonia en su Plan de Acción Institucional relacionadas con el ordenamiento territorial se encuentran asociadas al cumplimiento de la sentencia STC4360, lo que pone de presente el papel central que vienen cumpliendo los jueces constitucionales en la imposición de obligaciones a la administración pública en la implementación efectiva de los mandatos constitucionales y legales, y de política pública a partir de acciones ciudadanas. Lo anterior, teniendo en cuenta que, en un sistema de pesos y contrapesos, la rama judicial cumple un papel trascendental en el equilibrio y armonía entre poderes, principalmente tratándose de la salvaguarda de los derechos ciudadanos.

Por su parte, al analizar la configuración ecosistémica de los paisajes analizados, estas zonas hacen parte del ecosistema de páramo (37%) y del bosque andino húmedo (56%) para los cuales, dependiendo de su importancia ambiental, se sugieren distintas medidas de gestión, entre la preservación del ecosistema (82%), la restauración y la rehabilitación (14%), las actividades agropecuarias de bajo impacto (en la zona de páramo) y el uso sostenible (para bosque andino húmedo) (4%). Dado que las intencionalidades de uso actual no están generando conflicto, las acciones se encaminan a mantener los usos actuales y respetar la frontera agrícola definida por el Gobierno Nacional (Resolución 261 de 2018).

Recomendaciones particulares

- En particular para las áreas de páramo, se deben identificar las zonas de importancia ambiental para las cuales se prioriza la protección y conservación. Las zonas que no sean identificadas como de importancia ambiental se deben destinar a actividades de bajo

impacto, de acuerdo a lo delineado por la Ley de Páramos. En general, para las áreas a las que se les haya reconocido un grado de afectación se sugieren actividades de restauración del ecosistema de páramo.

- En las zonas de preservación, con el fin de generar un incentivo económico para su cuidado, se sugieren aplicar instrumentos tales como los PSA, el CIF de conservación, que permitan disminuir la pérdida y/o degradación de los procesos clave.
- En las zonas de restauración se sugiere promover el CIF para restauración y las compensaciones, instrumentos que generan incentivos económicos que compensen los costos.
- Estos instrumentos pueden ser financiados con el 1% de inversión de los municipios destinado para la recuperación, conservación, preservación de la cuenca hidrográfica que provee el agua para los municipios (Decreto 1076 de 2015).
- En las zonas de uso de bajo impacto se fortalecen los instrumentos como Incentivos a la Capitalización Rural (ICR) orientado hacia la reconversión del 4% y el uso de la Tasa Compensatoria por Aprovechamiento Forestal Maderable basada en un sistema de control más eficaz.
- En las zonas de Bosque Andino Húmedo donde es permitido el uso, se sugiere impulsar el Certificado de Incentivo Forestal (CIF) para fomentar actividades de uso sostenible tales como el Bosque protector-productor, los sistemas silvopastoriles o los sistemas agro-silvícolas.
- Para el bosque andino húmedo, se sugiere fortalecer el Sistema de monitoreo de carbono para Colombia (IDEAM) a nivel regional, con el fin de tener información más detallada y permitir un seguimiento más adecuado de la deforestación.
- Se deben promover acuerdos y pactos por el territorio que permitan sincronizar las intencionalidades de uso del territorio. Esto debe ir acompañado de una ampliación de la capacidad técnica, presupuestal e institucional para cumplir los pactos.
- Se debe construir y dar uso al Catastro Multipropósito que dé información base para la identificación de predios y los instrumentos económicos que le aplican, de tal manera que permita una mayor facilidad de acceso a los instrumentos, fortaleciendo así la capacidad de los municipios para el ordenamiento territorial.
- Con base en el catastro multipropósito, los municipios pueden divulgar de manera focalizada los instrumentos económicos para cada paisaje, de manera tal que se facilite el acceso a los instrumentos. Se pueden realizar talleres o capacitaciones de preparación para que los propietarios de predios conozcan los instrumentos. Pueden estar enfocados en los líderes comunitarios, por ejemplo, los líderes de los resguardos indígenas.
- Es importante incentivar mecanismos y espacios de coordinación interinstitucional que permitan la articulación de las políticas ambientales y agropecuarias. Así mismo, debe garantizarse su continuidad en el tiempo con el fin de que generen un cambio impacto en el uso del suelo. Es necesario garantizar una planificación y gestión intersectorial e

interterritorial armónica bajo los principios de autonomía, descentralización, solidaridad y equidad territorial establecidos por la Ley Orgánica de Ordenamiento territorial.

4.2.2. Tipología 2

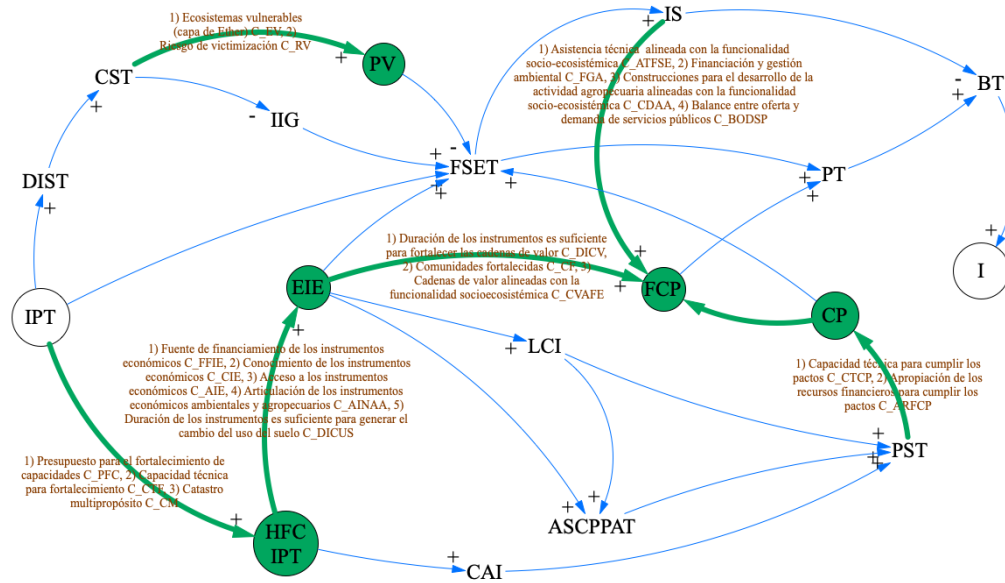


Figura 28: Red de Implicaciones que resalta los atributos y los condicionantes priorizados para la Tipología 2

Fuente: elaboración propia.

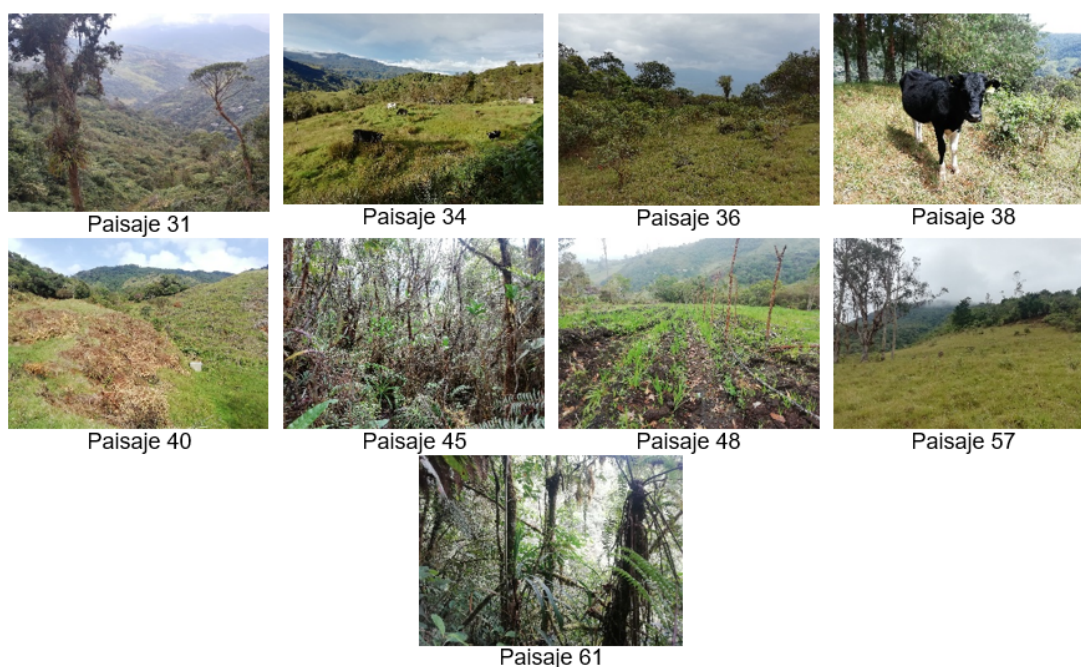
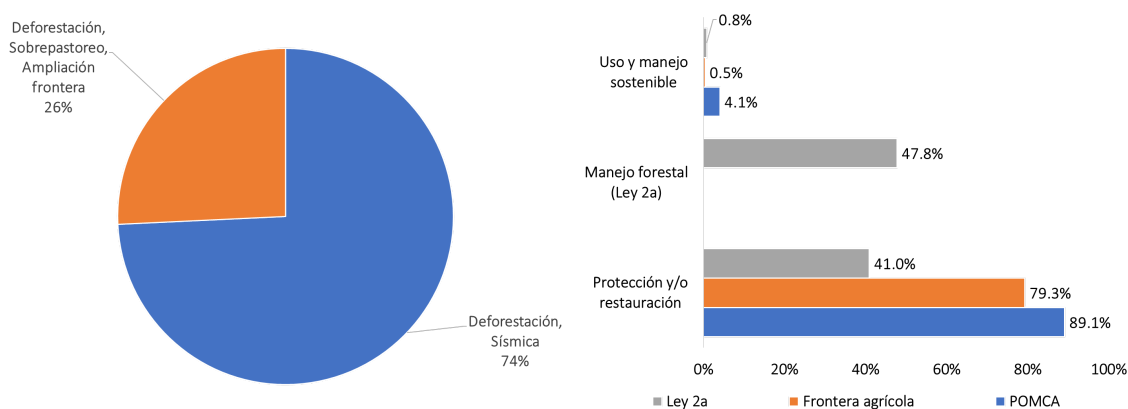


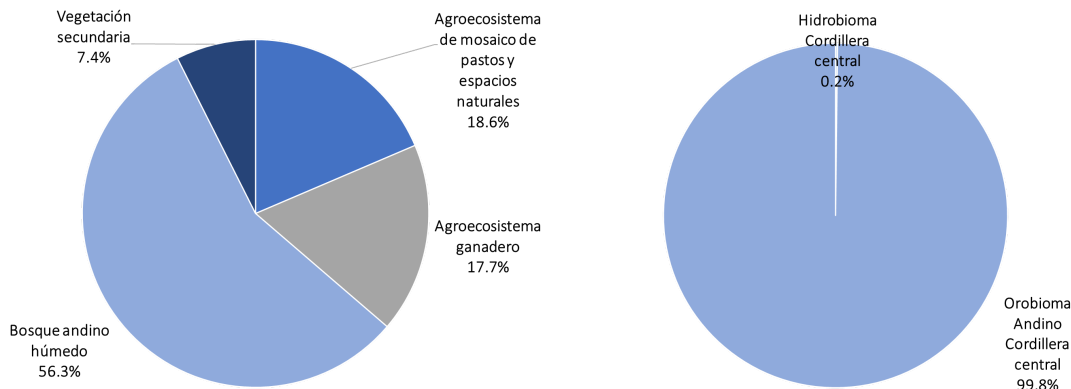
Figura 29. Fotos de las unidades de paisaje que pertenecen a la Tipología 2

Fuente: Adriana Castro y Roberto Campaña. Fotos tomadas durante el trabajo de recolección de información en campo, 2020.



Gráfica 3. Principales amenazas para las unidades de paisaje de la tipología 2, porcentaje de hectáreas (izquierda). Comparación entre la gestión estipulada de las áreas de las unidades de paisaje de la tipología 2 según instrumento de ordenamiento territorial, porcentaje de hectáreas (derecha).

Fuente: Corpoamazonía (Ed.) (2009), UPRA (2018), Ley 2ª de 1959 de Colombia.



Gráfica 4. Coberturas actuales de las unidades de paisaje de la tipología 2, porcentaje de hectáreas (izquierda). Bioma recomendado para las áreas de las unidades de paisaje de la tipología 2, porcentaje de hectáreas (derecha).

Fuente: Instituto SINCHI (2018), IDEAM, IAVH & IIAP (2017).

Recomendaciones generales

De acuerdo al análisis realizado, para la tipología 2 es necesario trabajar en la disminución de la amenaza para los ecosistemas que constituye la ampliación de la frontera agrícola y el sobrepastoreo a través de la deforestación.

En atención a la jerarquía normativa en materia de ordenamiento territorial, es preciso buscar la articulación y sincronización entre los diferentes instrumentos a nivel nacional, regional y local, y sectoriales agropecuarios, en tanto se encuentran directamente relacionadas con el uso del suelo.

Los POMCA expedidos por las autoridades ambientales regionales, dada su calidad de determinante ambiental de los planes de ordenamiento territorial, y tratándose de una norma de superior jerarquía (Ley 388 de 1997, artículo 10, numeral 1, literal b), deberá aplicarse de manera prioritaria en la zonificación y manejo de dichas áreas, sin perjuicio de la vigencia de la Resolución 261 de 2018 expedida por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Se recomienda adelantar un ejercicio intersectorial de seguimiento a los instrumentos de planificación a nivel municipal para la definición de objetivos de ordenamiento, atendiendo su naturaleza, escala y vigencia, que permita acotar el alcance de la frontera agrícola en su aplicación a nivel municipal.

Así mismo, se debe mejorar la capacidad técnica de los municipios para el ordenamiento territorial que incluya conocimientos sobre la relación entre el uso del suelo y la funcionalidad socio-ecosistémica del territorio y el fortalecimiento para hacer cumplir las normas (aumento de la percepción de la capacidad del Estado para hacer cumplir la norma – relación con las sanciones), que les permita tener mejores herramientas para decidir cómo ordenar el territorio. De igual manera, se debe ampliar la Capacidad técnica, presupuestal e institucional para cumplir los pactos.

Dado el uso actual de estos paisajes, de áreas destinadas para la protección empleadas para agroecosistemas ganaderos y mosaico de pastos, uno de los principales riesgos es la deforestación por ampliación de la frontera agrícola, por lo que armonizar las intencionalidades de uso también aporta a la disminución de dicho riesgo; este es un claro ejemplo de la importancia de la alineación de las cadenas de valor con la funcionalidad socio-ecosistémica.

Para aquellos paisajes que no tienen conflicto entre las intencionalidades de los instrumentos y están acordes con las figuras de protección y restauración según el POMCA y la UPRA: CIF conservación, Exención al predial, PSA. Para incentivar la conservación voluntaria, la administración municipal cuenta con herramientas como la exención del impuesto predial por conservación ambiental: es un incentivo que los Concejos Municipales pueden adoptar a través de acuerdos municipales con el fin de exonerar hasta el 100 % del impuesto predial a aquellas áreas de predios privados que conserven adecuadamente la vegetación natural (Ley 299 de 1996, Por la cual se protege la flora colombiana), como lo establece el documento “Exención predial por conservación. Guía metodológica para su aplicación en municipios” (2014). También se puede apalancar los acuerdos que se logren a través del ordenamiento predial participativo mediante esquemas de PSA.

En cuanto a los paisajes que ya están intervenidos y que presentan agroecosistemas ganaderos y/o con mosaico de cultivos: Tasa Compensatoria por Aprovechamiento Forestal Maderable, prohibición y las multas ligadas a su incumplimiento. Fuentes de financiamiento: inversión forzosa del 1%, Fondo BioCarbono - almacenamiento de carbono.

En cuanto a los instrumentos económicos presentados, aún existe una amplia brecha en cuanto al conocimiento (qué tanto los reconoce los dueños de los predios), al acceso (que los dueños de los predios realmente accedan) y al financiamiento. En este sentido, se debe destinar una mayor proporción de recursos para financiar estos instrumentos, y una mayor divulgación entre los dueños de los predios, como la creación de talleres de fortalecimiento de capacidades sobre instrumentos económicos.

En cuanto al fortalecimiento de la cadena productiva se debe aumentar la asistencia técnica, incluyendo en su cobertura a los sistemas alternativos diferentes a las prácticas tradicionales (agroecología y permacultura), e invertir en infraestructura para el desarrollo de actividades

productivas, incluyendo las chagras indígenas. Para el tema de infraestructura existe Incentivos como el de la capitalización rural (ICR) para sistemas silvopastoriles.

Recomendaciones particulares

- Se recomienda la articulación y sincronización de la planificación territorial que disminuya el riesgo de deforestación por la ampliación de la frontera agrícola, sobre lo cual la actualización tanto del POMCA como los EOT desde un enfoque intersectorial y armónico con las distintas intencionalidades existentes en el territorio.
- Se debe mejorar la capacidad técnica de los municipios para el ordenamiento territorial que incluya conocimientos sobre la relación entre el uso del suelo y la funcionalidad socio-ecosistémica del territorio y el fortalecimiento para hacer cumplir las normas.
- En cuanto a los paisajes que ya están intervenidos y que presentan agroecosistemas ganaderos y/o con mosaico de cultivos es clave aplicar instrumentos como la Tasa compensatoria por Aprovechamiento Forestal Maderable, de prohibición y las multas ligadas a su incumplimiento. Las fuentes de financiamiento pueden ser la inversión forzosa del 1%.
- Se debe destinar una mayor proporción de recursos para financiar estos instrumentos, y una mayor divulgación y capacitación entre los dueños de los predios.
- Es necesario el fortalecimiento de la asistencia técnica alineada con la funcionalidad socio-ecosistémica, basado en la revisión de los objetivos y acciones desarrolladas por ejemplo de la asistencia técnica de la UMATA, que redunde en una buena focalización de la asistencia frente a las necesidades de los productores rurales evitando practicas insostenibles sobre el capital natural.

4.2.3. Tipología 3

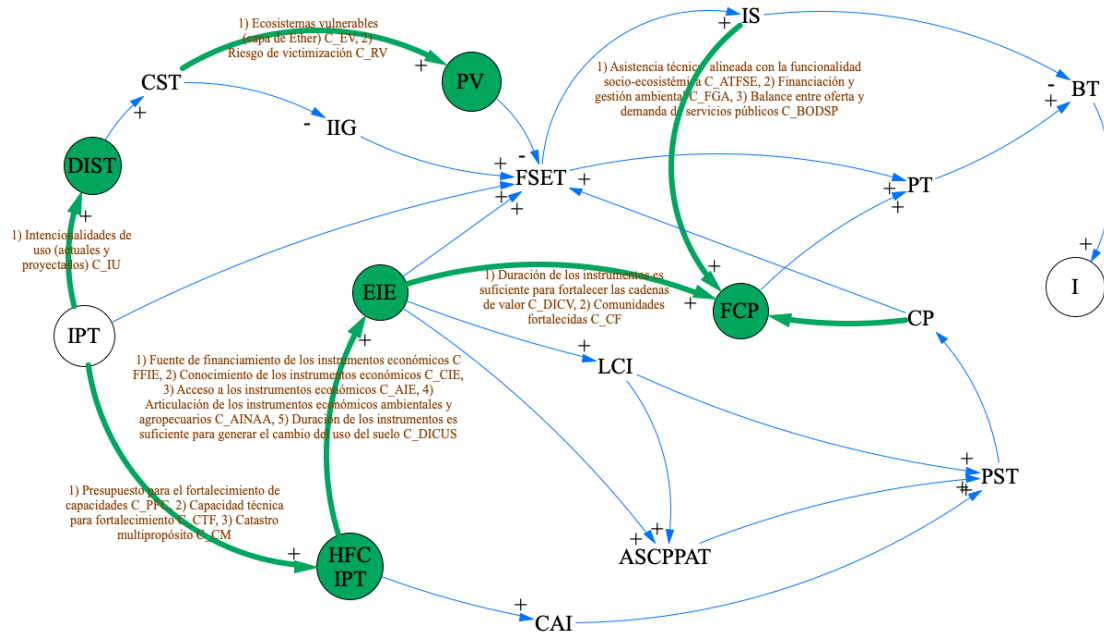


Figura 30: Red de Implicaciones que resalta los atributos y los condicionantes priorizados para la Tipología 3

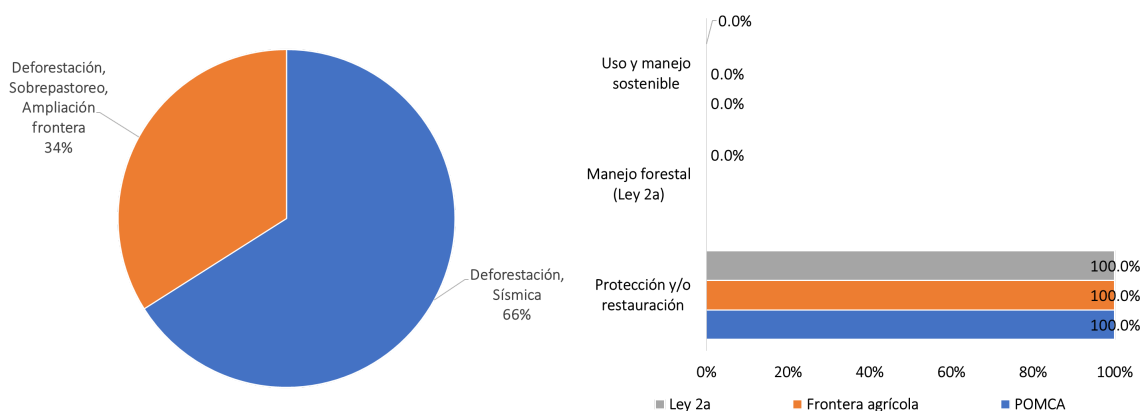
Fuente: elaboración propia.



Paisaje 23

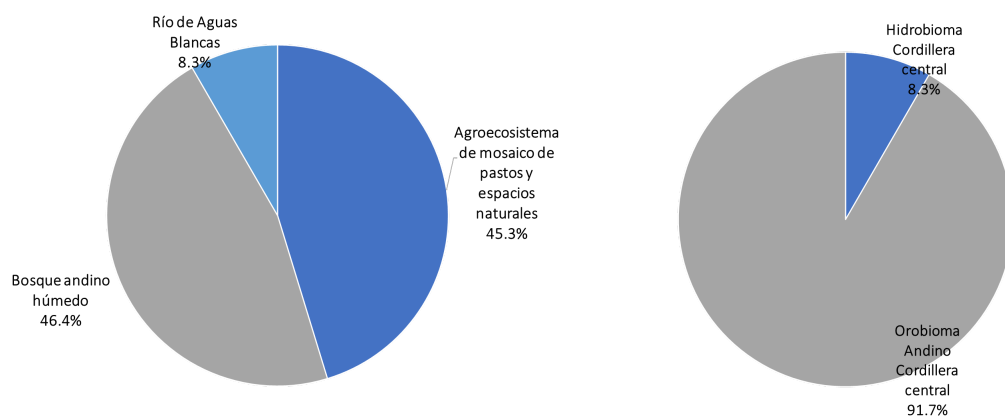
Figura 31. Fotos de las unidades de paisaje que pertenecen a la Tipología 3

Fuente: Adriana Castro y Roberto Campaña. Fotos tomadas durante el trabajo de recolección de información en campo, 2020.



Gráfica 5. Principales amenazas para las unidades de paisaje de la tipología 3, porcentaje de hectáreas (izquierda). Comparación entre la gestión estipulada de las áreas de las unidades de paisaje de la tipología 3 según instrumento de ordenamiento territorial, porcentaje de hectáreas (derecha).

Fuente: Corpoamazonía (Ed.) (2009), UPRA (2018), Ley 2ª de 1959 de Colombia.



Gráfica 6. Coberturas actuales de las unidades de paisaje de la tipología 3, porcentaje de hectáreas (izquierda). Bioma recomendado para las áreas de las unidades de paisaje de la tipología 3, porcentaje de hectáreas (derecha).

Fuente: Instituto SINCHI (2018), IDEAM, IAVH & IIAP (2017).

Recomendaciones generales

De acuerdo al POMCA y a la UPRA, este paisaje debe ser destinada para protección (Ley Segunda Zonificación A) o restauración, sin embargo, actualmente aproximadamente la mitad del paisaje

está destinado a pastos para ganado, lo que está generando conflicto en el uso del suelo. Adicionalmente, en un área tan escarpada la presencia de ganado puede incrementar la erosión del suelo y no ser costo-efectiva para su crecimiento. Por lo cual, se debe sustituir dicha actividad por una actividad alineada con la funcionalidad socio-ecosistémica, tales como el turismo de naturaleza, uso de productos no maderables del bosque o cultivos no-comerciales (Ley Segunda Zonificación B).

Se debe mejorar la capacidad técnica para el ordenamiento territorial, incluyendo conocimientos sobre la relación entre el uso del suelo y la funcionalidad socio-ecosistémica del territorio, junto al fortalecimiento para hacer cumplir las normas que incida en el aumento de la percepción de la capacidad del Estado para hacer cumplir la norma, haciendo más eficiente el sistema sancionatorio. Esto logra una incidencia en mejores herramientas de toma de decisión sobre el ordenamiento del territorio, que junto a un trabajo articulado y el fortalecimiento de la comunidad pueda repercutir más fácilmente en generar acuerdos o pactos sobre el uso del capital natural. De igual manera, se debe ampliar la Capacidad técnica, presupuestal e institucional para cumplir los pactos.

Recomendaciones particulares

- En el paisaje que ya está intervenido y que presenta agroecosistemas ganaderos y/o con mosaico de cultivos se debe tener en cuenta la aplicación de: Tasa Compensatoria por Aprovechamiento Forestal Maderable, prohibición y las multas ligadas a su incumplimiento. Fuentes de financiamiento: inversión forzosa del 1%, Fondo BioCarbono - almacenamiento de carbón, entre otros.
- Debido a la destinación de este paisaje para protección, es clave identificar y aplicar el instrumento que permita a largo plazo mantener la integralidad ecosistémica del paisaje, para lo cual puede aplicar el CIF conservación, la exención al predial, PSA, o el establecimiento de actividades de bajo impacto. Para incentivar la conservación voluntaria, la administración municipal cuenta con herramientas como la exención del impuesto predial por conservación ambiental: es un incentivo que los Concejos Municipales pueden adoptar a través de acuerdos municipales con el fin de exonerar hasta el 100 % del impuesto predial a aquellas áreas de predios privados que conserven adecuadamente la vegetación natural (Ley 299 de 1996, Por la cual se protege la flora colombiana).

4.2.4. Tipología 4

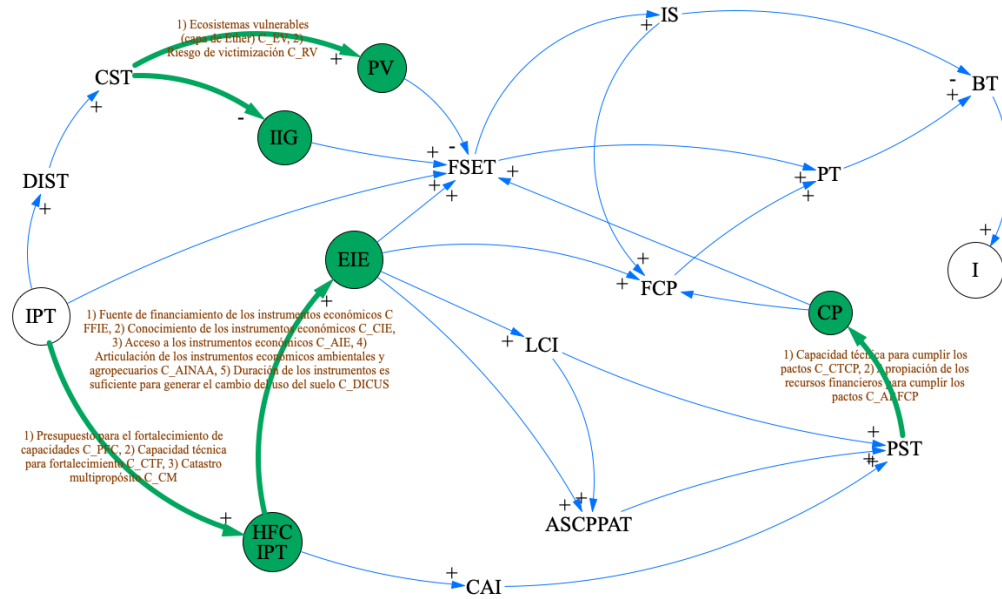


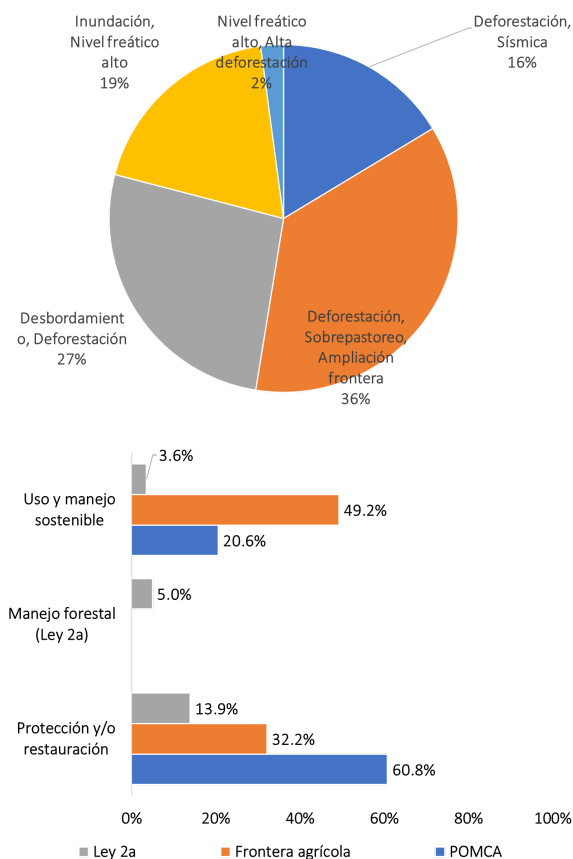
Figura 32: Red de Implicaciones que resalta los atributos y los condicionantes priorizados para la Tipología 4

Fuente: elaboración propia.



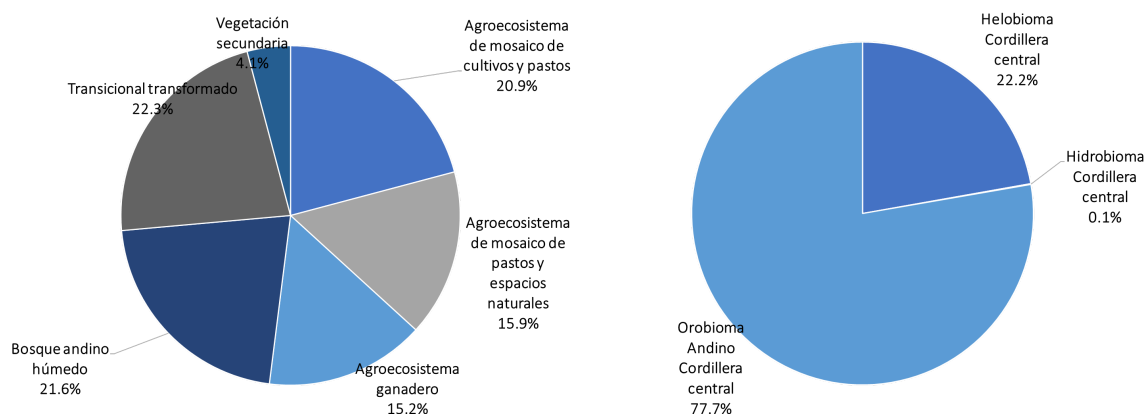
Figura 33. Fotos de las unidades de paisaje que pertenecen a la Tipología 4

Fuente: Adriana Castro y Roberto Campaña. Fotos tomadas durante el trabajo de recolección de información en campo, 2020.



Gráfica 7. Principales amenazas para las unidades de paisaje de la tipología 4, porcentaje de hectáreas (izquierda). Comparación entre la gestión estipulada de las áreas de las unidades de paisaje de la tipología 4 según instrumento de ordenamiento territorial, porcentaje de hectáreas (derecha).

Fuente: Corpoamazonía (Ed.) (2009), UPRA (2018), Ley 2ª de 1959 de Colombia.



Gráfica 8. Coberturas actuales de las unidades de paisaje de la tipología 4, porcentaje de hectáreas (izquierda). Bioma recomendado para las áreas de las unidades de paisaje de la tipología 4, porcentaje de hectáreas (derecha).

Fuente: Instituto SINCHI (2018), IDEAM, IAVH & IIAP (2017).

Recomendaciones generales

Existe amenaza de inundación por compactación y desbordamiento por sedimentación, cuyas causas son de origen antrópico, lo cual sugiere un cambio de gestión de estos paisajes que redunden en la disminución de la vulnerabilidad a las comunidades. Es necesario reconocer la existencia de los humedales y su coexistencia con actividades productivas, para establecer el grado de afectación y guiar de mejor manera las soluciones frente a las amenazas por inundación.

Los humedales del Valle de Sibundoy han sido afectados por decisiones de planificación y técnicas de manejo inadecuadas, como la construcción del distrito de drenaje en la parte plana del Valle, que tenía como objetivo controlar las inundaciones, desecar las áreas pantanosas e impulsar la productividad agrícola y ganadera, desconociendo el funcionamiento de estos ecosistemas. La disminución y fragmentación del área de los humedales ha conllevado a la pérdida de servicios ecosistémicos importantes como la regulación hídrica, hábitat de especies y control de inundaciones. Es importante actualizar y hacer seguimiento continuo al Plan de Manejo para los Humedales de la Parte Plana del Valle de Sibundoy, como instrumento de gestión ambiental relevante para controlar y mitigar procesos de transformación del uso del suelo (como la frontera agrícola) que pongan en peligro la existencia de estos ecosistemas. Es necesario generar mediciones del impacto de la rehabilitación del distrito de adecuación de tierras del Valle en los humedales para evitar la tendencia de afectación ambiental de este tipo de obras. En los planes de

desarrollo de los municipios del Valle no se evidencian estrategias de restauración y conservación para los humedales.

El uso actual presenta conflictos dado que una proporción de áreas destinadas para la protección se emplea para agroecosistemas ganaderos y mosaico de pastos. Con la armonización de los instrumentos de ordenamiento, se avanzará sobre los principales riesgos de la deforestación por ampliación de la frontera agrícola, disminuyendo dicho riesgo.

Para el fortalecimiento de la cadena productiva se debe aumentar la asistencia técnica, orientado principalmente al fortalecimiento de cadenas de productividad del frijol, granadilla, tomate, aguacate, maíz, ganado, hortalizas y lulo, al igual que invertir en infraestructura sostenible necesarias para que mejoren las actividades productivas y estén alineadas con la funcionalidad socioecosistémica del paisaje la financiación.

Para los paisajes en donde actualmente hay uso de alto impacto a pesar de que los instrumentos de ordenamiento territorial determinen su protección y restauración, debe iniciarse proceso de transición para lo cual se pueden aplicar instrumentos como la exención al predial enfocado en sustitución.

En paisajes con sobrepastoreo se puede aplicar el Incentivo a la capitalización rural (ICR) para sistemas silvopastoriles, el cual es útil para descompactación del suelo. Para aquellos paisajes que están acordes con las figuras de protección y restauración se puede aplicar el CIF conservación, Exención al predial, PSA. En cuanto a los paisajes que ya están intervenidos y que presentan agroecosistemas ganaderos y/o con mosaico de cultivos aplíquese instrumentos como la Tasa Compensatoria por Aprovechamiento Forestal Maderable, prohibición y las multas ligadas a su incumplimiento.

Recomendaciones particulares

- Se deben impulsar acuerdos o pactos sobre el uso de los recursos que permita una mayor participación de las comunidades y a su vez una mayor apropiación sobre el territorio.
- Debe existir apoyo técnico a los productores en la implementación de Buenas Prácticas, establecidas por el Instituto Colombiano Agropecuario ICA.
- En necesario revindicar la protección de los humedales, incorporando las leyes y normas relacionada con estos ecosistemas, al igual que actualizar el plan de manejo existente.
- Frente conflicto de intencionalidad entre inundación (POMCA) y la frontera agrícola, se deben implementar cultivos de ciclo corto.
- Dado que la inundación es de origen antrópico debe atacarse sus causas, tales como la sedimentación y la compactación.

4.2.5. Tipología 5

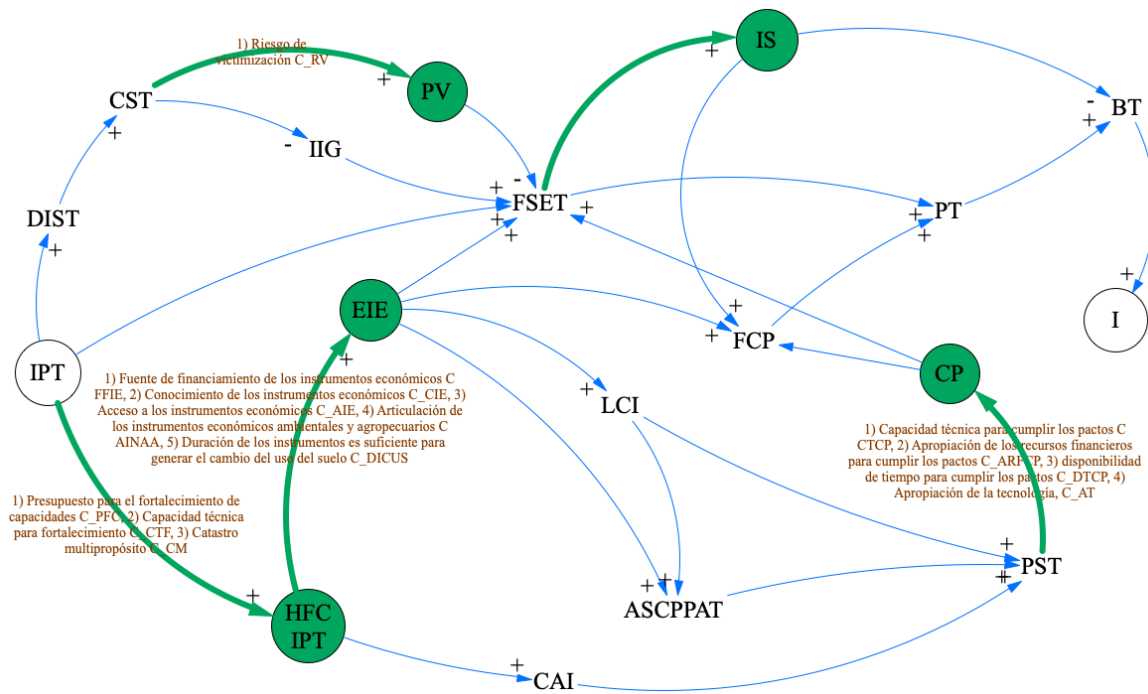


Figura 34: Red de Implicaciones que resalta los atributos y los condicionantes priorizados para la Tipología 5

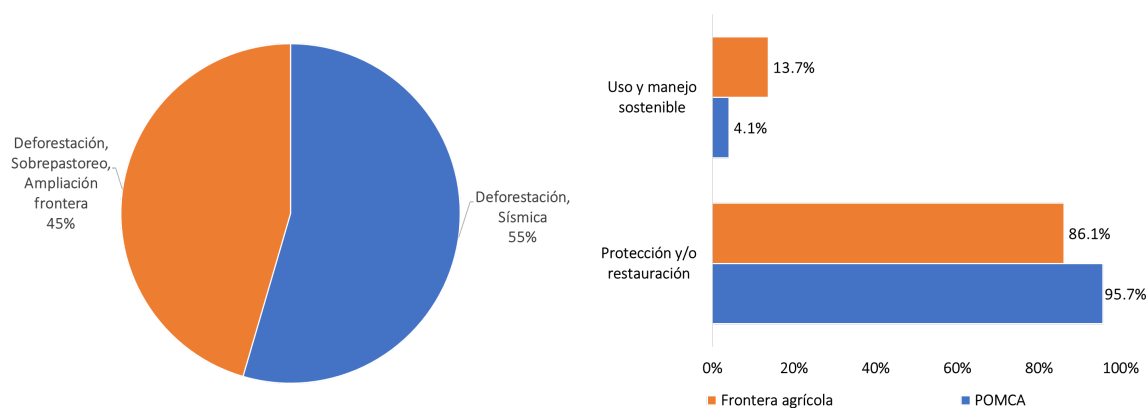
Fuente: elaboración propia.



Paisaje 30

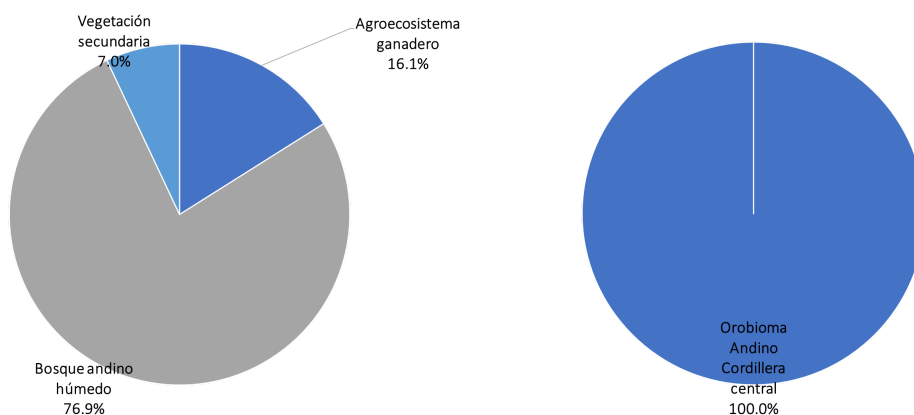
Figura 35. Fotos de las unidades de paisaje que pertenecen a la Tipología 5

Fuente: Adriana Castro y Roberto Campaña. Fotos tomadas durante el trabajo de recolección de información en campo, 2020.



Gráfica 9. Principales amenazas para las unidades de paisaje de la tipología 5, porcentaje de hectáreas (izquierda). Comparación entre la gestión estipulada de las áreas de las unidades de paisaje de la tipología 5 según instrumento de ordenamiento territorial, porcentaje de hectáreas (derecha).

Fuente: Corpoamazonía (Ed.) (2009), UPR (2018), Ley 2ª de 1959 de Colombia.



Gráfica 10. Coberturas actuales de las unidades de paisaje de la tipología 5, porcentaje de hectáreas (izquierda). Bioma recomendado para las áreas de las unidades de paisaje de la tipología 5, porcentaje de hectáreas (derecha).

Fuente: Instituto SINCHI (2018), IDEAM, IAVH & IIAP (2017).

Recomendaciones generales

Se debe mantener el uso actual, respetando la frontera agrícola delimitada, impulsando el Certificado Incentivo Forestal (CIF) para conservación con el fin de disminuir la pérdida y/o degradación de los procesos clave.

Además, es necesaria una armonización de los instrumentos de ordenamiento territorial, dado que hay una diferencia en el uso del suelo entre lo delineado por el POMCA y por la UPRA, para un 10% de la cobertura del paisaje. Así mismo, existe una cobertura actual de agroecosistema ganadero que supera la frontera agrícola y la zona delimitada por el POMCA para uso y manejo. Por otro lado, hay intenciones mineras de extracción de material para construcción en la zona, la cual debe ser controlada y reguladas por Corpoamazonía, en este caso para evitar afectaciones a las rondas hídricas.

Es necesaria la sustitución de la actividad ganadera, hacia turismo de naturaleza, uso de productos no maderables del bosque, restauración (como actividad económica) o cultivos de bajo impacto (agroforestería, permacultura, cultivos multiestrata), apoyado de incentivo al desarrollo de productos derivados de la biodiversidad (bioeconomía). La actividad ganadera debe ser para leche, con vacas estabuladas o a la cuerda, para lo cual se cuenta créditos silvopastoriles, y certificados actividades productivas.

Recomendaciones particulares

- Tal como se mencionó en el lineamiento general, se debe mantener el uso actual, respetando la frontera agrícola delimitada, impulsando el Certificado Incentivo Forestal (CIF) para conservación con el fin de disminuir la pérdida y/o degradación de los procesos clave.
- Para conservación se debe promover Acuerdos de Cero Deforestación, Declaración Conjunta, Ley de Bosques. Instrumentos económicos: PSA, Exención predial. Incentivo al desarrollo de productos derivados de la biodiversidad (bioeconomía). También tener en cuenta los Incentivos económicos a la reconversión (ej. GEF Ganadería sostenible).
- Por su parte, se sugiere impulsar el Certificado de Incentivo Forestal (CIF) relacionado con uso silvopastoril y manejo de praderas, implementación de cultivos de bajo rendimiento y manejo del recurso hídrico.
- Construir y dar uso al Catastro Multipropósito que dé información base para la identificación de predios y los instrumentos económicos que le aplican, de tal manera que permita una mayor facilidad de acceso a los instrumentos. Lo anterior, incrementaría la

- capacidad de los municipios para tomar decisiones sobre el ordenamiento territorial (conocer la información y mantenerla actualizada).
- Con base en el catastro multipropósito, los municipios pueden divulgar de manera focalizada los instrumentos económicos para cada paisaje, de manera tal que se facilite el acceso a los instrumentos. Se pueden realizar talleres o capacitaciones de preparación para que los propietarios de predios conozcan los instrumentos. Pueden estar enfocados en los líderes comunitarios, por ejemplo, los líderes de los resguardos indígenas.
- Es importante incentivar mecanismos y espacios de coordinación interinstitucional que permitan la articulación de las políticas ambientales y agropecuarias. Así mismo, debe garantizarse su continuidad en el tiempo con el fin de que generen un cambio en el uso del suelo.

4.2.6. Tipología 6

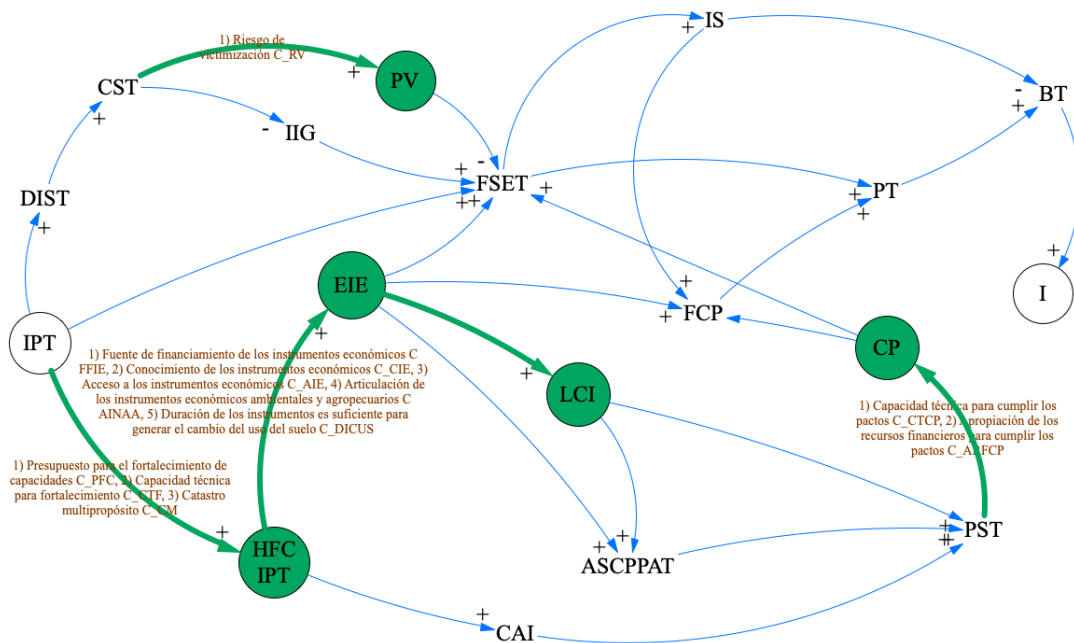


Figura 36: Red de Implicaciones que resalta los atributos y los condicionantes priorizados para la Tipología 6

Fuente: elaboración propia.

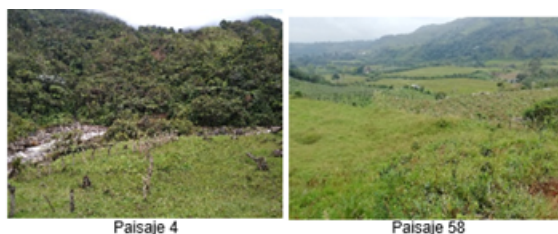
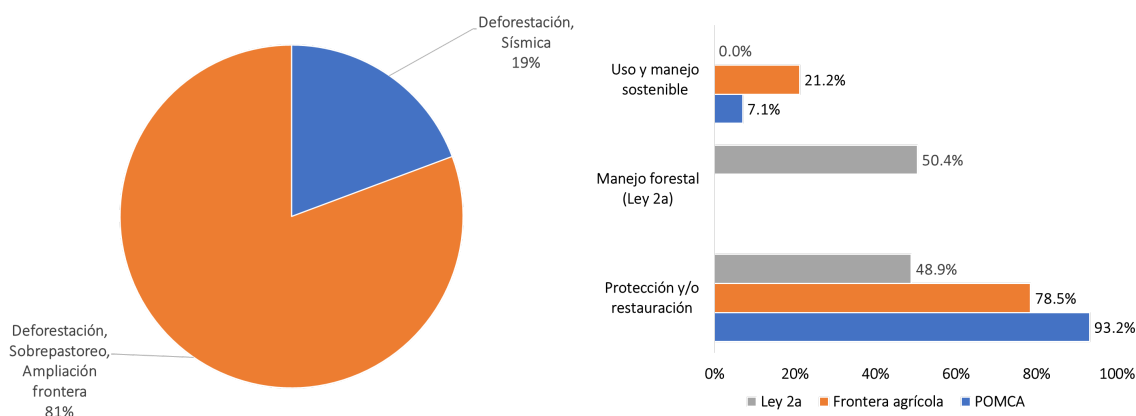


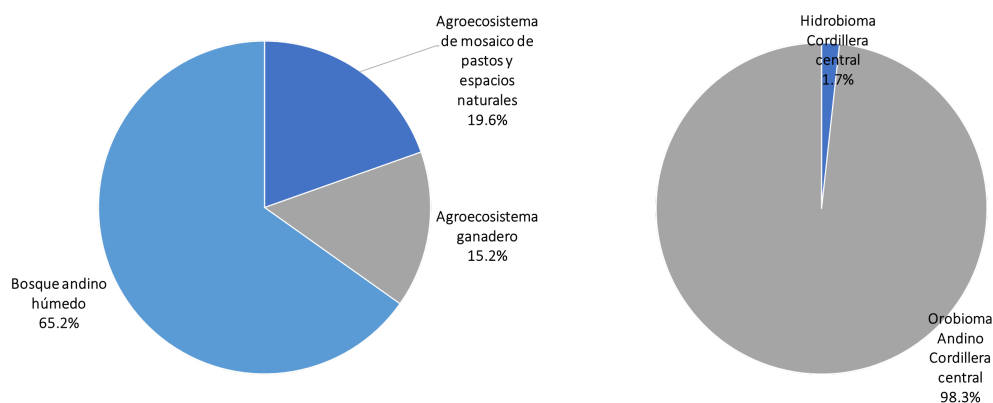
Figura 37. Fotos de las unidades de paisaje que pertenecen a la Tipología 6

Fuente: Adriana Castro y Roberto Campaña. Fotos tomadas durante el trabajo de recolección de información en campo, 2020.



Gráfica 11. Principales amenazas para las unidades de paisaje de la tipología 6, porcentaje de hectáreas (izquierda). Comparación entre la gestión estipulada de las áreas de las unidades de paisaje de la tipología 6 según instrumento de ordenamiento territorial, porcentaje de hectáreas (derecha).

Fuente: Corpoamazonía (Ed.) (2009), UPRA (2018), Ley 2ª de 1959 de Colombia.



Gráfica 12. Coberturas actuales de las unidades de paisaje de la tipología 6, porcentaje de hectáreas (izquierda). Bioma recomendado para las áreas de las unidades de paisaje de la tipología 6, porcentaje de hectáreas (derecha).

Fuente: Instituto SINCHI (2018), IDEAM, IAVH & IIAP (2017).

Recomendaciones generales

Se debe mantener el uso actual, respetando la frontera agrícola delimitada, impulsando el Certificado Incentivo Forestal (CIF) para conservación con el fin de disminuir la pérdida y/o degradación de los procesos clave.

Es necesaria una armonización de los instrumentos de ordenamiento territorial, dado que hay una fuerte diferencia en el uso del suelo entre lo delineado por el POMCA y por la UPRA, para un 29% de la cobertura del paisaje 58. Así mismo, existe una cobertura actual de agroecosistema ganadero en el 20% que supera la frontera agrícola y la zona delimitada por el POMCA para uso y manejo en el paisaje 4. A pesar de dedicarse a actividades agropecuarias, se presenta una baja seguridad alimentaria, relacionada tanto a una baja variedad de consumo de grupos alimenticios como de cantidad consumida.

En cuanto a los instrumentos económicos, existe una amplia brecha en cuanto al conocimiento (qué tanto los reconoce los dueños de los predios), al acceso (que los dueños de los predios realmente accedan) y al financiamiento. En este sentido, se debe destinar una mayor proporción de recursos para financiar estos instrumentos y una mayor divulgación entre los dueños de los predios. Esta divulgación hace parte de una política de transparencia que genera una mayor credibilidad en las instituciones.

El Paisaje 58 tiene un nivel de afectación del paisaje es alto (áreas erosionadas, áreas compactadas, integridad ecológica, ecosistemas amenazados, especies amenazadas, nivel de contaminación del

agua). Los predios son rentados y se caracterizan por un alto uso de agroquímicos. En este sentido, se deben implementar medidas para que el arrendatario no deteriore o degrade la tierra a partir del uso, por ejemplo, un compromiso o ciertas cláusulas dentro del contrato de arrendamiento que genere incentivos para que no se deteriore el suelo ni los servicios ecosistémicos. Se debe reconocer la existencia de incentivos perversos para sobreexplotar la tierra una vez arrendada, trabajando paralelamente en mecanismo para: 1) internalizar las externalidades, 2) colocar límites al uso y explotación de la tierra.

Recomendaciones particulares

- Tal como se mencionó en el lineamiento general, se debe mantener el uso actual, respetando la frontera agrícola delimitada, impulsando el Certificado Incentivo Forestal (CIF) para conservación con el fin de disminuir la pérdida y/o degradación de los procesos clave.
- Se deben conformar acuerdos y pactos por el territorio que permitan sincronizar las intencionalidades de uso del territorio. Esto debe ir acompañado de una ampliación de la capacidad técnica, presupuestal e institucional para cumplir los pactos.
- En las zonas de preservación se pueden aplicar instrumentos tales como PSA, CIF de conservación y los Acuerdos de Conservación (Declaración conjunta y Acuerdos Cero Deforestación y No-Transformación de páramos-TFA)
- Se debe incentivar la chagra indígena y cultivos para autoconsumo.

4.2.7. Tipología 7

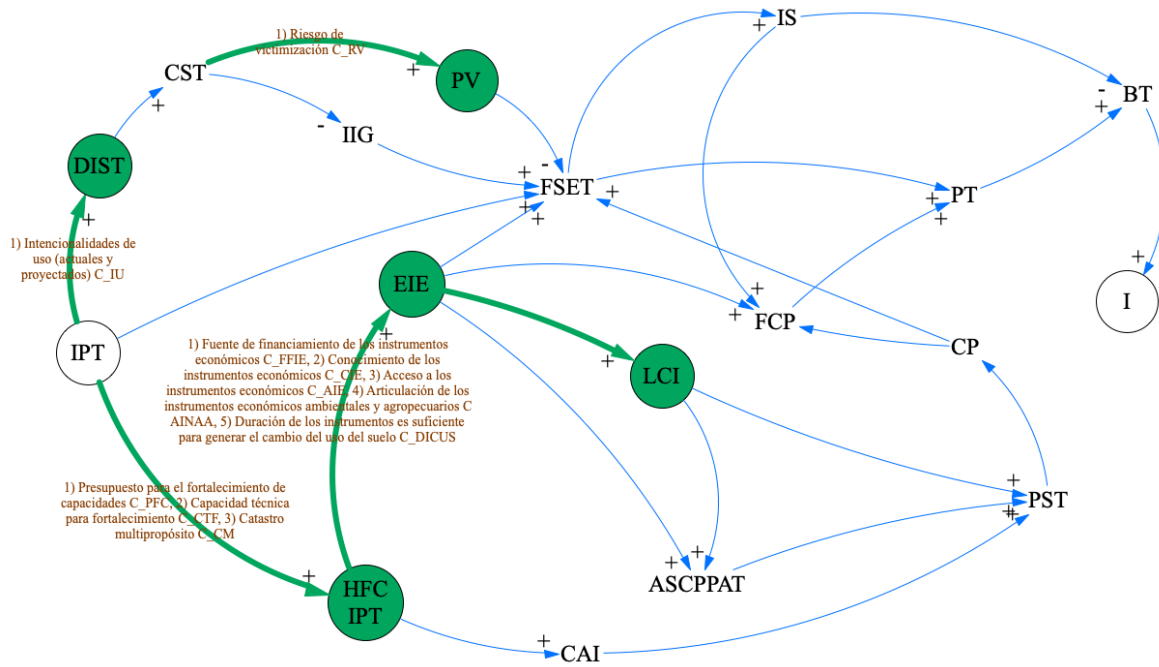


Figura 38: Red de Implicaciones que resalta los atributos y los condicionantes priorizados para la Tipología 7

Fuente: elaboración propia.

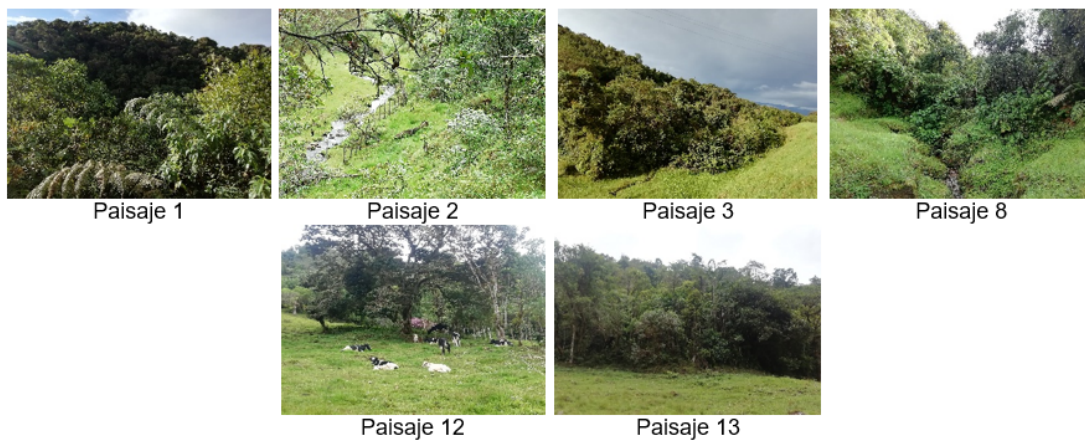
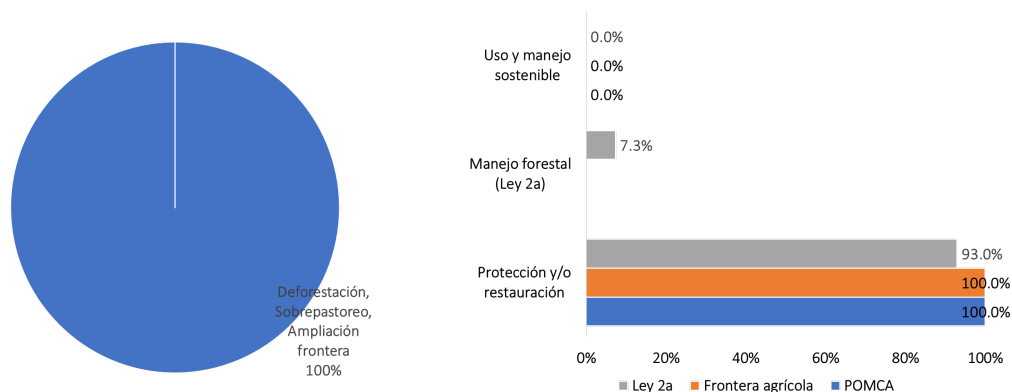


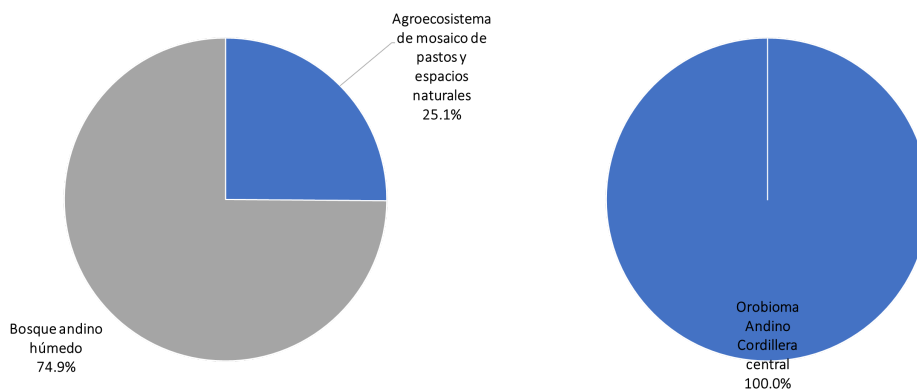
Figura 39. Fotos de las unidades de paisaje que pertenecen a la Tipología 7

Fuente: Adriana Castro y Roberto Campaña. Fotos tomadas durante el trabajo de recolección de información en campo, 2020.



Gráfica 13. Principales amenazas para las unidades de paisaje de la tipología 7, porcentaje de hectáreas (izquierda). Comparación entre la gestión estipulada de las áreas de las unidades de paisaje de la tipología 7 según instrumento de ordenamiento territorial, porcentaje de hectáreas (derecha).

Fuente: Corpoamazonía (Ed.) (2009), UPRA (2018), Ley 2ª de 1959 de Colombia.



Gráfica 14. Coberturas actuales de las unidades de paisaje de la tipología 7, porcentaje de hectáreas (izquierda). Bioma recomendado para las áreas de las unidades de paisaje de la tipología 7, porcentaje de hectáreas (derecha).

Fuente: Instituto SINCHI (2018), IDEAM, IAVH & IIAP (2017).

Recomendaciones generales

La información cartográfica revela que el 25% del paisaje se encuentra con un agroecosistema de mosaico de pastos y espacios naturales, no obstante, tanto el POMCA como la frontera agrícola identifican que dichas zonas deben estar destinadas a la conservación y/o la restauración. Esta información es reforzada por el hecho de que el 100% del paisaje se encuentra amenazado por la ampliación de la frontera agrícola.

De acuerdo a los instrumentos de planificación (POMCA y UPRA) en estos paisajes no debe haber producción agropecuaria, por lo que las áreas naturales deben seguir siendo protegidas y conservadas para mantener los procesos ecológicos.

Se debe mejorar la capacidad técnica de los municipios para el ordenamiento territorial, incluyendo fortalecimiento en la capacidad de hacer cumplir la política, para lo cual se debe ampliar el presupuesto destinado a fortalecer estas capacidades. Se deben reforzar los instrumentos económicos para dichos fines. Parte del reforzamiento consiste en aportar recursos suficientes para su financiación, divulgar su existencia de manera tal que los productores los conozcan, y facilitar el acceso.

Recomendaciones particulares

Se deben desarrollar actividades para la sustitución de la actividad ganadera de los paisajes 2, 12, 13, promoviendo el turismo de naturaleza, productos no maderables del bosque, restauración (como actividad económica) o cultivos no-comerciales destinados para autoconsumo (agroforestería, permacultura, cultivos multiestrata).

Para fortalecer estas acciones de gestión, en particular para las zonas de preservación, se sugiere fortalecer los mecanismos de PSA. Para las zonas de restauración se fortalece el instrumento de Certificado de Incentivo Forestal (CIF) para conservación y de reforestación comercial.

Con base en el catastro multipropósito, los municipios pueden divulgar de manera focalizada los instrumentos económicos para cada paisaje, de manera tal que se facilite el acceso a los instrumentos.

Es importante incentivar mecanismos y espacios de coordinación interinstitucional que permitan la articulación de las políticas ambientales y agropecuarias. Así mismo, debe garantizarse su continuidad en el tiempo con el fin de que generen un cambio en el uso del suelo.

4.2.8. Tipología 8

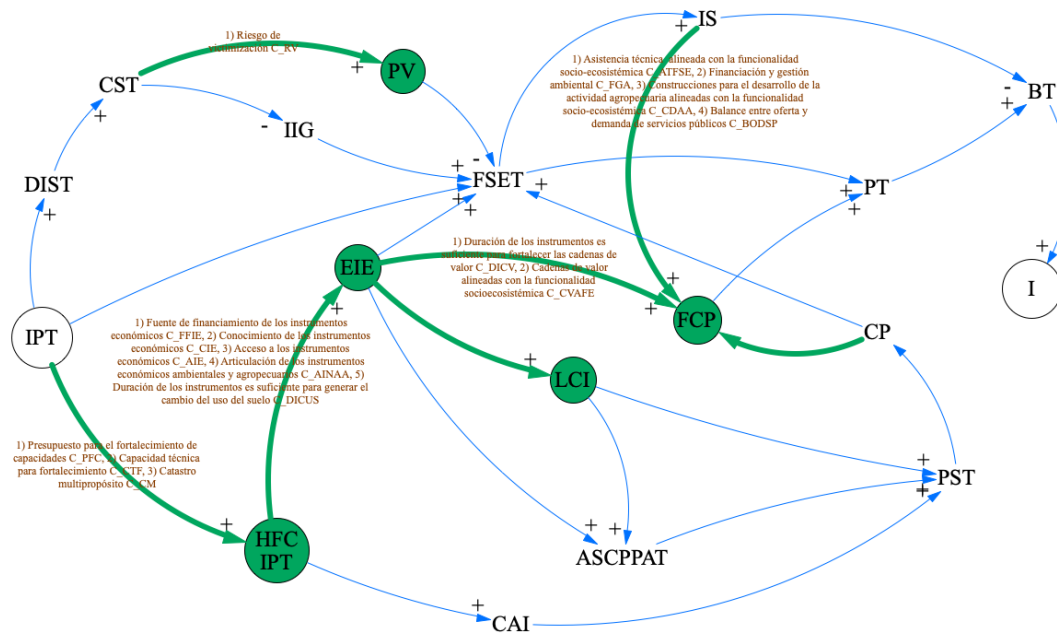


Figura 40: Red de Implicaciones que resalta los atributos y los condicionantes priorizados para la Tipología 8

Fuente: elaboración propia.

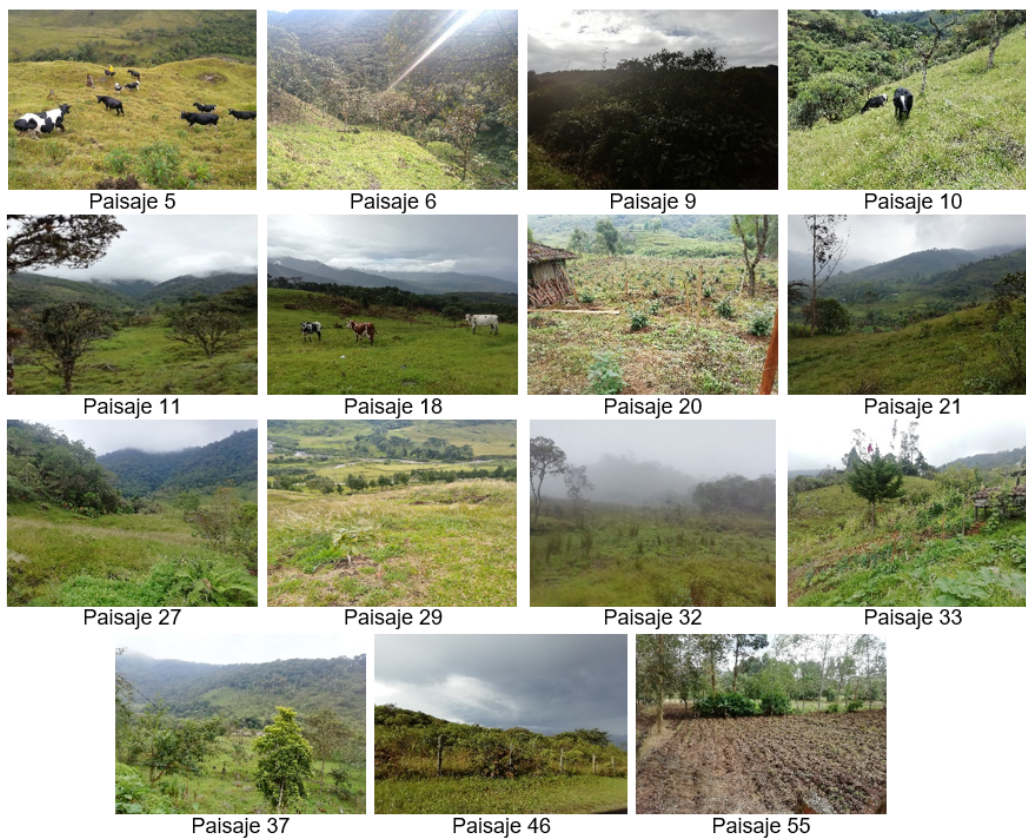
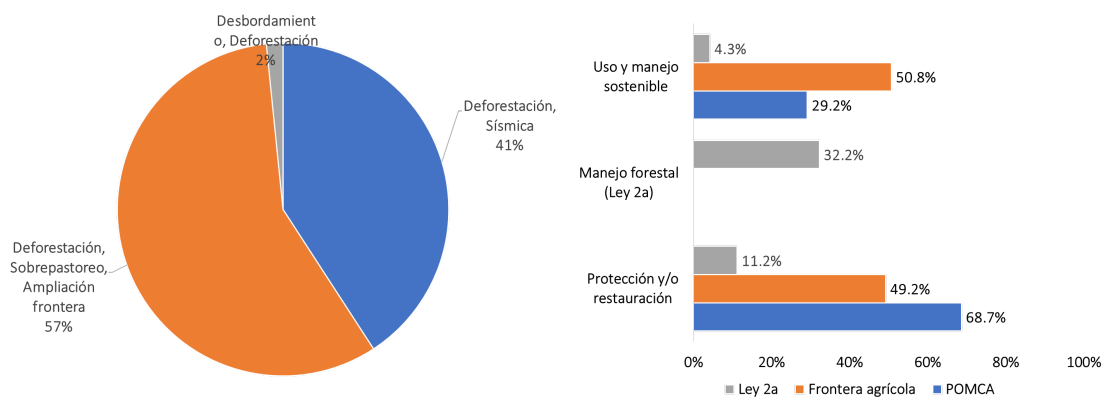


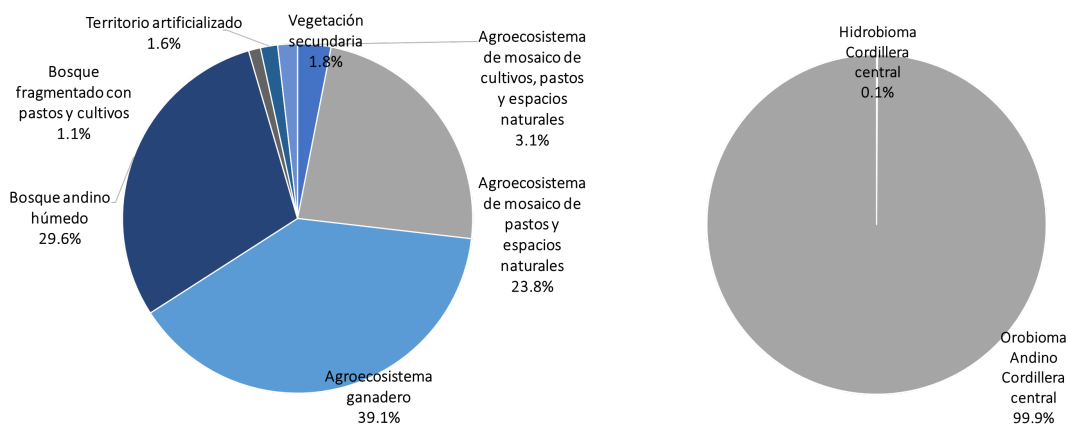
Figura 41. Fotos de las unidades de paisaje que pertenecen a la Tipología 8

Fuente: Adriana Castro y Roberto Campaña. Fotos tomadas durante el trabajo de recolección de información en campo, 2020.



Gráfica 15. Principales amenazas para las unidades de paisaje de la tipología 8, porcentaje de hectáreas (izquierda). Comparación entre la gestión estipulada de las áreas de las unidades de paisaje de la tipología 8 según instrumento de ordenamiento territorial, porcentaje de hectáreas (derecha).

Fuente: Corpoamazonía (Ed.) (2009), UPRA (2018), Ley 2ª de 1959 de Colombia.



Gráfica 16. Coberturas actuales de las unidades de paisaje de la tipología 8, porcentaje de hectáreas (izquierda). Bioma recomendado para las áreas de las unidades de paisaje de la tipología 8, porcentaje de hectáreas (derecha).

Fuente: Instituto SINCHI (2018), IDEAM, IAVH & IIAP (2017).

Recomendaciones generales

Los paisajes que hacen parte del municipio de San Francisco, en las áreas donde corresponde, deben hacer una transición hacia la restauración y protección del bosque de niebla, tal como se concibe en el POMCA, para lo cual se deben reforzar los instrumentos económicos para dichos fines. Parte del reforzamiento consiste en aportar recursos suficientes para su financiación, divulgar su existencia de manera tal que los productores los conozcan, y facilitar el acceso.

En los sistemas productivos (paisajes 20, 21, 27, 29, 32, 33, 55) predomina la ganadería, mora, aguacate, ají, aromáticas, arracacha, calabaza, cebolla larga, cidra, coles, cunas, frijol, maíz, caña de azúcar, cilantro, guasimba, papa y lechuga). Igualmente existen sistemas de chagras de gran importancia para la seguridad alimentaria. Para el fortalecimiento de la cadena productiva se debe aumentar la asistencia técnica e invertir en construcciones para el desarrollo de actividades productivas. Se debe promover arreglos de paisaje que potencien la presencia de especies para la

polinización, para el ciclaje de nutrientes, para control natural de plagas y para la dispersión de semillas de leguminosas.

Recomendaciones particulares

- Se recomienda la aplicación de buenas prácticas, para la conservación de suelo, prevención y/o reducción de la erosión del suelo. De igual manera la incorporación de buenas prácticas puede evitar que por escurrimiento difuso haya contaminación de aguas.
- Es necesario incorporar prácticas para la buena circulación de los residuos de cosecha, de la transformación de los productos y del estiércol de los animales, aprovechando así dichos residuos.
- Construir y dar uso al Catastro Multipropósito que dé información base para la identificación de predios y los instrumentos económicos que le aplican, de tal manera que permita una mayor facilidad de acceso a los instrumentos. Con esta información los municipios pueden divulgar de manera focalizada los instrumentos económicos para cada paisaje.
- Es importante incentivar mecanismos y espacios de coordinación interinstitucional que permitan la articulación de las políticas ambientales y agropecuarias. Así mismo, debe garantizarse su continuidad en el tiempo con el fin de que generen un cambio en el uso del suelo.

4.2.9. Tipología 9

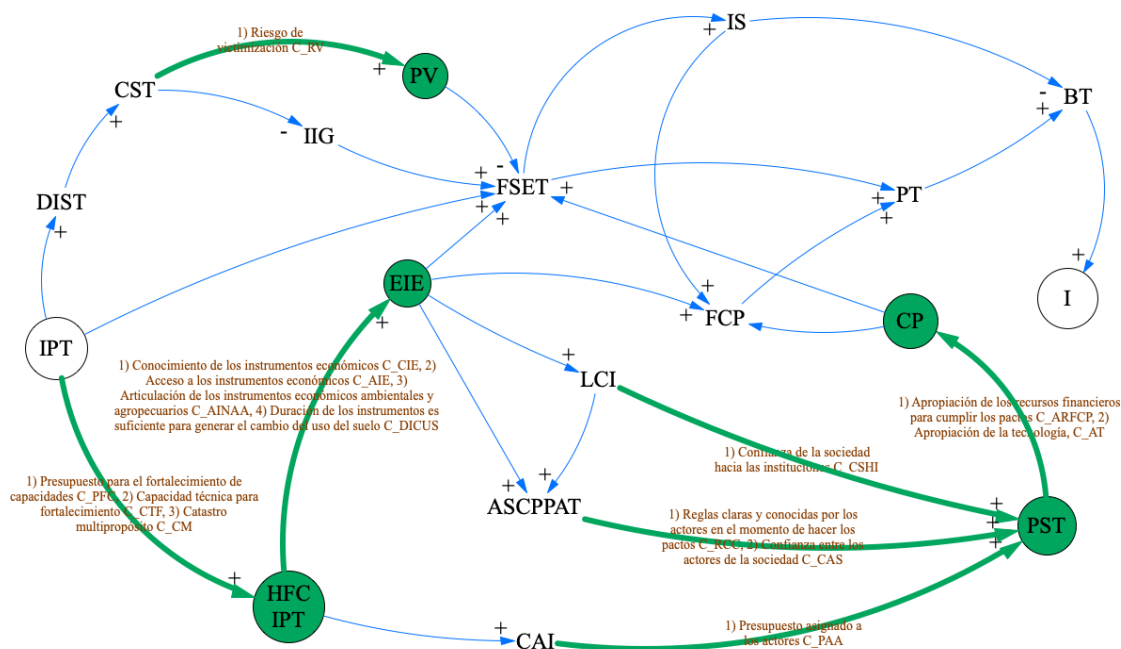


Figura 42: Red de Implicaciones que resalta los atributos y los condicionantes priorizados para la Tipología 9

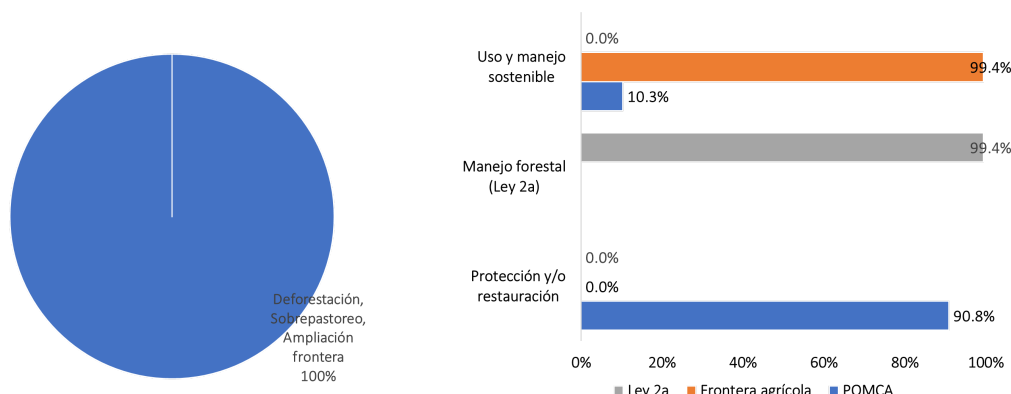
Fuente: elaboración propia.



Paisaje 60

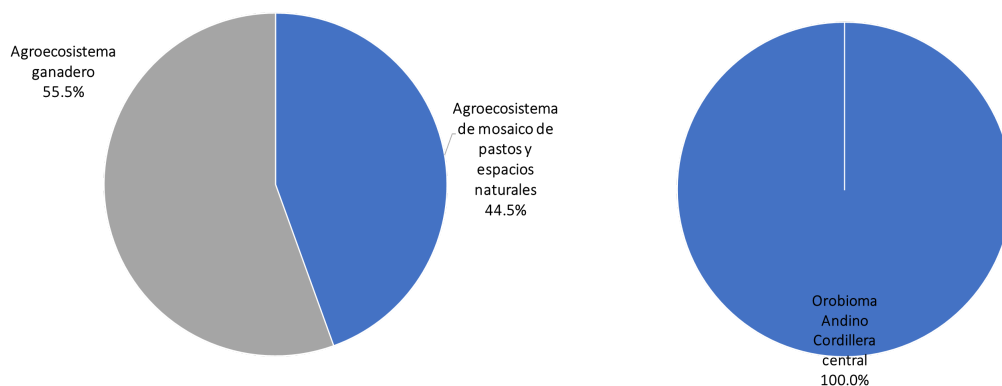
Figura 43. Fotos de las unidades de paisaje que pertenecen a la Tipología 9

Fuente: Adriana Castro y Roberto Campaña. Fotos tomadas durante el trabajo de recolección de información en campo, 2020.



Gráfica 17. Principales amenazas para las unidades de paisaje de la tipología 9, porcentaje de hectáreas (izquierda). Comparación entre la gestión estipulada de las áreas de las unidades de paisaje de la tipología 9 según instrumento de ordenamiento territorial, porcentaje de hectáreas (derecha).

Fuente: Corpoamazonía (Ed.) (2009), UPRA (2018), Ley 2ª de 1959 de Colombia.



Gráfica 18. Coberturas actuales de las unidades de paisaje de la tipología 9, porcentaje de hectáreas (izquierda). Bioma recomendado para las áreas de las unidades de paisaje de la tipología 9, porcentaje de hectáreas (derecha).

Fuente: Instituto SINCHI (2018), IDEAM, IAVH & IIAP (2017).

Recomendaciones generales

Se presenta una alta sensibilidad por distintas intencionalidades, dado que los instrumentos de planeación no se encuentran armonizados: el POMCA destina el 84% del área a restauración

mientras que la frontera agrícola cubre el 100% del paisaje. Se debe mejorar la capacidad técnica de los municipios para el ordenamiento territorial que incluya conocimientos sobre la relación entre el uso del suelo y la funcionalidad socioecosistémica del territorio.

De igual manera, se debe hacer énfasis en la construcción de pactos sociales por el territorio que permitan armonizar las diferentes intencionalidades de uso y que articulen la comunidad en torno a un mismo conjunto de objetivos, partiendo de las instancias de coordinación y concertación actuales.

Recomendaciones particulares

Las instancias de participación donde la población víctima se involucre en el diseño, ejecución y seguimiento de la política pública de víctimas, juegan un rol importante en el afianzamiento de las estrategias a largo plazo, ya que ofrece oportunidades de ajuste y mejora a las acciones que se han venido realizando, restableciendo la confianza de esta población hacia las instituciones, lo cual se traduce en la generación de pactos por el territorio estables y duraderos.

Se deben conformar acuerdos y pactos por el territorio que permitan sincronizar las intencionalidades de uso del territorio. Esto debe ir acompañado de una ampliación de la capacidad técnica, presupuestal e institucional para cumplir los pactos.

4.3. Conexión entre los modelos

La forma como se articulan los modelos es sencilla. El modelo de redes de implicaciones permite identificar qué es prioritario de ser gestionado en cada unidad de paisaje del área de estudio, lo que favorece la identificación de conjuntos de paisajes que en el área de estudio tienen las mismas prioridades, aunque con distintas intensidades, denominados tipologías. A través de talleres con expertos, se hace una lista con proposiciones de la manera como cada una de esas tipologías debería ser abordada. Sin embargo, cada propuesta de gestión podría dar lugar a consecuencias distintas: 1) obtener lo propuesto en el corto plazo, mientras en el mediano y largo plazo genera resultados contrarios a los esperados, 2) erosionar otros objetivos de paisaje, mientras satisface el objetivo específico de gestión y 3) dar lugar a comportamientos contraintuitivos, inesperados o colaterales indeseables. De este modo, aparece el segundo modelo, basado en Dinámica de Sistemas, a través del cual se estudió la viabilidad socioecológica de cada una de las proposiciones realizadas por los expertos para el periodo comprendido entre los años 2020 y 2030. En este modelo dinámico se comparó el comportamiento tendencial del escenario actual con los escenarios que se desprendieron de las proposiciones realizadas por los expertos en términos de políticas, cambio climático y COVID 19.

Dado que, los lineamientos se obtienen de la intención de transformar los condicionantes de la red de implicaciones, y que esos valores pueden representar en el modelo dinámico desde los parámetros del sistema diferencial, a continuación, se muestran las principales relaciones entre condicionantes y parámetros, vea Tabla 8. Los cuadrantes en color verde indican que la relación es positiva (si el condicionante mejora, el parámetro también) y el color naranja indica que la relación es negativa (si el condicionante mejora, el parámetro disminuye).

En la tabla se puede observar cómo la asistencia técnica, la tecnología y la financiación alineadas con la funcionalidad socioecosistémica, disminuyen la erosión de los suelos y por ende aumentan el rendimiento, cómo disminuyen el consumo hídrico dado que se implementan sistemas más eficientes y cómo disminuyen los costos de producción y transformación de cultivos, y los costos de producción de especies, como el ganado vacuno.

Así mismo, la disminución de la vulnerabilidad de los ecosistemas y el riesgo de victimización se asocian a una menor tasa de deforestación, dado que las recomendaciones ligadas a los condicionantes buscan disminuir la amenaza sobre los ecosistemas, siendo la deforestación la principal amenaza identificada.

Tabla 8. Relación entre los condicionantes del modelo de línea base y el modelo dinámico de paisaje (parte 1)

Condicionantes	Ecosistemas vulnerables	Riesgo de victimización	Tecnología alineada con la funcionalidad socioecosistémica	Asistencia técnica alienada con la funcionalidad socioecosistémica	Financiación alienada con la funcionalidad socioecosistémica
Parámetros del modelo					
Tasa de transformación uso i a áreas de bosque					
Tasa de preparación del bosque para uso i					
Porcentaje de la transformación k bosque para la venta l					
Porcentaje de la producción del bosque para la transformación k					
Porcentaje de la producción de alimentos del uso i para la transformación k					
Porcentaje de suelo perdido por la preparación de herbazales para uso i					
Porcentaje de suelo perdido por la preparación del bosque para uso i					
Porcentaje de suelo perdido por la preparación uso i					
Porcentaje de suelo perdido por el cambio de uso i a uso j					
Porcentaje de suelo perdido por el cambio de uso i a uso i					
Tasa de erosión del bosque					
Consumo per cápita doméstico del recurso hídrico por trimestre					
Consumo de agua por hectárea al trimestre del suelo preparado por el i-ésimo uso					
Consumo de agua por hectárea al trimestre del suelo sembrado del i-ésimo uso					
Costo promedio de producción transformación k uso i					
Costo promedio de producción uso i					
Costo promedio de producción bosque					
Costo promedio de producción cría especie i					
Costo promedio de producción levante especie i					
Costo promedio de producción ceba especie i					
Precio venta l transformación k uso i					
Precio venta l transformación k bosque					
Precio venta l bosque					

Fuente: elaboración propia

La Tabla 9 muestra cómo el fortalecimiento de los instrumentos económicos influye en la transformación de usos agropecuarios hacia bosques (debido a los incentivos para conservar y restaurar), en el porcentaje que se destina a la transformación de los productos, sustentado en un mayor soporte y mayores incentivos para agregar valor a los productos obtenidos. Actualmente, en el Valle de Sibundoy la transformación de productos es prácticamente nula, con contadas excepciones, por lo que hay espacio para la formulación de incentivos para la bioeconomía, que impulsen la agregación de valor a los productos.

Tabla 9. Relación entre los condicionantes del modelo de línea base y el modelo dinámico de paisaje (parte 2)

Condicionantes	Construcciones para el desarrollo de la actividad agropecuaria alineadas con la funcionalidad socio-ecosistémica	Balance entre oferta y demanda de servicios públicos	Fuentes de financiamiento de los instrumentos económicos	Acceso a los instrumentos	Cadenas de valor alineadas con la funcionalidad socioecosistémica
Parámetros del modelo					
Tasa de transformación uso i a áreas de bosque					
Tasa de preparación del bosque para uso i					
Porcentaje de la transformación k bosque para la venta l					
Porcentaje de la producción del bosque para la transformación k					
Porcentaje de la producción de alimentos del uso i para la transformación k					
Porcentaje de suelo perdido por la preparación de herbazales para uso i					
Porcentaje de suelo perdido por la preparación del bosque para uso i					
Porcentaje de suelo perdido por la preparación uso i					
Porcentaje de suelo perdido por el cambio de uso j a uso i					
Porcentaje de suelo perdido por el cambio de uso i a uso i					
Tasa de erosión del bosque					
Consumo per cápita doméstico del recurso hídrico por trimestre					
Consumo de agua por hectárea al trimestre del suelo preparado por el i-ésimo uso					
Consumo de agua por hectárea al trimestre del suelo sembrado del i-ésimo uso					
Costo promedio de producción transformación k uso i					
Costo promedio de producción uso i					
Costo promedio de producción bosque					
Costo promedio de producción cría especie i					
Costo promedio de producción levante especie i					
Costo promedio de producción ceba especie i					
Precio venta l transformación k uso i					
Precio venta l transformación k bosque					
Precio venta l bosque					

Fuente: elaboración propia

Esta primera aproximación en la unión de los modelos no pretende ser definitiva, dado que el modelo dinámico puede llegar a ser más amplio e incluir otros parámetros que se vean influenciados por los condicionantes, de manera tal que la implementación de la política tenga mayores repercusiones en el comportamiento de los sistemas agroalimentarios.

5. Simulación de escenarios de política y sus efectos en la evolución de los servicios ecosistémicos y el bienestar

Con los resultados obtenidos en el modelo de línea base, se obtienen un conjunto de escenarios de uso del suelo, los cuales son analizados a la luz del segundo modelo, para observar cómo se relacionan con la oferta de servicios ecosistémicos, las cadenas de valor y el bienestar humano. De esta manera se puede realizar la conexión entre las políticas, la oferta de servicios ecosistémicos y el bienestar humano, permitiendo así comparar la tendencia actual con los distintos escenarios planteados.

Dado que los resultados obtenidos de las simulaciones de escenarios son sensibles a los datos procesados por el modelo, es importante establecer previamente qué datos corresponden a supuestos formulados en el procesamiento de la información.

- Un componente determinante de la seguridad alimentaria resultante es la canasta básica que se defina para la realización de las simulaciones. Una ventaja del modelo es que permite evaluar la seguridad alimentaria a la luz de diferentes tipos de dietas, a través del ajuste de los parámetros, lo que da la posibilidad de comprobar diversas dietas. En particular para el modelo, se seleccionó la dieta saludable planetaria planteada por el informe Lancet-EAT (Willett et al., 2019), dentro de la cual se sugiere un consumo moderado de carne vacuna (asociada a motores de deforestación) y que promueve vigorosamente el consumo de frutas y verduras, con el fin de promover un consumo de alimentos que generen una nutrición balanceada, partiendo de un enfoque médico preventivo; y que a su vez, está asociada a una demanda de alimentos con bajo o nulo impacto ambiental (baja emisión de gases de efecto invernadero, menor uso de la tierra, menor uso de agua, menor aplicación de nitrógeno y de fósforo).
- Otro supuesto del modelo es el concerniente a los valores monetarios. Para el modelo, los precios y costos son exógenos, no endógenos, lo que implica que para la modelación estos valores serán constantes en el tiempo. Aunque es posible hacer endógenos estos valores (por ejemplo, a través de un modelo de formación de precios), bajo un escenario de alta volatilidad e incertidumbre alrededor de la formación de precios se decidió no hacerlo.
- Para los valores de provisión hídrica se consultó la información publicada por IDEAM (2019) y para los datos de erosión se consultó el estudio de suelos realizado por el IGAC (2014) para la zona de estudio, por lo que las fuentes para estos componentes son fuentes secundarias. En este sentido, una limitante que se reconoce es la falta de información primaria para la zona en relación con estos servicios, lo cual puede ser suplido con mediciones *in situ* y un trabajo de campo más amplio.

5.1. Escenarios

En total se crearon 10 escenarios, los cuales se comparan con el Business-as-usual (BAU) en cada uno de los 62 paisajes del área de estudio. Esto significa que se cuenta con un total de 11 escenarios, vea Tabla 10. Estos escenarios fueron evaluados para los 62 paisajes, considerando 11 indicadores (8 relacionados con servicios ecosistémicos y 3 con seguridad alimentaria).

Las recomendaciones obtenidas en el modelo de línea base se organizaron en 6 escenarios distintos: 1) **Buenas prácticas agropecuarias (BPA)**, 2) **Mejor tecnología en las etapas de la cadena de valor**, 3) **Infraestructura agropecuaria y vial**, 4) **Incentivos a la transformación de productos**, 5) **Incentivos a la restauración** y 6) **Incentivos a la conservación**. Cada uno de estos escenarios se enfoca en identificar los efectos de la aplicación de la política en los sistemas agroalimentarios

evaluados. Así, es posible identificar para cada paisaje, cuáles pueden llegar a tener un impacto más significativo.

A partir del trabajo participativo con representantes de los cabildos indígenas del Valle de Sibundoy, se diseñó el escenario 7, el cual supone un **fortalecimiento de la chagra indígena**, la cual es uno de los 48 usos identificados en el Valle de Sibundoy, y la cual tiene una alta importancia cultural y alimentaria para las comunidades indígenas. Este fortalecimiento consiste en una ampliación de su cobertura en el territorio.

Todas las recomendaciones realizadas en el modelo de línea base se agrupan en el escenario número 8: **Integración de recomendaciones** (Efecto agrupado).

El escenario 9 relativo al **COVID-19**, se basa en los impactos identificados de la pandemia actual sobre los sistemas agroalimentarios, de acuerdo con la revisión de bibliografía realizada en la Sección 2.3.2. No obstante, los efectos capturados en este escenario no se limitan a incorporar los efectos a corto plazo de la pandemia actual, sino que integran los efectos en el tiempo de una pandemia en general. Es decir, contempla la posibilidad de una nueva pandemia en otro periodo del tiempo.

Finalmente, se construye un escenario de **degradación**, en el cual se amplifican distintas tendencias negativas que pueden afectar severamente el bienestar en el Valle de Sibundoy, tales como deforestación, erosión de los suelos, deterioro de las carreteras, entre otros. Este escenario tiene como fin identificar los efectos en los sistemas agroalimentarios de la continuación o exacerbación de malas prácticas.

Todos los escenarios incluyen las variaciones de temperatura y precipitación proyectadas para el área de estudio por el IDEAM et al. (2015) a causa del **cambio climático (CC)**, considerándose un incremento de hasta 1°C de temperatura y un aumento del 10% de las lluvias. Los demás supuestos para la implementación de cada uno de los escenarios en el modelo matemático fueron obtenidos a partir de la información empírica y secundaria recolectada a través del trabajo de campo en el área de estudio.

Tabla 10. Escenarios de políticas para realizar simulaciones

#Escenario	Nombre del escenario	Descripción del escenario
0	BAU	Es el escenario en el que se estudia el comportamiento tendencial del sistema socioecológico para cada uno de los paisajes en el área de estudio, si las relaciones actuales se mantuvieran en el tiempo
1	Buenas prácticas agropecuarias	Este escenario involucra buenas prácticas agrícolas, buenas prácticas ganaderas y agroecología, lo cual se traduce en una disminución de la erosión por las preparaciones y cambios del uso del suelo, en un

		uso más eficiente del agua, en un aumento del bienestar animal que disminuye la pérdida de cabezas de especies pecuarias y un aumento en los precios de venta por el reconocimiento que el mercado hace de estas buenas prácticas.
2	Mejor tecnología en la cadena de valor	Este escenario involucra las mejores tecnologías en la preparación del suelo, en la transformación de los productos obtenidos de la tierra y en el manejo del agua, de tal modo que, se puede transformar más productos aumentando los porcentajes de transformación, se erosiona menos y se es más eficiente en el uso del agua, y se aumenta la eficiencia de la producción y la transformación, lo que se traduce en menores costos.
3	Infraestructura agropecuaria y vial	En este escenario se considera que, si la infraestructura para la producción agropecuaria y la infraestructura vial son mejores, entonces los costos de producción necesariamente disminuirán, al igual que la pérdida de cabezas de ganado (mejores resguardos para las especies pecuarias y menor estrés en su transporte).
4	Incentivos a la transformación de productos	En este escenario se considera la existencia de incentivos para la transformación de los productos agropecuarios, lo cual incluye los relacionados en la Bioeconomía y la inversión en maquinaria que procese materias primas, por lo que se considera el aumento en los porcentajes de transformación y el aumento en los precios de venta a causa del valor agregado obtenido por la transformación.
5	Incentivos a la restauración	En este escenario se promueve mediante incentivos la restauración de las áreas de bosque natural, aumentando el turismo de naturaleza, razón por la que, se incrementan las transformaciones de los usos agropecuarios a usos de bosque, disminuye su erosión y aumentan los precios de los productos y subproductos del bosque, provocando un mayor atractivo turístico.
6	Incentivos a la conservación	Este escenario propone la existencia de incentivos a la conservación, lo cual se representa a través de la disminución de las tasas de preparación del bosque hacia usos agropecuarios, la disminución en la erosión del bosque, el aumento de los precios de venta de los productos y subproductos del bosque y

		el aumento en el número de visitantes a las áreas de bosque.
7	Fortalecer la chagra indígena	El escenario de fortalecimiento de la chagra indígena representa la transformación de herbazales y pastos a chagras, dando lugar a su incremento en el área de estudio.
8	Integración de recomendaciones	En este escenario se consideran todos los supuestos con los que se construyeron los escenarios del 1 al 7.
9	COVID-19	Para construir este escenario se tomaron en cuenta los impactos que se han registrado en diversos sistemas agroalimentarios asumiéndose que los costos de producción aumentan, específicamente los costos de transporte, que los precios de los alimentos externos aumentan y que las personas autoconsumen más..
10	Degradación	Este escenario presenta una perspectiva pesimista de la gestión del área de estudio, en consideración de los mismos elementos presentados en el escenario 8, pero con valores opuestos. Por esta razón, se considera el aumento de todos los valores de transformación de las áreas naturales hacia los usos agropecuarios, el aumento de los consumos de agua por ineficiencia en su manejo, el aumento de los costos de producción por no implementar buenas prácticas o no contar con tecnología adecuadas, la disminución del precio de los productos del bosque y el aumento en la pérdida de las especies pecuarias por prácticas contrarias al bienestar animal y por no contar con la infraestructura adecuada de producción y de vías.

Fuente: elaboración propia.

En el modelo existen múltiples interacciones entre las variables y múltiples salidas. En particular para los escenarios, se escogieron las siguientes variables que representan la evolución de los servicios ecosistémicos en el paisaje y la seguridad alimentaria. Estas variables se subrayan en verde en la modelación presentada en el Capítulo 2 con el fin de que el lector las ubique fácilmente.

- Carbono: es el almacenamiento de carbono en el paisaje. Se mide en Toneladas equivalentes de CO₂.
- Erosión superficial del paisaje (**ESP**): es la erosión del suelo. Se mide en Toneladas/(Hectárea*Trimestre).

- Provisión de agua (**PrAP**): Es la provisión de agua en el paisaje. Se mide como el cociente entre la retención hídrica del suelo del paisaje RH_s y la capacidad de campo CC . Si es mayor a 1, quiere decir que la retención supera la capacidad de campo.
- Polinización (**PnP**): polinización en el paisaje. Se define adimensionalmente como el cociente entre los polinizadores del paisaje y la capacidad de soporte de los polinizadores en el paisaje.
- Provisión de hábitat (**PHab**): captura la presencia de áreas naturales (bosques, herbazales y humedales) presentes en el territorio, que proveen el hábitat para diversas especies. Se calcula como el cociente entre la suma de áreas de bosques B , áreas de herbazales H_e y áreas de humedales H_u , y el área total del paisaje ATP . Entre más cerca a 1, indica que es mayor la cobertura de áreas naturales en un paisaje.
- Ingresos totales por turismo de naturaleza (**ITTN**): captura los ingresos por turismo obtenidos en el paisaje. Se mide en pesos colombianos por trimestre.
- Índice de Calidad de Seguridad alimentaria humana (**ICSA**): corresponde al índice de seguridad alimentaria debido a todos los autoconsumos del paisaje. Dado que el índice pondera por los grupos alimenticios, constituye una medida de la calidad alimenticia en los paisajes. Se encuentra entre 0 y 1. Entre más cercano a 1, más grupos alimenticios son cubiertos por los autoconsumos.
- Índice de Calidad de Seguridad alimentaria animal (**ICSAA**): corresponde al índice de seguridad alimentaria debido a todos los autoconsumos del paisaje de los animales. Se enfoca en analizar si los autoconsumos cubren las necesidades energéticas de los animales presentes en los paisajes. Se encuentra entre 0 y 1. Entre más cercano a 1, más necesidades energéticas son cubiertas por los autoconsumos de los animales.
- Flujo de Caja (**FC**): captura los ingresos y gastos por actividades productivas en el paisaje. Así mismo, incorpora los gastos en los que deben incurrir los habitantes de un paisaje para cubrir su canasta básica energética por grupo alimenticio. Esto indica que, si un flujo de caja es cero implica que la canasta alimenticia no fue cubierta, es decir, este índice permite conocer si hay inseguridad alimentaria. Se mide en pesos colombianos por trimestre.
- Índice de provisión de alimentos (**IPAL**): es la producción total de alimentos en un paisaje. Se mide en toneladas por trimestre por hectárea.
- Heterogeneidad del paisaje (**H**): captura la multiplicidad de coberturas dentro de un paisaje. Es un indicador adimensional, que va de 0 a 1. Entre más cercano a 1, más heterogéneo es y más áreas naturales posee.

A continuación, se realiza la presentación completa de cada escenario, incluyendo los supuestos y solamente los resultados que por su dinámica deben ser destacados. Posteriormente, se comparan los escenarios por tipología.

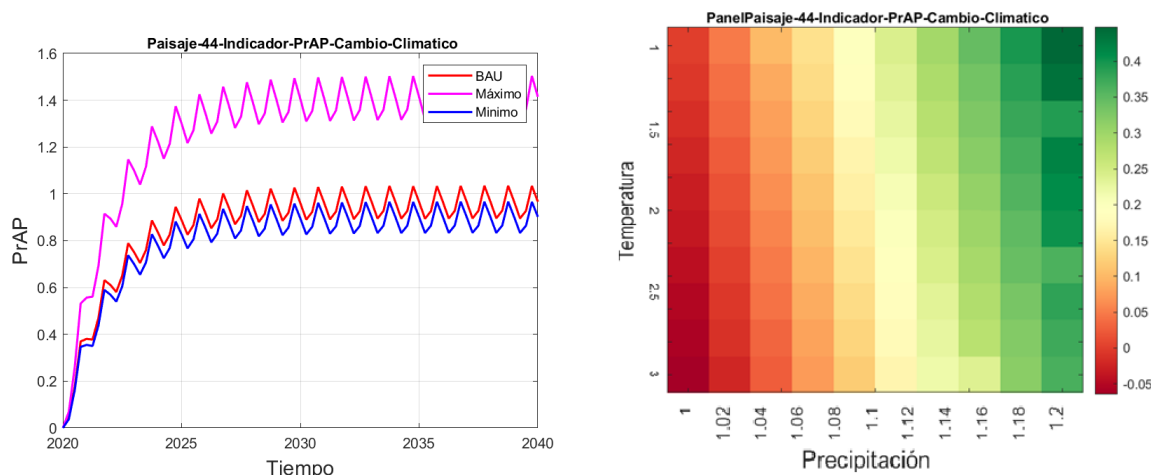
5.1.1. Escenario 0: BAU

El escenario Business As Usual BAU, es el escenario en el que se estudia el comportamiento tendencial del sistema socioecológico para cada uno de los paisajes en el área de estudio, si las relaciones actuales se mantuvieran en el tiempo. Es decir, este es un escenario sin las intervenciones propuestas por el análisis de redes de implicaciones o por las mesas de trabajo realizadas con actores locales y nacionales o con el comité de seguimiento de este proyecto o por los Planes Municipales de Desarrollo PMD de la vigencia entrante.

El escenario BAU siempre es comparado con los 10 escenarios analizados, por lo que en esta sección no se detallará su comportamiento específicamente. A grandes rasgos, en los siguientes escenarios será posible observar cómo el BAU muestra una caída del Flujo de Caja en la mayoría de los escenarios, presentando aumentos en sólo un grupo reducido de paisajes. Así mismo, se observa cómo en algunos paisajes aún existe erosión del suelo, la cual se reduce en el escenario 1.

Así mismo, los resultados de las simulaciones evidencian la importancia que tienen múltiples zonas en el Valle de Sibundoy para proveer servicios ecosistémicos. El Valle de Sibundoy es rico en agua, y las simulaciones capturan este comportamiento mostrando el potencial hídrico que tiene la zona. Así mismo, es posible ver la adecuada provisión de hábitat existente en diversos paisajes del Valle y el alto almacenamiento de carbono. La presencia de todos estos servicios refuerza el potencial que tiene el Valle para la concreción de esquemas de PSA y de Bonos de carbono que incentiven la conservación en las áreas donde aún predominan las coberturas naturales y en donde puede haber intenciones para convertir hacia actividades productivas.

Con respecto al cambio climático, y como fue mencionado antes, en este escenario se consideró un incremento de hasta 1°C de temperatura y un aumento del 10% de las lluvias siguiendo lo propuesto por el IDEAM et al. (2015). Sin embargo, se hizo un análisis de sensibilidad en el que se consideró cambios de hasta el 20% de las lluvias y 2°C de temperatura, vea Gráfica 19 lado izquierdo, cada uno dividido en 10 pasos, por lo que existen 100 trayectorias distintas tras la combinación de los cambios de las dos variables, como se ve en la Gráfica 19 lado derecho. Esta gráfica es representativa de todas las unidades de paisaje, dado que todas evidencian la misma tendencia.



Gráfica 19. Efecto del Cambio Climático en la Provisión Hídrica PrAP del Paisaje 44

Fuente: elaboración propia.

Lo que expone la gráfica es que a medida que se incrementa la precipitación la provisión hídrica en las unidades de paisaje se dispara. Sin embargo, a medida que aumenta la temperatura sin que cambie la precipitación, la provisión hídrica disminuye, debido a la evapotranspiración. Dado que al superar el límite de 1 en la provisión hídrica implica que la retención hídrica es mayor a la capacidad de campo, lo que sugiere inundaciones o desbordamientos de agua. Lo que se observa es que en un escenario extremo de cambio climático estos eventos pueden ser más frecuentes.

Debido al sustancial aumento de la provisión hídrica, lo que se deriva de estos resultados es la necesidad de tener medidas y políticas que mitiguen los impactos del cambio climático en el Valle de Sibundoy. Según las proyecciones de IDEAM et al. (2015), el aumento representativo de las lluvias afectará principalmente la infraestructura física (carreteras, construcciones agropecuarias, edificios, etc.), lo cual trae consigo afectaciones a las actividades económicas, de tal manera que es necesario tener acciones para mitigar dicho impacto.

Una vez observados los efectos del cambio climático en el BAU, para las simulaciones finales y para la comparación con cada uno de los escenarios de políticas, el BAU incorporará los efectos promedio del cambio climático, de tal manera que todos los escenarios, incluyendo el BAU, incorporen los efectos que se tendrán. En particular, se asumirá que la precipitación aumentará en 10% y que la temperatura aumentará en 1°C.

5.1.2. Escenario 1: Buenas Prácticas Agropecuarias (BPA)

Este escenario involucra buenas prácticas agrícolas, buenas prácticas ganaderas y agroecología, lo cual se traduce en una disminución de la erosión por las preparaciones y cambios del uso del suelo, en un uso más eficiente del agua, en un aumento del bienestar animal que disminuye la pérdida de cabezas de especies pecuarias y un aumento en los precios de venta por el reconocimiento que el

mercado hace de estas buenas prácticas. El listado de buenas prácticas ha sido tomado del manual de Buenas Prácticas Ganaderas BPG, resolución 068167 de 2020, y de Buenas Prácticas Agrícolas BPA, resolución 030021 de 2017, del Ministerio de Agricultura de Colombia.

Para este ejercicio, se simuló el modelo y las trayectorias de los indicadores luego de aplicados los supuestos expuestos en la Tabla 11. Dado el volumen del análisis (realizado para cada indicador, para cada paisaje), en esta sección se mostrarán los resultados más destacados. Los resultados en su totalidad son anexo del documento.

Tabla 11. Supuestos del Escenario 1 de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA)

Descripción de la variable	Buenas prácticas agrícolas
Porcentaje de suelo perdido por la preparación de herbazales para uso i	Disminuye 10%.
Porcentaje de suelo perdido por la preparación del bosque para uso i	Disminuye 10%.
Porcentaje de suelo perdido por la preparación uso i	Disminuye 10%.
Porcentaje de suelo perdido por el cambio de uso j a uso i	Disminuye 10%.
Tasa de erosión del bosque	Disminuye 10%.
Consumo de agua por hectárea al trimestre del suelo preparado por el i-ésimo uso	Disminuye 20%.
Consumo de agua por hectárea al trimestre del suelo sembrado del i-ésimo uso	Disminuye 20%.
Precio venta l transformación k uso i	Aumenta 15%.
Precio venta l transformación k bosque	Aumenta 25%.
Precio venta l bosque	Aumenta 25%.
Tasa de pérdida de cabezas en cría especie i	Disminuye 5%.
Tasa de pérdida de cabezas en levante especie i	Disminuye 5%.
Tasa de pérdida de cabezas en ceba especie i	Disminuye 5%.

Fuente: elaboración propia.

Todas las gráficas tienen la misma estructura, lo que permite conocer sus características. El título de la gráfica siempre se encuentra en el siguiente orden: primero presenta el número de la unidad de paisaje a la que corresponde (p.e paisaje 30), luego se encuentra el indicador analizado en la gráfica (p.e Provisión de hábitat: PHab) y, por último, aparece una abreviación del escenario (p.e. BPA, para Buenas Prácticas Agrícolas). Cada gráfica muestra 2 proyecciones hasta el 2040: la proyección BAU (Business-as-usual) que siempre aparece en rojo para diferenciarla de las demás, y la proyección relativa al escenario a evaluar en color azul. En ocasiones, sólo aparece una línea azul, lo que indica que no hubo variación en el indicador, es decir, el indicador no se vio perturbado por el escenario particular.

A continuación, se expone una gráfica representativa por variable, en donde se observa cómo cada indicador ha sido o no afectado por el escenario a evaluar.

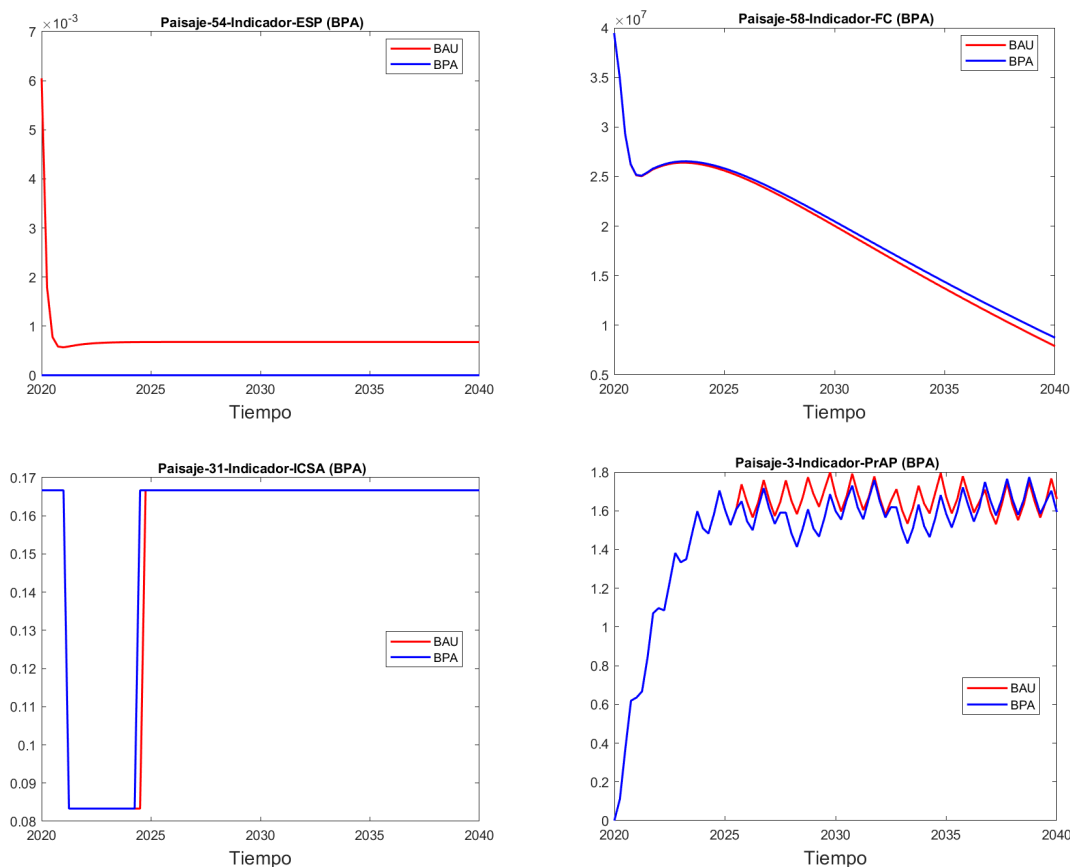


Figura 44. Comparación de los efectos del Escenario 1: Buenas Prácticas Agropecuarias BPA y el escenario BAU, para los indicadores erosión superficial del paisaje ESP, flujo de caja FC, índice de calidad de seguridad alimentaria humana ICSA y provisión de agua PrAP.

Fuente: elaboración propia.

A grandes rasgos, los principales efectos del escenario 1 se evidencian en la disminución total de la erosión y en un aumento muy ligero del Flujo de Caja. En la Figura 44 se pueden observar estos efectos para dos paisajes en particular. Estos efectos se dan en una buena parte de los paisajes, en donde la disminución de la erosión usualmente lleva asociado un aumento ligero del Flujo de Caja, debido a un pequeño aumento de la productividad.

Adicionalmente, en contados paisajes se observa un cambio muy reducido en la calidad de la seguridad alimentaria (ICSA) y en la provisión hídrica. Este segundo efecto muestra que las BPA inciden en una mayor cercanía (más cerca a 1) entre la retención hídrica y la capacidad de campo. Más allá de esos efectos, en los otros 7 indicadores no hay efecto alguno en ningún paisaje.

En síntesis, el escenario de BPA presenta resultados positivos y esperados en cuanto a la disminución de la erosión y un aumento del Flujo de Caja. Sin embargo, este aumento es muy pequeño y no tiene mayor incidencia en el comportamiento del sistema.

5.1.3. Escenario 2: Mejor tecnología en la cadena de valor

Este escenario involucra las mejores tecnologías en la preparación del suelo, en la transformación de los productos obtenidos de la tierra y en el manejo del agua, de tal modo que, se puede transformar más productos aumentando los porcentajes de transformación, se erosiona menos y se es más eficiente en el uso del agua, y se aumenta la eficiencia de la producción y la transformación, lo que se traduce en menores costos.

Para este ejercicio, se simuló el modelo y las trayectorias de los indicadores luego de aplicados los supuestos expuestos en la Tabla 12. Dado el volumen del análisis (realizado para cada indicador, para cada paisaje), en esta sección se mostrarán los resultados más destacados. Los resultados en su totalidad son anexo del documento.

Tabla 12. Supuestos del Escenario 2 de Mejor tecnología en la cadena de valor

Descripción de la variable	Tecnologías
Porcentaje de la transformación k bosque para la venta l	Aumenta 10%.
Porcentaje de la producción del bosque para la transformación k	Aumenta 10%.
Porcentaje de la producción de alimentos del uso i para la transformación k	Aumenta 10%.
Porcentaje de suelo perdido por la preparación de herbazales para uso i	Disminuye 10%.
Porcentaje de suelo perdido por la preparación del bosque para uso i	Disminuye 10%.
Porcentaje de suelo perdido por la preparación uso i	Disminuye 10%.
Porcentaje de suelo perdido por el cambio de uso j a uso i	Disminuye 10%.
Tasa de erosión del bosque	Disminuye 10%.
Consumo de agua por hectárea al trimestre del suelo preparado por el i-ésimo uso	Disminuye 20%.
Consumo de agua por hectárea al trimestre del suelo sembrado del i-ésimo uso	Disminuye 20%.
Costo promedio de producción transformación k uso i	Disminuye 5%.
Costo promedio de producción uso i	Disminuye 10%.
Costo promedio de producción bosque	Disminuye 10%.
Costo promedio de producción cría especie i	Disminuye 2,5%.
Costo promedio de producción levante especie i	Disminuye 2,5%.
Costo promedio de producción ceba especie i	Disminuye 2,5%.

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se expone una gráfica representativa por variable, en donde se observa cómo cada indicador ha sido o no afectado por el escenario a evaluar.

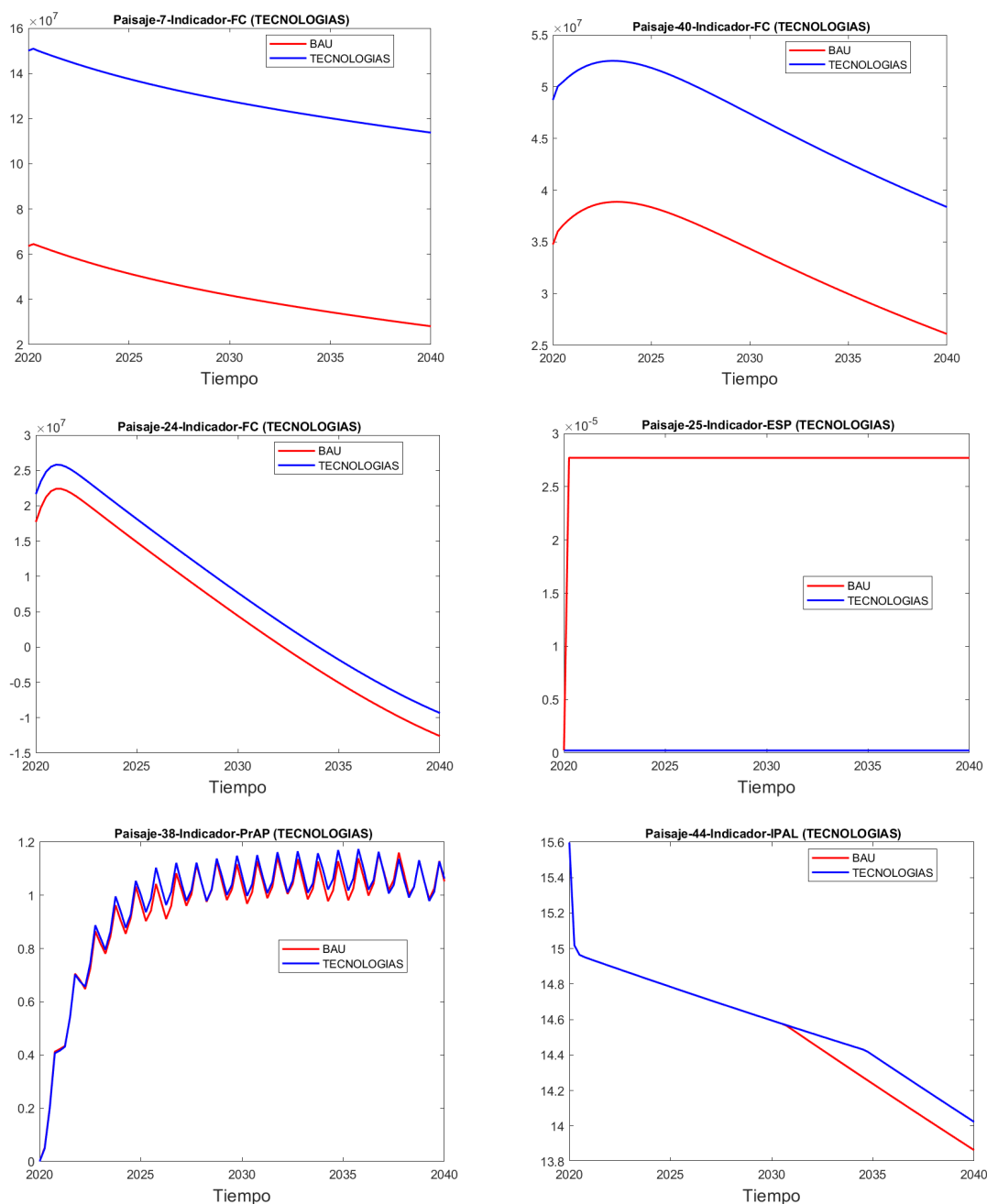


Figura 45. Comparación de los efectos del Escenario 2 y el escenario BAU, para los indicadores flujo de caja FC, erosión superficial del paisaje ESP, provisión de agua PrAP y índice de provisión de alimentos, en diferentes paisajes. Fuente: elaboración propia.

A grandes rasgos, los principales efectos del escenario 2 se evidencian en el aumento del Flujo de Caja. En la Figura 45 se puede observar este efecto para tres paisajes en particular. El aumento del Flujo de Caja como consecuencia de la implementación de tecnologías no es igual para todos los paisajes: en algunos el aumento es bastante pronunciado, en donde se duplica (paisaje 40) o

incluso se triplica (paisaje 7) el Flujo de caja, mientras que en otros paisajes el efecto es muy reducido (paisaje 24) o incluso nulo.

Lo anterior implica que la inversión en tecnologías, tal como se recomienda en diversos apartes de la sección 4, puede ser un gran impulsor de la economía del Valle de Sibundoy y, por ende, un gran impulsor de la seguridad alimentaria en el territorio. Otra de las conclusiones que salen de este análisis es que, a pesar de que los supuestos de este escenario son los mismos para todos los paisajes, los efectos varían sustancialmente entre paisaje, lo que permite identificar en cuáles paisajes la inversión tiene un impacto mucho mayor. Este análisis se realiza de manera comparativa entre escenarios en la sección 5.2.

Adicionalmente, en contados paisajes se observa una disminución total de la erosión y un leve aumento de la provisión de alimentos (IPAL). Más allá de esos efectos, en los otros 7 indicadores no hay efecto alguno en otros paisajes.

En síntesis, el escenario de Tecnología presenta resultados altamente positivos en cuanto al aumento del Flujo de Caja, debido principalmente a la disminución de costos de producción, tanto de especies, como cultivos y productos del bosque. Por lo anterior, la inversión en tecnologías se constituye como una de las políticas a priorizar para un determinado grupo de paisajes.

5.1.4. Escenario 3: Infraestructura agropecuaria y vial

En este escenario se considera que, si la infraestructura para la producción agropecuaria y la infraestructura vial son mejores, entonces los costos de producción necesariamente disminuirán, al igual que la pérdida de cabezas de ganado (mejores resguardos para las especies pecuarias y menor estrés en su transporte).

Para este ejercicio, se simuló el modelo y las trayectorias de los indicadores luego de aplicados los supuestos expuestos en la Tabla 13. Dado el volumen del análisis (realizado para cada indicador, para cada paisaje), en esta sección se mostrarán los resultados más destacados. Los resultados en su totalidad son anexo del documento.

Tabla 13. Supuestos del Escenario 3 de Mejores construcciones e infraestructura vial (Construcciones)

Descripción de la variable	Mejores construcciones e infraestructura vial
Costo promedio de producción transformación k uso i	Disminuye 5%.
Costo promedio de producción uso i	Disminuye 10%.
Costo promedio de producción bosque	Disminuye 10%.
Costo promedio de producción cría especie i	Disminuye 5%.
Costo promedio de producción levante especie i	Disminuye 5%.
Costo promedio de producción ceba especie i	Disminuye 5%.
Tasa de pérdida de cabezas en cría especie i	Disminuye 5%.
Tasa de pérdida de cabezas en levante especie i	Disminuye 5%.

Tasa de pérdida de cabezas en ceba especie i

Disminuye 5%.

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se expone una gráfica representativa por variable, en donde se observa cómo cada indicador ha sido o no afectado por el escenario a evaluar.

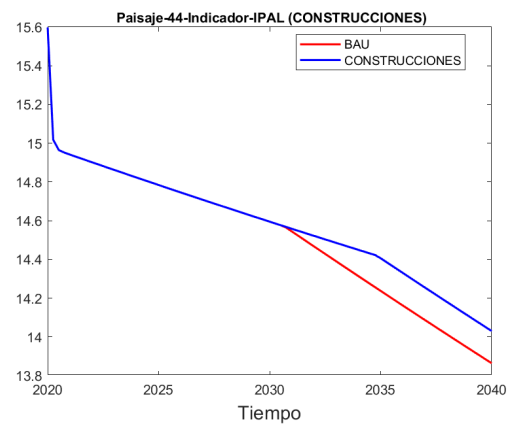
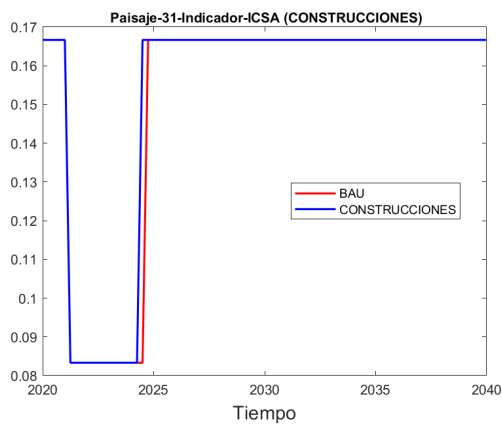
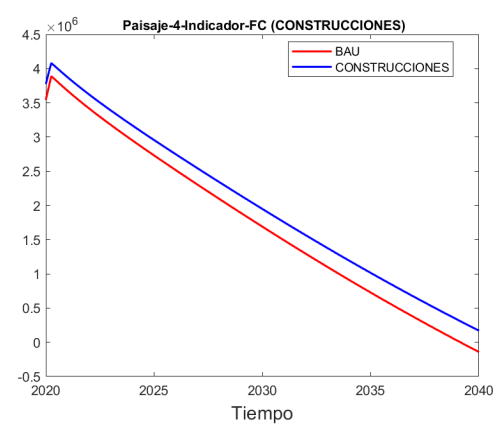
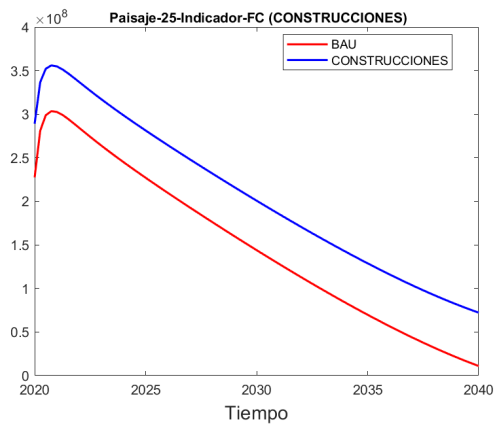
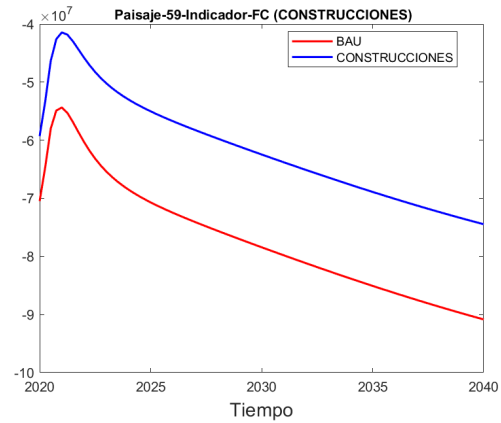
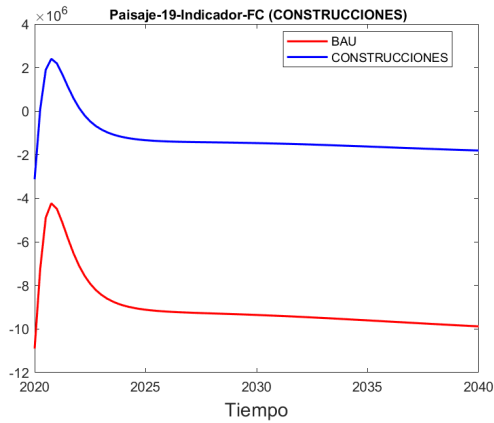


Figura 46. Comparación de los efectos del Escenario 3 y el escenario BAU, para los indicadores flujo de caja FC, índice de calidad de seguridad alimentaria humana ICSA e índice de provisión de alimentos IPAL, en diferentes paisajes.

Fuente: elaboración propia.

A grandes rasgos, los principales efectos del escenario 3 se evidencian en el aumento del Flujo de Caja. En la Figura 46 se puede observar este efecto para cuatro paisajes en particular. El aumento del Flujo de Caja como consecuencia de la mejora de construcciones agropecuarias y de infraestructura vial no es igual para todos los paisajes: en algunos el aumento es bastante pronunciado (paisaje 19 y 59), mientras que en otros paisajes el efecto es reducido (paisaje 4) o incluso nulo.

Lo anterior implica que la mejora de construcciones y de infraestructura vial, tal como se recomienda en diversos apartes de la sección 4, puede ser un gran impulsor de la economía del Valle de Sibundoy y, por ende, un gran impulsor de la seguridad alimentaria en el territorio. Otro de las conclusiones que salen de este análisis es que, a pesar de que los supuestos de este escenario son los mismos para todos los paisajes, los efectos varían sustancialmente entre paisaje, lo que permite identificar en cuáles paisajes la inversión tiene un impacto mucho mayor. Este análisis se realiza de manera comparativa entre escenarios en la sección 5.2.

Adicionalmente, en contados paisajes se observa un aumento de la calidad de la seguridad alimentaria (ICSA) y un leve aumento de la provisión de alimentos (IPAL). Lo anterior está relacionado con la disminución en la tasa de mortalidad de las especies, lo que permite tener una mayor producción, aunque ligeramente. Más allá de esos efectos, en los otros 7 indicadores no hay efecto alguno en otros paisajes.

En síntesis, el escenario de Construcciones presenta resultados altamente positivos en cuanto al aumento del Flujo de Caja, debido principalmente a la disminución de costos de producción de transporte, (lo que beneficia tanto a la producción de especies, como de cultivos y de productos del bosque) y debido a la reducción en la mortalidad de las especies para consumo. Por lo anterior, la inversión en construcciones y en infraestructura vial se constituye como una de las políticas a priorizar para un determinado grupo de paisajes.

5.1.5. Escenario 4: Incentivos a la transformación de productos

En este escenario se considera la existencia de incentivos para la transformación de los productos agropecuarios, lo cual incluye los relacionados en la Bioeconomía y la inversión en maquinaria que procese materias primas, por lo que se considera el aumento en los porcentajes de transformación y el aumento en los precios de venta a causa del valor agregado obtenido por la transformación, vea Tabla 14.

Para este ejercicio, se simuló el modelo y las trayectorias de los indicadores luego de aplicados los supuestos expuestos en la Tabla 14. Dado el volumen del análisis (realizado para cada indicador, para cada paisaje), en esta sección se mostrarán los resultados más destacados. Los resultados en su totalidad son anexo del documento.

Tabla 14. Supuestos del Escenario 4 de Incentivos a la transformación de productos (bioeconomía)

Descripción de la variable	Bioeconomía
Porcentaje de la transformación k bosque para la venta l	Aumenta 10%.
Porcentaje de la producción del bosque para la transformación k	Aumenta 20%.
Porcentaje de la producción de alimentos del uso i para la transformación k	Aumenta 10%.
Precio venta l transformación k uso i	Aumenta 15%.
Precio venta l transformación k bosque	Aumenta 25%.
Precio venta l bosque	Aumenta 25%.

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se expone una gráfica representativa por variable, en donde se observa cómo cada indicador ha sido o no afectado por el escenario a evaluar.

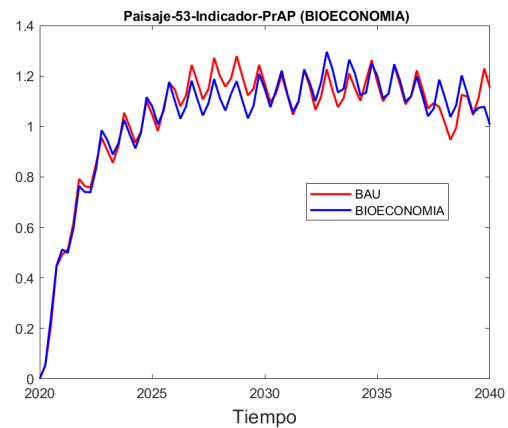
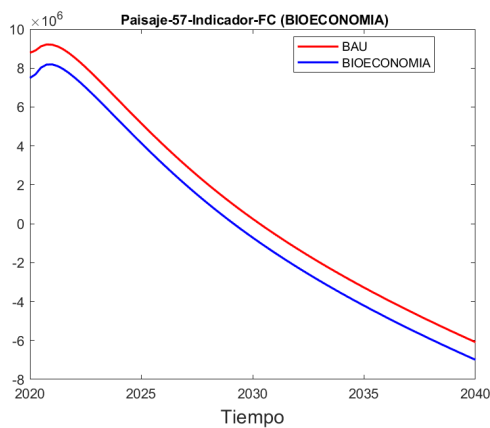
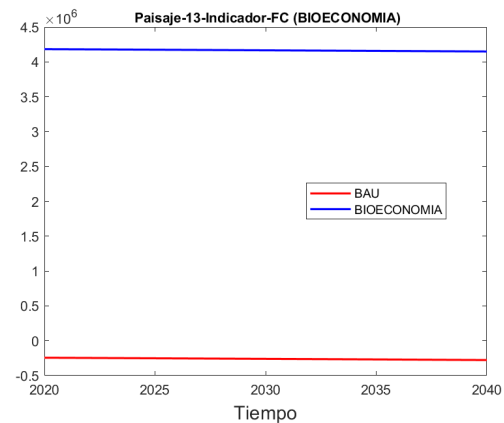
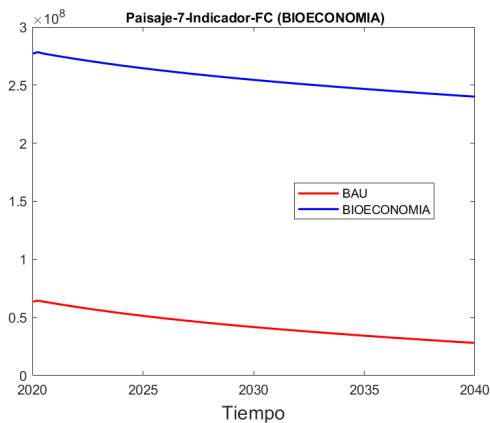


Figura 47. Comparación de los efectos del Escenario 4 y el escenario BAU, para los indicadores flujo de caja FC y provisión de agua PrAP, en diferentes paisajes.

Fuente: elaboración propia.

A grandes rasgos, los principales efectos del escenario 4 se evidencian en el aumento del Flujo de Caja. En la Figura 47 se puede observar este efecto para tres paisajes en particular. El aumento del Flujo de Caja como consecuencia de los incentivos a la transformación de productos no es igual para todos los paisajes: en algunos el aumento es bastante pronunciado (paisaje 7 y 13), mientras que en otros paisajes el efecto incluso puede llegar a ser ligeramente negativo (paisaje 57).

Lo anterior implica que la inversión y los incentivos para la transformación de productos, tal como se recomienda en diversos apartes de la sección 4, puede ser un gran impulsor de la economía del Valle de Sibundoy y, por ende, un gran impulsor de la seguridad alimentaria en el territorio. Otro de las conclusiones que salen de este análisis es que, a pesar de que los supuestos de este escenario son los mismos para todos los paisajes, los efectos varían sustancialmente entre paisaje, lo que permite identificar en cuáles paisajes la inversión tiene un impacto mucho mayor y en cuales, incluso, el impacto es negativo, por lo que no sería recomendable la política. Este análisis se realiza de manera comparativa entre escenarios en la sección 5.2.

En síntesis, el escenario de Bioeconomía presenta resultados altamente positivos en cuanto al aumento del Flujo de Caja, debido principalmente al aumento de la transformación de productos acompañado de un aumento en el precio de compra de los productos transformados. Por lo anterior, los incentivos a la transformación se constituyen como una de las políticas a priorizar para un determinado grupo de paisajes.

5.1.6. Escenario 5: Incentivos a la restauración

En este escenario se promueve mediante incentivos la restauración de las áreas de bosque natural, aumentando el turismo de naturaleza, razón por la que, se incrementan las transformaciones de los usos agropecuarios a usos de bosque, disminuye su erosión y aumentan los precios de los productos y subproductos del bosque, provocando un mayor atractivo turístico, como se expresa en la Tabla 15.

Los incentivos considerados fueron pago por servicios ambientales relacionados con biodiversidad, pago por servicios ambientales relacionados con el recurso hídrico, bancos de hábitat, bonos de carbono, certificado de incentivo forestal (CIF) e incentivos al turismo.

Tabla 15. Supuestos del Escenario 5 de Incentivos a la restauración

Descripción de la variable	Restauración
Tasa de transformación uso i a áreas de bosque (pastos)	Aumenta 4%.
Tasa de erosión del bosque	Disminuye 10%.
Precio venta l transformación k bosque	Aumenta 20%.

Precio venta l bosque	Aumenta 20%.
Número promedio de visitantes de atractivos al trimestre Bosque	Aumenta 5 por cada 10 hectáreas de bosques

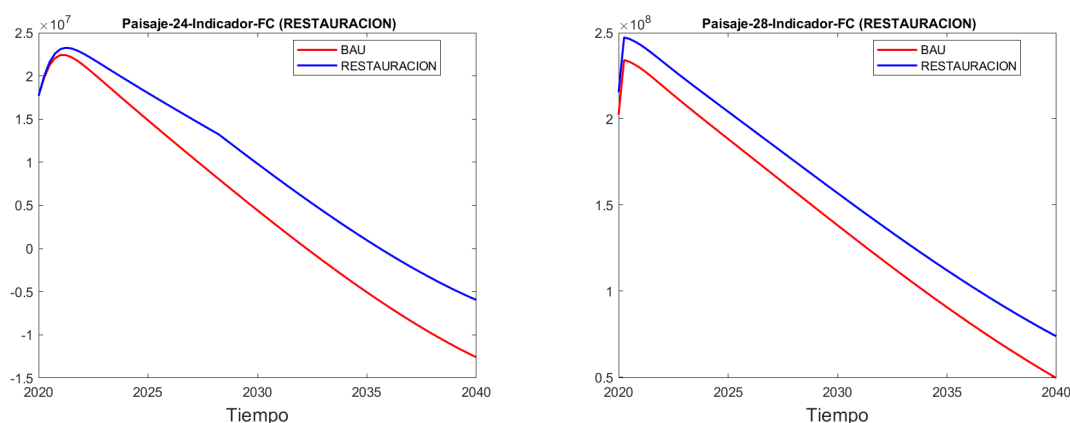
Fuente: elaboración propia.

Para este ejercicio, se simuló el modelo y las trayectorias de los indicadores luego de aplicados los supuestos expuestos en la Tabla 15. Dado el volumen del análisis (realizado para cada indicador, para cada paisaje), en esta sección se mostrarán los resultados más destacados. Los resultados en su totalidad son anexo del documento.

En la Figura 48 se observa cómo cada indicador ha sido o no afectado por el escenario a evaluar.

Los principales efectos del escenario 5 surgen de los cambios de los paisajes debido a nuevas dinámicas en el uso del suelo. Dado que con la restauración se aumentan las coberturas naturales en diversas áreas, como muestra la Figura 48, existe un aumento de la heterogeneidad de los paisajes y se mejora la provisión de hábitat de una manera no despreciable. Adicionalmente, existen otros cambios leves, como el ligero aumento de la provisión de alimentos, del almacenamiento de carbono y de la calidad de la seguridad alimentaria. Estos cambios son leves y se deben principalmente a un aumento de bosques naturales en reemplazo de pastizales y herbazales.

Así mismo, en múltiples paisajes hay también un aumento del Flujo de Caja. Este efecto no es igual para todos los paisajes y se puede dar por distintos mecanismos. En algunos paisajes el principal motor del aumento en beneficios es el aumento de los precios de venta del bosque, mientras que en otros el motor es el aumento de turistas a zonas naturales que permite amentar los ingresos por turismo de naturaleza.



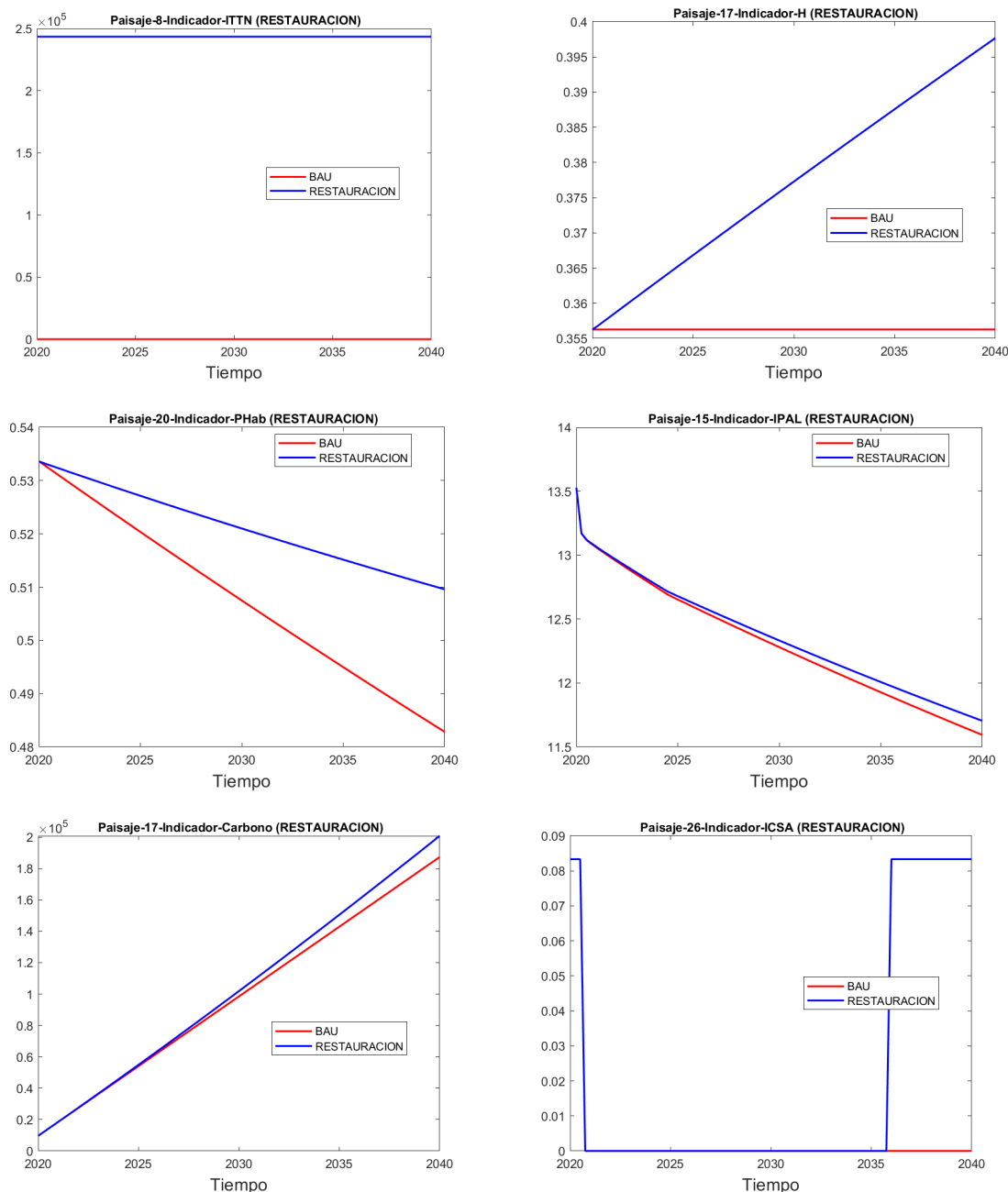


Figura 48. Comparación de los efectos del Escenario 5 y el escenario BAU, para los indicadores flujo de caja FC, ingresos totales por turismo de naturaleza ITTN, heterogeneidad del paisaje H, provisión de hábitat PHab, índice de provisión de alimentos IPAL, índice de carbono e índice de calidad de seguridad alimentaria humana ICSA, en diferentes paisajes.

Fuente: elaboración propia.

Lo anterior implica que los incentivos a la restauración, tal como se recomienda en diversos apartes de la sección 4, pueden ser un gran impulsor de la economía del Valle de Sibundoy y, por

ende, un gran impulsor de la seguridad alimentaria en el territorio. Otro de las conclusiones que salen de este análisis es que, a pesar de que los supuestos de este escenario son los mismos para todos los paisajes, los efectos varían sustancialmente entre paisaje, lo que permite identificar en cuáles paisajes los incentivos tienen un impacto mucho mayor y en cuales uno menor. Este análisis se realiza de manera comparativa entre escenarios en la sección 5.2.

En síntesis, el escenario de Restauración presenta resultados positivos en cuanto al aumento del Flujo de Caja, debido al aumento en los precios de venta de los productos del bosque y de un aumento de turistas. Así mismo, en algunos paisajes mejora la provisión de hábitat, la heterogeneidad, y el almacenamiento de carbono, lo que evidencia un aumento de los servicios ecosistémicos, más allá de sólo un aumento en el Flujo de Caja. Por lo anterior, los incentivos a la restauración se constituyen como una de las políticas a priorizar para un determinado grupo de paisajes.

5.1.7. Escenario 6: Incentivos a la conservación

Este escenario propone la existencia de incentivos a la conservación, lo cual se representa a través de la disminución de las tasas de preparación del bosque hacia usos agropecuarios, la disminución en la erosión del bosque, el aumento de los precios de venta de los productos y subproductos del bosque y el aumento en el número de visitantes a las áreas de bosque.

Los incentivos considerados fueron pago por servicios ambientales relacionados con biodiversidad, pago por servicios ambientales relacionados con el recurso hídrico, bancos de hábitat, bonos de carbono, exención predial e incentivos al turismo.

Para este ejercicio, se simuló el modelo y las trayectorias de los indicadores luego de aplicados los supuestos expuestos en la Tabla 16. Dado el volumen del análisis (realizado para cada indicador, para cada paisaje), en esta sección se mostrarán los resultados más destacados. Los resultados en su totalidad son anexo del documento.

Tabla 16. Supuestos del Escenario 6 de Incentivos a la conservación

Descripción de la variable	Conservación
Tasa de preparación del bosque para uso i	Disminuye 10%.
Tasa de erosión del bosque	Disminuye 10%.
Precio venta l transformación k bosque	Aumenta 20%.
Precio venta l bosque	Aumenta 20%.
Número promedio de visitantes de atractivos al trimestre Bosque	Aumenta 5 por cada 10 hectáreas de bosques

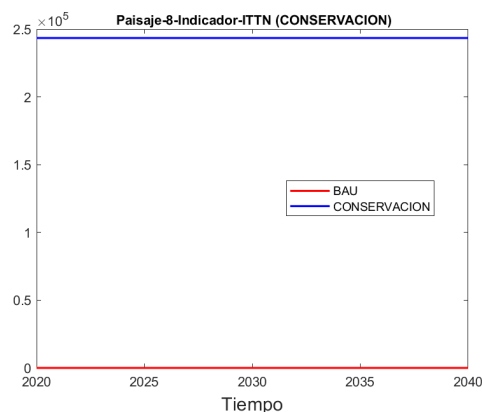
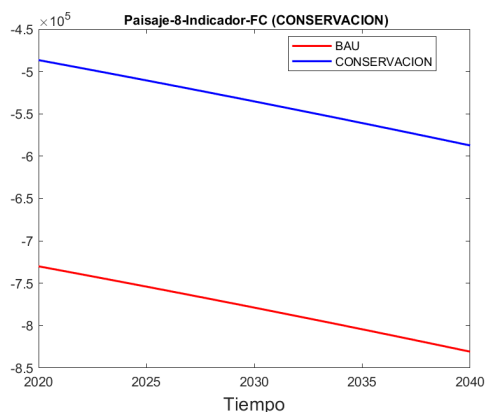
Fuente: elaboración propia.

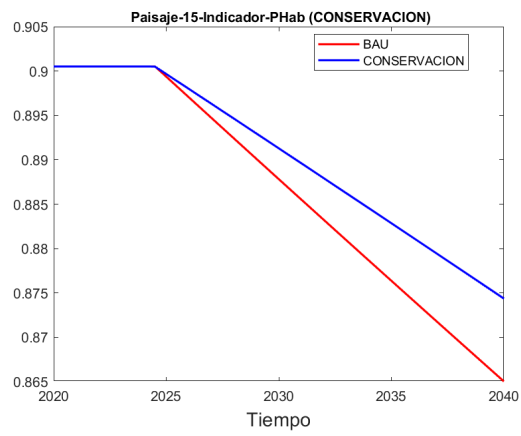
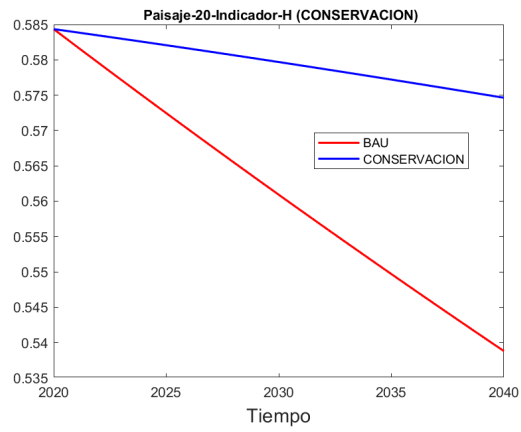
En la Figura 49 se observa cómo cada indicador ha sido o no afectado por el escenario a evaluar.

Los principales efectos del escenario 6 surgen de los cambios de los paisajes debido a nuevas dinámicas en el uso del suelo. Dado que, con la conservación se mantienen las coberturas naturales en diversas áreas, como muestra la Figura 49, la heterogeneidad de los paisajes y la provisión de hábitat no disminuyen tanto en comparación con el escenario BAU. Adicionalmente, existen otros cambios leves, como el ligero aumento de la provisión de alimentos y el almacenamiento de carbono. Estos cambios son leves y se deben principalmente a la conservación del bosque.

Así mismo, en múltiples paisajes hay también un aumento del Flujo de Caja. Este efecto no es igual para todos los paisajes y se puede dar por distintos mecanismos. En algunos paisajes el principal motor del aumento en beneficios es el aumento de los precios de venta del bosque, mientras que en otros el motor es el aumento de turistas a zonas naturales que permite amentar los ingresos por turismo de naturaleza.

Lo anterior implica que los incentivos a la conservación, tal como se recomienda en diversos apartes de la sección 4, pueden ser un gran impulsor de la economía del Valle de Sibundoy y, por ende, un gran impulsor de la seguridad alimentaria en el territorio. Otro de las conclusiones que salen de este análisis es que, a pesar de que los supuestos de este escenario son los mismos para todos los paisajes, los efectos varían sustancialmente entre paisaje, lo que permite identificar en cuáles paisajes los incentivos tienen un impacto mucho mayor y en cuales uno menor. Este análisis se realiza de manera comparativa entre escenarios en la Sección 5.2.





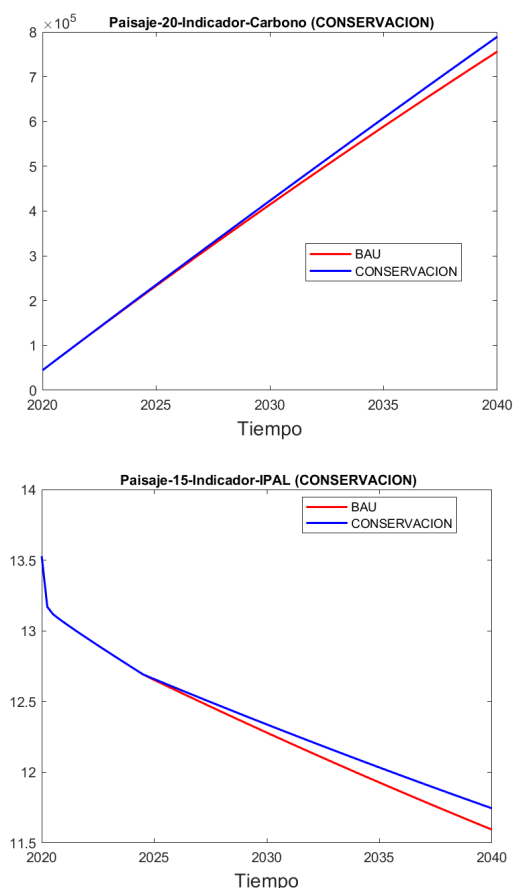


Figura 49. Comparación de los efectos del Escenario 6 y el escenario BAU, para los indicadores flujo de caja FC, ingresos totales por turismo de naturaleza ITTN, heterogeneidad del paisaje H, provisión de hábitat PHab, índice de provisión de alimentos IPAL, índice de carbono e índice de provisión de alimentos IPAL, en diferentes paisajes.

Fuente: elaboración propia.

En síntesis, el escenario de Conservación presenta resultados positivos en cuanto al aumento del Flujo de Caja, debido al aumento en los precios de venta de los productos del bosque y de un aumento de turistas. Así mismo, en algunos paisajes mejora la provisión de hábitat, la heterogeneidad, y el almacenamiento de carbono, lo que evidencia un aumento de los servicios ecosistémicos, más allá de sólo un aumento en el Flujo de Caja. Por lo anterior, los incentivos a la conservación se constituyen como una de las políticas a priorizar para un determinado grupo de paisajes.

5.1.8. Escenario 7: Fortalecimiento de la chagra indígena

El escenario de fortalecimiento de la chagra indígena representa la transformación de herbazales y pastos a chagras, dando lugar a su incremento en el área de estudio.

Para este ejercicio, se simuló el modelo y las trayectorias de los indicadores luego de aplicados los supuestos expuestos en la Tabla 17. Dado el volumen del análisis (realizado para cada indicador, para cada paisaje), en esta sección se mostrarán los resultados más destacados. Los resultados en su totalidad son anexo del documento.

Tabla 17. Supuestos del Escenario 7 de Fortalecimiento de la chagra indígena

Descripción de la variable	Fortalecer la chagra indígena
Tasa de preparación de herbazales para Chagras	Aumenta 0,5%.
Tasa de preparación de pastos para Chagras	Aumenta 0,5%.

Fuente: elaboración propia.

En la Figura 50 se observa cómo cada indicador ha sido o no afectado por el escenario a evaluar.

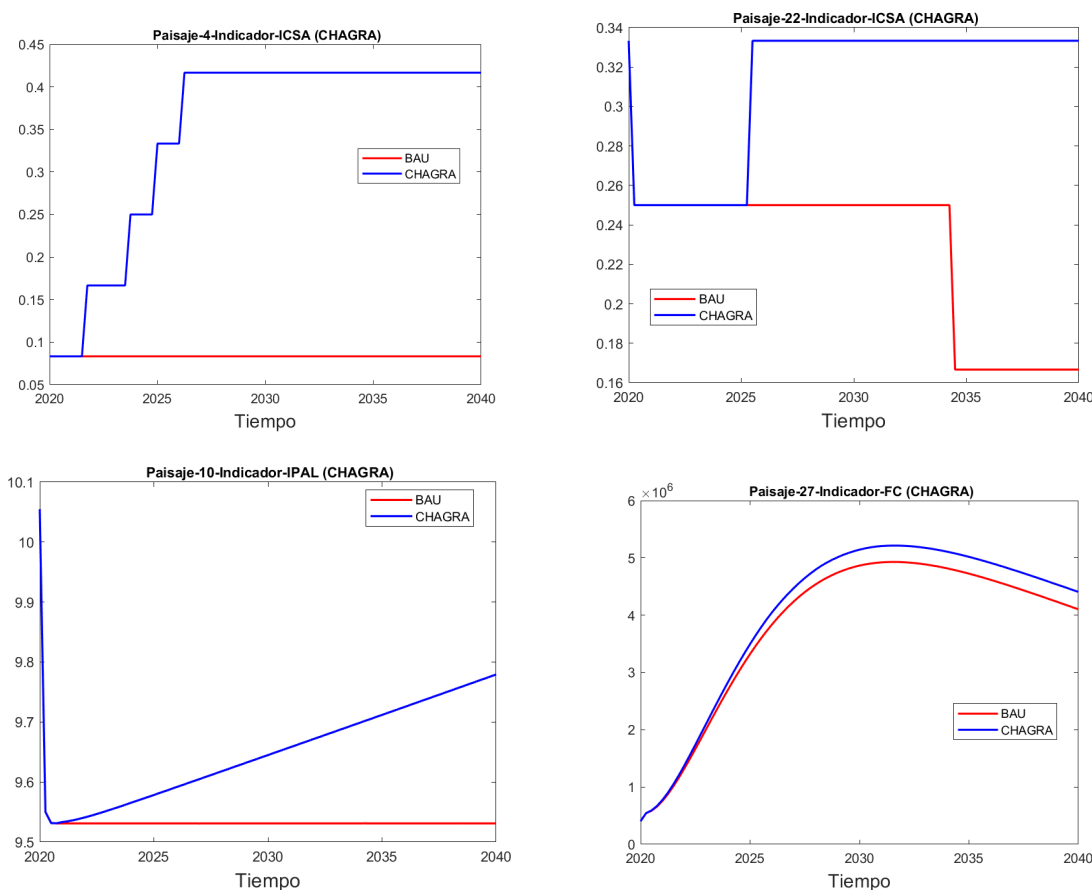


Figura 50. Comparación de los efectos del Escenario 6 y el escenario BAU, para los indicadores índice de calidad de seguridad alimentaria humana ICSA, índice de provisión de alimentos IPAL y flujo de caja FC, en diferentes paisajes.

Fuente: elaboración propia.

El principal uso de la chagra indígena es la de ser fuente de alimentos en una amplia variedad, además de permitir el desarrollo de otras plantas, tales como medicinales u ornamentales. En este sentido, los resultados expuestos en la Figura 50, evidencian que una ampliación de la chagra indígena puede beneficiar la seguridad alimentaria de diversos paisajes, dado que su ampliación permite que se amplíe la cobertura de distintos grupos alimenticios. Esto es particularmente revelador en el paisaje 4, en donde en su punto máximo se logran cubrir 4 grupos alimenticios más (cada escalón adicional es un grupo alimenticio), y en el paisaje 22, en donde el escenario BAU pronostica una caída en la calidad alimentaria, mientras el fortalecimiento de la chagra aumenta su calidad e incluso la mantiene hasta el 2040.

Lo que implica este resultado es que para ciertos paisajes se puede ampliar la variedad de oferta alimenticia a través del fortalecimiento de la chagra indígena, lo que requeriría su ampliación. Dada la baja calidad alimenticia de muchos paisajes, este escenario constituye una excelente alternativa para mejorar la seguridad alimentaria en el Valle de Sibundoy. Sin embargo, estos resultados no suceden en todos los paisajes, por lo que en la en la sección 5.2 se especificará.

En síntesis, el escenario de Fortalecimiento de chagra presenta resultados positivos en cuanto a la calidad de la seguridad alimentaria, dado que su ampliación permite la cobertura de más grupos alimenticios en determinados paisajes. Por lo anterior, este escenario se constituye como una política a considerar por parte de los tomadores de decisiones.

5.1.9. Escenario 8: Integración de recomendaciones

En este escenario se consideran todos los supuestos con los que se construyeron los escenarios del 1 al 7, como puede verse en la Tabla 18. Para este ejercicio, se simuló el modelo y las trayectorias de los indicadores luego de aplicados los supuestos expuestos en la Tabla 18.

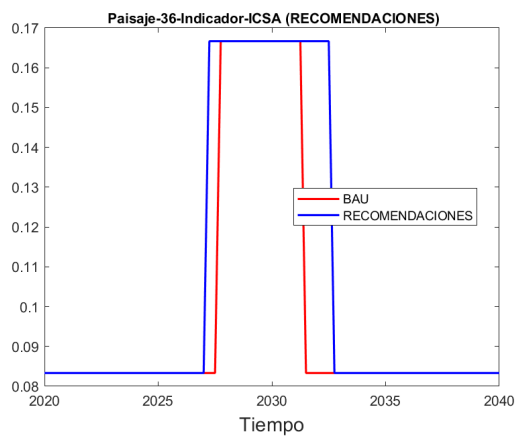
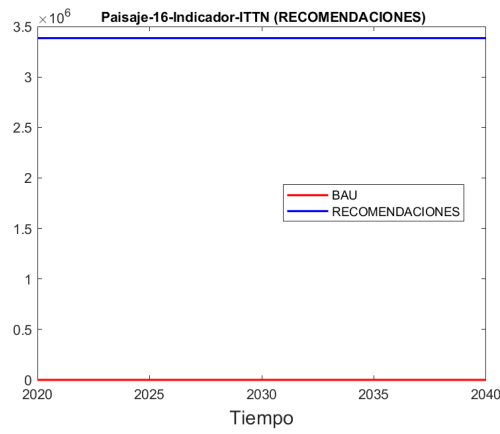
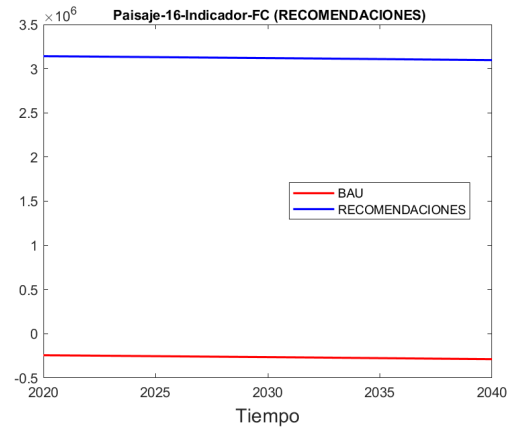
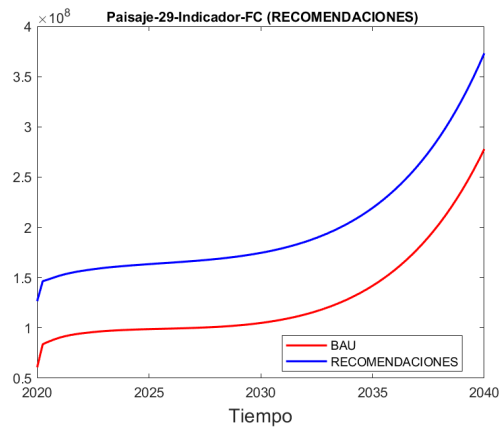
Tabla 18. Supuestos del Escenario 8 de Integración de recomendaciones

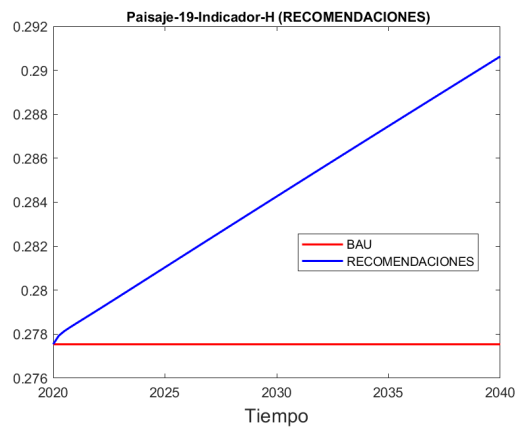
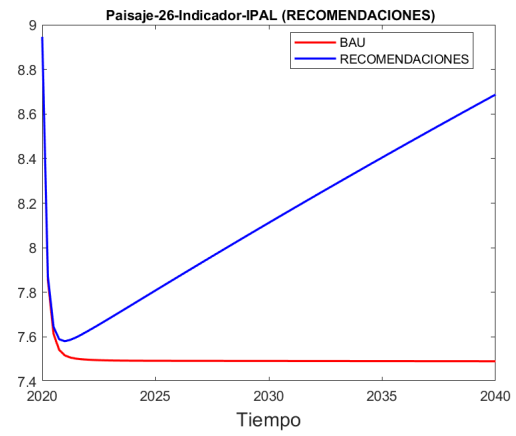
Descripción de la variable	Recomendaciones
Tasa de transformación uso i a áreas de bosque (pastos)	Aumenta Entre 0% y 10%
Tasa de preparación del bosque para uso i	Disminuye Entre -10% y 0%
Tasa de preparación de pastos para uso 35- Chagras Uso 10	Aumenta 0,5%.
Porcentaje de suelo perdido por la preparación de herbazales para uso i	Disminuye Entre -15% y 0%
Porcentaje de suelo perdido por la preparación del bosque para uso i	Disminuye Entre -15% y 0%
Porcentaje de suelo perdido por la preparación uso i	Disminuye Entre -15% y 0%
Porcentaje de suelo perdido por el cambio de uso j a uso i	Disminuye Entre -15% y 0%
Tasa de erosión del bosque	Disminuye Entre -10% y 0%
Consumo per cápita doméstico del recurso hídrico por trimestre	Disminuye Entre -25% y 0%

Consumo de agua por hectárea al trimestre del suelo preparado por el i-ésimo uso	Disminuye Entre -16% y 0%
Consumo de agua por hectárea al trimestre del suelo sembrado del i-ésimo uso	Disminuye Entre -16% y 0%
Costo promedio de producción transformación k uso i	Disminuye Entre -12% y 0%
Costo promedio de producción uso i	Disminuye Entre -12% y 0%
Costo promedio de producción bosque	Disminuye Entre -16% y 0%
Costo promedio de producción cría especie i	Disminuye Entre -8% y 0%
Costo promedio de producción levante especie i	Disminuye Entre -8% y 0%
Costo promedio de producción ceba especie i	Disminuye Entre -8% y 0%
Precio venta l transformación k uso i	Aumenta Entre 30% y 0%
Precio venta l transformación k bosque	Aumenta Entre 60% y 0%
Precio venta l bosque	Aumenta Entre 50% y 0%
Tasa de pérdida de cabezas en cría especie cabras	Disminuye -10%.
Tasa de pérdida de cabezas en levante especie cabras	Disminuye -10%.
Tasa de pérdida de cabezas en ceba especie cabras	Disminuye -10%.
Número promedio de visitantes de atractivos al trimestre Bosque	Aumenta 5 por cada 10 hectáreas de bosques

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se expone una gráfica representativa por variable, en donde se observa cómo cada indicador ha sido o no afectado por el escenario a evaluar. Es importante resaltar que para cada paisaje se aplicaron diversas recomendaciones, según lo desarrollado en la sección 4 y según a la tipología a la que pertenecía cada paisaje.





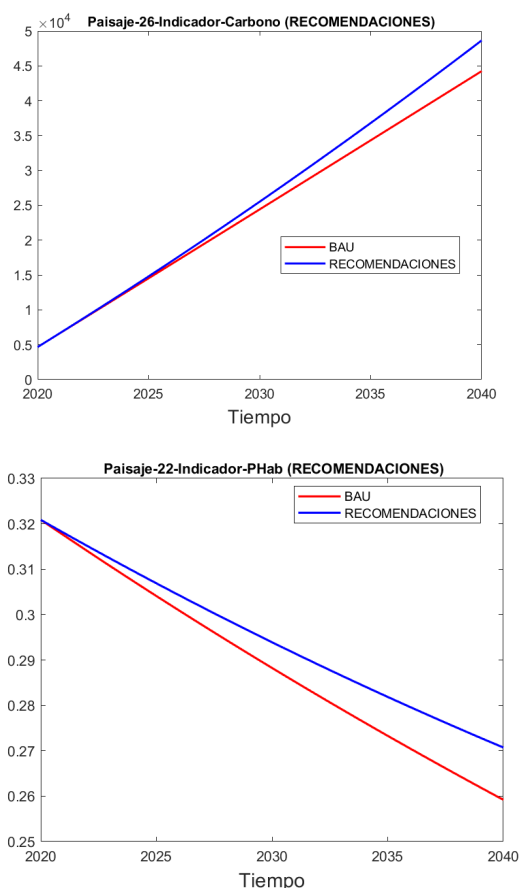


Figura 51. Comparación de los efectos del Escenario 8 y el escenario BAU, para los indicadores flujo de caja FC, ingresos totales por turismo de naturaleza ITTN, índice de calidad de seguridad alimentaria humana ICSA, índice de provisión de alimentos IPAL, heterogeneidad del paisaje H, índice de carbono y provisión de hábitat PHab, en diferentes paisajes.

Fuente: elaboración propia.

Como con los otros escenarios, los resultados de las recomendaciones varían por paisaje, por lo que su impacto tampoco es homogéneo entre paisajes. Sin embargo, es posible identificar algunos efectos que se mantienen par aun buen grupo de paisajes. En primer lugar, las recomendaciones tienen un efecto positivo en el Flujo de Caja, como se puede ver en la Figura 51, variando su impacto entre alto y moderado. Este aumento se debe por diversas razones, entre ella el aumento de los ingresos por turismo, la disminución de los costos de producción, el aumento de los precios de ventas y la disminución en la mortalidad de las especies.

Además de los impactos en el Flujo de Caja, las simulaciones también dan indicios de impactos positivos en la provisión de alimentos y, en menor medida, en la calidad de la seguridad alimentaria, efectos que están relacionados. Así mismo, en algunos paisajes el aumento de coberturas naturales beneficia una mejora en la heterogeneidad, en la provisión de hábitat y en el

almacenamiento de carbono. Todo lo anterior indica que las recomendaciones tienen un impacto positivo en la provisión de los servicios ecosistémicos.

En síntesis, el escenario de Recomendaciones presenta resultados altamente positivos en cuanto al aumento del Flujo de Caja y en cuanto a la provisión de servicios ecosistémicos, por lo que estas recomendaciones se constituyen como una de buena alternativa para que los tomadores de decisiones las apliquen en un determinado grupo de paisajes.

Es importante resaltar que los impactos de las recomendaciones no son sencillamente la suma de los impactos de los escenarios anteriormente expuestos, dado que, al ser un modelo complejo, los efectos de un escenario pueden ser anulados por los efectos de otro escenario, o podrían ser amplificados. En otras palabras, el todo es distinto a la suma de sus partes, por lo que los efectos de los primeros 7 escenarios no pueden asumirse como una suma simple a medida que se van aplicando.

5.1.10. Escenario 9: COVID-19

Para construir este escenario se tomaron en cuenta los impactos que se han registrado en diversos sistemas agroalimentarios, como se expuso en la Sección 2.3.2, asumiéndose que los costos de producción aumentan, específicamente los costos de transporte, que los precios de los alimentos externos aumentan y que las personas autoconsumen más, vea Tabla 19.

Para este ejercicio, se simuló el modelo y las trayectorias de los indicadores luego de aplicados los supuestos expuestos en la Tabla 19. Como se comentó anteriormente,

Tabla 19. Supuestos del Escenario 9 de COVID

Descripción de la variable	COVID
Costo promedio de producción uso i	Aumenta 10%.
Costo promedio de producción bosque	Aumenta 10%.
Costo promedio de producción cría especie i	Aumenta 10%.
Costo promedio de producción levante especie i	Aumenta 10%.
Costo promedio de producción ceba especie i	Aumenta 10%.
Precio venta l transformación k uso i	Disminuye -10%.
Precio venta l transformación k bosque	Disminuye -10%.
Precio venta l bosque	Disminuye -10%.
Autoconsumos de los usos	Aumenta 20%.
Precios de alimentos externos al Valle	Aumenta 20%.

Fuente: elaboración propia.

En la Figura 51 se observa cómo cada indicador ha sido o no afectado por el escenario a evaluar.

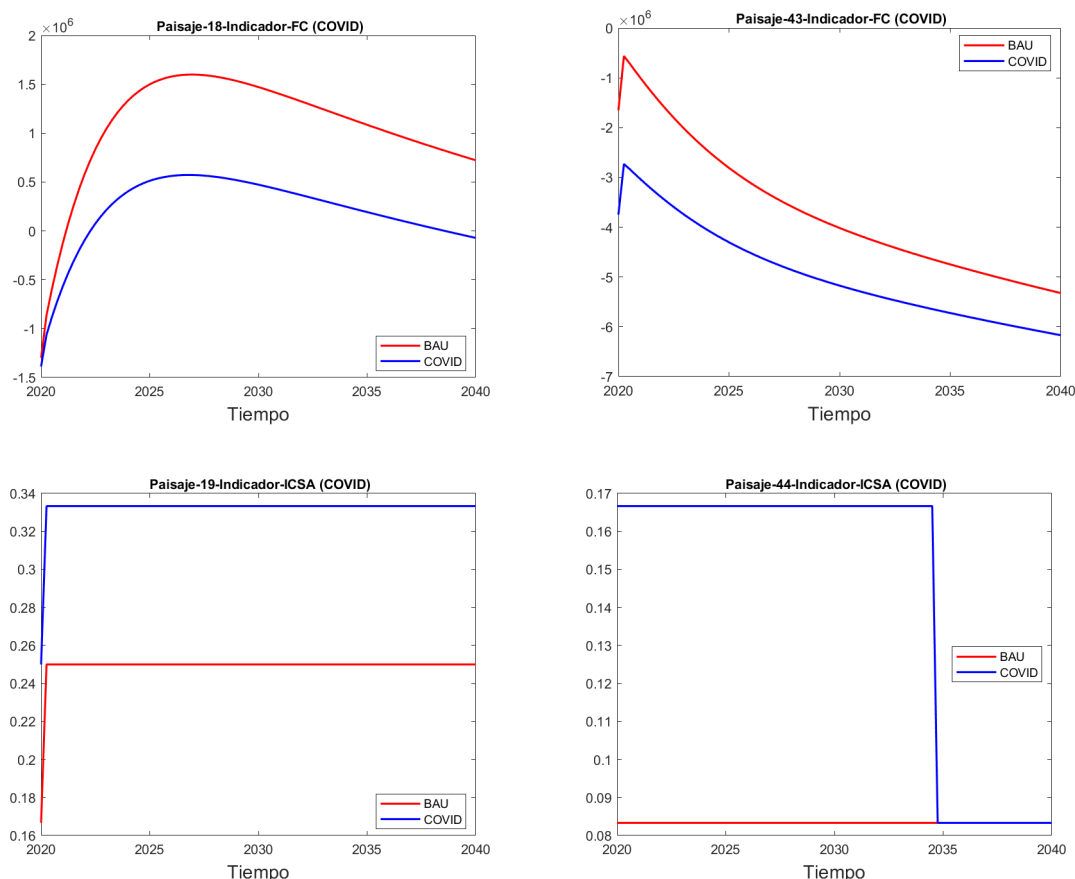


Figura 52. Comparación de los efectos del Escenario 9 y el escenario BAU, para los indicadores flujo de caja FC e índice de calidad de seguridad alimentaria humana ICSA.

Fuente: elaboración propia.

Existen dos efectos recurrentes en las simulaciones realizadas para el escenario COVID, tal como se muestra en la Figura 52: el primero está relacionado con una caída sustancial del Flujo de Caja y el segundo exhibe una mejora de la calidad alimentaria. El primer efecto se evidencia debido, por un lado, al aumento de los costos de producción que disminuyen los beneficios netos y, por otro lado, debido al aumento de los precios de los alimentos externos (en parte también por el aumento generalizado de los costos de transporte), que incrementan el costo de suplir las brechas alimenticias que no son cubiertas por los autoconsumos dentro de cada paisaje. Por su parte, el segundo efecto está relacionado con una mejora de la calidad alimentaria, hecho que se explica por el aumento de los autoconsumos, que permite que se cubra al menos un grupo alimenticio más que antes.

Lo que deja entrever este resultado es que en términos monetarios el efecto de una pandemia en los sistemas agroalimentarios, tal como está sucediendo con el COVID, es sustancial, por lo que deteriora a largo plazo los ingresos disponibles de los productores. Sin embargo, el sistema tiene

aspectos resilientes, dado que un mayor autoconsumo de la producción permite mejorar la calidad alimentaria. En otras palabras, ante una pandemia como la que ocurre actualmente con el COVID, los sistemas agroalimentarios pueden tener una mayor resistencia en cuanto a calidad de la seguridad alimentaria, precisamente por el hecho de ser productores, lo que los protege ante una eventual pandemia.

En síntesis, el escenario de COVID presenta resultados negativos en relación al Flujo de Caja, pero da indicios de que los sistemas agroalimentarios tienen cierta resiliencia al permitir que los productores puedan mantener, e incluso ampliar en algunos casos, la calidad de la seguridad alimentaria. Así, estas simulaciones permiten ver la necesidad de reactivar económicamente los sistemas agroalimentarios, dado que el impacto negativo en el Flujo de Caja puede ser severo, pero muestra la posibilidad que tienen los sistemas de ofrecer protección ante eventos de esta índole.

5.1.11. Escenario 10: Degradación

Este escenario presenta una perspectiva pesimista de la gestión del área de estudio, en consideración de los mismos elementos presentados en el escenario 8, pero con valores opuestos. Por esta razón, se considera el aumento de todos los valores de transformación de las áreas naturales hacia los usos agropecuarios, el aumento de los consumos de agua por ineficiencia en su manejo, el aumento de los costos de producción por no implementar buenas prácticas o no contar con tecnología adecuadas, la disminución del precio de los productos del bosque y el aumento en la pérdida de las especies pecuarias por prácticas contrarias al bienestar animal y por no contar con la infraestructura adecuada de producción y de vías.

Para este ejercicio, se simuló el modelo y las trayectorias de los indicadores luego de aplicados los supuestos expuestos en la Tabla 20.

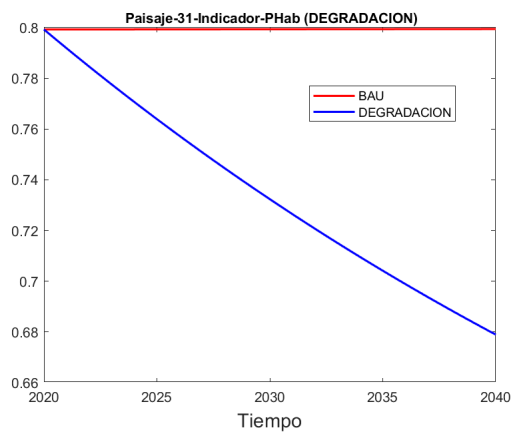
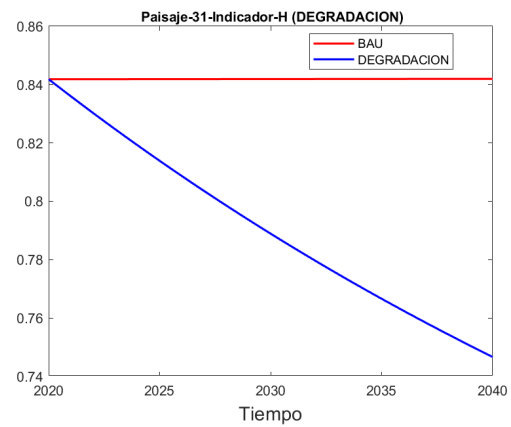
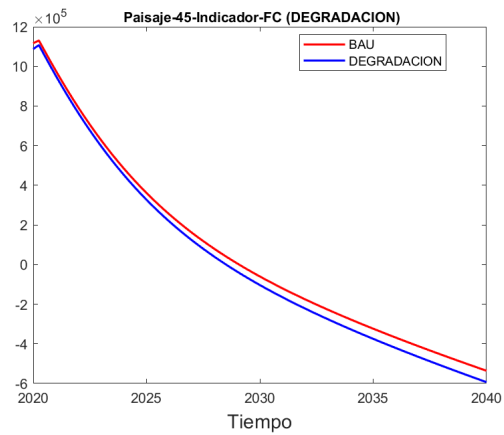
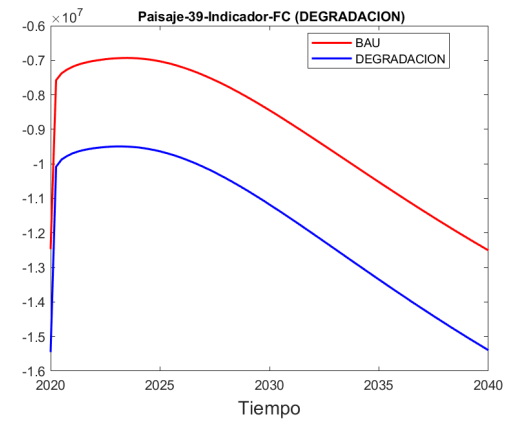
Tabla 20. Supuestos del Escenario 10 de Degradación

Descripción	Degradación
Tasa de transformación uso i a áreas de bosque (pastos)	Disminuye -20%.
Tasa de preparación del bosque para uso i	Aumenta 1,4%.
Tasa de preparación de pastos para uso 35- Chagras Uso 10	Disminuye -10%.
Porcentaje de suelo perdido por la preparación de herbazales para uso i	Aumenta 0,1%.
Porcentaje de suelo perdido por la preparación del bosque para uso i	Aumenta 0,1%.
Porcentaje de suelo perdido por el cambio de uso j a uso i	Aumenta 0,1%.
Consumo de agua por hectárea al trimestre del suelo preparado por el i-ésimo uso	Aumenta 20%.
Consumo de agua por hectárea al trimestre del suelo sembrado del i-ésimo uso	Aumenta 20%.
Costo promedio de producción transformación k uso i	Aumenta 5%.
Costo promedio de producción uso i	Aumenta 10%.
Costo promedio de producción bosque	Aumenta 10%.
Costo promedio de producción cría especie i	Aumenta 10%.

Costo promedio de producción levante especie i	Aumenta 10%.
Costo promedio de producción cebsa especie i	Aumenta 10%.
Precio venta l bosque	Disminuye -5%.
Tasa de pérdida de cabezas en cría especie cabras	Aumenta 10%.
Tasa de pérdida de cabezas en levante especie cabras	Aumenta 10%.
Tasa de pérdida de cabezas en cebsa especie cabras	Aumenta 10%.
Número promedio de visitantes de atractivos al trimestre Bosque	Igual a 0

Fuente: elaboración propia.

En la Figura 53 se observa cómo cada indicador ha sido afectado por el escenario a evaluar.



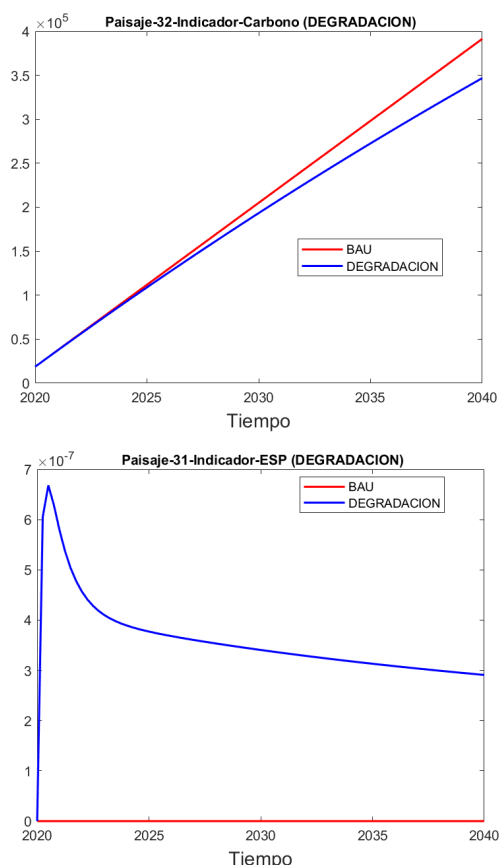


Figura 53. Comparación de los efectos del Escenario 8 y el escenario BAU, para los indicadores flujo de caja FC, heterogeneidad del paisaje H, provisión de hábitat PHab, índice de carbono y erosión superficial del paisaje ESP, en diferentes paisajes.

Fuente: elaboración propia.

Los efectos esperados del escenario de degradación se evidencian en las simulaciones realizadas y expuestas de manera resumida en la Figura 53. El Flujo de Caja se ve afectado en la mayoría de paisajes, aunque en algunos el impacto es sustancial (paisaje 39) y en otros es moderado (paisaje 45). Así mismo, el aumento de la deforestación y de la erosión del suelo genera disminución en la heterogeneidad y en la provisión de hábitat, y a su vez impacta el almacenamiento de carbono y, por construcción, la erosión del suelo.

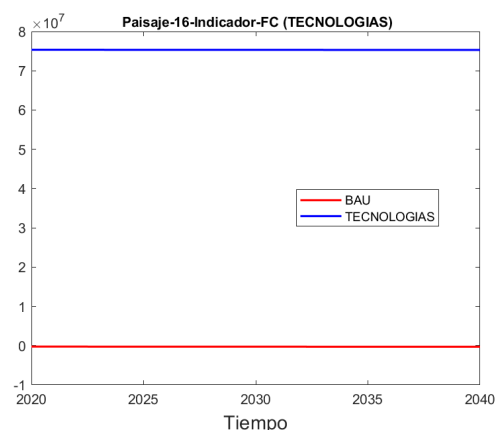
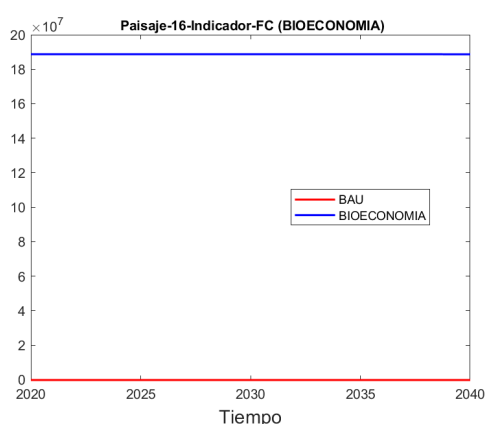
Este escenario tiene como principal objetivo dejar en evidencia con simulaciones los posibles efectos adversos que pueden llegar a tener la continuación de ciertas dinámicas que amenazan los sistemas agroalimentarios actualmente. Estos resultados permiten materializar los posibles impactos para que un tomador de decisiones identifique la importancia de desincentivar dichas dinámicas.

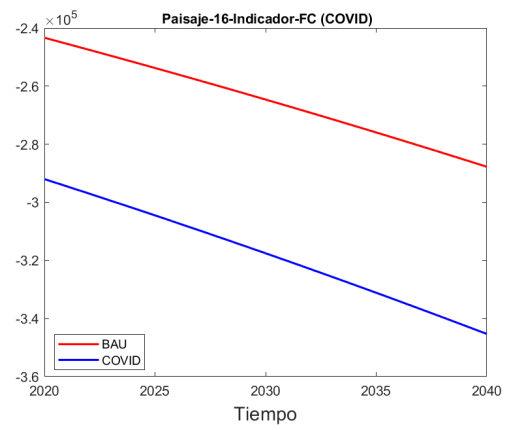
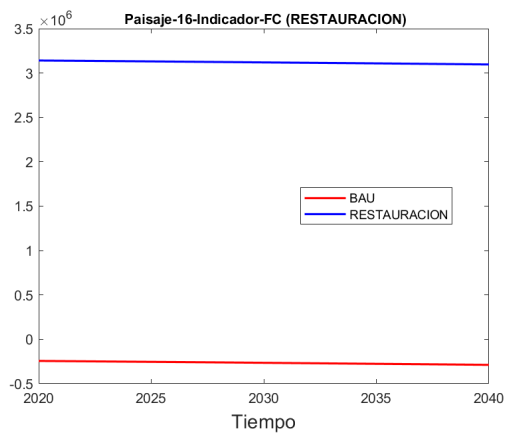
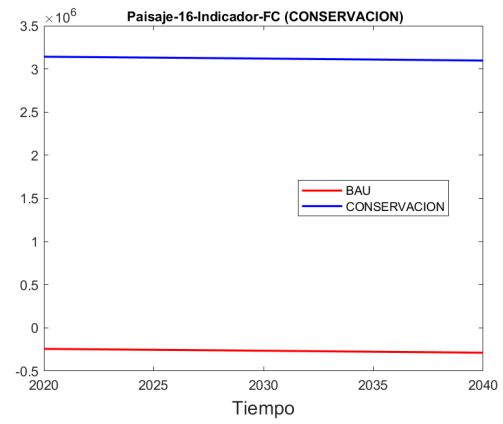
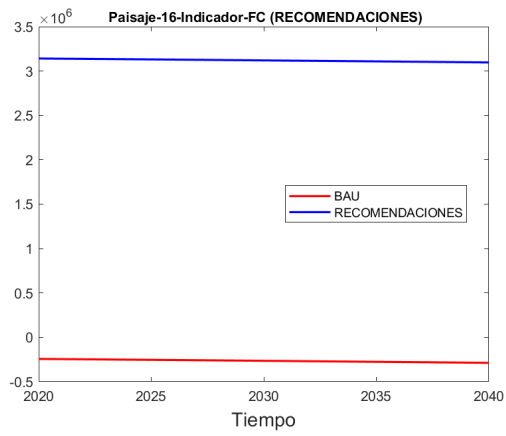
5.2. Comparación por tipologías

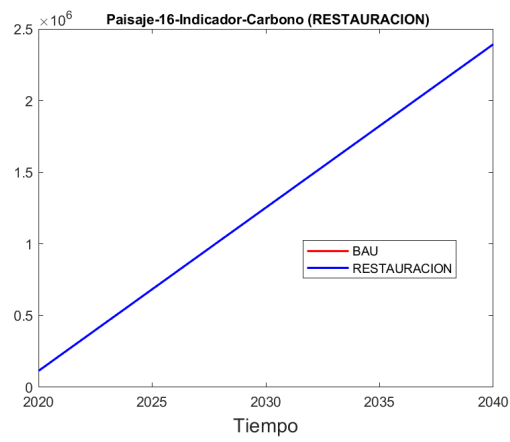
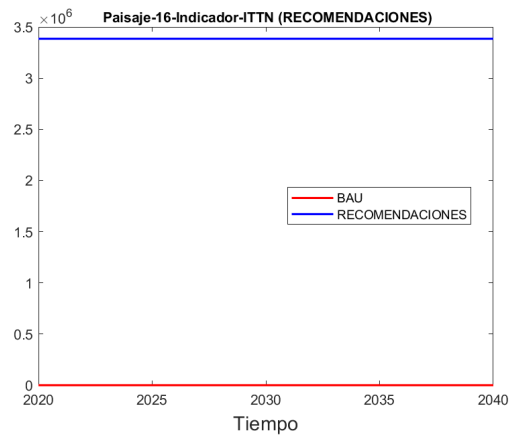
Una vez expuestos los impactos de los efectos individuales para cada escenario, en esta sección se comparan los escenarios para cada tipología. Así, se presentan los resultados representativos por tipología que permitan comparar el avance en el tiempo de las variables de interés para los escenarios planteados e identificar los escenarios en donde hay un mejor comportamiento de los indicadores. En la simulación, cada periodo corresponde a un trimestre y en total se simularon 80 trimestres, es decir, los próximos 20 años, hasta el año 2040. A continuación, se exponen las series de tiempo en donde se comparan los distintos escenarios para el paisaje representativo por tipología.

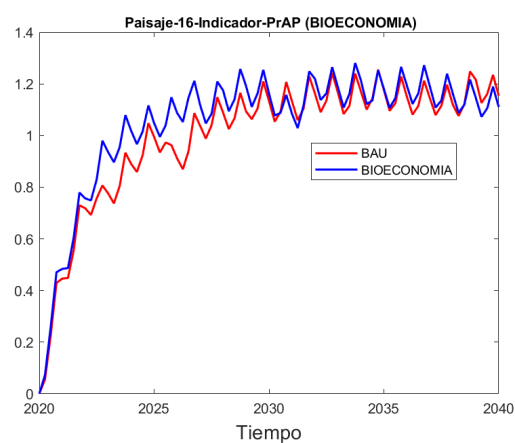
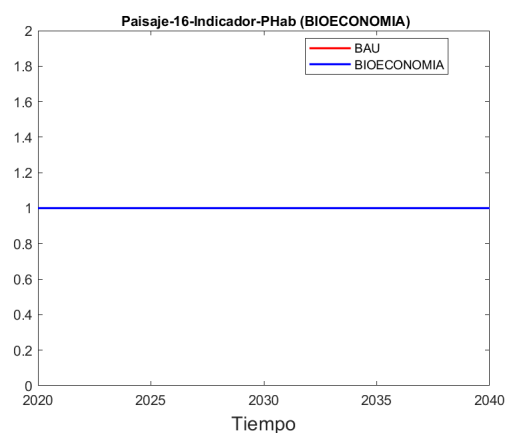
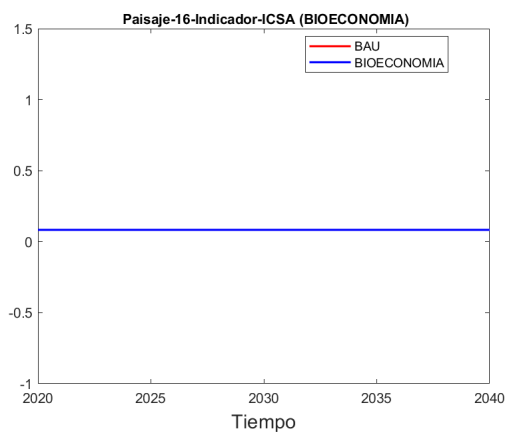
5.2.1. Tipología 1

Como paisaje representativo para exponer los resultados de la tipología 1 se seleccionó el paisaje 16. En las siguientes imágenes se puede ver los resultados representativos para los escenarios en donde se encuentran los efectos más destacados.









Gráfica 20. Comparación de los efectos de la Tipología 1 y el escenario BAU, para los indicadores flujo de caja FC, ingresos totales por turismo de naturaleza ITTN, índice de carbono, índice de calidad de seguridad alimentaria humana ICSA, provisión de hábitat PHab y provisión de agua PrAP, en el Paisaje 16.

Fuente: elaboración propia.

Las simulaciones de los distintos escenarios en el paisaje 16 (Gráfica 20) representan los resultados generales de los paisajes que pertenecen a la Tipología 1. Al comparar los resultados, es posible ver que los escenarios de bioeconomía y tecnologías tienen un impacto sustancial en el Flujo de Caja, dado que aumentan los ingresos sustancialmente, al reducir los costos, por un lado, y al aumentar los precios de venta, por el otro lado. Así mismo, en estos paisajes se observa que la restauración y la conservación tienen un efecto positivo en el Flujo de Caja principalmente al aumentar los ingresos por turismo de naturaleza. Los escenarios propuestos muestran que el Flujo de Caja aumenta de tal manera que pasa a ser positivo, es decir, que con estos escenarios (bioeconomía, tecnologías, recomendaciones, conservación y restauración), se logra avanzar hacia una senda de seguridad alimentaria en términos cuantitativos, dado que en términos de diversidad (ICSA), la calidad es baja y no presenta modificaciones bajo escenario alguno.

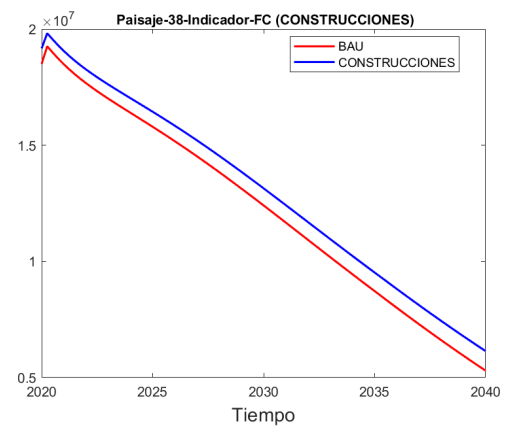
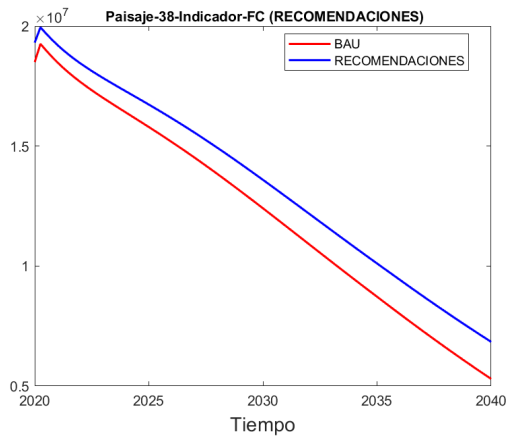
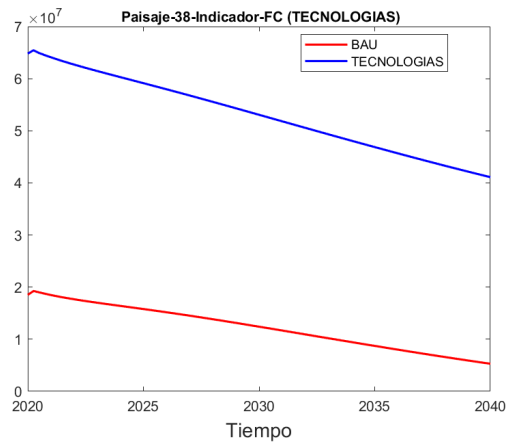
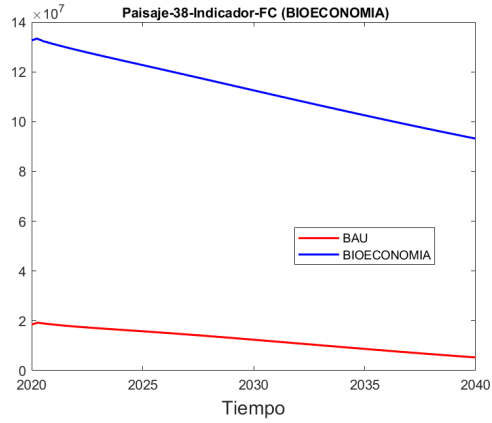
En contraste, los servicios ecosistémicos de provisión de hábitat y carbono evolucionan positivamente en el tiempo. Esto indica que esta zona en particular aporta en gran medida con la provisión de servicios ecosistémicos. Estos resultados pueden conducir a un fortalecimiento de los instrumentos económicos de conservación que mantengan esta estructura, tales como los PSA en biodiversidad o en provisión hídrica, y los Bonos de carbono, especialmente cuando la zona es un gran almacenador de carbono y proveedor de agua, de manera tal que incentiven su conservación y generen un beneficio para el que conserva. Esto va en línea con lo obtenido y lo propuesto a través de la red de implicaciones.

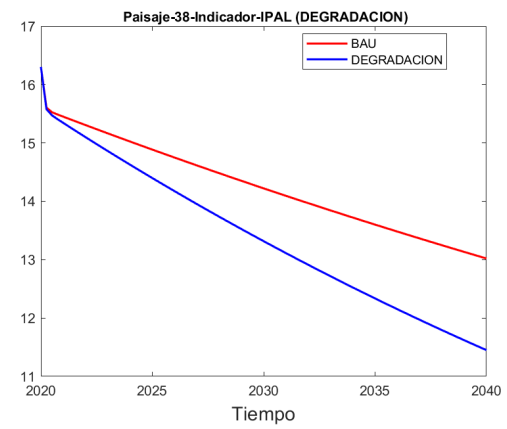
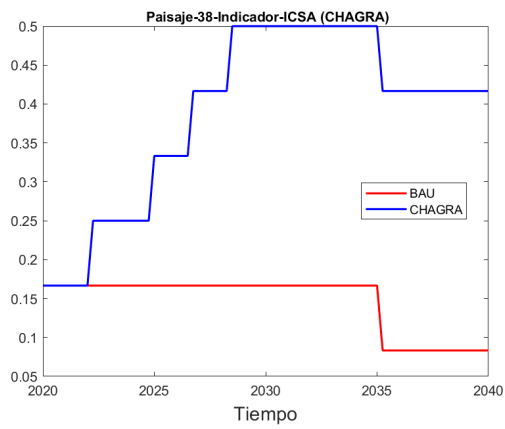
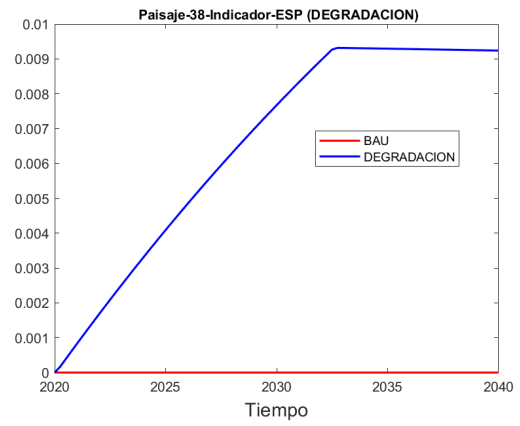
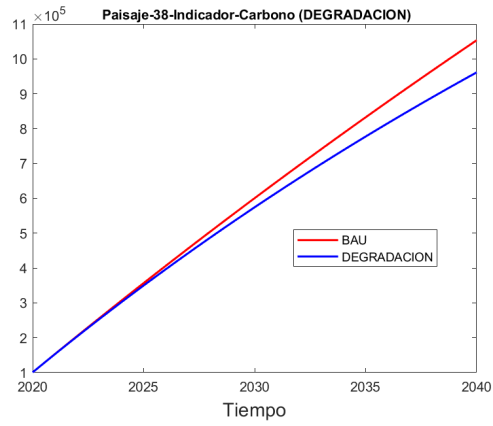
El modelo de línea base plantea principalmente un mantenimiento del estado actual del ecosistema que permita la conservación de los servicios ecosistémicos. Lo que evidencia la simulación de políticas es que el paisaje se mantiene como un fuerte proveedor de servicios ecosistémicos. Sin embargo, aún no logra convertirse en un proveedor de alimentos al punto de satisfacer las demandas alimenticias en el área, ni por autoconsumos ni por venta de productos. Este resultado refuerza lo mencionado para el escenario BAU: dado que el paisaje es un importante proveedor de servicios ecosistémicos, se deben aportar incentivos para que se mantenga su conservación y no se busque otro fin.

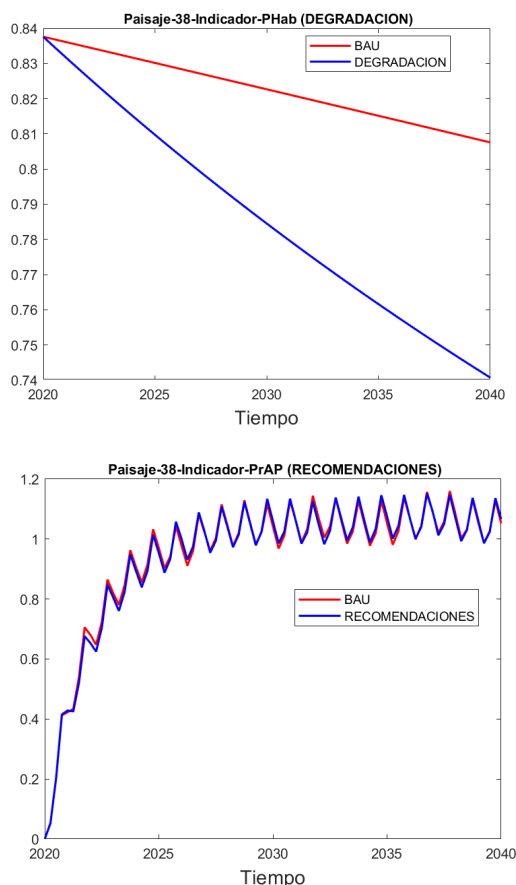
Finalmente, las trayectorias del sistema bajo el escenario COVID-19 no muestran diferencias significativas en comparación con los otros dos escenarios, con la excepción del Flujo de Caja, el cual muestra que la capacidad de suplir las demandas energéticas se ve afectada por el efecto de la pandemia.

5.2.2. Tipología 2

Como paisaje representativo para exponer los resultados de la tipología 2 se seleccionó el paisaje 38. En las siguientes imágenes se puede ver los resultados representativos para los escenarios en donde se encuentran los efectos más destacados.







Gráfica 21. Comparación de los efectos de la Tipología 2 y el escenario BAU, para los indicadores flujo de caja FC, índice de carbono, erosión superficial del paisaje ESP, índice de calidad de seguridad alimentaria humana ICSA, índice de provisión de alimentos IPAL, provisión de hábitat PHab y provisión de agua PrAP, en el Paisaje 38.

Fuente: elaboración propia.

Las simulaciones de los distintos escenarios en el paisaje 38 (Gráfica 21) representan los resultados generales de los paisajes que pertenecen a la Tipología 2. Al comparar los resultados, es posible ver que los escenarios de bioeconomía y tecnologías tienen un impacto sustancial en el Flujo de Caja, tal como en la Tipología 1, dado que aumentan los ingresos sustancialmente, al reducir los costos, por un lado, y al aumentar los precios de venta, por el otro lado. Así mismo, en estos paisajes se observa que las recomendaciones y las construcciones tienen un efecto positivo en el Flujo de Caja principalmente al reducir los costos de producción y reducir la mortalidad de las especies.

La seguridad alimentaria en términos cuantitativos es positiva, lo que indica que se cubren las demandas calóricas y queda un excedente, sin embargo, en términos de diversidad (ICSA), la calidad es baja y en el BAU tiende a disminuir en el tiempo. Esta situación cambia bajo el escenario

de chagra, en donde la diversidad de la seguridad alimentaria aumenta considerablemente en el tiempo, cubriendo 4 grupos alimenticios adicionales en su punto más alto (cada escalón corresponde a un grupo alimenticio). Esto indica que el fortalecimiento de la chagra se consolida como una opción relevante para mejorar la seguridad alimentaria en los paisajes de la Tipología 2.

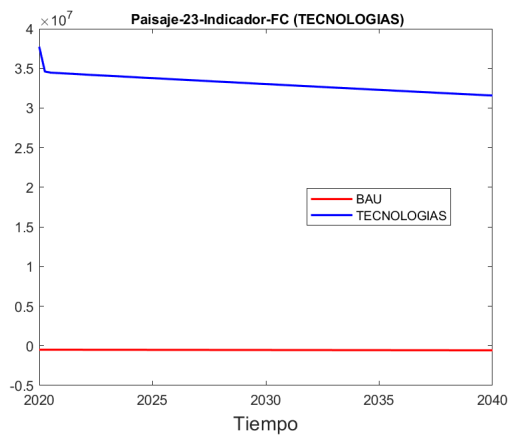
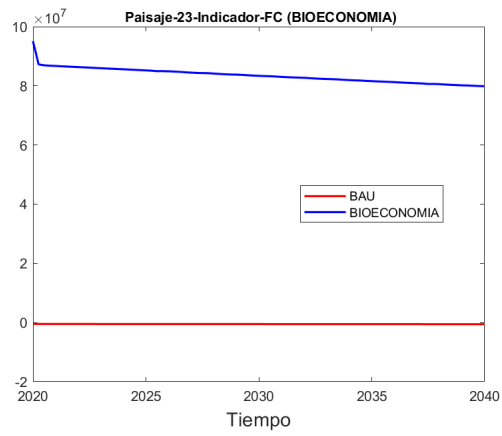
En contraste, bajo un escenario de degradación los servicios ecosistémicos de erosión, de carbono, de provisión de hábitat y de producción de alimentos evolucionan negativamente en el tiempo. Esto indica que los paisajes de esta tipología tienden a ser sensibles a las amenazas de degradación, como la deforestación y la erosión.

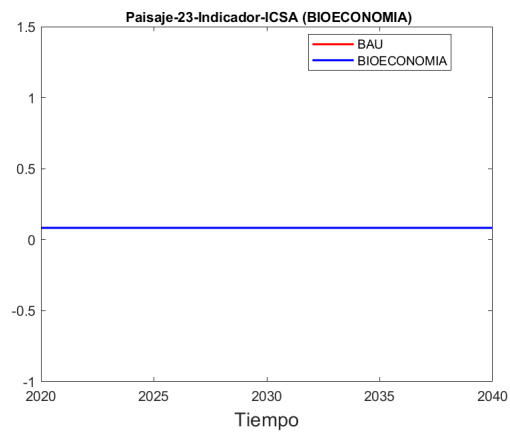
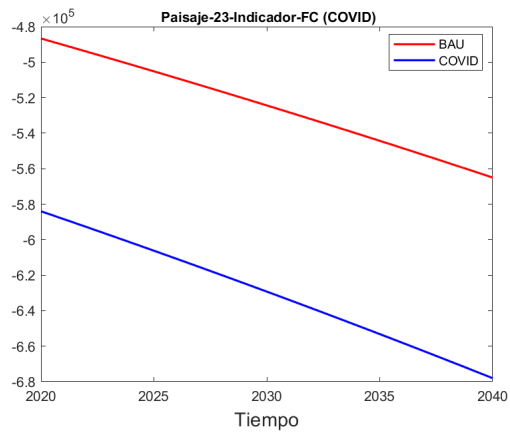
Las simulaciones muestran que el paisaje se mantiene como un fuerte proveedor de servicios ecosistémicos, de carbono, de provisión de hábitat y de provisión hídrica, por lo que se deben aportar incentivos para que se mantenga su conservación y no se busque otro fin.

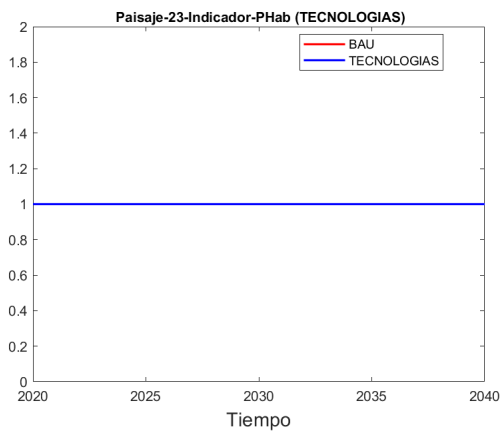
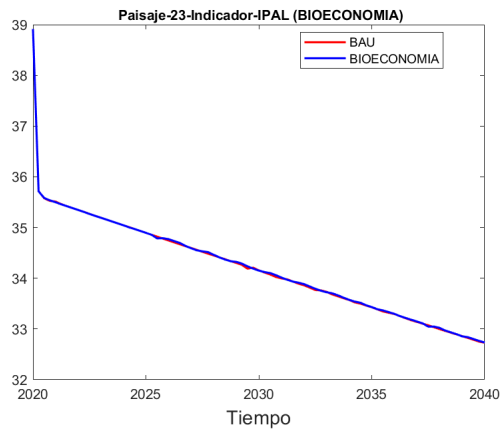
Finalmente, bajo el escenario de COVID-19, el Flujo de Caja se ve severamente afectado, puesto que disminuye en aproximadamente la mitad del nivel obtenido en el escenario BAU. No obstante, el índice de calidad de la seguridad alimentaria sí se mantiene en niveles altos bajo escenario COVID, lo que indica que los autoconsumos permiten cubrir un número mayor de grupos alimenticios. Lo anterior también implica que la disminución del Flujo de Caja es parcialmente compensada por los autoconsumos dentro del paisaje. Este resultado da indicios de la resiliencia que tienen estos paisajes agroalimentarios ante una pandemia.

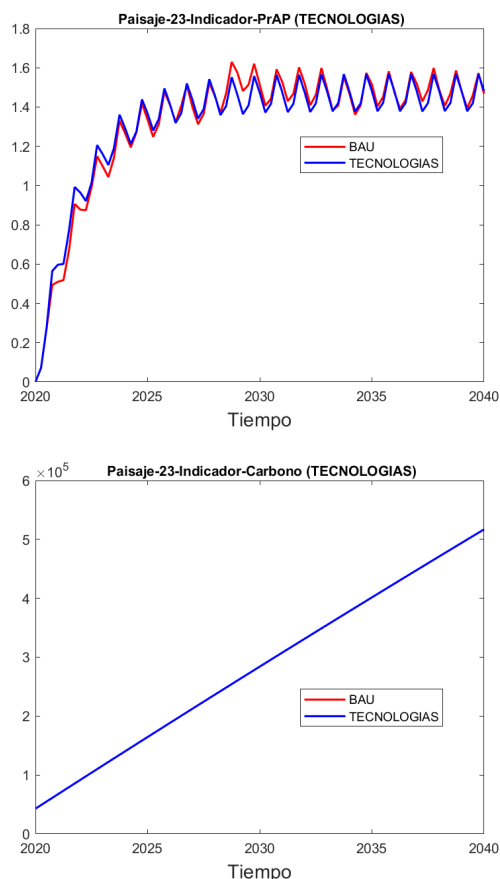
5.2.3. Tipología 3

Como paisaje representativo para exponer los resultados de la tipología 3 se seleccionó el paisaje 23. En las siguientes imágenes se puede ver los resultados representativos para los escenarios en donde se encuentran los efectos más destacados.









Gráfica 22. Comparación de los efectos de la Tipología 3 y el escenario BAU, para los indicadores flujo de caja FC, índice de calidad de seguridad alimentaria humana ICSA, índice de provisión de alimentos IPAL, provisión de hábitat PHab, provisión de agua PrAP e índice de carbono, en el Paisaje 23.

Fuente: elaboración propia.

Las simulaciones de los distintos escenarios en el paisaje 23 (Gráfica 22) representan los resultados generales de los paisajes que pertenecen a la Tipología 3. Al comparar los resultados, es posible ver que los escenarios de bioeconomía y tecnologías tienen un impacto sustancial en el Flujo de Caja, tal como en las Tipologías 1 y 2, dado que aumentan los ingresos sustancialmente, al reducir los costos, por un lado, y al aumentar los precios de venta, por el otro lado. Los demás escenarios de políticas no tienen mayores efectos en este paisaje.

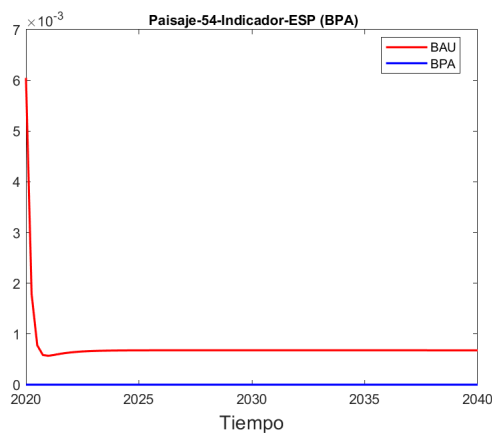
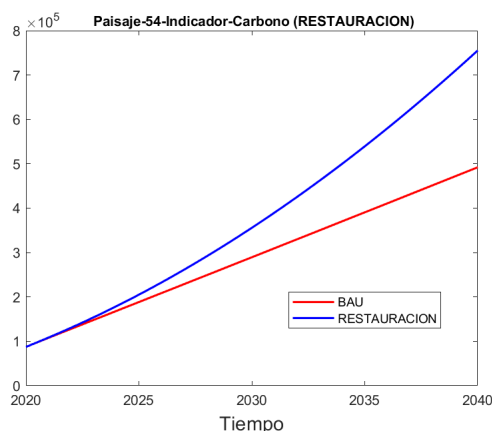
Los escenarios propuestos muestran que el Flujo de Caja aumenta de tal manera que pasa a ser positivo, es decir, que con estos escenarios (bioeconomía y tecnologías), se logra avanzar hacia una senda de seguridad alimentaria en términos cuantitativos, dado que en términos de diversidad (ICSA), la calidad es baja y no presenta modificaciones bajo escenario alguno.

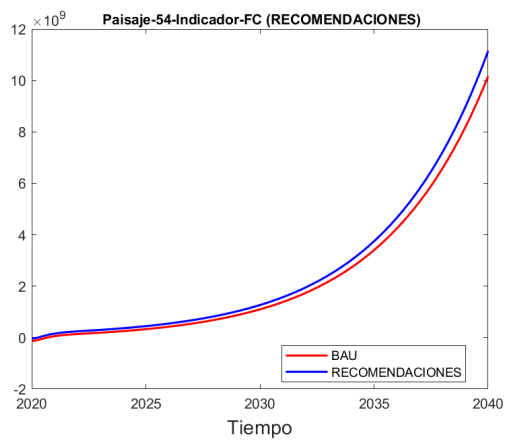
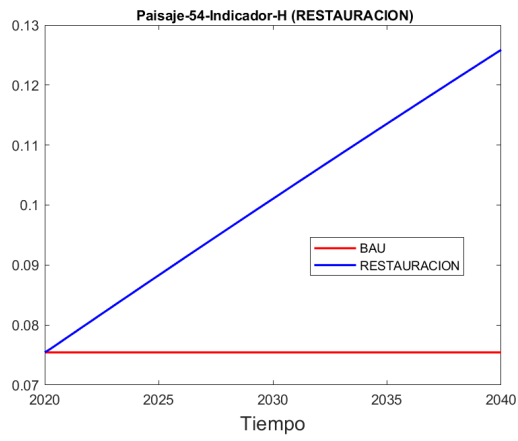
En los distintos escenarios, incluyendo el BAU, el paisaje 23 mantiene alta la provisión de servicios ecosistémicos. Lo anterior soporta el impulso de incentivos económicos que promuevan mantener este paisaje conservado. Nuevamente, la información de los modelos, en línea con lo formulado en la red de implicaciones, sugiere el potencial que tiene el paisaje para aplicar un programa de PSA hídrico o en biodiversidad, o entrar en un esquema de Bonos de carbono.

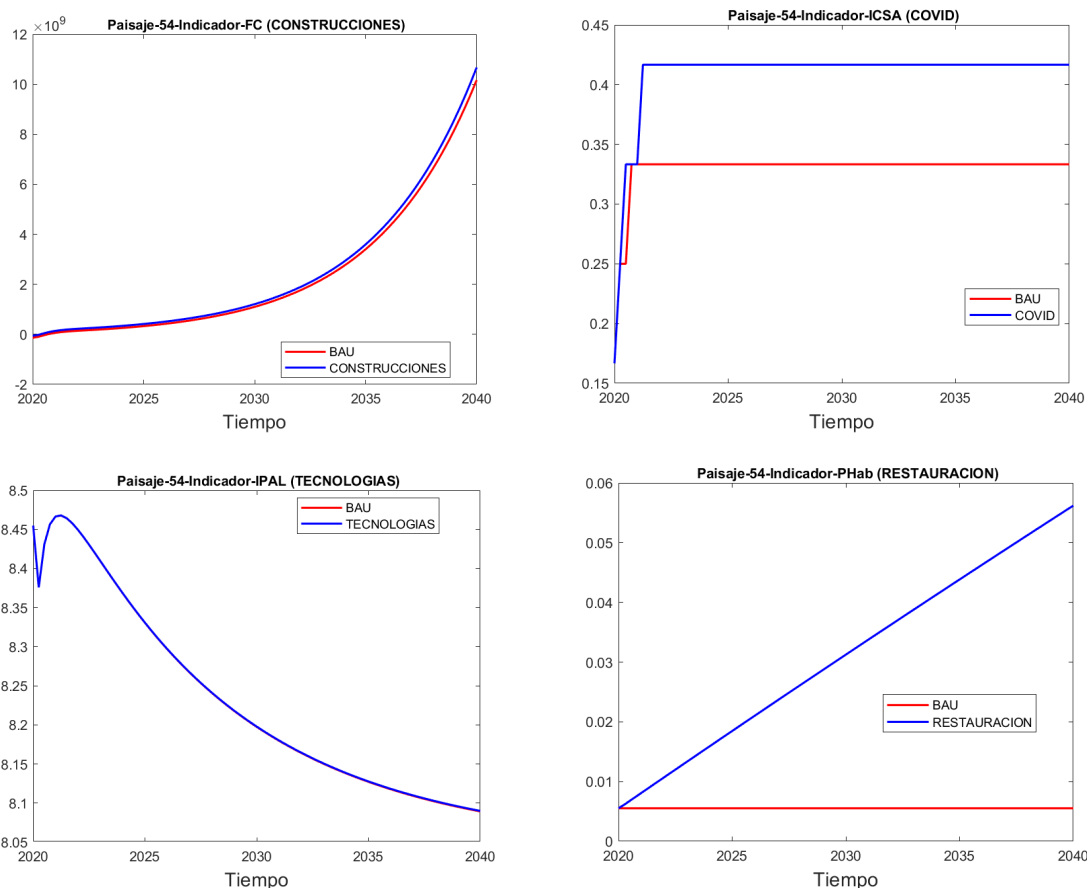
Finalmente, sin ahondar en detalles dada la similitud con la tipología 1, los cambios en los parámetros debido a la pandemia de COVID-19 no tienen efecto en la dinámica del sistema en comparación con el escenario BAU, con la excepción del Flujo de Caja, la cual se ve ligeramente afectada.

5.2.4. Tipología 4

Como paisaje representativo para exponer los resultados de la tipología 4 se seleccionó el paisaje 54. En las siguientes imágenes se puede ver los resultados representativos para los escenarios en donde se encuentran los efectos más destacados.







Gráfica 23. Comparación de los efectos de la Tipología 4 y el escenario BAU, para los indicadores índice de carbono, erosión superficial del paisaje ESP, heterogeneidad del paisaje H, flujo de caja FC, índice de calidad de seguridad alimentaria humana ICSA, índice de provisión de alimentos IPAL y provisión de hábitat PHab, en el Paisaje 54.

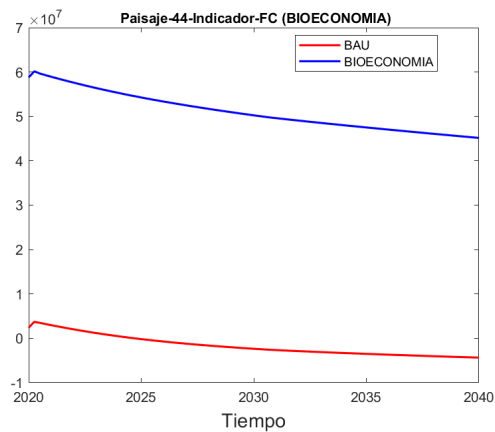
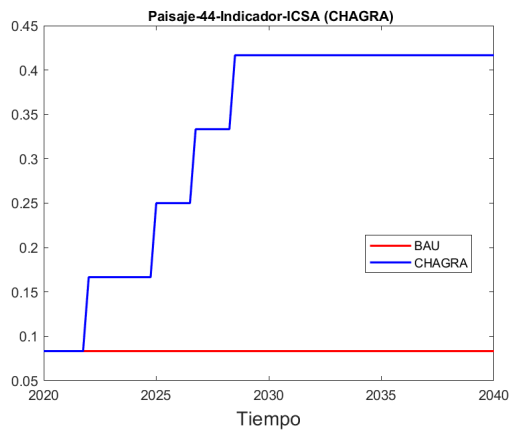
Fuente: elaboración propia.

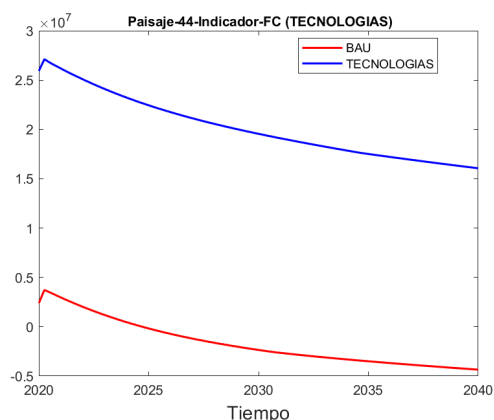
Las simulaciones de los distintos escenarios en el paisaje 54 (Gráfica 23) representan los resultados generales de los paisajes que pertenecen a la Tipología 4. Al comparar los resultados, es posible ver que los escenarios de recomendaciones, tecnologías y construcciones tienen un impacto leve pero positivo en el Flujo de Caja, dado que aumentan los ingresos al reducir los costos, por un lado, y reducen la mortalidad de las especies, por otro lado. Sin embargo, a pesar de tener un Flujo de Caja positivo y creciente, la calidad de la seguridad alimentaria se encuentra en un nivel bajo.

Tanto los resultados obtenidos en el escenario BAU como los escenarios de políticas más importantes, evidencian el potencial que tiene este paisaje para proveer servicios ecosistémicos. Similar a lo ya mencionado, los incentivos económicos a la conservación deben ser fortalecidos, tal como se menciona en la sección 4.2.4. En particular, se observa que la restauración tiene un efecto

importante en la provisión de hábitat, en el carbono y en la heterogeneidad, por lo que constituye un escenario importante para la mejora en la provisión de los servicios ecosistémicos.

Por su parte, los cambios en los parámetros debido a la pandemia de COVID-19 no tienen efecto en la dinámica del sistema en comparación con el escenario BAU, con la excepción del Flujo de Caja, la cual se ve ligeramente afectada. Sin embargo, el índice de calidad de la seguridad alimentaria sí se mantiene en niveles altos, e incluso mejoran, bajo escenario COVID, lo que indica que los autoconsumos permiten cubrir un número mayor de grupos alimenticios.





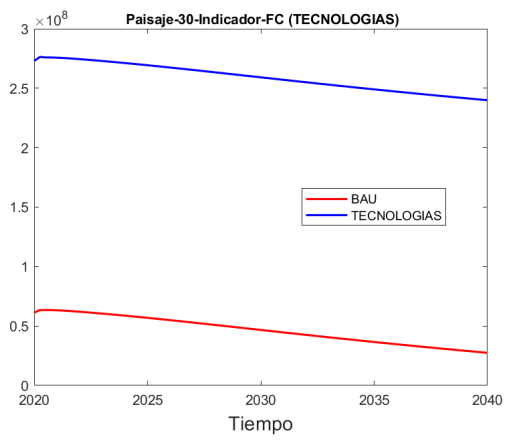
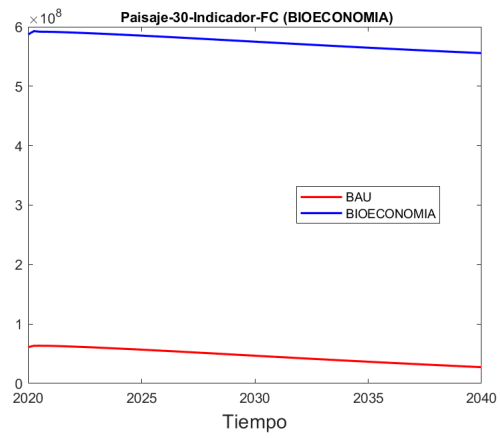
Gráfica 24. Comparación de los efectos de la Tipología 4 y el escenario BAU, para los indicadores índice de calidad de seguridad alimentaria humana ICSA y flujo de caja FC, en el Paisaje 54.

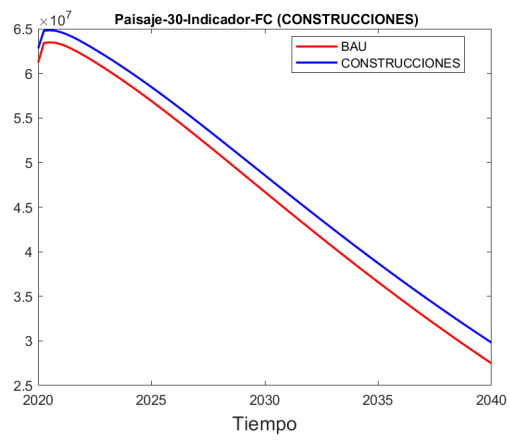
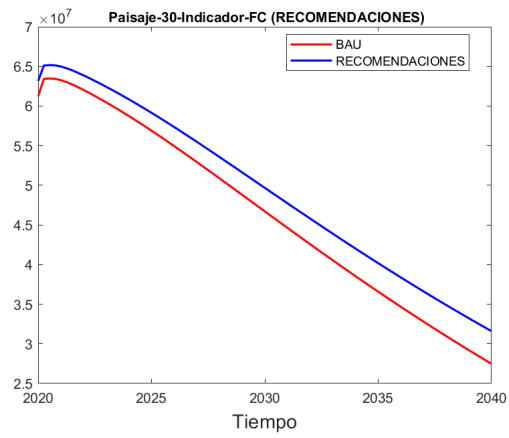
Fuente: elaboración propia.

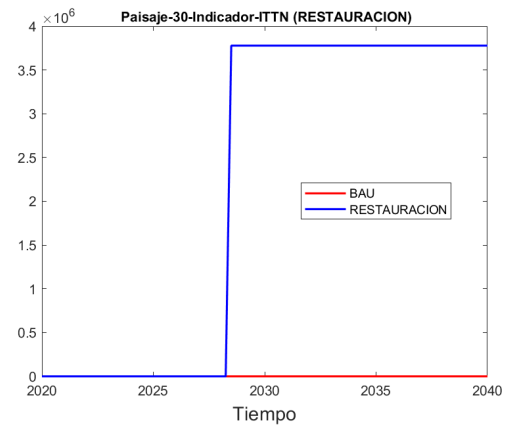
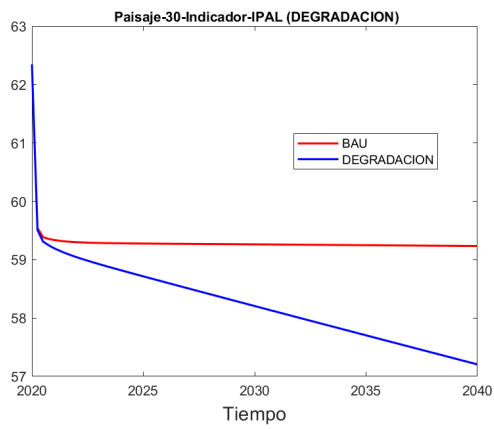
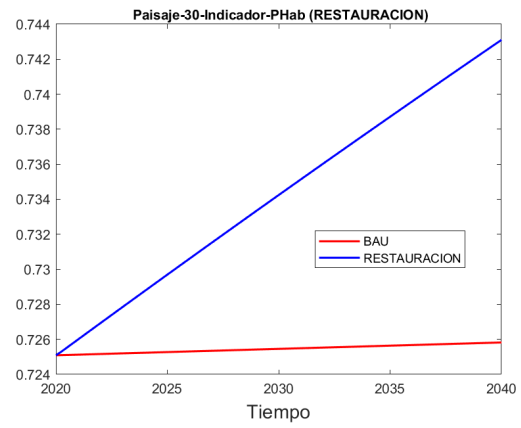
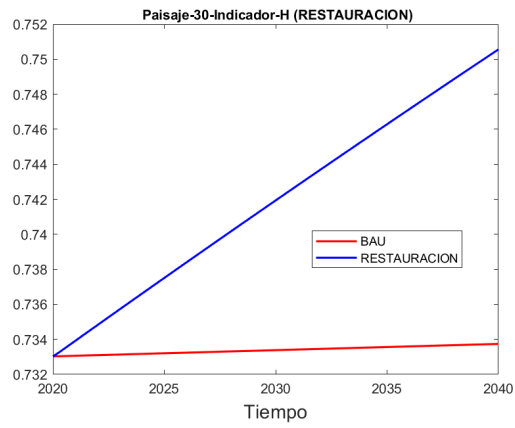
Adicional al paisaje 54, que representa a la mayoría de los paisajes de la Tipología 4, hay un subgrupo que se ve beneficiado por dos escenarios en particular: chagra y bioeconomía; tal como se ve en la Gráfica 24. Lo que muestran estos resultados es que el fortalecimiento de la chagra puede mejorar la calidad de la seguridad alimentaria en algunos paisajes, mientras que la bioeconomía puede beneficiar sustancialmente el Flujo de Caja, mejorando la seguridad alimentaria en términos de consumo energético.

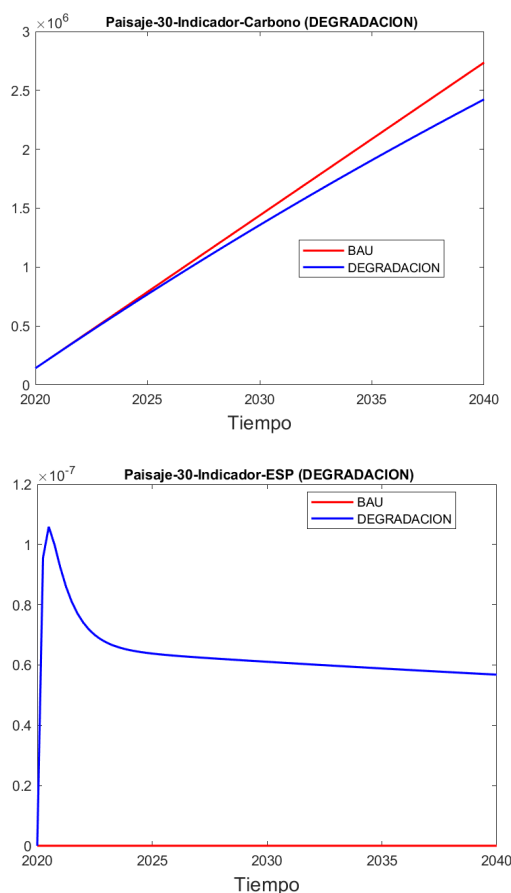
5.2.5. Tipología 5

Como paisaje representativo para exponer los resultados de la tipología 5 se seleccionó el paisaje 30. En las siguientes imágenes se puede ver los resultados representativos para los escenarios en donde se encuentran los efectos más destacados.









Gráfica 25. Comparación de los efectos de la Tipología 5 y el escenario BAU, para los indicadores flujo de caja FC, heterogeneidad del paisaje H, provisión de hábitat PHab, índice de provisión de alimentos IPAL, ingresos totales por turismo de naturaleza ITTN, índice de carbono y erosión superficial del paisaje ESP, en el Paisaje 30.

Fuente: elaboración propia.

Las simulaciones de los distintos escenarios en el paisaje 30 (Gráfica 25) representan los resultados generales de los paisajes que pertenecen a la Tipología 5. Al comparar los resultados, es posible ver que los escenarios de bioeconomía, tecnologías, recomendaciones y construcciones tienen un impacto positivo en el Flujo de Caja, dado que aumentan los ingresos, al reducir los costos, por un lado, y al aumentar los precios de venta, por el otro lado.

En los distintos escenarios, incluyendo el BAU, el paisaje 23 mantiene alta la provisión de servicios ecosistémicos. No obstante, el escenario de restauración exhibe una mejoría considerable en la provisión de hábitat y en la heterogeneidad, lo que soporta el impulso de incentivos económicos que promuevan la restauración en este paisaje. Adicionalmente, bajo este escenario se

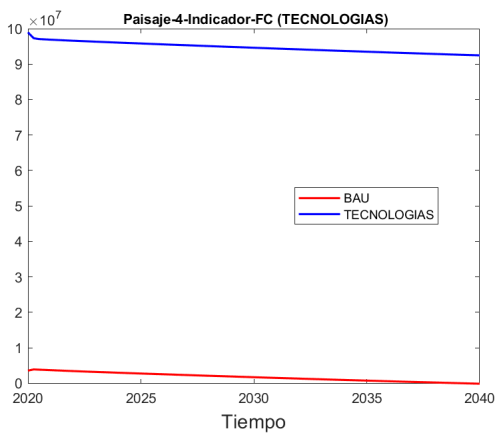
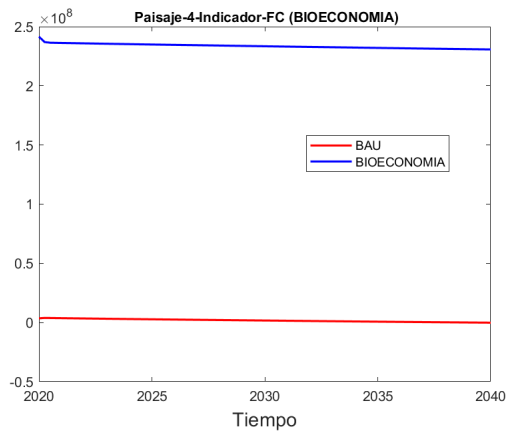
incrementan los ingresos debido al turismo de naturaleza, lo que mejora la seguridad alimentaria en términos de cantidad.

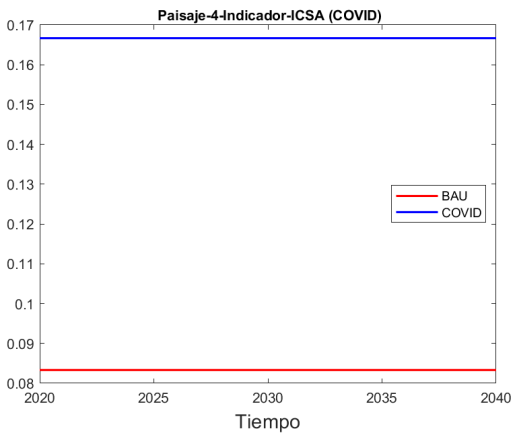
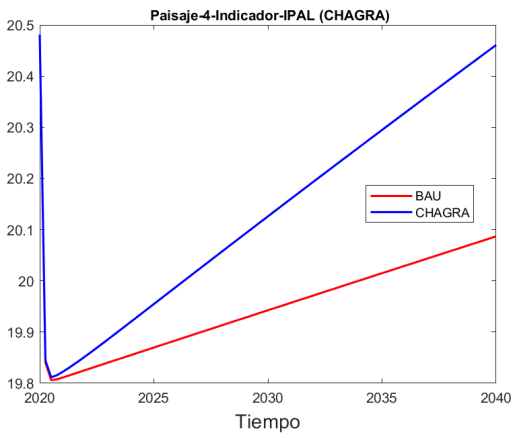
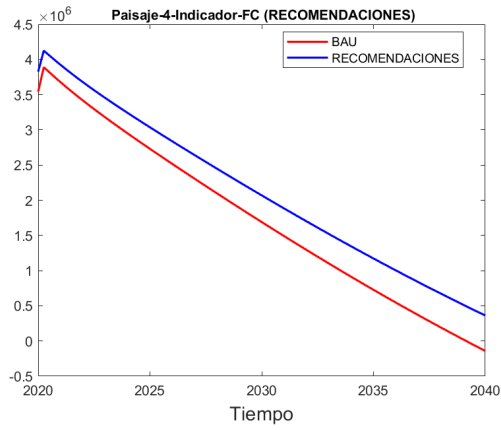
En contraste, bajo un escenario de degradación los servicios ecosistémicos de erosión, de carbono, de provisión de hábitat y de producción de alimentos evolucionan negativamente en el tiempo. Esto indica que los paisajes de esta tipología tienden a ser sensibles a las amenazas de degradación, como la deforestación y la erosión.

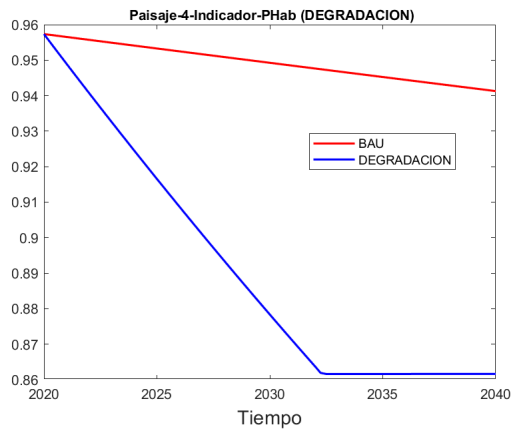
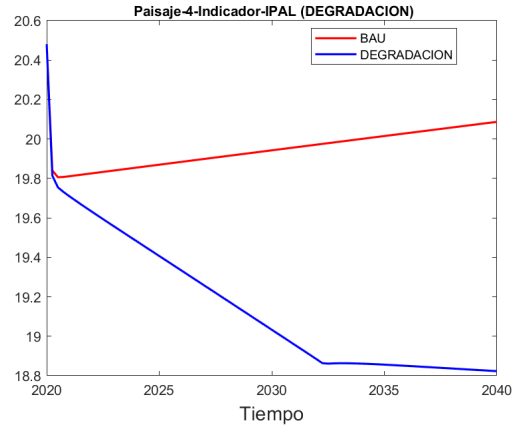
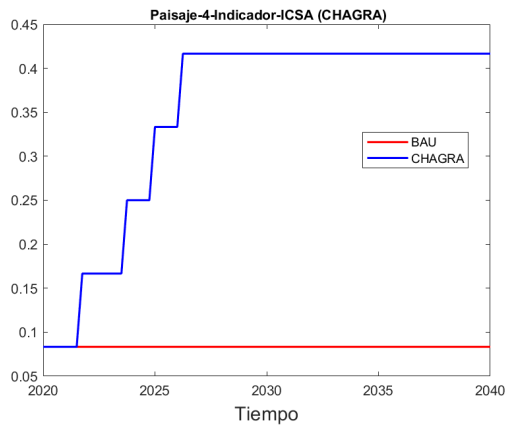
Finalmente, los cambios en los parámetros debido a la pandemia de COVID-19 tienen un efecto severo en el Flujo de Caja, sin tener mejoras en la calidad de la seguridad alimentaria por aumento en los autoconsumos, lo que muestra que este paisaje en particular es particularmente vulnerable a choques exógenos como una eventual pandemia.

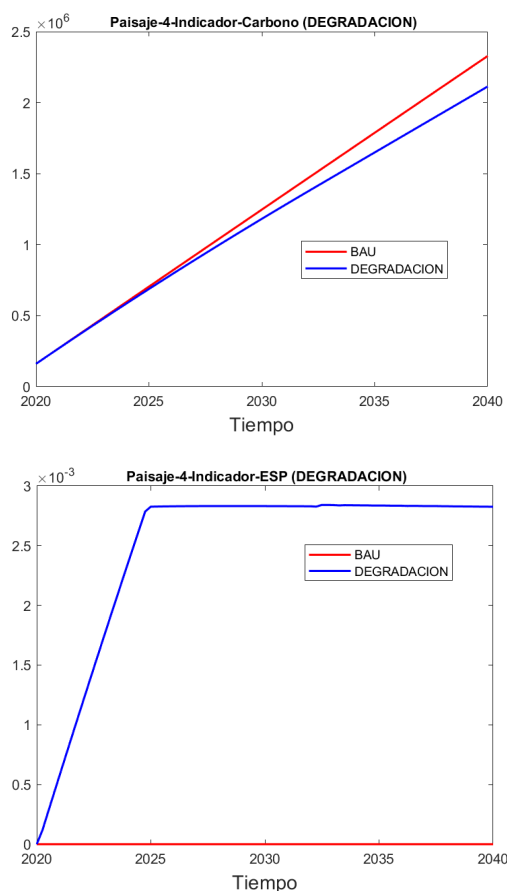
5.2.6. Tipología 6

Como paisaje representativo para exponer los resultados de la tipología 6 se seleccionó el paisaje 4. En las siguientes imágenes se puede ver los resultados representativos para los escenarios en donde se encuentran los efectos más destacados.









Gráfica 26. Comparación de los efectos de la Tipología 6 y el escenario BAU, para los indicadores flujo de caja FC, índice de provisión de alimentos IPAL, índice de calidad de seguridad alimentaria humana ICESA, provisión de hábitat PHab, índice de carbono y erosión superficial del paisaje ESP, en el Paisaje 4.

Fuente: elaboración propia.

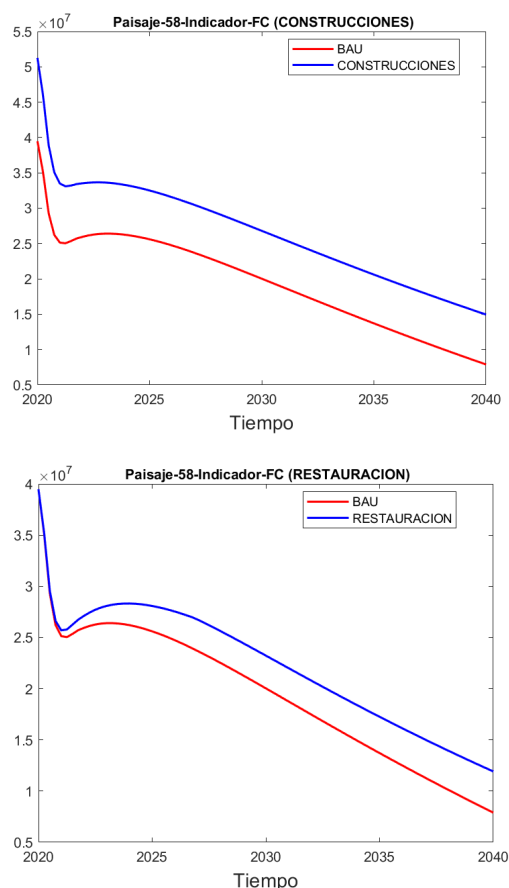
Las simulaciones de los distintos escenarios en el paisaje 4 (Gráfica 26) representan los resultados generales de los paisajes que pertenecen a la Tipología 6. Al comparar los resultados, es posible ver que los escenarios de bioeconomía, tecnologías y recomendaciones tienen un impacto sustancial en el Flujo de Caja, dado que aumentan los ingresos sustancialmente, al reducir los costos, por un lado, y al aumentar los precios de venta, por el otro lado.

En los distintos escenarios, incluyendo el BAU, el paisaje 4 mantiene alta la provisión de servicios como el almacenamiento de carbono, la provisión de hábitat y de alimentos. Nuevamente, la información de los modelos, en línea con lo formulado en la red de implicaciones, sugiere el potencial que tiene el paisaje para aplicar un programa de PSA en biodiversidad, o entrar en un esquema de Bonos de carbono.

La seguridad alimentaria en términos cuantitativos es positiva, lo que indica que se cubren las demandas calóricas y queda un excedente, sin embargo, en términos de diversidad (ICSA), la calidad es baja y en el BAU tiende a mantenerse baja en el tiempo. Esta situación cambia bajo el escenario de chagra, en donde la diversidad de la seguridad alimentaria aumenta considerablemente en el tiempo, cubriendo 4 grupos alimenticios adicionales en su punto más alto (cada escalón corresponde a un grupo alimenticio). Esto indica que el fortalecimiento de la chagra se consolida como una opción relevante para mejorar la seguridad alimentaria en los paisajes de la Tipología 6.

En contraste, bajo un escenario de degradación los servicios ecosistémicos de erosión, de carbono, de provisión de hábitat y de producción de alimentos evolucionan negativamente en el tiempo. Esto indica que los paisajes de esta tipología tienden a ser sensibles a las amenazas de degradación, como la deforestación y la erosión.

Por otra parte, bajo el escenario de COVID-19, el Flujo de Caja se ve altamente afectado, puesto que disminuye en aproximadamente la mitad del nivel obtenido en el escenario BAU. No obstante, el índice de calidad de la seguridad alimentaria sí se mantiene en niveles altos bajo escenario COVID, lo que indica que los autoconsumos permiten cubrir un número mayor de grupos alimenticios. Lo anterior también implica que la disminución del Flujo de Caja es parcialmente compensada por los autoconsumos dentro del paisaje. Este resultado da indicios de la resiliencia que tienen estos paisajes agroalimentarios ante una pandemia.



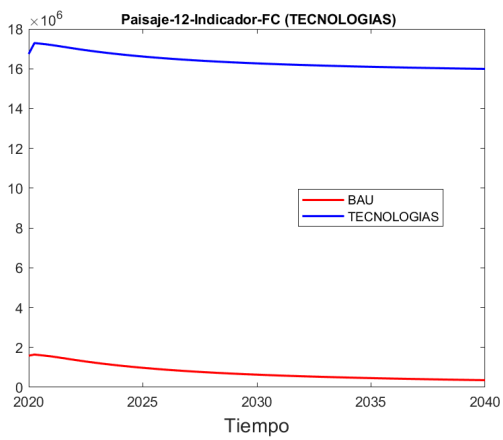
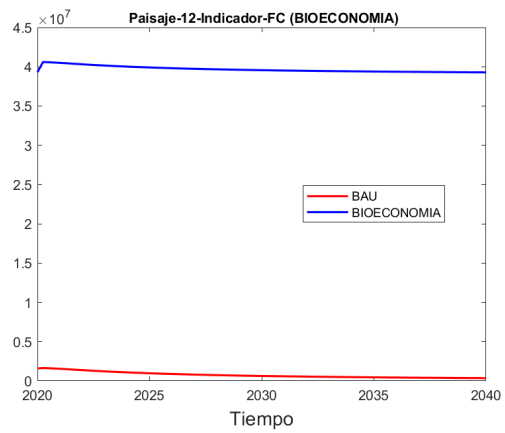
Gráfica 27. Comparación de los efectos de la Tipología 6 y el escenario BAU, para el indicador flujo de caja FC en el Paisaje 58.

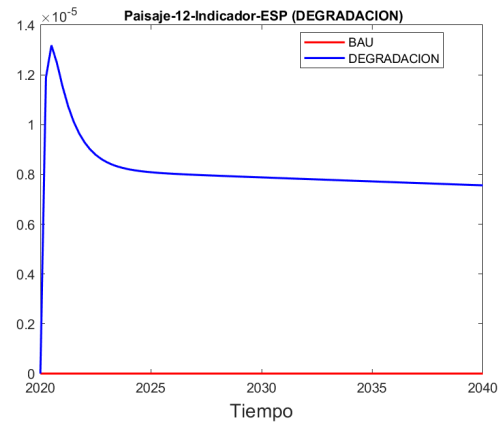
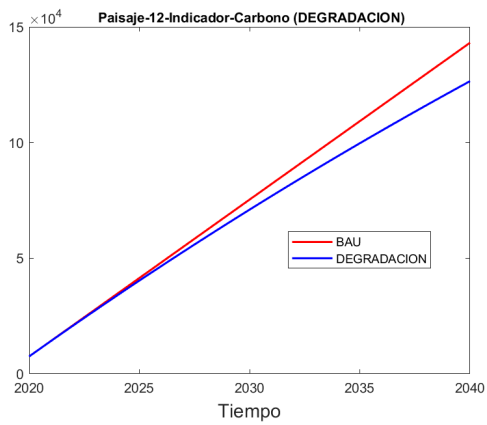
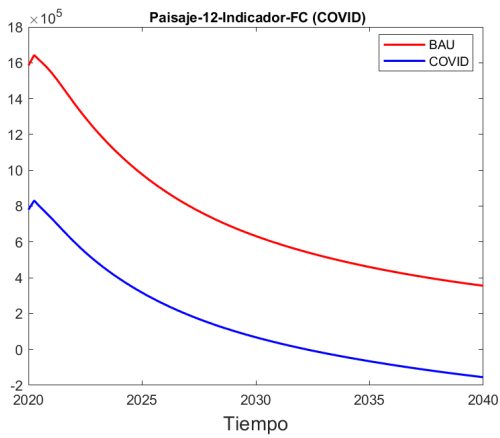
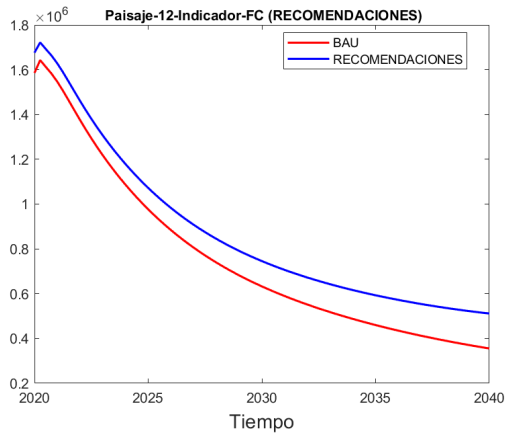
Fuente: elaboración propia.

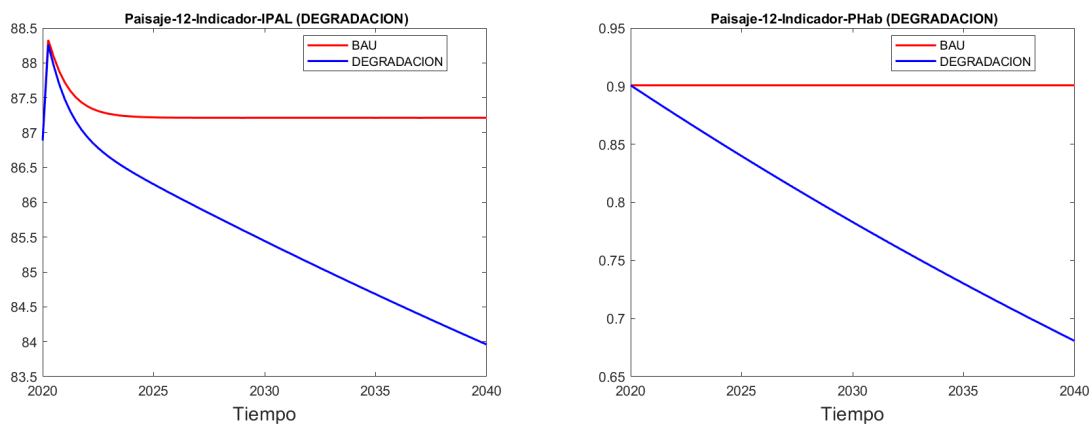
Además del Paisaje 4, el Paisaje 58 presenta efectos adicionales en relación con los escenarios que permiten identificar políticas que pueden favorecer los paisajes de esta tipología. En particular, el escenario de construcciones refleja un aumento importante del Flujo de Caja, dado que se disminuye la mortalidad de las especies y la reducción de los costos de producción y, por el otro lado, la restauración también tiene efectos positivos, debido principalmente al aumento de los precios de venta de los productos del bosque.

5.2.7. Tipología 7

Como paisaje representativo para exponer los resultados de la tipología 7 se seleccionó el paisaje 12. En las siguientes imágenes se puede ver los resultados representativos para los escenarios en donde se encuentran los efectos más destacados.







Gráfica 28. Comparación de los efectos de la Tipología 7 y el escenario BAU, para los indicadores flujo de caja FC, índice de carbono, erosión superficial del paisaje ESP, índice de provisión de alimentos IPAL y provisión de hábitat PHab, en el Paisaje 12.

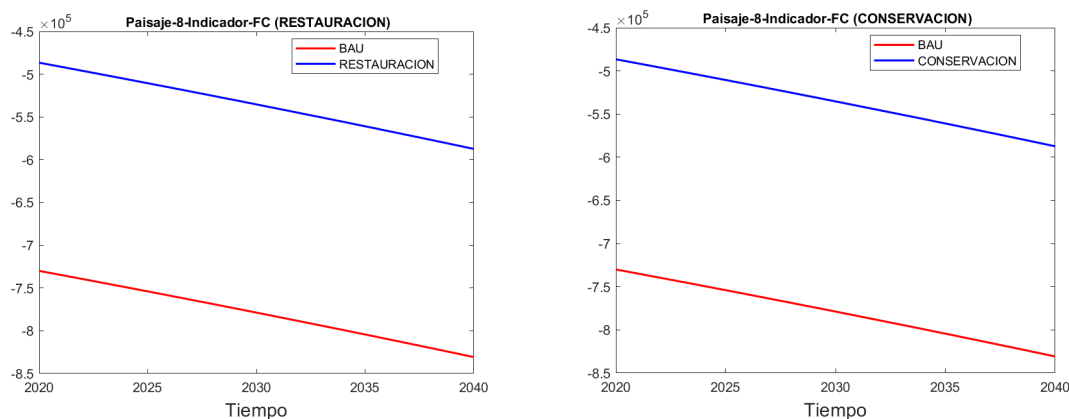
Fuente: elaboración propia.

Las simulaciones de los distintos escenarios en el paisaje 12 (Gráfica 28) representan los resultados generales de los paisajes que pertenecen a la Tipología 7. Al comparar los resultados, es posible ver que los escenarios de bioeconomía, tecnologías y recomendaciones tienen un impacto sustancial en el Flujo de Caja, tal como en la Tipología 6, dado que aumentan los ingresos sustancialmente, al reducir los costos, por un lado, y al aumentar los precios de venta, por el otro lado.

En los distintos escenarios, incluyendo el BAU, el paisaje 12 mantiene alta la provisión de servicios ecosistémicos. Lo anterior soporta el impulso de incentivos económicos que promuevan mantener este paisaje conservado. Nuevamente, la información de los modelos, en línea con lo formulado en la red de implicaciones, sugiere el potencial que tiene el paisaje para aplicar un programa de PSA hídrico o en biodiversidad, o entrar en un esquema de Bonos de carbono.

En contraste, bajo un escenario de degradación los servicios ecosistémicos de erosión, de carbono, de provisión de hábitat y de producción de alimentos evolucionan negativamente en el tiempo. Esto indica que los paisajes de esta tipología tienden a ser sensibles a las amenazas de degradación, como la deforestación y la erosión.

Finalmente, los cambios en los parámetros debido a la pandemia de COVID-19 tienen un efecto severo en el Flujo de Caja, sin tener mejoras en la calidad de la seguridad alimentaria por aumento en los autoconsumos, lo que muestra que este paisaje en particular es particularmente vulnerable a choques exógenos como una eventual pandemia.



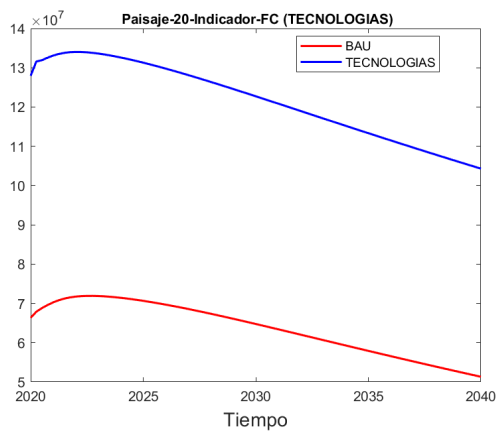
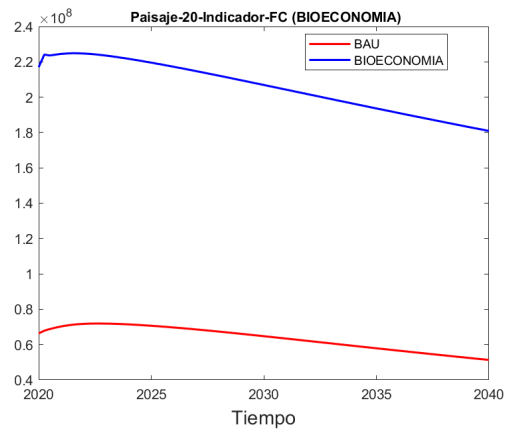
Gráfica 29. Comparación de los efectos de la Tipología 7 y el escenario BAU, para el indicador flujo de caja FC en el Paisaje 8.

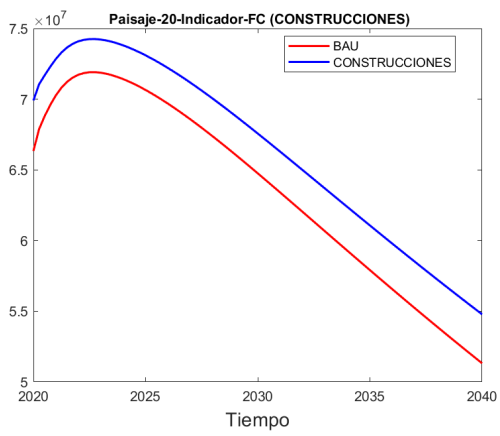
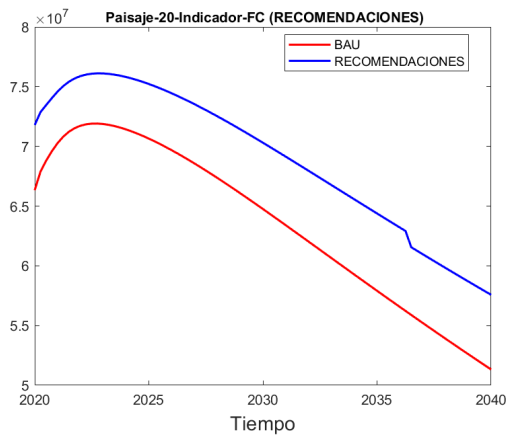
Fuente: elaboración propia.

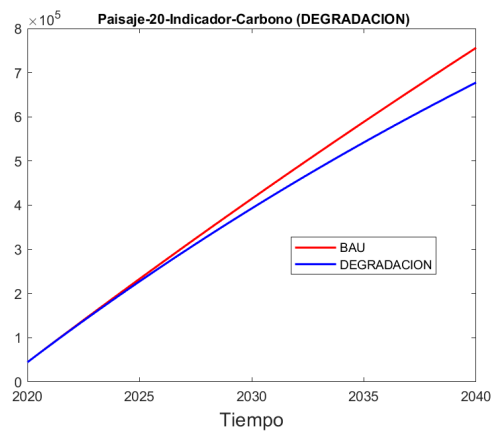
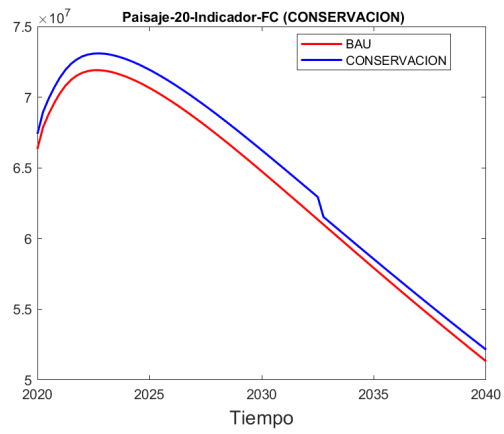
Además del Paisaje 12, el Paisaje 58 presenta efectos adicionales en relación con los escenarios que permiten identificar políticas que pueden favorecer los paisajes de esta tipología. En particular, los escenarios de conservación y de restauración reflejan un aumento relevante del Flujo de Caja, dado que se aumentan los ingresos por turismo.

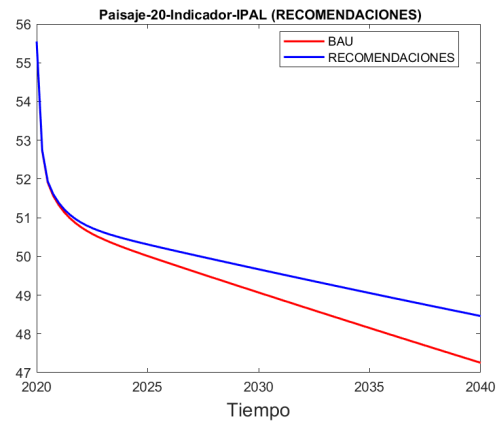
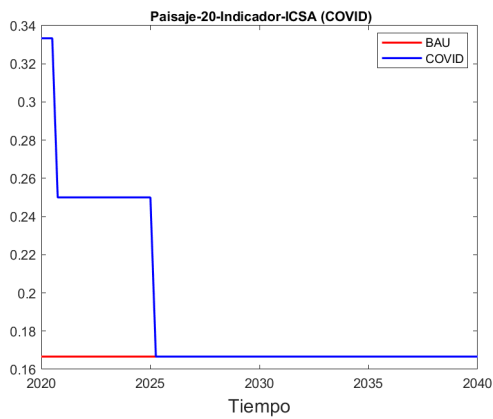
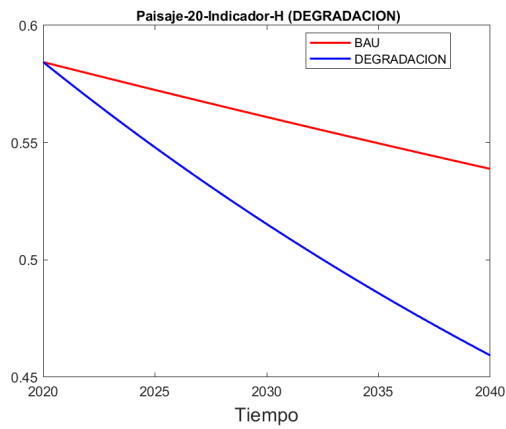
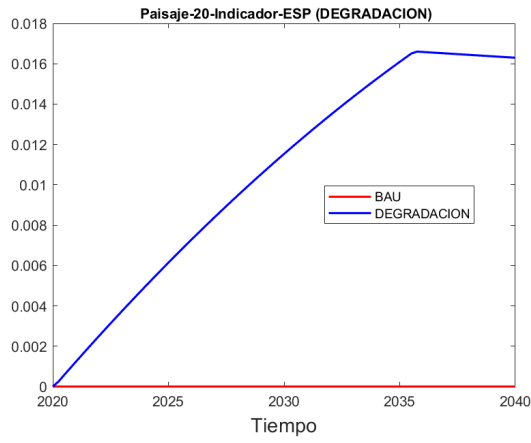
5.2.8. Tipología 8

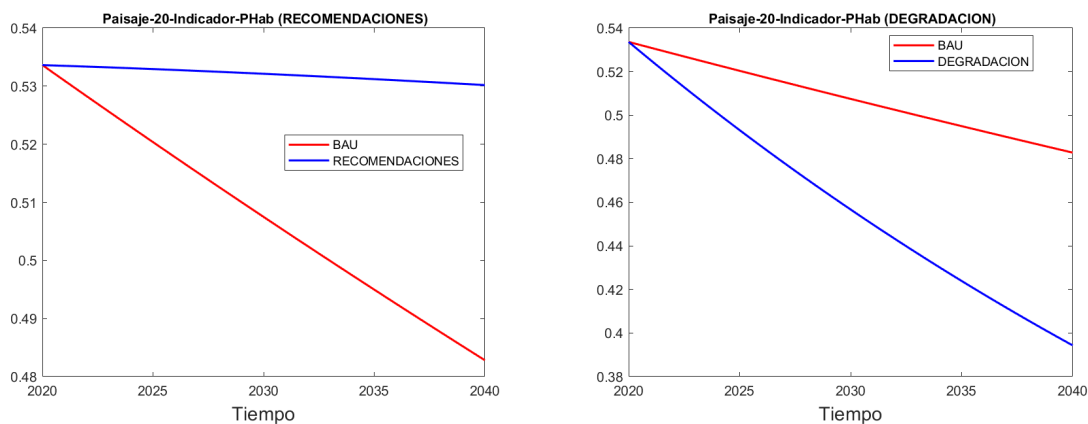
Como paisaje representativo para exponer los resultados de la tipología 8 se seleccionó el paisaje 20. En las siguientes imágenes se puede ver los resultados representativos para los escenarios en donde se encuentran los efectos más destacados.











Gráfica 30. Comparación de los efectos de la Tipología 8 y el escenario BAU, para los indicadores flujo de caja FC, índice de carbono, erosión superficial del paisaje ESP, heterogeneidad del paisaje H, índice de calidad de seguridad alimentaria humana ICSA, índice de provisión de alimentos IPAL y provisión de hábitat PHab, en el Paisaje 20.

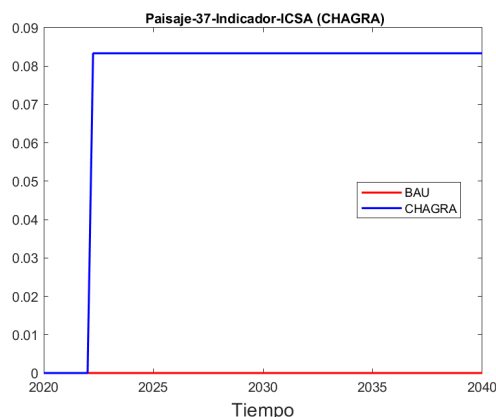
Fuente: elaboración propia.

Las simulaciones de los distintos escenarios en el paisaje 20 (Gráfica 30) representan los resultados generales de los paisajes que pertenecen a la Tipología 8. Al comparar los resultados, es posible ver que los escenarios de bioeconomía, tecnologías, recomendaciones, construcciones y conservación tienen un impacto sustancial en el Flujo de Caja, dado que aumentan los ingresos sustancialmente, al reducir los costos, por un lado, y al aumentar los precios de venta, por el otro lado.

En los distintos escenarios, incluyendo el BAU, el paisaje 20 mantiene alta la provisión de servicios ecosistémicos. Lo anterior soporta el impulso de incentivos económicos que promuevan mantener este paisaje conservado. Nuevamente, la información de los modelos, en línea con lo formulado en la red de implicaciones, sugiere el potencial que tiene el paisaje para aplicar un programa de PSA hídrico o en biodiversidad, o entrar en un esquema de Bonos de carbono.

En contraste, bajo un escenario de degradación los servicios ecosistémicos de erosión, de carbono, de provisión de hábitat y de producción de alimentos evolucionan negativamente en el tiempo. Esto indica que los paisajes de esta tipología tienden a ser sensibles a las amenazas de degradación, como la deforestación y la erosión.

Por otro lado, bajo el escenario de COVID-19, el Flujo de Caja se ve severamente afectado, puesto que disminuye en aproximadamente la mitad del nivel obtenido en el escenario BAU. No obstante, el índice de calidad de la seguridad alimentaria aumenta inicialmente bajo escenario COVID, lo que indica que los autoconsumos permiten cubrir un número mayor de grupos alimenticios, al menos por un tiempo. Este resultado da indicios de la resiliencia que tienen estos paisajes agroalimentarios ante una pandemia, pero no de una manera indefinida en el tiempo.



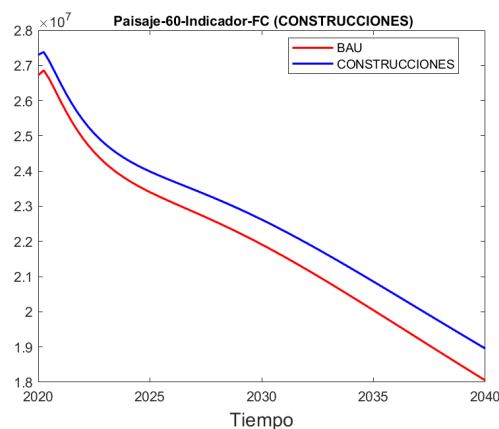
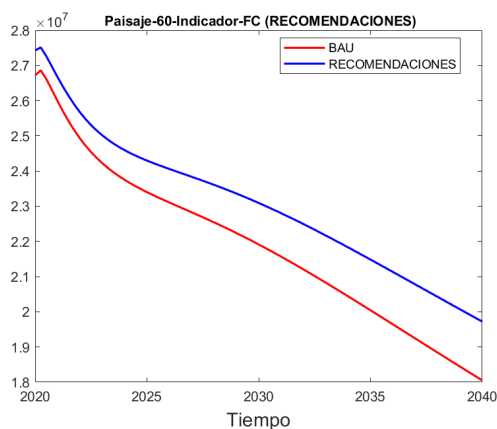
Gráfica 31. Comparación de los efectos de la Tipología 8 y el escenario BAU, para el indicador índice de calidad de seguridad alimentaria humana ICSA en el Paisaje 37.

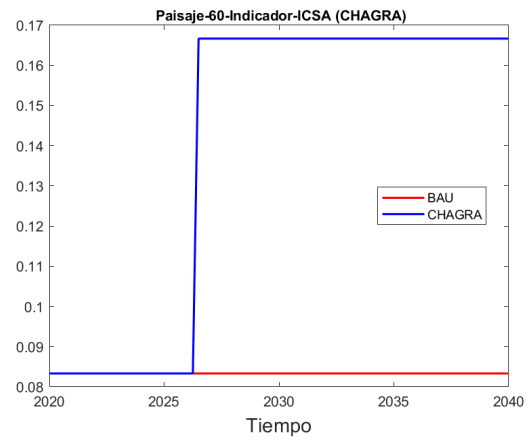
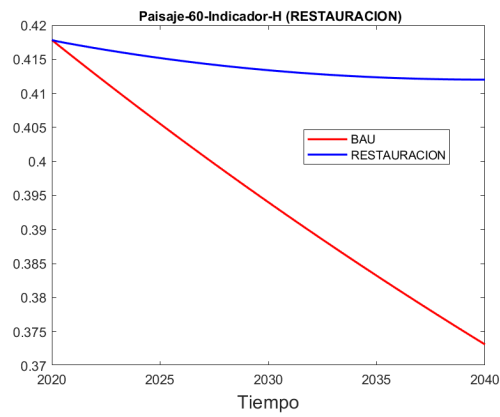
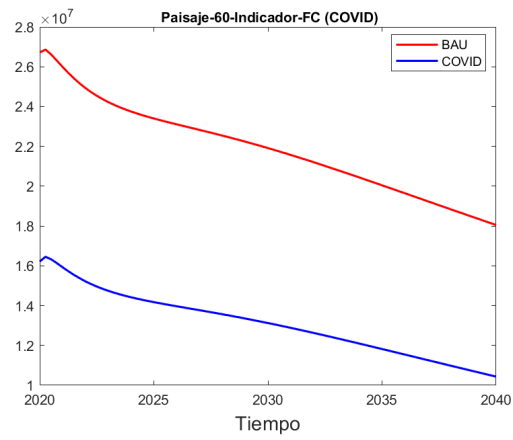
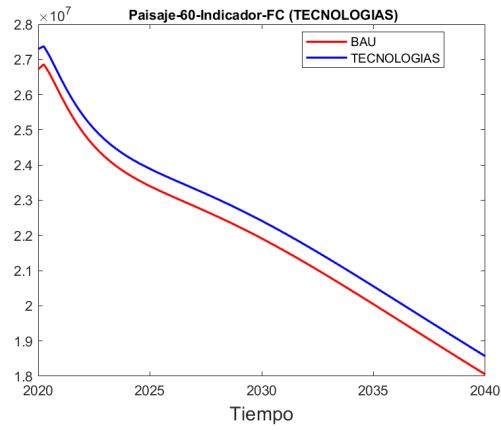
Fuente: elaboración propia.

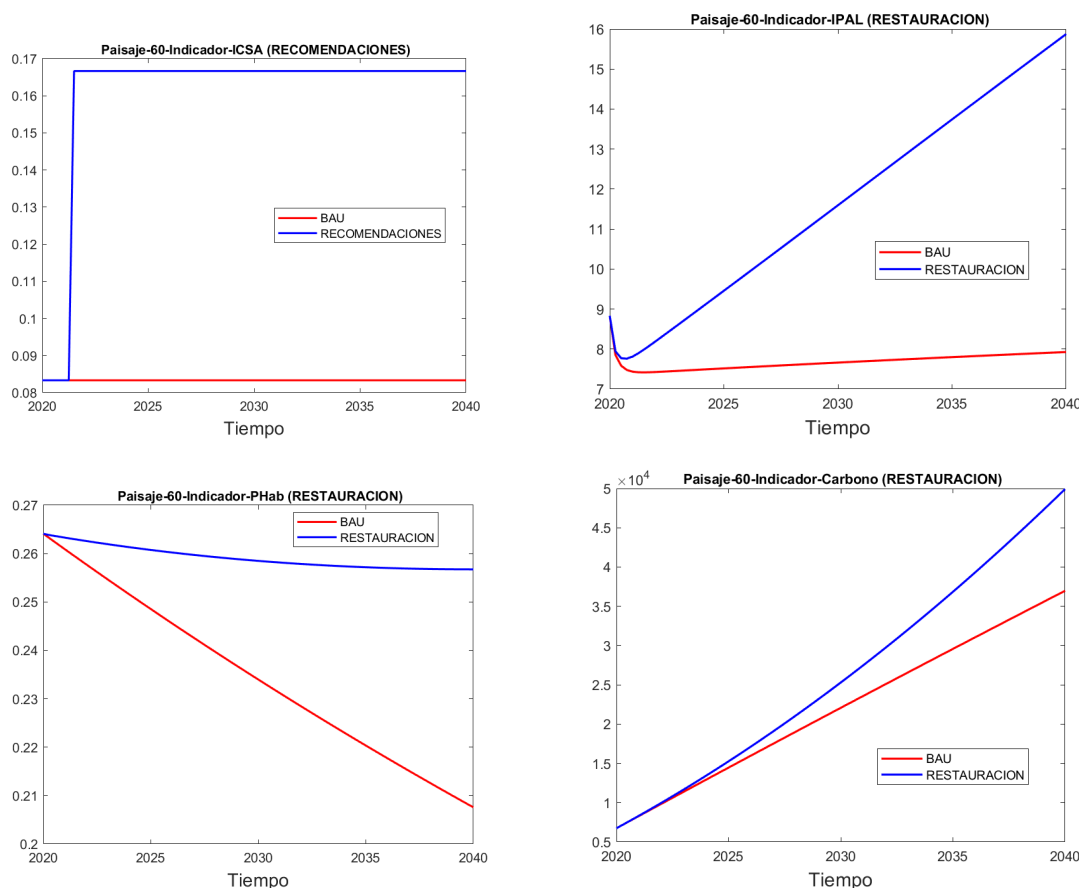
Además del Paisaje 20, el paisaje 37 presenta efectos adicionales en relación con un escenario que permite identificar políticas que pueden favorecer los paisajes de esta tipología. En particular, el escenario de fortalecimiento de la chagra refleja un aumento en la calidad de la seguridad alimentaria, lo que evidencia su utilidad para mejorar la seguridad alimentaria en los paisajes de esta tipología.

5.2.9. Tipología 9

Como paisaje representativo para exponer los resultados de la tipología 9 se seleccionó el paisaje 60. En las siguientes imágenes se puede ver los resultados representativos para los escenarios en donde se encuentran los efectos más destacados.







Gráfica 32. Comparación de los efectos de la Tipología 9 y el escenario BAU, para los indicadores flujo de caja FC, heterogeneidad del paisaje H, índice de calidad de seguridad alimentaria humana ICSA, índice de provisión de alimentos IPAL, provisión de hábitat PHab e índice de carbono, en el Paisaje 60.

Fuente: elaboración propia.

Las simulaciones de los distintos escenarios en el paisaje 60 (Gráfica 32) representan los resultados generales de los paisajes que pertenecen a la Tipología 9. Al comparar los resultados, es posible ver que los escenarios de construcciones, recomendaciones, tecnologías y restauración tienen un impacto positivo en el Flujo de Caja, dado que aumentan los ingresos, al reducir los costos, por un lado, y al aumentar los precios de venta, por el otro lado.

En los distintos escenarios, incluyendo el BAU, el paisaje 60 mantiene alta la provisión de servicios ecosistémicos. No obstante, el escenario de restauración exhibe una mejoría considerable en la provisión de hábitat, en la heterogeneidad, en el almacenamiento de carbono y en la provisión de alimentos, lo que soporta el impulso de incentivos económicos que promuevan la restauración en este paisaje.

La seguridad alimentaria en términos cuantitativos es positiva, lo que indica que se cubren las demandas calóricas y queda un excedente, sin embargo, en términos de diversidad (ICSA), la

calidad es baja y en el BAU tiende a mantenerse baja en el tiempo. Esta situación cambia bajo el escenario de chagra, en donde la diversidad de la seguridad alimentaria aumenta ligeramente (un grupo alimenticio adicional). Esto indica que el fortalecimiento de la chagra es una opción relevante para mejorar la seguridad alimentaria en este paisaje.

Finalmente, los cambios en los parámetros debido a la pandemia de COVID-19 tienen un efecto severo en el Flujo de Caja, sin tener mejoras en la calidad de la seguridad alimentaria por aumento en los autoconsumos, lo que muestra que este paisaje es particularmente vulnerable a choques exógenos como una eventual pandemia.

5.3. Cuadro resumen de los resultados obtenidos

Teniendo en consideración que se han realizado las simulaciones de cada uno de los 11 indicadores para cada uno de los 10 escenarios en comparación con el BAU en los 62 paisajes del área de estudio y que eso da lugar a 6820 simulaciones que muestran las series de tiempo de cada indicador, se ha construido la Figura 54 para presentar en una sola imagen los resultados obtenidos y poder ser concluyente del trabajo realizado en este documento.

Como puede verse en la Figura 54, las filas muestran cada unidad de paisaje, mientras que las columnas permiten la lectura de los escenarios y de sus indicadores.

Por su parte, los colores en la tabla muestran el cambio que tuvo en la simulación cada uno de los escenarios y sus indicadores en los paisajes, de modo que, si el cambio es positivo, la celda aparece en verde más intenso en la medida que el indicador reporte un valor positivo más lejano al BAU, mientras que, si el cambio es negativo, la celda aparece en rojo más intenso en la medida que el indicador reporte un valor negativo más lejano al BAU.

De esta manera, se aprecia que algunos escenarios considerados como lineamientos aislados (por ejemplo, buenas prácticas y tecnologías), no son pertinentes para un volumen importante de paisajes, mientras que, el escenario de integración de políticas (efecto agrupado), conduce a cambios que favorecen positivamente la mayoría de los paisajes. Es fácil concluir, entonces, que la gestión sistémica del paisaje a través de lineamientos integrales es la medida más eficiente.

Por otro lado, también se aprecia que, a pesar que unos lineamientos son eficientes para la mayoría de los paisajes, las mismas medidas no sirven para todos, demostrando así que la existencia de complejidades únicas en cada unidad de paisaje, demandan de gestiones específicas para el abordaje de esas singularidades.

Figura 54: Variación de los indicadores de cada escenario por unidad de análisis comparado con el BAU en el año 2040.

6. Conclusiones

Este documento tiene como objetivos presentar los modelos matemáticos que fueron desarrollados y presentar los resultados de las simulaciones realizadas para la iniciativa TEEB AgriFood Colombia, con el fin de analizar cómo la incidencia de las políticas en el cambio del uso del suelo está relacionada con la oferta de servicios ecosistémicos, las cadenas de valor y el bienestar en el Valle de Sibundoy.

Los análisis fueron realizados a partir de dos técnicas de modelado sistémico diferentes, con propósitos distintos que se complementaban entre sí. El primer modelo, basado en la metodología de Redes de Implicaciones propuesta por Redondo & Bustamante-Zamudio (2020), corresponde al análisis de línea base de la incidencia que tienen las políticas agrícolas, ambientales y de ordenamiento territorial en cada una de las unidades de paisaje del área de estudio. El segundo modelo, basado en la metodología de la Dinámica de Sistemas presentada en autores como Sterman (2010), analiza el comportamiento tendencial de los arreglos entre los usos del suelo, los agroecosistemas y el bienestar del paisaje en las cadenas de valor de los sistemas agropecuarios de cada una de las unidades de paisaje del área de estudio.

La forma como se articulan los modelos es sencilla. El modelo de redes de implicaciones permite identificar qué es prioritario de ser gestionado en cada unidad de paisaje del área de estudio, lo que favorece la identificación de conjuntos de paisajes que en el área de estudio tienen las mismas prioridades, aunque con distintas intensidades, denominados tipologías. A través de talleres con expertos, se hace una lista con proposiciones de la manera como cada una de esas tipologías debería ser abordada. Sin embargo, cada propuesta de gestión podría dar lugar a consecuencias distintas: 1) obtener lo propuesto en el corto plazo, mientras en el mediano y largo plazo genera resultados contrarios a los esperados, 2) erosionar otros objetivos de paisaje, mientras satisface el objetivo específico de gestión y 3) dar lugar a comportamientos contraintuitivos, inesperados o colaterales indeseables. De este modo, aparece el segundo modelo, basado en Dinámica de Sistemas, a través del cual se estudió la viabilidad socioecológica de cada una de las proposiciones realizadas por los expertos para el periodo comprendido entre los años 2020 y 2030. En este modelo dinámico se comparó el comportamiento tendencial del escenario actual con los escenarios que se desprendieron de las proposiciones realizadas por los expertos en términos de políticas, cambio climático y COVID 19.

De esta manera, la metodología garantiza el reconocimiento de las complejidades de cada una de las unidades del paisaje en el área de estudio y la forma de gestionar sus prioridades con lineamientos claros de consecuencias calculadas, para ser concluyentes sobre el mejor enfoque de gestión en el área de estudio del Valle de Sibundoy.

Esta metodología y los modelos obtenidos permitirían replicar el análisis aquí realizado para el Valle de Sibundoy en cualquier otro paisaje agroalimentario de Colombia. Se remarca “en

Colombia”, dado que la Red de Implicaciones, por su naturaleza, tiene una fuerte connotación política y se subcribe a las normas y leyes colombianas, por lo que su aplicación en otros países debe ser revisada.

Con el diagnóstico realizado a través de la Red de Implicaciones se encontraron las prioridades de gestión de cada unidad de paisaje, es decir las necesidades y, por ende, los ámbitos en los cuales una intervención de un tomador de decisiones puede tener un efecto en el cambio del uso del suelo, por ejemplo, a través de la formulación de una política. Con estas prioridades identificadas, se agruparon las unidades de paisaje bajo el criterio de compartir las mismas prioridades de gestión, formando un total de 9 tipologías.

Dado que cada tipología agrupaba paisajes con las mismas necesidades, se formularon recomendaciones de política que buscan suplir dichas necesidades, basándose en la información sobre amenazas, ordenamiento territorial, uso actual del suelo, ecosistemas potenciales y principales actividades productivas en la zona. De esta manera, las recomendaciones reconocían las necesidades específicas de cada unidad de paisaje, con base en el entendimiento de sus características ambientales y económicas. Este es uno de los principales objetivos de la Red de Implicaciones: reconocer las particularidades de cada paisaje para que las políticas formuladas sean lo más precisas y relevantes posibles para cubrir las necesidades presentes. Aunque algunas recomendaciones sean generales, dado que aplican para todas las unidades, la mayoría buscan ser específicas para cada paisaje.

Las recomendaciones formuladas abarcan la articulación de instrumentos de ordenamiento territorial, el fortalecimiento institucional, la formación de acuerdos por el territorio, el fortalecimiento de cadenas productivas, la inversión en infraestructura de servicios públicos, la asistencia técnica, la apropiación de tecnología, entre otros. Estas recomendaciones fueron formuladas siguiendo la metodología propuesta, es decir, por tipología. Estas serán desarrolladas de una manera más extensa en el documento 4.1 *“Documento de análisis de política basado en los documentos técnicos de resultados”* y 4.2. *“Documento resumen de los resultados técnicos y recomendaciones de políticas para tomadores de decisión”*.

Con las recomendaciones formuladas, es posible observar si tienen efectos en la dinámica del sistema y, así, observar sus efectos ambientales y socioeconómicos. Para lo anterior, primero se corrió el modelo con las condiciones actuales, sin intervención, al cual se llamó el escenario **Business-as-Usual (BAU)**. En seguida, se analizaron escenarios con las recomendaciones derivadas del análisis con la red de implicaciones, con el fin de analizar los efectos en las variables de interés en comparación con el escenario BAU. Así mismo, se simuló un escenario bajo pandemia por **COVID-19**, para el cual se identificaron efectos sobre los sistemas agroalimentarios reportados en la literatura. Todos los escenarios fueron contruidos a partir de las proyecciones de lluvia y

temperatura propuestas por el Ideam para la región, en consideración de la situación de **Cambio Climático** global.

A grandes rasgos, los resultados de las simulaciones evidencian la importancia que tienen múltiples zonas en el Valle de Sibundoy para proveer servicios ecosistémicos. El Valle de Sibundoy es rico en agua, y las simulaciones capturan este comportamiento mostrando el potencial hídrico que tiene la zona. Así mismo, es posible ver la provisión de hábitat y, sobre todo, la capacidad que tienen muchos de los paisajes del Valle para almacenar carbono. La presencia de todos estos servicios refuerza el potencial que tiene el Valle para la concreción de esquemas de PSA y de Bonos de carbono que incentiven la conservación en las áreas donde aún predominan las coberturas naturales y en donde puede haber intenciones para convertir hacia actividades productivas.

Así mismo, se encuentra a manera general, que las políticas formuladas producto de la priorización de necesidades de gestión realizada a través de la Red de Implicaciones, mostraba efectos positivos en seguridad alimentaria a largo plazo (horizonte 2040) junto con un mantenimiento de los servicios ecosistémicos, en comparación con el escenario **BAU**. Sin embargo, esto no sucedía en todos los paisajes, razón por la cual el ejercicio de simulación debe continuar, de manera tal que se encuentre un conjunto de parámetros que permita tener comportamientos más deseados.

Por otra parte, las simulaciones realizadas para observar el impacto del COVID-19 en los sistemas agroalimentarios del Valle, muestran que dichos sistemas tienden a ser resilientes, dado que el aumento en los autoconsumos provocados por la pandemia permite tener un mayor nivel de calidad de la seguridad alimentaria. Sin embargo, el Flujo de Caja disminuye considerablemente, por lo que eventualmente la seguridad alimentaria se erosiona, por lo que se deben formular recomendaciones de política que permitan evitar este desenlace. Adicionalmente, todo el potencial que tiene el Valle de Sibundoy para el turismo de naturaleza, se pierde bajo escenario COVID-19 debido a las restricciones al sector.

Es de importancia reconocer que el ejercicio de formulación y simulación de escenarios es un proceso iterativo, que debe ser retroalimentado y, por ende, es sensible a ser modificado. No se pretende que la versión presentada sea la definitiva ni que los escenarios sean inamovibles. Justamente el ejercicio de modelamiento es suficientemente flexible para permitir la simulación de múltiples escenarios de política, por lo que se espera que las simulaciones aquí presentadas sean tan sólo las primeras, y que los dos modelos planteados puedan ser útiles tanto para los tomadores de decisión en el Valle de Sibundoy, como para tomadores de decisión en otros territorios donde se aplique el enfoque TEEBAgriFood.

7. Bibliografía

- Acevedo, M. (2018) Impacto económico en los agentes vinculados a la producción de cebolla larga y el sector turístico por la diversificación en los cultivos del municipio de

- Aquitania, Boyacá. Fundación Universidad de América. Facultad de educación permanente y avanzada. Programa de especialización en gerencia de empresas. Bogotá D.C.
- Alarcón Álvarez, R. A., Castillo Bastidas, M. A., & Narváez Campaña, N. L. (2016). Evaluación de susceptibilidad por inundación de la Cuenca Alta del Rio Putumayo-Valle de Sibundoy.
 - Alcaldía municipal de Colón (2020). Plan de acción Territorial para la Prevención, Atención, Asistencia y Reparación Integral a las Víctimas 2020-2023.
 - Alcaldía municipal de Colón (2020). Plan de Desarrollo Municipal 2020-2023 “Nuestro motivo Colón”.
 - Alcaldía municipal de San Francisco (2020). Plan de acción Territorial para la Prevención, Atención, Asistencia y Reparación Integral a las Víctimas 2020-2023.
 - Alcaldía municipal de San Francisco (2020). Plan de Desarrollo Municipal 2020-2023 “Hagamos historia”.
 - Alcaldía municipal de Santiago (2020). Plan de acción Territorial para la Prevención, Atención, Asistencia y Reparación Integral a las Víctimas 2020-2023.
 - Alcaldía municipal de Santiago (2020). Plan de Desarrollo Municipal 2020-2023 “Nuestra esencia”.
 - Alcaldía municipal de Sibundoy (2020). Plan de acción Territorial para la Prevención, Atención, Asistencia y Reparación Integral a las Víctimas 2020-2023.
 - Alcaldía municipal de Sibundoy (2020). Plan de Desarrollo Municipal 2020-2023 “Sibundoy hagamos equipo”.ANLA. (2018). Cartografía vía variante Mocoa-San Francisco (Putumayo). Expediente LAM 1358. Operador Instituto Nacional de Vías.
 - Aracil, J. & Gordillo, F. (1997). Dinámica de sistema. Madrid: Isdefe.
 - Avendaño, J. (2012) Producción de heno de kikuyo como alternativa de un forraje bajo en costos y alto en calidad. Corporación Universitaria Lasallista. Facultad de Ciencias Administrativas y Agropecuarias. Administración de Empresas Agropecuarias. Caldas, Antioquia.
 - Bakalis, S., Valdramidis, V., Argyropoulos, D., Ahrne, L., Chen, J., Cullen, P. J., ... & Fryer, P. (2020). How COVID-19 changed our food systems and food security paradigms. Current Research in Food Science.
 - Barlas, Y. (1996). Formal aspects of model validity and validation in system dynamics. System Dynamics Review: The Journal of the System Dynamics Society, 12(3), 183-210.
 - Bassi, A.M., Casier, L., Pallaske, G., Perera, O., and Bechau, R. (2020). Sustainable Asset Valuation (SAVi) of Senegal's Saloum Delta. International Institute for Sustainable Development. <https://www.iisd.org/system/files/2020-08/savi-saloum-delta-senegal.pdf>
 - Beramendi, M., Delfino, G., & Zubieta, E. (2016). Confianza institucional y social: una relación insoslayable. Acta de investigación psicológica, 6(1), 2286-2301.
 - Bustamante-Zamudio, C., Redondo, J.M., García, J. A., Amador, J., Pérez, D., & Hernández-Manrique, O. (2019). Gestión Sostenible del Turismo de Naturaleza: Análisis multidimensional de la potencialidad de los recursos y atractivos naturales. En Moreno, L.A., Andrade, G.I. y Gómez, M.F. (Eds.). 2019. Biodiversidad 2018. Estado y tendencias de

la biodiversidad continental de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia.

- Bustamante-Zamudio, C., García, J., Redondo, J.M. y Camacho, E.D., Garzón C.A. Hernández-Manrique O.L. (2019). Propuesta metodológica para la evaluación de sostenibilidad multiescala en paisajes productivos, aplicada en al menos un paisaje colombiano. Informe técnico. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 80pp. Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.11761/35535>.
- Cabrera, D. & Montenegro, J. (2015) Plan De negocios para la producción y comercialización de dulce a base de cidrayota (*Sechium edule*) en el municipio de Pasto. Universidad de Nariño, Programa de Administración de Empresas. San Juan de Pasto.
 - <http://biblioteca.udenar.edu.co:8085/atenea/biblioteca/90867.pdf>
- Cadena, O. (2013). Conflicto socio-ambiental en torno a la construcción de la variante San Francisco–Mocoa. Caso comunidad indígena Kamentsa Sibundoy-Putumayo (Disertación, Universidad de Nariño).
- Caicedo, G., Rozo, L., Rengijo, G. (2003) La achira. Alternativa agroindustrial para áreas de economía campesina.
 - <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4071/1/La%20achira%20tecnicas%20de%20cultivo%20y%20beneficio.pdf>
- Cámara de Comercio de Putumayo, Comisión Regional de Putumayo, Geam, Ecopetrol, Sena, Corpoamazonia, Gobernación del Putumayo (2016) ACTUALIZACION PLAN REGIONAL DE COMPETITIVIDAD DEL PUTUMAYO Mocoa, Putumayo.
- Corporación Colombia Internacional (2008). Plan Hortícola Nacional. Bogotá, Colombia.
- Chow, V. Te, Maidment, D. R., & Mays, L. (1994). Hidrología Aplicada.
- Comisión Europea (2020). Apoyo a los sectores agrícola y alimentario en la crisis del coronavirus. Disponible en: https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/farming/coronavirus-response_es
- Corpoamazonia. (2020). Plan de Acción Institucional de Corpoamazonia 2020-2023.
- Corpoamazonia (Ed.). (2009). “Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca alta del río Putumayo (POMCA)”. Mocoa: Corpoamazonia, WWF y Asociación Ampora, 130 p.
- CORPOAMAZONIA – WWF COLOMBIA, IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE BIENES Y SERVICIOS AMBIENTALES (2010). “Desarrollo y validación del esquema de compensación por servicios ambientales y reconversión de sistemas ganaderos en cuencas hidrográficas abastecedoras de acueductos municipales pertenecientes a la cuenca del río Putumayo”. Noviembre, 2010.
- Corpoamazonia. (2006). Plan de Manejo Ambiental – Humedales Valle de Sibundoy. Mocoa: Corpoamazonia y Fundación Cultural del Putumayo, 223 p.
- Cousins, S. A. O. y O. Eriksson (2002), "The influence of management history and habitat on plant species richness in a rural hemiboreal landscape, Sweden", *Landscape Ecology*, 17 (6):517-529.

- Cueto, R. M., Espinosa, A., Guillén, H., & Seminario, M. (2016). Sentido de comunidad como fuente de bienestar en poblaciones socialmente vulnerables de Lima, Perú. *Psykhé* (Santiago), 25(1), 1-18.
- DeFries, R. S., Field, C. B., Fung, I., Justice, C. O., Los, S., Matson, P. A., ... & Sellers, P. J. (1995). "Mapping the land surface for global atmosphere-biosphere models: Toward continuous distributions of vegetation's functional properties". *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 100(D10), 20867-20882.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2019) "Series de precios a mayoristas". Colombia.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2014) "Censo Nacional Agropecuario (CNA)". Colombia.
- Deza, C. (2018). Rumiantes menores, nutrición en caprinos. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba. Notas de Clase de Nutrición. <http://www.agro.unc.edu.ar/~wpweb/rumiantes/wp-content/uploads/sites/20/2018/03/C-LASE-NUTRICI%C3%93N-2018.pdf>
- Díaz, R. (2009). Indirect Influences. arXiv preprint arXiv:0906.1610.
- Duarte, A. E., & Agropecuario, P. Uso del Agua en establecimientos agropecuarios. Sistema de abrevadero (Parte I).
- Etter, A. (1990). Introducción a la Ecología del Paisaje: un marco de integración para los levantamientos ecológicos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. <https://doi.org/10.13140/2.1.4464.5121>
- FAO-Food and Agriculture Organization of the United Nations (2020). Agri-food markets and trade policy in the time of COVID-19. Disponible en: <http://www.fao.org/policy-support/tools-and-publications/resources-details/en/c/1269722/>
- FAO. (2006). Anexos de la Guía de nutrición de la familia. Recuperado el 15 de Octubre de 2019, de Sitio web de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/3/y5740s/y5740s16.pdf>
- FAO. (2013). Guía para medir la diversidad alimentaria a nivel individual y del hogar. Recuperado el 15 de Octubre de 2019, de Sitio web de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <http://www.fao.org/3/a-i1983s.pdf>
- FAO. (2019a). The State of Food Security and Nutrition in the World. Recuperado el 15 de Octubre de 2019, de Sitio web de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <http://www.fao.org/3/ca5162en/ca5162en.pdf>
- Federación Colombiana de Ganaderos (FEDEGAN) (2020) Costos de producción. Colombia.
 - o <https://www.fedegan.org.co/estadisticas/costos-produccion>
- Fedesarrollo (2012) Costos de Producción de Doce Productos Agropecuarios. Bogotá, D.C.
- Fei, S., Ni, J., Santini, G. (2020). Local food systems and COVID-19: an insight from China. *Resources, Conservation and Recycling* Vol 162, November.

- Fernández, J., Fernández, M. I., & Soloaga, I. (2019). Enfoque territorial y análisis dinámico de la ruralidad: alcances y límites para el diseño de políticas de desarrollo rural innovadoras en América Latina y el Caribe.
- Finagro (2017) Avicultura. Marco de Referencia Agroeconómico. Colombia.
- Fondo Nacional Avícola (FENAVI) (2020) Estadísticas del sector. Colombia.
 - o <https://fenavi.org/informacion-estadistica/#1552494005205-820cb0e1-d0a0>
- Ford, D. N. (2019). A system dynamics glossary. *System Dynamics Review*, 35(4), 369-379.
- Gaviria, D. (1996). Instrumentos económicos y financieros para la silvicultura el caso de Colombia. Visto en: <http://www.fao.org/3/w3247s/w3247s08.htm>.
- Galanakis, C. M. (2020). The Food Systems in the Era of the Coronavirus (COVID-19) Pandemic Crisis. *Foods*, 9(4), 523.
- Gobernación del Valle (2013) Costos de Producción Agrícola 2010 – 2013. Colombia.
 - o <http://pqr.valledelcauca.gov.co/agricultura/publicaciones.php?id=21453>
- Guzmán, A. B., Alvarez, M. J., Hernandez, A. A., & Montenegro, A. G. (1972). Propiedades físicas de los suelos del valle de Sibundoy–Putumayo. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 4(2), 67-81.
- Husain-Talero, S. (2018) Análisis de los costos de producción y la cadena de valor de las plantas tradicionales que cultivan los campesinos de Cundinamarca, Colombia. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, vol. 15, núm. 82. Pontificia Universidad Javeriana, <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr15-82.acpc>.
- IAvH & IDEAM (2015). Clasificación del mapa de humedales continentales de Colombia por tipología, Escala 1:100.000. Proyecto: Insumos para la delimitación de humedales y páramos en cuencas hidrográficas afectadas por el fenómeno de La Niña 2010-2011. Bogotá, D. C., Colombia.
- ICBF. (Noviembre de 2018). Tabla de Composición de Alimentos Colombianos. Recuperado el 16 de Octubre de 2019, de Sitio web del Instituto Colombiano de Bienestar Familiar: https://www.icbf.gov.co/sites/default/files/tcac_web.pdf
- IDEAM (2019). Estudio Nacional del Agua 2018. Bogotá: Ideam: 452 pp.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) (2018). Consulta y descarga de datos hidrometeorológicos. <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>
- IDEAM. (2017). Indicadores de Agua. Recuperado el 15 de Octubre de 2019, de Sitio web del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales: <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/agua>
- IDEAM, I., IAVH, S., & IIAP, I. (2017). Mapa Ecosistemas Continentales, Costeros y Marinos de Colombia.
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA (2015) Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-2100 Herramientas Científicas para la Toma de Decisiones – Enfoque Nacional – Departamental: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático.

- IDEAM, U.D.C.A (2015). Síntesis del estudio nacional de la degradación de suelos por erosión en Colombia - 2015. IDEAM - MADS. Bogotá D.C., Colombia., 62 págs. Publicación aprobada por el IDEAM, diciembre de 2015.
- IDEAM (2010) *Estudio Nacional del Agua*. Retrieved from http://www.andi.com.co/Uploads/ENA_2010.compressed.pdf
- Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (SINCHI) (2018) Mapa de Coberturas de la tierra de la Amazonia colombiana para el año 2018. Escala 1:100.000. Versión 1.0
- Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (SINCHI) (2012). Mapa de Coberturas de la tierra de la Amazonia colombiana para el año 2012. Escala 1:100.000.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2016a). "Base De Datos Cartográfica Escala, 1:100 000, proyecto: Carta general a escala 1:100000, VERSIÓN 2014_1. 2016". Bogotá, Colombia.
- IGAC. (2016). Cartografía base oficial del territorio colombiano. Geodatabase escala 1:100.000.
- IGAC, Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2016). Memoria técnica de actualización del Uso del Suelo y Cobertura Vegetal del área plana del Distrito de Drenaje del Valle de Sibundoy ubicado en el Departamento del Putumayo a escala 1:25.000.
- IGAC, Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). Estudio general de suelos y zonificación de tierras departamento de Putumayo escala 1:100.000. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia, 2014.
- IGAC. (2013). Proyecto Conflictos De Uso Del Territorio Colombiano Escala 1:100.000. Bogotá.
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH), Gran Tierra Energy Inc. Colombia. Proyecto Chawar (2019), para el Fortalecimiento de la gestión social y ambiental de Gran Tierra, a través de un sistema de información socioecológica que soporte la toma de decisiones en el área de interés de la cuenca alta del Río Putumayo (Aprox. 504.000 ha). Bogotá, Colombia.
- IPCC (2018) Resumen para responsables de políticas. En: Calentamiento global de 1,5 °C, Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza [Masson-Delmotte V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor y T. Waterfield (eds.)].
- Isaacs Cubides, P., Aguilar-Garavito, M., Rojas, M. T., Bustamante, C., & Garcia, J. A. (2020). Portafolio de oportunidades priorizadas de restauración ecológica para la Amazonia Colombiana. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

- Kock, F., Nørfelt, A., Josiassen, A., George, A., and Mike G. (2020). Understanding the COVID-19 tourist psyche: The Evolutionary Tourism Paradigm.
- Lal, R. (2001). Soil degradation by erosion. *Land Degradation and Development*, 12(6), 519–539. <https://doi.org/10.1002/ldr.472>
- Ley 2ª de 1959 de Colombia.
- López Cualla, R. A. (2003). Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Matic, I., & Moreno, L. (2017). El catastro multipropósito en Colombia, una herramienta para la construcción de paz. *CT: Catastro*, (90), 97-120.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) & Universidad Sergio Arboleda (2018) Evaluaciones Agropecuarias Municipales 2018. Segundo informe de costos de producción. Contrato de Prestación de Servicios Profesionales 20180413.
- Mora, L. F., & Andrade, G. I. (2019). Construcción de vulnerabilidad en humedales altoandinos integrados con sistemas ganaderos. Evidencia a través de un modelo socioecológico de cambio entre 1980 y 2010, en el valle de Sibundoy, Putumayo, Colombia. *Biodiversidad en la Práctica*, 4(1), 2-29.
- Muñoz, J., Rodríguez, L.F., Bermúdez, L. (2013) Análisis de competitividad del sistema de producción de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en tres municipios de Nariño. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, Vol. 7 - No. 2 - pp. 173-185, julio-diciembre.
- Plan-In (2017). EAE de transporte de hidrocarburos y evaluación costo beneficio de proyectos de transmisión eléctrica: Informe final. <http://bdigital.upme.gov.co/handle/001/1334>
- RAS 2000 (2009) Reglamento del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico. Bogotá, Colombia.
- Redondo, J.M. & Bustamante-Zamudio, C. (2020). Making Decisions with Implications Networks: Methodology and Examples. *Journal of Physics: Conference Series*. DOI:10.1088/1742-6596/1514/1/012017.
- Redondo, J. M., Ibarra-Vega, D., Catumba-Ruiz, J., & Sánchez-Muñoz, M. P. (2020). Hydrological system modeling: Approach for analysis with dynamical systems. *Journal of Physics: Conference Series*. DOI:10.1088/1742-6596/1514/1/012013
- Rodríguez, P. & Ibáñez, L. (2018) Aproximación de valores comerciales para árboles maderables. Caso de estudio: diez especies maderables. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad de Ingeniería Programa de Especialización en Avalúo. Bogotá, D.C.
- Rojas, D. (2014) Análisis de la competitividad del sector arracachero y su entorno productivo en el municipio de Boyacá. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad de ciencias económicas, administrativas y contables, Escuela de administración de empresas. Tunja.
- Rowan, N. J., & Galanakis, C. M. (2020). Unlocking challenges and opportunities presented by COVID-19 pandemic for cross-cutting disruption in agri-food and green deal innovations: Quo Vadis? *Science of the Total Environment*, 141362.

- Sigala, M. (2020). Tourism and COVID-19: impacts and implications for advancing and resetting industry and research. *Journal of Business Research*.
- Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP). (2015). "Mapa SINAP". Parques Nacionales Naturales de Colombia. Bogotá DC, Colombia.
- Solarte López, J. D. (2018). Producción y comercialización de un cultivo de plátano (*Musa Paradisiaca*), en un área de 5.000 m² en la vereda Alto Lorenzo del municipio de Puerto Asís, Putumayo. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ingenieria_agronomica/
- Sterman, J. (2010). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. McGraw-Hill Education.
- Stockmann, U., Adams, M. A., Crawford, J. W., Field, D. J., Henakaarchchi, N., Jenkins, M., ... Zimmermann, M. (2013, January 1). The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.10.001>
- Suquilanda, M. *Producción Orgánica de cultivos andinos (Manual Técnico)*. FAO, Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca.
- TEEB (2018). "TEEB for Agriculture & Food: Scientific and Economic Foundations". Geneva: UN Environment.
- Torres-Martínez, F., Rivadeneira-Miranda, C., Castillo-Marín, A. (2020) Producción y comercialización de arveja en el departamento de Nariño-Colombia. Volumen 31(1):129-140. Enero-abril, 2020. e-ISSN 2215-3608, doi:10.15517/am.v31i1.36776.
- Udmale, P., Pal, I., Szabo, S., Pramanik, M., & Large, A. (2020). Global food security in the context of COVID-19: A scenario-based exploratory analysis. *Progress in Disaster Science*, 7, 100120.
- Uğur, N. G., & Akbıyık, A. (2020). Impacts of COVID-19 on global tourism industry: A cross-regional comparison. *Tourism Management Perspectives*, 36, 100744.
- Unidad para las Víctimas. (2019). *Índice de Riesgo de Victimización 2019*. Bogotá: Unidad para las Víctimas.
- Unidad para las Víctimas. (2018). *Índice de Riesgo de Victimización 2016-2018*. Bogotá: Unidad para las Víctimas.
- UPRA. (2018). *Metodología para la identificación general de la frontera agrícola en Colombia*. Bogotá D.C. Colombia: Unidad de Planificación Rural Agropecuaria.
- Webster, C.J. (1998). Simulation of land development through the integration of cellular automata and multicriteria evaluation. *Environ Plan B* 25:103–126.
- Willett, W., Rockström, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S. et al. (2019) *Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems*. The Lancet Commissions, Volume 393, Issue 10170, pp. 447-492. February 02, 2019. DOI:[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31788](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788)
- Wojcieszak-Zbierska, M.M.; Jęczynek, A.; Zawadka, J.; Uglis, J. Agritourism in the Era of the Coronavirus (COVID-19): A Rapid Assessment from Poland. *Agriculture* 2020, 10, 397.

- Yepes, A. P., Navarrete, D. A., Duque, A. J., Phillips, J. F., Cabrera, K. R., Álvarez, E., ... & Ordoñez, M. F. (2011). Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa-carbono en Colombia. IDEAM. Bogotá, Colombia.

Glosario

Atributos (de la Red de Implicaciones): son los nodos que componen la red, por lo que son las implicaciones que surgen de la implementación de las políticas públicas y conllevan a la incidencia de política. Por ejemplo: el atributo de *“Diversidad de intereses sobre el territorio”* implica el atributo de *“Conflictos socio-ecológicos en el territorio”*, si se cumplen ciertos condicionantes. En la Red de Implicaciones, los atributos están en color negro y de ellos salen o parten las relaciones del modelo.

Condicionantes (de la Red de Implicaciones): son las características que se deben cumplir para que una implicación ocurra, en otras palabras, son las condiciones habilitantes para que una relación causal se cumpla. Por ejemplo, el atributo de *“Diversidad de intereses sobre el territorio”* implica el atributo de *“Conflictos socio-ecológicos en el territorio”*, si se cumple el condicionante de *“Conflictos de uso”* y el condicionante de *“Conflicto de intencionalidad”*. Otra manera de leer esta relación es: si no hay *“Conflictos de uso”* ni *“Conflicto de intencionalidad”*, la *“Diversidad de intereses sobre el territorio”* no implica *“Conflictos socio-ecológicos en el territorio”*. Dado que los condicionantes son las características que habilitan una relación, las recomendaciones de política se enfocarán en mejorar los condicionantes, de manera tal que se mejoren los atributos. En otras palabras, los condicionantes son las palancas cuyo movimiento aumenta la incidencia de política. En la Red de Implicaciones, los condicionantes están en color café y siempre se encuentran entre dos atributos.

Modelo de paisaje: a lo largo del texto se hace referencia varias veces al Modelo de paisaje. Este modelo es el mismo Modelo dinámico que relaciona los servicios ecosistémicos y el bienestar en una unidad de paisaje. En el texto se habla indistintamente entre Modelo dinámico o Modelo de paisaje.

Modelo de línea base: es la misma Red de Implicaciones. A lo largo del texto se habla indistintamente entre Modelo de línea base o Red de Implicaciones.

Prioridades de gestión: son los atributos que se obtienen como los más relevantes para mejorar la incidencia de política en una unidad de paisaje. Luego del diagnóstico realizado con la simulación de la Red de Implicaciones, se identificaron los atributos con mayor potencial de ser intervenidos, es decir, los atributos que se encuentran más lejos de su nivel ideal, para cada unidad de paisaje. Entre más lejos estén los atributos de su nivel ideal, más relevantes son. Para construir las tipologías de gestión, se seleccionaron las primeras 5 prioridades de gestión, en otras palabras, los 5 atributos con mayor necesidad de intervención.

Tipologías de gestión: es el conjunto de las 5 prioridades de gestión para una unidad de paisaje. Lo que diferencia a dos tipologías de gestión es que tienen por lo menos una prioridad de gestión diferente, por lo que pueden llegar a compartir hasta 4 prioridades de gestión. Dado que distintas unidades de paisaje pueden tener las mismas 5 prioridades de gestión, una tipología de gestión puede agrupar una o más unidades de paisaje.

Unidad de paisaje: es una unidad espacial dentro de la cual sus relaciones biofísicas (clima, fisiografía y coberturas) y socioeconómicas (tamaño del productor y tecnificación) son homogéneas, por lo que se puede analizar como un todo. Debido a su conformación, la unidad de paisaje es la unidad de análisis de los modelos implementados.

Anexos

Anexo 1. Unidades de paisaje priorizadas

Las unidades de paisaje priorizadas se presentan en la siguiente tabla de manera tal que la primera columna contiene un ID de identificación de cada unidad de paisaje, seguido de la descripción de la unidad en la segunda columna. La tercera columna contiene el tipo de arreglo de uso, de acuerdo a si sus coberturas son de usos agropecuarios o coberturas naturales; la cuarta columna se presenta un ID del tipo de paisaje, con el objetivo de agrupar los tipos de paisaje que se presentan en diferentes partes del área de estudio, finalizando con la respectiva área de la unidad de paisaje en la última columna.

Tabla 21: Unidades de paisaje priorizadas

ID	Unidad de Paisaje Priorizada	Tipo Arreglo	ID Tipo de Paisaje	Área Paisaje
1	Arreglo de Bosques en Cañones, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas y Pendientes escarpadas o Misceláneo Rocoso, en clima Frio Superhúmedo	N	5	1,74
2	Arreglo de Bosques en Filas y vigas, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas y Pendientes escarpadas o Misceláneo Rocoso, en clima Frio Húmedo	N	9	2,18
3	Arreglo de Bosques en Lomas y colinas, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas, en clima Frio Superhúmedo	N	18	0,70
4	Arreglo de Bosques, Herbazales, Pastos y Vegetación Secundaria en Cañones, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas y Pendientes escarpadas o Misceláneo Rocoso, en clima Frio Húmedo, Tecnificado Mayor que UAF	A-N	21	395,05
5	Arreglo de Bosques, Pastos y Vegetación Secundaria en Filas y vigas, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas y Pendientes escarpadas o Misceláneo Rocoso, en clima Frio Húmedo, Tecnificado	A-N	167	143,05
6	Arreglo de Bosques, Pastos y Vegetación Secundaria en Filas y vigas, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas y Pendientes escarpadas o Misceláneo Rocoso, en clima Frio Superhúmedo, Tecnificado	A-N	173	510,04
7	Arreglo de Bosques, Pastos y Vegetación Secundaria en Lomas y colinas, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas, en clima Muy frio Superhúmedo, Tecnificado Mayor que UAF	A-N	186	775,08
8	Arreglo de Bosques y Vegetación Secundaria en Campos de lava, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas, en clima Frio Superhúmedo	N	187	18,19
9	Arreglo de Bosques y Vegetación Secundaria en Campos de lava, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas, en clima Frio Superhúmedo	N	188	4,47
10	Arreglo de Bosques y Vegetación Secundaria en Cañones, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas y Pendientes escarpadas o Misceláneo Rocoso, en clima Frio Superhúmedo	N	192	11,47

ID	Unidad de Paisaje Priorizada	Tipo Arreglo	ID Tipo de Paisaje	Área Paisaje
11	Arreglo de Bosques y Vegetación Secundaria en Cañones, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas y Pendientes escarpadas o Misceláneo Rocoso, en clima Frio Superhúmedo	N	193	8,75
12	Arreglo de Bosques en Filas y vigas, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas y Pendientes escarpadas o Misceláneo Rocoso, en clima Frio Húmedo	N	7	15,93
13	Arreglo de Bosques en Filas y vigas, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas y Pendientes escarpadas o Misceláneo Rocoso, en clima Frio Húmedo	N	8	2,14
14	Arreglo de Bosques, Herbazales, Pastos y Vegetación Secundaria en Cañones, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas y Pendientes escarpadas o Misceláneo Rocoso, en clima Muy frio Superhúmedo, Tecnificado Mayor que UAF	A-N	22	251,70
15	Arreglo de Bosques, Herbazales, Pastos y Vegetación Secundaria en Lomas y colinas, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas, en clima Frio Húmedo, Tecnificado Mayor que UAF	A-N	24	86,04
16	Arreglo de Bosques, Herbazales, Pastos y Vegetación Secundaria en Lomas y colinas, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas, en clima Muy frio Superhúmedo, Tecnificado Mayor que UAF	A-N	25	241,75
17	Arreglo de Bosques y Pastos en Lomas y colinas, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas, en clima Frio Húmedo, No tecnificado Mayor que UAF	A-N	52	66,79
18	Arreglo de Bosques y Pastos en Lomas y colinas, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas, en clima Frio Superhúmedo, No tecnificado Mayor que UAF	A-N	58	61,31
19	Arreglo de Bosques, Pastos y Cultivos en Filas y vigas, con suelo de Condiciones oxidantes y evolución moderada o incipiente, en clima Frio Húmedo, Tecnificado Mayor que UAF	A-N	69	118,56
20	Arreglo de Bosques, Pastos, Cultivos en Filas y vigas, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas y Pendientes escarpadas o Misceláneo Rocoso, en clima Frio Húmedo, No tecnificado Mayor que UAF	A-N	72	182,66
21	Arreglo de Bosques, Pastos, Cultivos en Lomas y colinas, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas, en clima Frio Húmedo, No tecnificado Mayor que UAF	A-N	82	119,40

ID	Unidad de Paisaje Priorizada	Tipo Arreglo	ID Tipo de Paisaje	Área Paisaje
22	Arreglo de Bosques, Pastos, Cultivos en Lomas y colinas, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas, en clima Frio Húmedo, No tecnificado Menor que UAF	A-N	83	63,01
23	Arreglo de Bosques, Pastos, Cultivos y Herbazales en Cañones, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas y Pendientes escarpadas o Misceláneo Rocoso, en clima Frio Húmedo, No tecnificado Mayor que UAF	A-N	93	102,70
24	Arreglo de Bosques, Pastos, Cultivos y Vegetación Secundaria en Depresiones, con suelo de Condiciones acuicas (mal drenaje) y Materiales orgánicos, en clima Frio Húmedo, Tecnificado	A-N	112	78,26
25	Arreglo de Bosques, Pastos, Cultivos y Vegetación Secundaria en Filas y vigas, con suelo de Condiciones oxidantes y evolución moderada o incipiente, en clima Frio Húmedo, Tecnificado	A-N	116	1035,19
26	Arreglo de Bosques, Pastos, Cultivos y Vegetación Secundaria en Filas y vigas, con suelo de Condiciones oxidantes y evolución moderada o incipiente, en clima Frio Húmedo, Tecnificado	A-N	116	91,66
27	Arreglo de Bosques, Pastos, Cultivos y Vegetación Secundaria en Filas y vigas, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas y Pendientes escarpadas o Misceláneo Rocoso, en clima Frio Húmedo, No tecnificado Mayor que UAF	A-N	121	72,46
28	Arreglo de Bosques, Pastos, Cultivos y Vegetación Secundaria en Filas y vigas, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas y Pendientes escarpadas o Misceláneo Rocoso, en clima Frio Húmedo, Tecnificado	A-N	123	1718,65
29	Arreglo de Bosques, Pastos, Cultivos y Vegetación Secundaria en Filas y vigas, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas y Pendientes escarpadas o Misceláneo Rocoso, en clima Frio Húmedo, Tecnificado	A-N	123	595,95
30	Arreglo de Bosques, Pastos, Cultivos y Vegetación Secundaria en Filas y vigas, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas y Pendientes escarpadas o Misceláneo Rocoso, en clima Frio Superhúmedo, Tecnificado	A-N	127	386,71

ID	Unidad de Paisaje Priorizada	Tipo Arreglo	ID Tipo de Paisaje	Área Paisaje
31	Arreglo de Bosques, Pastos, Cultivos y Vegetación Secundaria en Filas y vigas, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas y Pendientes escarpadas o Misceláneo Rocoso, en clima Frio Superhúmedo, Tecnificado	A-N	127	381,51
32	Arreglo de Bosques, Pastos, Cultivos y Vegetación Secundaria en Lomas y colinas, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas, en clima Frio Húmedo, No tecnificado Mayor que UAF	A-N	133	58,23
33	Arreglo de Bosques, Pastos, Cultivos y Vegetación Secundaria en Lomas y colinas, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas, en clima Frio Superhúmedo, No tecnificado Mayor que UAF	A-N	139	71,43
34	Arreglo de Bosques, Pastos, Vegetación Secundaria en Cañones, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas y Pendientes escarpadas o Misceláneo Rocoso, en clima Frio Superhúmedo, No tecnificado Mayor que UAF	A-N	156	83,01
35	Arreglo de Bosques, Pastos, Vegetación Secundaria en Filas y vigas, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas y Pendientes escarpadas o Misceláneo Rocoso, en clima Frio Húmedo, No tecnificado Mayor que UAF	A-N	165	54,48
36	Arreglo de Bosques, Pastos, Vegetación Secundaria en Filas y vigas, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas y Pendientes escarpadas o Misceláneo Rocoso, en clima Frio Húmedo, No tecnificado Mayor que UAF	A-N	165	137,63
37	Arreglo de Bosques, Pastos, Vegetación Secundaria en Lomas y colinas, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas, en clima Frio Húmedo, No tecnificado Mayor que UAF	A-N	177	77,95
38	Arreglo de Bosques, Pastos, Vegetación Secundaria en Lomas y colinas, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas, en clima Frio Húmedo, No tecnificado Mayor que UAF	A-N	177	300,03
39	Arreglo de Bosques, Pastos, Vegetación Secundaria en Lomas y colinas, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas, en clima Frio Húmedo, No tecnificado Mayor que UAF	A-N	177	228,91

ID	Unidad de Paisaje Priorizada	Tipo Arreglo	ID Tipo de Paisaje	Área Paisaje
40	Arreglo de Bosques, Pastos, Vegetación Secundaria en Lomas y colinas, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas, en clima Frio Húmedo, No tecnificado Mayor que UAF	A-N	177	88,83
41	Arreglo de Bosques, Pastos, Vegetación Secundaria en Lomas y colinas, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas, en clima Frio Húmedo, No tecnificado Mayor que UAF	A-N	177	105,68
42	Arreglo de Bosques, Pastos, Vegetación Secundaria en Lomas y colinas, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas, en clima Frio Húmedo, No tecnificado Menor que UAF	A-N	178	57,00
43	Arreglo de Bosques, Pastos, Vegetación Secundaria en Lomas y colinas, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas, en clima Frio Húmedo, Tecnificado Mayor que UAF	A-N	179	294,22
44	Arreglo de Bosques, Pastos, Vegetación Secundaria en Lomas y colinas, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas, en clima Frio Húmedo, Tecnificado Mayor que UAF	A-N	179	209,96
45	Arreglo de Bosques y Vegetación Secundaria en Cañones, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas y Pendientes escarpadas o Misceláneo Rocoso, en clima Frio Húmedo	N	191	24,44
46	Arreglo de Bosques y Vegetación Secundaria en Cañones, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas y Pendientes escarpadas o Misceláneo Rocoso, en clima Frio Superhúmedo	N	194	8,66
47	Arreglo de Bosques y Vegetación Secundaria en Cañones, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas y Pendientes escarpadas o Misceláneo Rocoso, en clima Frio Superhúmedo	N	194	2,03
48	Arreglo de Bosques y Vegetación Secundaria en Filas y vigas, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas y Pendientes escarpadas o Misceláneo Rocoso, en clima Frio Húmedo	N	200	2,02
49	Arreglo de Bosques y Vegetación Secundaria en Filas y vigas, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas y Pendientes escarpadas o Misceláneo Rocoso, en clima Frio Húmedo	N	200	8,37
50	Arreglo de Bosques y Vegetación Secundaria en Lomas y colinas, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas, en clima Frio Húmedo	N	207	15,95

ID	Unidad de Paisaje Priorizada	Tipo Arreglo	ID Tipo de Paisaje	Área Paisaje
51	Arreglo de Bosques y Vegetación Secundaria en Lomas y colinas, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas, en clima Frio Húmedo	N	208	15,49
52	Arreglo de Bosques y Vegetación Secundaria en Lomas y colinas, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas, en clima Frio Húmedo	N	208	6,47
53	Arreglo de Bosques y Vegetación Secundaria en Lomas y colinas, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas, en clima Frio Húmedo	N	208	9,97
54	Arreglo de Pastos y Cultivos en Depresiones, con suelo de Condiciones acuicas (mal drenaje) y Materiales orgánicos, en clima Frio Húmedo, Tecnificado	A	240	1147,05
55	Arreglo de Pastos y Cultivos en Filas y vigas, con suelo de Condiciones oxidantes y evolución moderada o incipiente, en clima Frio Húmedo, No tecnificado Menor que UAF	A	246	186,33
56	Arreglo de Pastos y Cultivos en Filas y vigas, con suelo de Condiciones oxidantes y evolución moderada o incipiente, en clima Frio Húmedo, Tecnificado Mayor que UAF	A	249	67,58
57	Arreglo de Pastos y Cultivos en Filas y vigas, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas y Pendientes escarpadas o Misceláneo Rocoso, en clima Frio Húmedo, No tecnificado Menor que UAF	A	252	52,47
58	Arreglo de Pastos y Cultivos en Lomas y colinas, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas, en clima Frio Húmedo, No tecnificado Menor que UAF	A	258	74,00
59	Arreglo de Pastos, Cultivos y Cuerpos de Agua en Filas y vigas, con suelo de Condiciones oxidantes y evolución moderada o incipiente, en clima Frio Húmedo, Tecnificado Mayor que UAF	A	267	136,98
60	Arreglo de Pastos y Vegetación Secundaria en Lomas y colinas, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas, en clima Frio Húmedo, No tecnificado Menor que UAF	A-N	297	58,35
61	Arreglo de Vegetación Secundaria en Filas y vigas, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas y Pendientes escarpadas o Misceláneo Rocoso, en clima Frio Húmedo	N	305	1,75

ID	Unidad de Paisaje Priorizada	Tipo Arreglo	ID Tipo de Paisaje	Área Paisaje
62	Arreglo de Vegetación Secundaria en Lomas y colinas, con suelo de Materiales de cenizas volcánicas, en clima Frio Húmedo	N	306	2,12

Tipo de Arreglo de uso: N: Natural, A: Agropecuario. Fuente: elaboración propia.

Anexo 2. Atributos y Condicionantes del modelo de Red de Implicaciones

Tabla 22: Atributos del sistema socioecológico de la Red de Implicaciones.

No	Atributos del sistema socioecológico
1	Diversidad de intereses sobre el territorio DIST
2	Conflictos socioecológicos en el territorio CST
3	Paisajes vulnerados PV
4	Implementación de los instrumentos de gestión de la intervención en la propiedad y estructura predial IIG
5	Herramientas de fortalecimiento de capacidades para la implementación de la planificación del territorio HFCIPT
6	Eficacia de los instrumentos económicos en el cambio del uso del suelo que cumpla con la funcionalidad socioecosistémica del territorio EIE
7	Funcionalidad socioecosistémica del territorio FSET
8	Coordinación entre los actores para la implementación CAI
9	Legitimidad y credibilidad de las instituciones LCI
10	Apropiación social y cumplimiento de la política pública por parte de los actores del territorio ASCPPAT
11	Demanda de infraestructura de servicios IS
12	Fortalecimiento de las cadenas productivas FCP
13	Productividad del territorio PT
14	Cumplimiento de los pactos CP
15	Generación de pactos sociales por el territorio PST
16	Bienestar del territorio BT

Fuente: elaboración propia.

Tabla 23: Condicionantes utilizadas para el análisis de Redes de Implicaciones.

No	Condicionante	Sigla	N o	Condicionante	Sigla
1	Intencionalidades de uso	C_IU	28	Confianza de la sociedad hacia las instituciones	C_CSHI
2	Conflictos de uso	C_CU	29	Confianza entre los actores gubernamentales	C_CAG
3	Sensibilidad por distintas intencionalidades	C_SDI	30	Fuentes de financiamiento de los instrumentos económicos	C_FFIE
4	Ecosistemas vulnerables	C_EV	31	Conocimiento de los instrumentos económicos	C_CIE
5	Aumento de las inundaciones	C_AI	32	Acceso a los instrumentos	C_AIE
6	Desabastecimiento hídrico	C_DH	33	Articulación de los incentivos económicos ambientales y agropecuarios	C_AIEAA

7	Riesgo de victimización	C_RV	34	Duración de los instrumentos es suficiente para generar el cambio del uso del suelo	C_DICUS
8	Nivel de afectación del paisaje	C_NAP	35	Duración de los instrumentos es suficiente para fortalecer las cadenas de valor	C_DICV
9	Tecnología alineada con la funcionalidad socioecosistémica	C_T	36	Comunidades fortalecidas	C_CF
10	Asistencia técnica alienada con la funcionalidad socioecosistémica	C_ATFSE	37	Cadenas de valor alineadas con la funcionalidad socioecosistémica	C_CVAF E
11	Financiación alienada con la funcionalidad socioecosistémica	C_F	38	Comunidades fortalecidas	C_CF
12	Construcciones para el desarrollo de la actividad agropecuaria alineadas con la funcionalidad socio-ecosistémica	C_CDAA	39	Percepción de beneficios recibidos por los actores del territorio	C_BRAT
13	Balance entre oferta y demanda de servicios públicos	C_BODS P	40	Percepción que hay otros miembros de la comunidad que reciben beneficios	C_PCRB
14	Oferta de servicios ecosistémicos	C_OSE	41	Los beneficios económicos de no cumplir con los requisitos de los instrumentos económicos son menores a los perjuicios	C_BEIE
15	Heterogeneidad de los paisajes	C_HP	42	Percepción de la capacidad institucional para hacer cumplir la política	C_PCI
16	Balance entre oferta y demanda de servicios públicos	C_BODS P	43	Existencia de alternativas a las limitaciones de uso o aprovechamiento derivadas de la política	C_EAUA
17	Empleo formal	C_EF	44	Instancias de concertación	C_ICN
18	Balance entre oferta y demanda de servicios ecosistémicos	C_BODS E	45	Incorporación de sistemas locales de uso del territorio en el ordenamiento territorial a partir de los conocimientos, prácticas e innovaciones tradicionales	C_ISLC
19	Disponibilidad de los servicios ecosistémicos	C_DSE	46	Presupuesto asignado a los actores	C_PAA
20	Integridad y cumplimiento de los determinantes ambientales	C_ICDA	47	Reglas claras y conocidas por los actores en el momento de hacer los pactos	C_RCC
21	Uso adecuado del suelo (excluyendo determinantes ambientales)	C_UAS	48	Confianza entre los actores de la sociedad	C_CAS
22	Redes de intercambio	C_RI	49	Capacidad técnica para cumplir los pactos	C_CTCP
23	Presupuesto para el fortalecimiento de capacidades	C_PFC	50	Apropiación de los recursos financieros para cumplir los pactos	C_ARFC P

24	Capacidad técnica para el fortalecimiento	C_CTF	51	Disponibilidad de tiempo para cumplir los pactos	C_DTCP
25	Catastro multipropósito	C_CM	52	Apropiación de la tecnología	C_AT
26	Afinidad política entre actores para la aprobación de presupuesto	C_APA	53	Inversión distribuida de recursos en cada uno de los eslabones	C_IDRE
27	Instancias de coordinación	C_IC	54	Debida destinación de los recursos	C_DDR

Fuente: elaboración propia.

En este anexo se detallan los condicionantes que conforman la Red de Implicaciones para analizar la incidencia que tiene la implementación de la política de ordenamiento territorial en el cambio del uso del suelo en el Valle de Sibundoy, Putumayo. Se describen las fuentes de información que se utilizaron, cómo se calculó cada uno, a qué escala fue calculado, la temporalidad y el rango.

- **Acceso a los instrumentos económicos (C_AIE)**

Definición: El condicionante se refiere al cumplimiento de los requisitos para acceder a los instrumentos económicos por parte de los aplicantes.

Fuente: Encuestas realizadas en campo y respondidas por los habitantes de cada paisaje.

Cálculo: Para conocer el acceso, primero se deben identificar qué instrumentos económicos se plantean analizar. En este estudio se tomaron 6 categorías de instrumentos: 1) Subsidios/exenciones, 2) Compensaciones, 3) Certificados (p.e. incentivo forestal), 4) PSA, 5) Cuotas/vedas, 6) Impuestos/multas/tasas. Esta clasificación sigue la propuesta de GIZ. Dado que algunos de estos instrumentos no requieren ser solicitados (característica que media el acceso), sólo se tomaron aquellos que están condicionados a una solicitud y a cumplir ciertos requisitos. Estas condiciones se cumplen para: 1) Subsidios/exenciones, 2) Certificados (p.e. incentivo forestal), 3) PSA. El acceso se define como 1 si ha tenido acceso a al menos uno de estos incentivos. En caso contrario, se asigna 0.

Temporalidad: 2020.

Escala: Paisaje.

Rango del dato: [Sí, No].

Valor mínimo: 0=No.

Valor máximo: 1=Sí.

- **Afinidad política entre actores para la aprobación de presupuesto (C_APA)**

Definición: Describe si la tendencia política de los actores a cargo de la implementación del ordenamiento territorial coincide o no entre ellos, de manera que pueda contribuir a una mayor cantidad de acuerdos.

Fuente: Producto 4 del apoyo local para el componente de política y normativa denominado *Documento de Análisis del Escenario Político en los municipios de San Francisco, Sibundoy, Colón y Santiago en el Valle de Sibundoy, la Gobernación del Putumayo y Dirección de Corpoamazonia, y sus prioridades de Ordenamiento Territorial en sus planes de gobierno.*

Cálculo: Teniendo en cuenta que los actores institucionales tomadores de decisiones en la formulación y aprobación de los presupuestos locales y regionales son los concejos municipales y asamblea departamental, a partir de la propuesta del alcalde y gobernador respectivo, se identificó la configuración del escenario político resultado de las elecciones locales y regionales para el periodo constitucional para cada municipio y el departamento de Putumayo. Este escenario lo determinan los partidos políticos a los que pertenecen los mandatarios ganadores de las elecciones en esas instancias. Se tienen en cuenta coaliciones o uniones entre partidos, cuando no hay un solo partido político ganador.

Temporalidad: Periodo constitucional 2020-2023

Escala: Municipal y departamental

Rango del dato: [Nula, baja, media, alta].

Valor mínimo: Nula.

Valor máximo: Alta

- **Apropiación de la tecnología (C_AT)**

Definición: El condicionante se refiere a que los actores involucrados en los acuerdos apropian la tecnología necesaria para cumplirlos.

Fuente: Encuestas realizadas en campo y respondidas por los habitantes de cada paisaje.

Cálculo: Dado que por construcción los pactos que se consoliden en el territorio deben estar enmarcados en la funcionalidad socio-ecosistémica del paisaje, la tecnología apropiada es aquella que está alineada con la funcionalidad socio-ecosistémica. En consecuencia, se emplea la misma

información recopilada para la variable Tecnología alineada con la funcionalidad socio-ecosistémica.

Temporalidad: 2020.

Escala: Paisaje.

Rango del dato: [0,1]

Valor mínimo: 0.

Valor máximo: 1.

- **Apropiación de los recursos financieros para cumplir los pactos (C_ARFCP)**

Definición: El condicionante se refiere a que más del 50% de los recursos han sido apropiados.

Fuente: Alcaldías.

Cálculo: Se revisaron los pactos realizados en el territorio y las fuentes de financiación correspondientes.

Temporalidad: 2020.

Escala: La articulación se revisó para cada uno de los 4 municipios. Posteriormente, se asignó el valor a cada paisaje según el municipio al que pertenecía.

Rango del dato: [0,1]

Valor mínimo: 0.

Valor máximo: 1.

- **Articulación de los incentivos económicos ambientales y agropecuarios (C_AINAA)**

Definición: El condicionante se refiere a que los instrumentos económicos ambientales busquen metas similares a los instrumentos agropecuarios.

Fuente:

Cálculo: Para evaluar la alineación de los instrumentos económicos, primero se identificaron los instrumentos a analizar para temas ambientales y para temas agropecuarios. En este estudio se tomaron 6 categorías de instrumentos: 1) Subsidios/exenciones, 2) Compensaciones, 3) Certificados (p.e. incentivo forestal), 4) PSA, 5) Cuotas/vedas, 6) Impuestos/multas/tasas. Para cada una de estas categorías, se revisó en los instrumentos ambientales y agropecuarios buscaban el mismo objetivo. Dado que son 6 categorías de instrumentos, el número de instrumentos alineados por municipio se dividió en 6, de manera tal que el valor final se encuentra entre 0 y 1.

Temporalidad: 2020.

Escala: La articulación se revisó para cada uno de los 4 municipios. Posteriormente, se asignó el valor a cada paisaje según el municipio al que pertenecía.

Rango del dato: [0,1]

Valor mínimo: 0.

Valor máximo: 1.

- **Asistencia técnica alineada con la funcionalidad socio-ecosistémica (C_ATFSE)**

Definición: El condicionante se refiere a que el predio ha tenido asistencia técnica y le fue útil.

Fuente: Censo Nacional Agropecuario (DANE, 2014)

Cálculo: En el cuestionario del CNA en el Módulo XI.B se cuestiona sobre la asistencia técnica recibida en 10 actividades diferentes. Así mismo, se pregunta si la asistencia fue útil o no. De esta manera, se identifica para cada paisaje el número de asistencias que recibió y que efectivamente le fueron útiles. Este número se dividió en 10, dado el número de temas en los que podía llegar a recibir asistencia un paisaje. Así, la asistencia queda normalizada entre 0 y 1.

Temporalidad: 2014.

Escala: Paisaje.

Rango del dato: [0,1]

Valor mínimo: 0.

Valor máximo: 1.

- **Aumento en la susceptibilidad de inundación (C_AI).**

Definición: Aumento de las áreas susceptibles a inundaciones por pérdida de coberturas Naturales.

Fuente: Elaboración propia a partir del: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Putumayo (IGAC, 2014). Coberturas de la tierra de la Amazonia colombiana para el año 2018. Escala 1:100.000. Versión 1.0 (Sinchí, 2018), Levantamiento de suelos, capacidad de uso de las tierras y cobertura terrestre escala 1:25.000 del área plana del Distrito de Drenaje del Valle de Sibundoy ubicado en el departamento del Putumayo". Rondas hídricas y pendientes Versión 1 de la Amazonia colombiana para el año 2014. Escala 1:100.000. Versión 1.0. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Alta-Alta del Río Putumayo (Corpoamazonia, 2011).

Cálculo: Zonas con tipo de relieve de depresión, con susceptibilidad de inundación según POMCA (presencia de procesos erosivos en la parte alta, acelerados por la alta intervención antrópica (deforestación y ampliación de la frontera agrícola), presencia de fallas geológicas, largos periodos de lluvia y suelos altamente permeables.), con áreas de ronda hídrica con coberturas no naturales. Se calcula la proporción de área que ha aumentado la susceptibilidad respecto al área del paisaje.

Temporalidad: 2018

Escala: Paisaje

Rango del dato: [0,1]

Valor mínimo: 0.

Valor máximo: 1.

- **Balance entre oferta y demanda de servicios ecosistémicos (C_BODSE).**

Definición: El condicionante se refiere a que la oferta de servicios ecosistémicos cubre la demanda efectiva de servicios de cada paisaje. Se centra en 2 servicios: provisión de alimentos y provisión de agua.

Fuente: portafolio de oportunidades priorizadas de restauración ecológica para la amazonía colombiana (IAvH, 2020). Coberturas de la tierra de la Amazonia colombiana para el año 2018. Escala 1:100.000. Versión 1.0 (Sinchí, 2018)

Cálculo: Para calcular el balance se calculó la oferta y la demanda de alimentos, y la oferta y la demanda de agua.

Por su parte, la oferta de agua se tomó a partir del balance hídrico generado en la modelación del servicio ecosistémico de oferta hídrica generada en el portafolio de oportunidades priorizadas de restauración ecológica para la amazonía colombiana (IAvH, 2020), y las coberturas de la tierra, para normalizar de 0 a 1 los posibles valores de la oferta hídrica, según el área cubierta por coberturas naturales o antrópicas; de igual forma la demanda se tomó a partir de valores normalizados según las coberturas de la tierra y su proporción de áreas dentro de cada paisaje.

En cuanto a la oferta de alimentos, se tomó la información de las coberturas de áreas de cultivos y pastizales respecto al área total de cada paisaje, como áreas potenciales productoras de alimentos. La demanda se relaciona directamente con coberturas antrópicas y con los resultados de la encuesta aplicada en campo, relacionando la ocupación humana de los paisajes.

Temporalidad: 2019

Escala: Paisaje

Rango del dato: [0,1]

Valor mínimo: 0.

Valor máximo: 1.

- **Balance entre oferta y demanda de servicios públicos (C_BODSP)**

Definición: El condicionante se refiere a que la oferta de servicios públicos cubre la demanda de servicios.

Fuente: Para vías, salud y cobertura en educación: Planes de desarrollo 2016-2019 de las alcaldías de Sibundoy, Colón, San Francisco y Santiago, de Putumayo. Para calidad en educación: Ministerio de Educación Nacional de Colombia. Para electricidad, acueducto y gas: Encuestas realizadas en campo y respondidas por los habitantes de cada paisaje.

Cálculo: Para medir el balance entre oferta y demanda de servicios públicos se asumió que en cada paisaje había una demanda de buena calidad para los siguientes servicios: 1) educación, 2) interconexión eléctrica, 3) acueducto, 4) gas, 5) servicios de salud y 6) Vías.

Para educación se evaluó la cobertura y la calidad de las instituciones educativas presentes en cada municipio para educación básica-primaria, básica-secundaria y media. Para la cobertura se promedió la tasa de cobertura neta de preescolar, primaria, secundaria y media para cada municipio, lo cual dio un índice de 0 a 100 que luego se normalizó de 0 a 1. Para calcular la calidad educativa por municipio se promedió el Índice Sintético de Calidad Educativa (ISCE) de las

instituciones educativas presentes en cada municipio. Este índice se encuentra en una escala entre 0 y 10, por lo que luego de promediar se normalizó de 0 a 1.

Para interconexión eléctrica, acueducto y gas, se asignó 1 si tenía conexión del servicio y 0 si no. Para salud, se obtuvo la cobertura de los servicios de salud de cada municipio, la cual se encuentra entre 0 y 100 y se normalizó de 0 a 1. Para vías, se obtuvo el número de kilómetros de vías para cada municipio junto con el estado (malo, regular y bueno) de cada tramo de vía. De esta manera fue posible realizar un promedio ponderado del estado de las vías por municipio teniendo en cuenta el número de kilómetros para cada estado, asignándole una ponderación a cada uno (malo=0.2, regular=0.5, bueno=1). Este promedio ponderado se encuentra entre 0 y 1.

Luego de calcular el balance de cada servicio público, se hizo un promedio simple de los servicios con lo cual se obtuvo el balance total, el cual se encuentra entre 0 y 1.

Temporalidad: Para vías, salud y cobertura en educación: 2015. Para calidad en educación: 2018. Para electricidad, acueducto y gas: 2020.

Escala: El balance de los servicios de educación, salud y vías se calcularon para cada uno de los 4 municipios. Posteriormente, se asignó el valor a cada paisaje según el municipio al que pertenecía. Para el balance de los servicios de electricidad, gas y acueducto se obtuvo información de cada paisaje.

Rango del dato: [0,1]

Valor mínimo: 0.

Valor máximo: 1.

- **Cadenas de valor alineadas con la funcionalidad socioecosistémica (C_CVAFE)**

Definición: El condicionante hace referencia a que los productos o servicios, y sus cadenas de valor correspondientes, estén alineadas con la funcionalidad socio-ecosistémica del territorio.

Fuente: (1) Para aptitud del suelo: . (2) Para nivel de erosión: . (3) Para rotación y asociatividad de cultivos: encuestas realizadas en campo y respondidas por los habitantes de cada paisaje. (4) Para ganadería y agricultura en zonas de conservación: encuestas realizadas en campo y respondidas por los habitantes de cada paisaje, y . (5) Para presencia de ganadería en áreas con amenazas: encuestas realizadas en campo y respondidas por los habitantes de cada paisaje y .

Cálculo: Para realizar este ejercicio se construyeron 5 índices distintos que dan cuenta del nivel que las cadenas están alineadas o no con la funcionalidad, los cuales incluyen aptitud del suelo (índice

1), nivel de erosión (índice 2), rotación y asociatividad de cultivos (índice 3), ganadería y agricultura en zonas de conservación (índice 4) y presencia de ganadería en áreas con amenazas (índice 5).

En particular, para el índice 1 se identificaron los cultivos en cada paisaje. Posteriormente, se comparó con la aptitud del suelo, y se generó un valor de 0 a 1 dependiendo si el cultivo estaba acorde con la aptitud del suelo

Para el índice 2, se calculó la erosión del suelo, entre leve, moderada y severa, y el porcentaje del área de cada paisaje para cada nivel de erosión. Teniendo como valor inicial 1, se iba descontando dependiendo del porcentaje y nivel de erosión (con un ponderación de: leve=0.2, moderada=0.5, severa=1): si el porcentaje era 50% del paisaje con erosión leve y 20% con erosión severa, entonces el índice sería: $1 - (0.5 * 0.2) - (0.2 * 1) = 0.7$.

Para el índice 3, se tomó la información sobre rotación y asociatividad de cultivos en cada paisaje. Si tenían alguna de las dos prácticas se asignaba un valor de 1, en caso contrario, se asignaba un valor de 0.

Para el índice 4, se tomó la información sobre la presencia de actividades de ganadería y/o de agricultura en zonas de conservación. En caso de no estar en zonas de conservación se asigna 1. En caso de estar en zonas de conservación, y no tener ni ganadería ni agricultura, se asigna 1. En caso de estar en zonas de conservación y tener ganadería y/o agricultura se asigna 0.

Para el índice 5, se tomó la información sobre los paisajes que tienen ganadería y se cruzó con la información de Áreas con amenaza de deforestación, sobrepastoreo y ampliación de frontera agrícola, y con Áreas con amenaza de inundación y nivel freático alto. En caso de existir ganadería en estas zonas se asigna un valor de 0, en caso de que no haya ganadería se asigna un valor de 1.

Teniendo los 5 índices se construye un índice global en donde se agrupan asignándoles una ponderación. En particular, se tiene que índice global= (índice 1*0.1)+(índice 2*0.2)+(índice 3*0.1)+(índice 4*0.3)+(índice 5*0.3). Dado que todos los índices se encuentran entre 0 y 1, el índice global se encuentra en el mismo rango.

Temporalidad: 2020.

Escala: Paisaje.

Rango del dato: [0,1]

Valor mínimo: 0.

Valor máximo: 1.

- **Capacidad técnica para cumplir los pactos (C_CTPC)**

Definición: El condicionante hace referencia a que las instituciones involucradas en los acuerdos tienen la capacidad técnica para cumplirlos.

Fuente: Alcaldías de Santiago, San Francisco, Colón y Sibundoy.

Cálculo: Para calcular la capacidad técnica se tuvo en cuenta si cada alcaldía tenía los siguientes profesionales y las siguientes plataformas:

- Técnicos Ambientales
- Técnicos Ciencias Sociales
- Técnicos Infraestructura
- Técnicos Agropecuarios
- Técnicos Ordenamiento territorial
- Profesionales con habilidades en herramientas SIG
- Tiene un sistema o plataforma para almacenar los datos
- Tiene un sistema o plataforma para la transmisión de datos

Con estos criterios, se establecieron 4 rangos dependiendo de las respuestas:

- Nula: Todas las respuestas son negativas
- Baja: Tiene Técnico Ambiental y Técnico Agropecuario.
- Media: Tiene Técnico Ambiental, Técnico Agropecuario, Técnico Ordenamiento territorial y Técnico de Ciencias Sociales
- Alta: Todas las respuestas son afirmativas.

Temporalidad: 2020.

Escala: La capacidad se calculó para cada uno de los 4 municipios. Posteriormente, se asignó el valor a cada paisaje según el municipio al que pertenecía.

Rango del dato: [Nula, Baja, Media, Alta]

Valor mínimo: Nula.

Valor máximo: Alta.

- **Capacidad técnica para el fortalecimiento (C_CTF)**

Definición: El condicionante hace referencia a que las instituciones involucradas en los acuerdos tienen la capacidad técnica para fortalecer los actores para el ordenamiento territorial.

Fuente: Alcaldías de Santiago, San Francisco, Colón y Sibundoy.

Cálculo: Dado que las capacidades técnicas requeridas para cumplir los pactos son las mismas en las que los actores deben ser capacitados para el ordenamiento territorial, para esta variable se toma la misma información que la recopilada para Capacidad técnica para cumplir los pactos.

Temporalidad: 2020.

Escala: La capacidad se calculó para cada uno de los 4 municipios. Posteriormente, se asignó el valor a cada paisaje según el municipio al que pertenecía.

Rango del dato: [Nula, Baja, Media, Alta]

Valor mínimo: Nula.

Valor máximo: Alta.

- **Catastro multipropósito (C_CM)**

Definición: El Catastro Multipropósito es un sistema de información que registra datos actualizados de la tierra, basado en predios formales e informales. La información obtenida contiene especificaciones sobre derechos, responsabilidades, restricciones, descripciones geométricas, valores y otros datos; y registra intereses sobre los predios, en términos de ocupación, valor, uso y urbanización (IGAC, 2018).

Fuente: IGAC, Alcaldías municipales

Cálculo: Representatividad del área de los predios del paisaje que cuentan con catastro multipropósito.

Temporalidad: 2020

Escala: Paisaje

Rango del dato: [0,1]

Valor mínimo: 0.

Valor máximo: 1

- **Comunidades fortalecidas (C_CF)**

Definición: El condicionante se refiere al grado en el que las comunidades se sienten empoderadas y en el que sus miembros cuentan con la capacidad de satisfacer sus necesidades por sí mismos, para lo cual favorecerá el intercambio de recursos (Cueto, et al. 2016)

Fuente: Encuestas realizadas en campo y respondidas por los habitantes de cada paisaje.

Cálculo: La construcción del índice de comunidades fortalecidas a nivel de paisajes partió de la revisión de 7 variables importantes para el trabajo articulado entre la comunidad y el empoderamiento necesario para el logro del bien común que se traduce en comunidades fortalecidas. Partiendo de la encuesta realizada por el equipo IAvH, se indaga sobre a) la confianza en las personas de la comunidad; b) el trabajo con otras personas en beneficio de la comunidad; c) el estado de la unidad social de la vereda en la que habita; d) la percepción hacia el ejercicio de sus derechos y e) el poder sobre la toma de decisiones que afectan sus vidas; f) la frecuencia con que las personas de la vereda se reunieron para hacer peticiones en conjunto a instituciones del gobierno o líderes políticos acerca de algo que beneficiara a la comunidad; y por último g) si existen acuerdos o pactos sobre el uso de los recursos o sobre el uso del territorio incentivados por las comunidades. Se realiza la suma de las variables y luego se normaliza, teniendo un dato de 0 a 1 por cada paisaje, donde un valor cercano a 1 representa un mayor fortalecimiento de la comunidad.

Temporalidad: 2020

Escala: Paisaje

Rango del dato: [0,1]

Valor mínimo: 0=Nulo.

Valor máximo: 1=Alto

- **Confianza de la sociedad hacia las instituciones (C_CSHI)**

Definición: El condicionante se refiere a si la sociedad confía en las instituciones gubernamentales.

Fuente: Encuestas realizadas en campo y respondidas por los habitantes de cada paisaje.

Cálculo: por medio de las preguntas de la encuesta que indagan sobre la confianza de la sociedad en a) en funcionarios del gobierno municipal, b) en funcionarios del gobierno departamental, c) en funcionarios del gobierno nacional y d) funcionarios de Corpoamazonia, se saca un dato promedio por paisaje para hallar la confianza de la sociedad hacia las instituciones.

Temporalidad: 2020.

Escala: Paisaje.

Rango del dato: [0,1]

Valor mínimo: 0.

Valor máximo: 1.

- **Confianza entre los actores de la sociedad (C_CAS)**

Definición: El condicionante se refiere al nivel de confianza entre los actores de la sociedad.

Fuente: Encuestas realizadas en campo y respondidas por los habitantes de cada paisaje.

Cálculo: La confianza entre los actores de la sociedad corresponde al resultado de la pregunta realizada en la encuesta “De manera general ¿diría usted que puede confiar en la mayoría de las personas de su comunidad o que necesita ser demasiado prudente en sus tratos?”

Temporalidad: 2020.

Escala: Paisaje.

Rango del dato: [0,1]

Valor mínimo: 0=No se puede confiar.

Valor máximo: 1=Se puede confiar

- **Confianza entre los actores gubernamentales (C_CAG).**

Definición: El condicionante se refiere a si los actores gubernamentales confían entre ellos

Fuente: Encuesta al apoyo local para el componente de política y normativa y Producto 4 denominado *Documento de Análisis del Escenario Político en los municipios de San Francisco, Sibundoy, Colón y Santiago en el Valle de Sibundoy, la Gobernación del Putumayo y Dirección de Corpoamazonia, y sus prioridades de Ordenamiento Territorial en sus planes de gobierno.*

Cálculo: A partir del escenario político identificado para cada municipio y el departamento de Putumayo en el producto 4, y con base en la información brindada por el apoyo local sobre lectura del entorno político del primer semestre del año, se determina si se percibe confianza para la presentación y aprobación de proyectos de planes de desarrollo entre los miembros de los concejos municipales y los respectivos alcaldes, diputados departamentales y gobernador. Adicionalmente se preguntó por la percepción de confianza de las alcaldías y gobernación frente a los directivos de la autoridad ambiental regional.

Temporalidad: 2020-1

Escala: Municipal y regional

Rango del dato: [Sí, No]

Valor mínimo: 0=No

Valor máximo: 1=Sí

- **Conflictos de uso (del suelo) (C_CU)**

Definición: Los Conflictos de uso corresponden a la discrepancia entre el uso que el hombre hace actualmente del medio natural y el uso que debería tener de acuerdo con sus potencialidades y restricciones ambientales, ecológicas, culturales, sociales y económicas (IGAC, 2013).

Fuente: Mapa de Conflictos de Uso de Territorio Colombiano Escala 1:100.000 del Instituto Geografico Agustin Codazzi.

Cálculo: se escogieron las categorías que indican la existencia de conflictos de uso como lo son: conflictos en áreas de cuerpos de agua, conflictos en áreas pantanosas, sobreutilización, subutilización, conflictos urbanos y en otras coberturas artificializadas (urbanas y suburbanas). Se calculó el porcentaje de área de cada paisaje que se encuentra en conflicto, el cual se convirtió en un valor de 0 a 1, donde valores cercanos a 1 representan paisajes con alto conflicto de uso.

Temporalidad: 2013

Escala: Paisaje

Rango del dato: [0, 1]

Valor mínimo: 0.

Valor máximo: 1

- **Conocimiento de los instrumentos económicos (C_CIE)**

Definición: El condicionante se refiere al conocimiento de los instrumentos económicos para actividades agropecuarias, de silvicultura y de turismo.

Fuente: Encuestas realizadas en campo y respondidas por los habitantes de cada paisaje.

Cálculo: Para evaluar el conocimiento de los instrumentos económicos, primero se identificaron los instrumentos a analizar. En este estudio se tomaron 6 categorías de instrumentos: 1) Subsidios/exenciones, 2) Compensaciones, 3) Certificados (p.e. incentivo forestal), 4) PSA, 5) Cuotas/vedas, 6) Impuestos/multas/tasas. A través de las encuestas, se identificaron los instrumentos de los cuales los habitantes tenían conocimiento. Dado que en total son 6 grupos de instrumentos, el número de instrumentos sobre los cuales se reportaba tener conocimiento se dividió en 6, de manera tal que el valor final se encuentra entre 0 y 1.

Temporalidad: 2020.

Escala: Paisaje.

Rango del dato: [0,1]

Valor mínimo: 0.

Valor máximo: 1.

- **Construcciones para el desarrollo de las actividades agropecuarias (C_CDAA)**

Definición: El condicionante se refiere a que la existencia de construcciones para el desarrollo de las actividades agropecuarias se ajusta a la demanda.

Fuente: Encuestas realizadas en campo y respondidas por los habitantes de cada paisaje. Censo Nacional Agropecuario (2014).

Cálculo: Para obtener el valor del condicionante se calculó primero la demanda de construcciones agropecuarias para cada paisaje, según las actividades que se realizan y que fueron reportadas en las encuestas. En particular, se tuvo en cuenta los animales reportados para los cuales se requieren ciertas construcciones (p.e. establo para ganado para leche), las construcciones para los pastos de corte, las áreas para almacenar agroinsumos en caso de que se usen y construcciones para almacenar los productos (p.e. tanque frío para almacenar la leche).

Para obtener las construcciones existentes se tomaron los datos del CNA para cada paisaje. Es importante reconocer la diferencia en fechas, dado que el CNA tiene información de 2014 y las encuestas de 2020, sin embargo, al ser construcciones que tienen una vida útil de varios años se considera que el rezago no representa una diferencia sustancial.

Con la brecha entre la demanda de construcciones y las existentes se construyó un índice de 0 a 1, siendo 1 que no hay brecha y siendo 0 que no hay construcciones cuando se necesitan.

Temporalidad: 2014.

Escala: Paisaje.

Rango del dato: [0,1]

Valor mínimo: 0.

Valor máximo: 1.

- **Debida destinación de los recursos (C_DDR)**

Definición: El condicionante se refiere a que los recursos públicos se asignan de manera adecuada.

Fuente: Índice de Desempeño Fiscal (DNP, 2017).

Cálculo: El Índice de Desempeño Fiscal es un índice construido por el DNP para evaluar el nivel de gestión de los recursos por parte de las entidades territoriales (municipios y departamentos). En particular, el índice mide: 1) Autofinanciación de los gastos de funcionamiento, 2) Respaldo del servicio de la deuda, 3) Dependencia de las transferencias de la Nación y las Regalías, 4) Generación de recursos propios, 5) Magnitud de la inversión, 6) Capacidad de ahorro.

El índice tiene un rango de 0 a 100, siendo 100 el valor que representa la mejor gestión posible de los recursos. Para el análisis el valor se normaliza, por lo que queda en un rango de 0 a 1.

Temporalidad: 2017.

Escala: El cálculo se realiza para cada uno de los 4 municipios. Posteriormente, se asignó el valor a cada paisaje según el municipio al que pertenecía.

Rango del dato: [0,1]

Valor mínimo: 0.

Valor máximo: 1.

- **Disponibilidad de los servicios ecosistémicos (C_DSE)**

Definición: Se refiere a la disponibilidad (acceso, cantidad y calidad) de seguridad alimentaria y de agua potable.

Fuente: Encuestas realizadas en campo y respondidas por los habitantes de cada paisaje.

Cálculo: Para analizar la seguridad alimentaria se tomaron en cuenta los índices elaborados por la FAO.

Diversidad de alimentos (calidad): Con la información recolectada en la encuesta, se identificaron los grupos alimenticios principales que los encuestados tienen en su dieta. A partir de los grupos se creó el índice HDDS (Puntaje de diversidad dietética en el hogar, por sus siglas en inglés), para proporcionar una medida de la diversidad de alimentos. En total, la FAO reconoce 16 grupos alimenticios, los cuales son reducidos a 12 para construir el HDDS. El resultado de cada paisaje se dividió en 12, de tal manera que el índice quedó en un rango entre 0 y 1.

Energía consumida (cantidad): A través de la encuesta realizada en campo fue posible encontrar los alimentos que se consumían en cada paisaje. Una vez identificados los alimentos, se utilizó la ENSIN (2015) para conocer la proporción que se consumía en promedio de cada alimento para el Valle de Sibundoy. Esta información se obtuvo en gramos por persona para cada alimento. Así mismo, con base en las tablas nutricionales de la FAO (nutrientes en los alimentos de tabla de la FAO, Anexo 1, (FAO, 2006)) y del Instituto Nacional de Bienestar familiar (Tabla de composición de los alimentos colombianos, (ICBF, 2018)) se identificó el contenido calórico de cada alimento, medido en Kilocalorías por cada 100 gramos. Con esta información fue posible calcular el consumo promedio de kilocalorías en cada paisaje. Cada resultado fue dividido por el máximo valor de los paisajes, con lo que se obtuvo un índice entre 0 y 1.

Inseguridad alimentaria (acceso): Para medir el acceso, la encuesta incluyó varias preguntas sobre inseguridad alimentaria, permitiendo así identificar aquellos paisajes en donde han habido sucesos en los que un hogar no ha tenido acceso a alimentos. Aquellos paisajes en donde han habido episodios de no acceso a alimentos se les asignó un valor de 0,6 en el acceso. Aquellos que no han tenido sucesos se les asignó 1.

Para disponibilidad de agua potable:

Calidad de agua:

Se identificó a partir de los resultados del monitoreo de calidad biológica de las fuentes abastecedoras del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Alta-Alta del Río Putumayo. Para identificar los valores de calidad de cuencas no abastecedoras, se asoció la información de las pendientes del terreno, los conflictos de uso del suelo y el reporte de las encuestas realizadas en campo y respondidas por los habitantes de cada paisaje respecto a las fuentes abastecedoras del recurso hídrico para las actividades agropecuarias.

Acceso al agua potable:

Se determinó a través de las encuestas, las cuales indagaban por las fuentes de agua para el consumo, indicando así la presencia o no de acceso a acueducto veredal.

Luego de tener los 5 índices descritos, para construir el índice total de disponibilidad de servicios ecosistémicos se realizó un promedio simple. Dado que todos los índices se encuentran en un rango entre 0 y 1, el índice final se encuentra en el mismo rango.

Temporalidad: 2020.

Escala: Paisaje.

Rango del dato: [0,1]

Valor mínimo: 0.

Valor máximo: 1.

- **Disponibilidad de tiempo para cumplir los pactos (C_DTCP)**

Definición: El condicionante se refiere a que los actores involucrados en los acuerdos tienen la disposición de contribuir con su tiempo para cumplirlos.

Fuente: Encuestas realizadas en campo y respondidas por los habitantes de cada paisaje.

Cálculo: La disponibilidad de tiempo para cumplir los pactos corresponde al resultado de la pregunta realizada en la encuesta “Si un proyecto comunitario no lo beneficia directamente a usted pero tiene beneficios para muchas otras personas ¿contribuiría con tiempo al proyecto?”

Temporalidad: 2020

Escala: Paisaje

Rango del dato: [Sí, No]

Valor mínimo: 0=No.

Valor máximo: 1=Sí

- **Duración de los instrumentos es suficiente para fortalecer las cadenas de valor (C_DICV)**

Definición: El condicionante se refiere a que la duración de los instrumentos económicos es suficiente para fortalecer las cadenas de valor.

Fuente: Planes de desarrollo 2016-2019 de las alcaldías de Sibundoy, Colón, San Francisco y Santiago, de Putumayo.

Cálculo: Los eslabones de la cadena productiva son: 1) producción, 2) procesamiento, 3) comercialización y 4) consumo. Para cada uno de los eslabones se revisó la mención explícita de instrumentos que buscarán fortalecer el eslabón. Dado que son 4 eslabones, el número de

eslabones financiados por municipio se dividió en 4, de manera tal que el valor final se encuentra entre 0 y 1.

Temporalidad: 2016-2019.

Escala: Se hizo la revisión para cada uno de los 4 municipios. Posteriormente, se asignó el valor a cada paisaje según el municipio al que pertenecía.

Rango del dato: [0,1]

Valor mínimo: 0.

Valor máximo: 1.

- **Duración de los instrumentos es suficiente para generar el cambio del uso del suelo (C_DICUS)**

Definición: El condicionante se refiere a que la duración de los instrumentos económicos es suficiente para que sean eficaces en el cambio del uso del suelo que cumpla con la funcionalidad socio-ecosistémica del territorio.

Fuente: Planes de desarrollo 2016-2019 de las alcaldías de Sibundoy, Colón, San Francisco y Santiago, de Putumayo.

Cálculo: Se revisó si los instrumentos que se han implementado han tenido indicios de haber generado cambios en el uso del suelo. En caso de que sí, se le asigna un valor de 1, en caso contrario se le asigna un valor de 0.

Temporalidad: 2016-2019.

Escala: Se hizo la revisión para cada uno de los 4 municipios. Posteriormente, se asignó el valor a cada paisaje según el municipio al que pertenecía.

Rango del dato: [0,1]

Valor mínimo: 0.

Valor máximo: 1.

- **Ecosistemas amenazados (C_EV)**

Definición: El condicionante se refiere a la presencia de ecosistemas en categorías de amenaza.

Fuente: Lista Roja de Ecosistemas de Colombia - Evaluación Final del estado de los ecosistemas de Colombia: Aplicación de la metodología Lista Roja de Ecosistemas (UICN), año 2017, Escala 1:100.000

Cálculo: Representatividad de área de ecosistemas vulnerables respecto al total del área de cada paisaje (VU, CR, EN).

Temporalidad: 2017

Escala: Paisaje

Rango del dato: [0,1]

Valor mínimo: 0

Valor máximo: 1

- **Empleo formal (C_EF)**

Definición: El condicionante se refiere al porcentaje de la población en el paisaje que tiene empleo formal.

Fuente: Cámara de Comercio del Putumayo et al. (2016).

Cálculo: En el informe de la Cámara de Comercio del Putumayo et al. (2016) se expone la tasa de ocupación para el departamento del Putumayo (TO), y para cada municipio se expone el nivel de informalidad (NI), con lo cual es posible obtener el nivel de empleo formal (EF):

$$EF=TO*(1-NI)$$

Dado que la tasa de empleo se encuentra entre 0 y 100, el valor se normaliza entre 0 y 1.

Temporalidad: 2016.

Escala: El empleo formal se obtuvo para cada uno de los 4 municipios. Posteriormente, se asignó el valor a cada paisaje según el municipio al que pertenecía.

Rango del dato: [0,1]

Valor mínimo: 0.

Valor máximo: 1.

- **Existencia de alternativas a las limitaciones de uso o aprovechamiento derivadas de la política (C_EAUA)**

Definición: El condicionante se refiere a si existen alternativas a las limitaciones de uso o aprovechamiento derivadas de la política. Por ejemplo, una veda impone restricciones a un pescador que van en contravía de su supervivencia. En caso de no tener alternativas, lo más probable es que desacate la norma.

Fuente: Encuestas realizadas en campo y respondidas por los habitantes de cada paisaje.

Cálculo: A través de la encuesta se indagó sobre los impactos que han tenido los instrumentos económicos en la posibilidad de subsistir. En caso de que haya habido limitaciones derivadas de los instrumentos, se cuestionó si existen alternativas de ingresos.

Temporalidad: 2020.

Escala: Paisaje.

Rango del dato: [No, Sí]

Valor mínimo: No.

Valor máximo: Sí.

- **Financiación y gestión ambiental (C_FGA)**

Definición: El condicionante se refiere a que los productores han tenido financiación y han realizado gestión ambiental en el paisaje.

Fuente: Censo Nacional Agropecuario (DANE, 2014).

Cálculo: Con la pregunta 136 se identificó si el paisaje solicitó crédito o algún tipo de financiación. Para los paisajes que sí recibieron financiación, la gestión ambiental se identificó a través del uso de prácticas para proteger las fuentes de agua (pregunta 125 del CNA) y del uso de prácticas de

conservación del suelo (pregunta 127 del CNA), para lo cual se asigna un valor de 1. Sin embargo, en caso de haber tumbado o talado (pregunta 130 del CNA), en caso de no tener al menos una práctica para el manejo de los desechos o en caso de no tener una práctica para manejar los desechos de las actividades agropecuarias, la gestión ambiental se asume como 0.

Temporalidad: 2014.

Escala: Paisaje.

Rango del dato: [0,1]

Valor mínimo: 0.

Valor máximo: 1.

- **Fuente de financiamiento de los instrumentos económicos (C_FFIE)**

Definición: El condicionante se refiere a que los instrumentos económicos sí tienen financiación asignada.

Fuente: Planes Plurianuales de Inversión de cada Municipio, los cuales se encuentran dentro de los Planes de desarrollo 2016-2019 de las alcaldías de Sibundoy, Colón, San Francisco y Santiago, de Putumayo.

Cálculo: Para hacer una revisión de las posibles fuentes de financiamiento de los instrumentos económicos, primero se identificaron los instrumentos a analizar. En este estudio se tomaron 6 categorías de instrumentos: 1) Subsidios/exenciones, 2) Compensaciones, 3) Certificados (p.e. incentivo forestal), 4) PSA, 5) Cuotas/vedas, 6) Impuestos/multas/tasas. Para cada uno de los instrumentos se revisó si había una posible fuente de financiamiento en el Plan Plurianual de Inversiones 2016-2019. Dado que son 6 instrumentos, el número de instrumentos financiados por municipio se dividió en 6, de manera tal que el valor final se encuentra entre 0 y 1.

Temporalidad: 2016-2019.

Escala: La financiación se revisó para cada uno de los 4 municipios. Posteriormente, se asignó el valor a cada paisaje según el municipio al que pertenecía.

Rango del dato: [0,1]

Valor mínimo: 0.

Valor máximo: 1.

- **Heterogeneidad de los paisajes (C_HP)**

Definición: Se refiere a la cantidad de usos y coberturas presentes en el paisaje

Fuente: Mapa de coberturas de la tierra de la Amazonia (Sinchi, 2018)

Cálculo: La heterogeneidad en los usos del suelo es una medida de la participación porcentual que tienen los diferentes usos del paisaje de acuerdo con su área, que se calcula con la siguiente fórmula:

$$H = \frac{N \cdot (1 - H_v) - p_{\min}}{p_{\max} - p_{\min}} \cdot 100\%$$

Donde H es la heterogeneidad en los usos del suelo para un cierto paisaje, N es el número de usos identificados en el paisaje, pi es el parámetro de mosaico del i-ésimo uso, dado por las coberturas del uso, y Hv es la heterogeneidad virtual, que se calcula con la siguiente fórmula (IAvH, 2019):

$$H_v = 1 - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{A_i}{A_T} \cdot p_i$$

Temporalidad: 2018

Escala: Paisaje

Rango del dato: [0, 1]

Valor mínimo: 0

Valor máximo: 1

- **Incorporación de sistemas locales de uso del territorio en el ordenamiento territorial a partir de los conocimientos, prácticas e innovaciones tradicionales (C_ISLC)**

Definición: En el ordenamiento territorial se incorporaron los sistemas locales de uso del territorio a partir de los conocimientos, prácticas e innovaciones tradicionales.

Fuente: Producto 2 apoyo local para política y normativa denominado *Documento de análisis del estado actual de los instrumentos de planificación y ordenación del territorio que regulan el uso del suelo en el Valle de Sibundoy y las prioridades ambientales y agropecuarias de los municipios de San Francisco, Sibundoy, Colón y Santiago, y en la gobernación del Putumayo*

Cálculo: De la revisión puntual de las prioridades ambientales y agropecuarias de los instrumentos de planificación territorial (EOT municipales) se identificó si en los cuatro municipios se han tenido en cuenta en los conocimientos tradicionales sobre uso del territorio. Téngase en cuenta que los EOT tienen una vigencia de 12 años, y en el Valle de Sibundoy sus fechas de aprobación son 2002, 2011 y 2014, de modo que esa es la temporalidad a la que se refiere el siguiente ítem.

Temporalidad: 2002, 2011 y 2014.

Escala: Municipal y regional

Rango del dato: Existencia: [Sí, No]

Valor mínimo: Existencia: 0=No

Valor máximo: Existencia: 1=Sí

- **Instancias de concertación (C_ICN)**

Definición:

Fuente:

Cálculo:

Temporalidad:

Escala:

Rango del dato:

Valor mínimo:

Valor máximo:

- **Instancias de coordinación (C_IC)**

Definición:

Fuente:

Cálculo:

Temporalidad:

Escala:

Rango del dato:

Valor mínimo:

Valor máximo:

- **Integridad y cumplimiento de los determinantes ambientales (C_ICDA)**

Definición: Se refiere a la estructura y función ecológica del paisaje.

Fuente: Mapa de Integridad ecológica del ROAM (IAvH, 2020). POMCA de la Cuenca Alta-alta del Río Putumayo

Cálculo: Representatividad de la integridad ecológica dentro de los determinantes ambientales por paisaje.

Temporalidad: 2019

Escala: Paisaje

Rango del dato: [0,1]

Valor mínimo: 0

Valor máximo: 1

- **Intencionalidad de uso (C_IU)**

Definición: son las distintas decisiones actuales y proyectados que se tienen sobre el uso del suelo.

Fuente: Las reservas de la Ley 2° provienen del Ministerio de ambiente y Desarrollo territorial, 2019. El POMCA es de CORPOAMAZONÍA, s.f. La frontera agrícola de la UPRA (2018), la información sobre minería de la Agencia Nacional Minera, 2019 y los Resguardos Indígenas del Ministerio del Interior (2018).

Cálculo: se identificaron la cantidad de intencionalidades existentes sobre el paisaje. Las nueve (9) intencionalidades tenidas en cuenta son las categorías del POMCA relacionadas a 1) Protección, 2) Restauración, 3) Desarrollo Urbano, 4) Uso y Manejo Sostenible y 5) Susceptibilidad de inundación y desastre. Se tiene en cuenta la presencia de 6) infraestructura vial con información del proyecto vial San Francisco-Mocoa y las vías primarias y secundarias provenientes de la cartografía básica del Valle. También se considera como intencionalidad 7) la frontera agrícola, 8) Reservas de la Ley 2° y por último 9) los polígonos de Resguardos Indígenas. Para cada paisaje se determina la cantidad de intencionalidades.

Temporalidad: multitemporal

Escala: multiescala

Rango del dato: 1-9

Valor mínimo: 1

Valor máximo: 9

- **Inversión distribuida en cada uno de los eslabones de la cadena productiva (C_IDRE)**

Definición: El condicionante se refiere a que los recursos invertidos aportan a fortalecer cada uno de los eslabones de la cadena de valor.

Fuente: Planes Plurianuales de Inversión de cada Municipio, los cuales se encuentran dentro de los Planes de desarrollo 2016-2019 de las alcaldías de Sibundoy, Colón, San Francisco y Santiago, de Putumayo.

Cálculo: Los eslabones de la cadena productiva son: 1) producción, 2) procesamiento, 3) comercialización y 4) consumo. Para cada uno de los eslabones se revisó si había una posible

fuelle de financiamiento en el Plan Plurianual de Inversiones 2016-2019. Dado que son 4 eslabones, el número de eslabones financiados por municipio se dividió en 4, de manera tal que el valor final se encuentra entre 0 y 1.

Temporalidad: 2016-2019.

Escala: La financiación se revisó para cada uno de los 4 municipios. Posteriormente, se asignó el valor a cada paisaje según el municipio al que pertenecía.

Rango del dato: [0,1]

Valor mínimo: 0.

Valor máximo: 1.

- **Los beneficios económicos de no cumplir con los requisitos de los instrumentos económicos son menores a los perjuicios (C_BEIE)**

Definición: El condicionante se refiere a si los beneficios económicos de no cumplir con los requisitos de los instrumentos económicos son menores en comparación con los perjuicios de no cumplirlos.

Fuente: Resolución No. 0822 del 27 de junio de 2017 y Resolución No. 0823 del 19 de junio de 2019 de Corpoamazonía. Decreto 3678 del 04 de octubre de 2010.

Cálculo: Se revisó la metodología implementada por Corpoamazonía para calcular las multas impuestas ante delitos ambientales o incumplimiento de la normatividad ambiental. Esta normativa aplica para toda la jurisdicción de Corpoamazonía, la cual incluye todo el departamento del Putumayo.

Temporalidad: 2020.

Escala: Departamental. Se asume el mismo valor para todos los paisajes.

Rango del dato: [No, Sí]

Valor mínimo: No.

Valor máximo: Sí.

- **Nivel de afectación del paisaje (C_NAP)**

Definición: El condicionante se refiere al nivel de afectación en el paisaje

Fuente: Estudio Nacional del Agua (IDEAM, 2018), Portafolio de Oportunidades Priorizadas de Restauración Ecológica para la Amazonía Colombiana (IAvH, 2020)

Cálculo: Se mide a partir de: 1) Representatividad de áreas erosionadas, 2) Representatividad de áreas compactadas, 3) Representatividad de áreas sin integridad ecológica, 4) Representatividad de ecosistemas amenazados, 5) Proporción de especies amenazadas, 6) Nivel de contaminación del agua (Índice de Calidad del Agua) a partir de monitoreo de calidad biológica del Pomca en fuentes abastecedoras. A partir de pendientes y conflicto de uso del suelo se aproximó la calidad de los paisajes no catalogadas como abastecedoras.

Temporalidad: 2018

Escala: Paisaje

Rango del dato: [0,1]

Valor mínimo: 0

Valor máximo: 1

- **Oferta de Servicios ecosistémicos (C_OSE)**

Definición: Se refiere a las áreas de mayor oferta potencial de servicios ecosistémicos.

Fuente: Portafolio de Oportunidades Priorizadas de Restauración Ecológica para la Amazonía Colombiana (IAvH, 2020)

Cálculo: Representatividad y ponderación de áreas hot spot de oferta de servicios ecosistémicos

Temporalidad: 2019

Escala: Paisaje

Rango del dato: [0,1].

Valor mínimo: 0=sin oferta.

Valor máximo: Valor máximo: 1: alta oferta

- **Percepción de beneficios recibidos por los actores del territorio (C_BRAT).**

Definición: El condicionante se refiere a si los actores perciben que ellos mismos reciben beneficios de los instrumentos económicos identificados.

Fuente: Encuestas realizadas en campo y respondidas por los habitantes de cada paisaje.

Cálculo: Para evaluar la percepción de beneficios de los instrumentos económicos, primero se identificaron los instrumentos a analizar. En este estudio se tomaron 6 categorías de instrumentos: 1) Subsidios/exenciones, 2) Compensaciones, 3) Certificados (p.e. incentivo forestal), 4) PSA, 5) Cuotas/vedas, 6) Impuestos/multas/tasas. A través de las encuestas, se identificó si los habitantes han percibido beneficios de al menos uno de los instrumentos enlistados. De ser así, se asignó un valor de 1. En caso de que no hayan recibido beneficio alguno, se asigna un valor de 0.

Temporalidad: 2020.

Escala: Paisaje.

Rango del dato: [0,1]

Valor mínimo: 0.

Valor máximo: 1.

- **Percepción de la capacidad institucional para hacer cumplir la política (C_PCI).**

Definición:

Fuente: Encuestas realizadas en campo y respondidas por los habitantes de cada paisaje.

Cálculo:

Temporalidad:

Escala:

Rango del dato:

Valor mínimo:

Valor máximo:

- **Percepción de que hay otros miembros de la comunidad que reciben beneficios (C_PCRB)**

Definición: El condicionante se refiere a si los actores perciben que otros miembros de la comunidad reciben beneficios de los instrumentos económicos identificados.

Fuente: Encuestas realizadas en campo y respondidas por los habitantes de cada paisaje.

Cálculo: Para evaluar la percepción de beneficios de los instrumentos económicos, primero se identificaron los instrumentos a analizar. En este estudio se tomaron 6 categorías de instrumentos: 1) Subsidios/exenciones, 2) Compensaciones, 3) Certificados (p.e. incentivo forestal), 4) PSA, 5) Cuotas/vedas, 6) Impuestos/multas/tasas. A través de las encuestas, se identificó si los habitantes han percibido que otros miembros de la comunidad han recibido beneficios de al menos uno de los instrumentos enlistados. De ser así, se asignó un valor de 1. En caso de que no hayan percibido beneficio alguno, se asigna un valor de 0.

Temporalidad: 2020.

Escala: Paisaje.

Rango del dato: [0,1]

Valor mínimo: 0.

Valor máximo: 1.

- **Presupuesto asignado a los actores (C_PAA)**

Definición:

Fuente:

Cálculo:

Temporalidad:

Escala:

Rango del dato:

Valor mínimo:

Valor máximo:

- **Presupuesto para el fortalecimiento de capacidades (C_PFC)**

Definición:

Fuente:

Cálculo:

Temporalidad:

Escala:

Rango del dato:

Valor mínimo:

Valor máximo:

- **Redes de intercambio (C_RI)**

Definición: El condicionante se refiere a que existen redes de intercambio.

Fuente: Encuestas realizadas en campo y respondidas por los habitantes de cada paisaje.

Cálculo: En las encuestas se indagó por la existencia de redes de intercambio, incluyendo transacciones comerciales, minga, cambeo, compañías, aumento y regalos. En caso de haber una red se asigna el valor 1, en caso de que no, se asigna 0.

Temporalidad: 2020.

Escala: Paisaje.

Rango del dato: [0,1]

Valor mínimo: 0.

Valor máximo: 1.

- **Reglas claras y conocidas por los actores en el momento de hacer los pactos (C_RCC)**

Definición:

Fuente:

Cálculo:

Temporalidad:

Escala:

Rango del dato:

Valor mínimo:

Valor máximo:

- **Riesgo de victimización (C_RV)**

Definición: El Índice de Riesgo de Victimización (IVR) es la posibilidad de ocurrencia de violaciones graves y manifiestas a las normas internacionales de los Derechos Humanos y de infracciones al Derecho Internacional Humanitario, ocurridas con ocasión del conflicto armado interno. Por medio de este índice se busca promover el desarrollo de políticas de prevención, ajustadas a los diferentes elementos generadores de riesgo de victimización por violaciones a los DD.HH o infracciones al DIH (Unidad para las Víctimas, 2019). El IRV corresponde a un valor numérico que oscila en el rango de 0 a 1, en el cual, a mayor riesgo de victimización el valor del índice es más cercano a 1 mientras que, un menor riesgo se traduce en valores cercanos a 0.

Fuente: Unidad para la Atención y la Reparación Integral a las Víctimas UARIV

Cálculo: Se seleccionó el índice de victimización (Unidad para las Víctimas, 2019) para los municipios de Sibundoy, San Francisco, Colón y Santiago. El valor que toma cada paisaje respecto al índice corresponde al municipio donde se encuentra.

Temporalidad: 2019

Escala: Municipal

Rango del dato: [0-1]

Valor mínimo: 0

Valor máximo: 1

- **Sensibilidad por distintas intencionalidades (C_SDI)**

Definición: la sensibilidad se refiere a la capacidad del ecosistema para soportar alteraciones o cambios de origen antrópico, sin sufrir mayores alteraciones que mantenga un nivel aceptable en su estructura y función. Una alta sensibilidad por intenciones de uso, que puede reflejarse en mayores esfuerzos de gestión para controlar la degradación ambiental.

Fuente: las coberturas de uso son tomadas del **SINCHI, (2018)**, la información del POMCA es de CORPOAMAZONIA (s.f), las vías son tomadas de la cartografía oficial del municipio (IGAC, 2016) Y ANLA (2018), la frontera agrícola (UPRA, 2018) y la información sobre minería (ANM, 2019)

Cálculo: Se analizan las coberturas de uso respecto a las categorías del POMCA, donde de acuerdo a unos puntajes que establecen la susceptibilidad potencial se califica la intersección existente de estas dos variables en cada paisaje. Luego a este valor se le suma de igual manera los puntajes de sensibilidad frente a la existencia de vías, zona de frontera agrícola y actividad minera.

Temporalidad: multitemporal

Escala: Paisaje

Rango del dato: [0,1]

Valor mínimo: 0

Valor máximo: 1

- **Tecnología alineada con la funcionalidad socio-ecosistémica (T_CT)**

Definición: El condicionante se refiere a que los productores utilizan tecnología alineada con la funcionalidad socio-ecosistémica.

Fuente: Encuestas realizadas en campo y respondidas por los habitantes de cada paisaje.

Cálculo: Con la lista de herramientas y maquinaria existente en cada paisaje, un experto le asignó a cada una un valor entre 0 y 1 según el nivel de alineación con la funcionalidad socio-ecosistémica. Por ejemplo, hay algunas herramientas a las que se les asignó un valor bajo dado que están relacionadas con actividades de deforestación, como sucede con la motosierra.

Para poder identificar si el uso de la tecnología está asociado a la funcionalidad socio-ecosistémica se tomaron los resultados de las encuestas, en particular de la pregunta 34 sobre prácticas de conservación de los suelos. En caso de que se reporten prácticas de conservación se le asigna 1, en caso contrario 0. Así mismo, se toman en cuenta las preguntas 35, sobre asociación de cultivos, y la 37, sobre rotación de cultivos. Si en cada una la respuesta es afirmativa, se asigna 1, en caso contrario se le asigna 0. Para estas 3 variables se toma un único valor que se encuentra entre 0 y 1, siendo 1 si al menos 1 de las 3 variables es igual a 1.

Finalmente, se promedia el valor del nivel de alineación y el valor obtenido de las prácticas, obteniendo así un valor entre 0 y 1.

Temporalidad: 2020.

Escala: Paisaje.

Rango del dato: [0,1]

Valor mínimo: 0.

Valor máximo: 1.

- **Uso adecuado del suelo (excluyendo determinantes ambientales) (C_UAS)**

Definición: Áreas que no presentan conflictos por sobreutilización o subutilización del suelo

Fuente: Mapa Digital de Conflictos de Uso, República de Colombia, Escala 1:100.000. Año 2013. Instituto Geografico Agustin Codazzi.

Cálculo: Representatividad de áreas sin conflicto de uso, por paisaje

Temporalidad: 2013

Escala: Paisaje

Rango del dato: 0,1

Valor mínimo: 0

Valor máximo: 1

- **Vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico (C_DH)**

Definición: Se refiere al grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener una oferta para el abastecimiento de agua.

Fuente: Estudio Nacional del Agua (IDEAM, 2018).

Cálculo: Ponderación de área del paisaje respecto al grado de fragilidad del sistema hídrico.

Temporalidad: 2018

Escala: Paisaje

Rango del dato: [0,1].

Valor mínimo: 0

Valor máximo: 1

Anexo 3. Resultados de la aplicación de los 3 criterios para identificar cuántas prioridades de gestión configurarían una tipología de gestión

Tabla 24: Tipologías identificadas para las primeras n-prioridades.

Prioridades 7			Prioridades 6			Prioridades 5			Prioridades 4			Prioridades 3			Prioridades 2			Prioridades 1		
Orden de tipología	Tipología	Número de paisajes	Orden de tipología	Tipología	Número de paisajes	Orden de tipología	Tipología	Número de paisajes	Orden de tipología	Tipología	Número de paisajes	Orden de tipología	Tipología	Número de paisajes	Orden de tipología	Tipología	Número de paisajes	Orden de tipología	Tipología	Número de paisajes
1	161087643	2	1	16108764	9	1	1610764	8	1	161074	31	1	1074	2	1	104	5	1	7	11
2	1611107432	1	2	161110743	2	2	1610874	9	2	161076	4	2	16104	8	2	107	17	2	10	31
3	1611108742	2	3	161110764	2	3	1610876	1	3	161087	10	3	16107	51	3	167	8	3	16	20
4	1611108743	6	4	161110874	12	4	16111074	18	4	1611104	1	4	161310	1	4	1610	32	4	Deviación estándar	6,8889
5	1611108764	11	5	161210764	1	5	16121074	1	5	1613104	1	Deviación estándar 17,7500								
6	1613108743	12	6	161310764	3	6	16131074	3	6	1613107	15	Deviación estándar 8,4444								
7	1613108763	1	7	161310873	4	7	16131076	6												
8	1613108764	8	8	161310874	14	8	16131087	15												
9	16121110764	1	9	161310876	6	9	16141074	1												
10	16121110874	1	10	1612111074	2	Deviación estándar 4,3677														
11	16131110743	1	11	1613111074	4															
12	16131110764	1	12	1613121074	1															
13	16131110874	10	13	1614111074	2															
14	16141110742	1	Deviación estándar 3,3728																	
15	16141110764	1																		
16	16141310764	1																		
17	161312111074	2																		
Deviación estándar		3,3841																		

Fuente: elaboración propia.