



Propuesta metodológica y modelos de evaluación

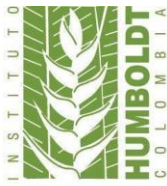
Acuerdo de Cooperación 19-091 sobre el proyecto entre el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt

Equipo de trabajo

Camilo Garzón, MSc.	Línea de bienestar y servicios ecosistémicos
Clarita Bustamante Zamudio, MSc.	Línea de sostenibilidad de paisajes urbano-regionales
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
Johan Manuel Redondo, PhD.	Línea de análisis para el estudio de la biodiversidad
Carlos Cortés	Línea de bienestar y servicios ecosistémicos
Tatiana Rojas, MSc.	Línea de bienestar y servicios ecosistémicos
Emerson Pastás	Línea de diálogo de saberes y ciencia participativa
Diana Rengifo	Oficina de Comunicaciones
Olga Lucía Hernández, PhD.	Coordinadora Ciencias Sociales y Saberes de la BD
Maria Margarita Arteaga	Gerente de proyecto

Tabla de contenido

Introducción	4
1. Estructura del proyecto	6
1.1. Definición del alcance del proyecto	6
1.2. Generación de los modelos: Identificación de necesidades de información	7
1.3. Definición de las unidades de paisaje, identificación de línea base (información secundaria – momento 1) y análisis de brechas, incluyendo cadenas de valor	7
1.4. Diseño muestral y selección de herramientas para la recolección de información	8
1.5. Salida de campo: Recolección de información primaria	8
1.6. Generación de línea base (momento 2)	9
1.7. Identificación del efecto de la política sobre el cambio del uso del suelo	9
1.8. Simulación de escenarios de servicios ecosistémicos y bienestar respecto a los cambios esperados de acuerdo a la política	9
1.9. Recomendaciones para tomadores de decisiones a diferentes niveles	10
2. Marco Conceptual	11
2.1. Marco TEEB AgriFood	11
2.2. Redes de implicaciones	12
2.3. Dinámica de sistemas	14
3. Metodología de definición de unidades de análisis, modelación y de evaluación dentro del marco TEEB AgriFood	15
3.1. Definición de unidades de análisis espaciales	15
2.6.2. Definición de unidades de análisis	15
2.6.3. Criterios de Priorización de Unidades de Análisis	17
3. Amenazas naturales y antrópicas	17
3.2. Modelo de políticas y uso del suelo	18
3.2. Usos del suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y el bienestar humano	20
3.2.1. Caracterización de servicios ecosistémicos	20
3.2.2. Heterogeneidad	26
3.2.3. Cadenas de valor	26
3.2.4. Bienestar humano	28



4. Conclusiones	34
5. Bibliografía	35
Anexos	39

Lista de Tablas

Tabla 1. Variables para la definición de recursos y atractivos para el turismo de naturaleza	23
Tabla 2. Condicionantes de la red de implicaciones para la sensibilidad socioambiental al turismo de naturaleza.....	24

Lista de Figuras

Figura 1. Fases del proyecto TEEB Colombia - Putumayo.....	6
Figura 3. Aplicación de los criterios para definir las unidades espaciales de análisis.....	16
Figura 3. Jerarquía normativa en Colombia.....	19

Lista de Anexos

Anexo 1. Posibles preguntas para medir seguridad alimentaria	39
Anexo 2. Posibles preguntas para medir acceso al agua	39

Introducción

El proyecto “Implementación de la economía de los ecosistemas y la biodiversidad: Apoyando la biodiversidad y el manejo sostenible de tierras en paisajes agrícolas” pretende usar la metodología TEEB (The Economics of Ecosystems and Biodiversity) en temas de agricultura y alimentación (AgriFood, por sus siglas en inglés). Esta aproximación integral permite analizar las relaciones con los servicios ecosistémicos y las posteriores cadenas de valor. Estas conexiones generan 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 a ser modelada y permite así aproximarse a los posibles efectos que pueden llegar a tener distintas intervenciones sobre el agroecosistema, aportando de esta manera insumos para la formulación y evaluación de políticas agrícolas y ambientales.

En particular, el proyecto “TEEB Colombia - Putumayo” 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, tanto el flujo de servicios ecosistémicos y su relación con el cambio del uso del suelo, como las conexiones entre las distintas cadenas de valor y el bienestar humano. Lo anterior, será sustentado con evidencia científica de carácter socioeconómico y ambiental, enmarcada 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.

Es por esto que, el objetivo de este informe es presentar la propuesta metodológica de modelación y de evaluación que se implementará para analizar las relaciones de los agroecosistemas, los servicios ecosistémicos y las políticas ambientales y agrícolas en el Valle de Sibundoy. Así, esta metodología expone cómo se evaluará cada inventario y cada flujo perteneciente a cada uno de los eslabones especificados en las cadenas de valor seleccionadas, de acuerdo con el Marco TEEB AgriFood¹.

El proyecto contempla entonces dos modelos que se interconectan a través del cambio en el uso del suelo: el primer modelo corresponde al análisis de la incidencia que tienen las políticas agrícolas, ambientales y de ordenamiento territorial en el cambio del uso del suelo; mientras que el segundo modelo analiza las relaciones que hay entre el uso del suelo, los agroecosistemas y el bienestar humano en cada eslabón de la cadena de valor. Los escenarios del cambio del uso del suelo que se generen en el primer modelo, el de políticas, serán los que se representarán en el segundo modelo,

¹ Este documento se complementa con 1) Documento con la línea Base de información y análisis de brechas y 2) Tabla preliminar del marco de evaluación de TEEB AgriFood.



Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt

de agroecosistemas. Así, el cambio del uso del suelo sirve como enlace entre los dos modelos para entender, en últimas, cómo las políticas pueden incidir en el bienestar humano.

El presente documento, además de describir el marco conceptual de TEEB AgriFood y las metodologías de modelación, también expone cada uno de los pasos del proyecto, desde la definición del alcance en términos espaciales, de servicios ecosistémicos y de cadenas de valor, hasta la formulación de recomendaciones de política para tomadores de decisiones, especificando la planeación que se realizará para recoger la información que alimentará los modelos aquí expuestos, y el subsecuente análisis de escenarios de política.

Así, el documento presenta en el capítulo 1 la estructura del proyecto paso a paso, desde la definición del alcance hasta las recomendaciones de política. En el capítulo 2 se expone el marco conceptual de TEEB AgriFood y de las metodologías que se van a emplear para modelar y, finalmente, en el capítulo 3 se detallarán los modelos que analizarán cómo los escenarios de política inciden en el cambio del uso del suelo, y cómo estos cambios están relacionados con los servicios ecosistémicos y las cadenas de valor.

1. Estructura del proyecto

El proyecto “TEEB Colombia – Putumayo” tiene como objetivo principal observar cómo cambia el uso del suelo bajo distintos escenarios de política, incluyendo la situación actual, y cómo esos cambios en el uso del suelo están relacionados con el cambio en la oferta de servicios ecosistémicos, y la producción a lo largo de la cadena de valor, que a su vez está relacionada con el bienestar humano. Para esto, el proyecto contempla 9 pasos a seguir, como se muestra en la **Figura 1**.

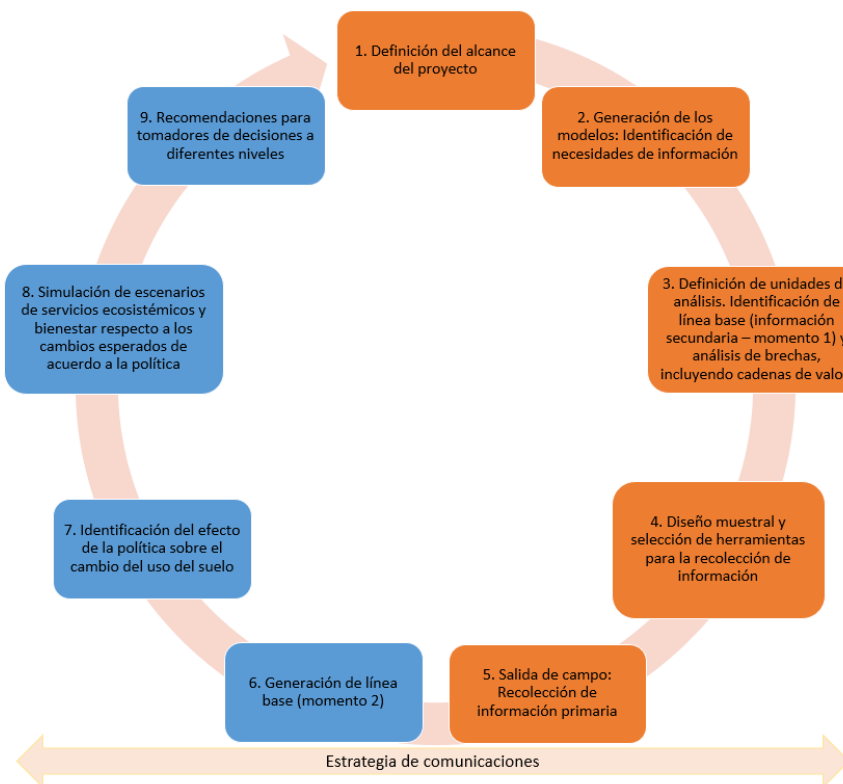


Figura 1. Fases del proyecto TEEB Colombia - Putumayo.
Fuente: elaboración propia.

1.1. Definición del alcance del proyecto

El primer paso del proyecto consistió en la definición del alcance en términos de los sistemas agroecológicos, cadenas de valor y servicios ecosistémicos más relevantes del Valle de Sibundoy, Putumayo, Colombia. Esta definición se expuso de manera detallada en el Documento de Alcance del proyecto.

Se especificó que se van a analizar las cadenas de valor que caractericen las unidades de análisis que se identifiquen en el momento 1.3., mientras que los eslabones que se estudiarán serán los de **producción** y **acopio y procesamiento**. Finalmente, se seleccionaron los servicios ecosistémicos a

estudiar: 1) Provisión de alimentos, 2) Almacenamiento de carbono, 3) Control de la erosión, 4) Oferta hídrica, 5) Regulación hídrica, 6) Polinización, 7) Turismo de naturaleza y 8) Provisión de Hábitat.

1.2. Generación de los modelos: Identificación de necesidades de información

Una vez definido el alcance en términos geográficos, de servicios ecosistémicos y de cadenas de valor, se proponen las metodologías a implementar para analizar, por un lado, la incidencia de las políticas en el cambio del uso del suelo y, por otro lado, las relaciones entre el uso del suelo, los servicios ecosistémicos y las cadenas de valor. Estas metodologías conforman la estructura principal del presente documento, y serán exploradas en detalle en los capítulos siguientes.

Una vez implementadas estas metodologías, se obtienen los modelos propuestos, los cuales se van refinando a lo largo del proyecto. 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.

1.3. Definición de las unidades de paisaje, identificación de línea base (información secundaria – momento 1) y análisis de brechas, incluyendo cadenas de valor

Para la definición de las unidades de análisis, se toma el espacio geográfico del Valle de Sibundoy y se divide en distintas unidades de paisaje según cinco criterios: usos, clima, fisiografía, tipo de productor y tecnología. Una vez obtenidas estas unidades de paisaje, se prioriza cuáles áreas tienen mayor importancia para el proyecto según criterios de representatividad de área, prioridades de conservación y amenazas naturales y antrópicas. Lo anterior se expone de manera detallada en el numeral 3.1.

De manera paralela a la definición del alcance (paso 1), se recopila la información secundaria sobre servicios ecosistémicos, las políticas y normativas agropecuarias y ambientales, y las cadenas de valor del Valle de Sibundoy. Esta recopilación de fuentes secundarias reúne datos de las alcaldías locales (Sibundoy, Santiago, San Francisco y Colón), de la Corporación Ambiental Regional (Corpoamazonía) y de información nacional, como el Censo Nacional Agropecuario (DANE, 2014), entre otros. Esta información se presentará en el Documento Línea Base de información y análisis de brechas.

Aunque esta información constituye una línea base importante para el análisis preliminar de los servicios ecosistémicos y fue útil como contexto para definir el alcance, los requerimientos de información van a surgir directamente una vez estén construidos los modelos. Así mismo, el análisis de brechas toma mayor relevancia una vez se conoce qué información se necesita y qué información es posible obtener de primera mano. Es por esto que se plantean dos momentos de la línea base: el paso 3 (momento 1), que se nutre principalmente de información secundaria y es de carácter general, dado que en este punto no se conocen aún las necesidades específicas de información; y el paso 6 (momento 2), en el que ya se han construido los modelos, por lo que se conoce qué información se necesita y, como ya se ha ido a campo, se conoce de primera mano qué información está disponible y cuál no. De esta manera, se puede nutrir la tabla de evaluación del marco de TEEB AgriFood en dos momentos diferentes, con mayor profundidad de la información en el segundo momento.

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

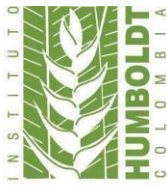
Una vez completados los pasos anteriores, en especial el paso 2 relacionado con los modelos, se obtiene qué información se necesita recopilar para alimentar los modelos, lo que determina a su vez el tipo y el diseño de los instrumentos y herramientas que se necesitan para recoger en campo la información requerida.

De antemano, es posible mencionar que las herramientas que se diseñen, debido a los objetivos del proyecto, tendrán un componente altamente participativo y articulado con las comunidades locales. Así mismo, los instrumentos deben poder recopilar información integral sobre las relaciones existentes en cada unidad de paisaje, es decir, información tanto ecológica, como económica y sociocultural.

Una vez diseñados los instrumentos, se selecciona la muestra sobre la cual se van a aplicar estos instrumentos, teniendo en cuenta que tiene que ser representativa de la unidad de paisaje. Esto determina las unidades específicas a las cuales se visitará para recopilar información.

1.5. Salida de campo: Recolección de información primaria

Una vez diseñados los instrumentos para recopilar información y seleccionada la muestra, es posible salir a campo a recoger la información requerida. En esta salida a campo se tiene contemplado continuar con la articulación con las comunidades locales que se viene realizando desde la primera salida para definir el alcance del proyecto. Esto permitirá que la información técnica del proyecto sea construida de la mano con las comunidades, de tal manera que sea más viable su incorporación dentro del diseño de las políticas locales.



Vale la pena mencionar que la salida a campo no será la única fuente de información primaria, dado que se tendrán diversos apoyos en campo una vez la salida haya terminado, que se encargarán de completar la recolección de información en cuanto a servicios ecosistémicos y cadenas de valor.

1.6. Generación de línea base (momento 2)

Como se mencionó en el paso 3, la información obtenida durante la salida a campo complementa fuertemente la línea base inicialmente recopilada, dado que esta información se obtiene para la simulación de los modelos, de manera que es mucho más detallada y concreta que la información secundaria reunida en una etapa inicial. Es por esto que se propone un segundo momento en la generación de la línea base.

1.7. Identificación del efecto de la política sobre el cambio del uso del suelo

Una vez construido el modelo de políticas y reunida la información obtenida en campo, se puede realizar el análisis de incidencia de las políticas sobre el cambio del uso del suelo. De este modelamiento surgen distintos escenarios de cambio del uso del suelo, los cuales alimentarán el segundo modelo correspondiente a las relaciones entre servicios ecosistémicos, cadenas de valor y uso del suelo. Los detalles de la metodología para este modelamiento se desarrollarán en los próximos capítulos.

1.8. Simulación de escenarios de servicios ecosistémicos y bienestar respecto a los cambios esperados de acuerdo a la política

Con los resultados obtenidos en el modelo de políticas, se obtienen un conjunto de escenarios de uso del suelo, los cuales serán 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, de tal manera que se pueda comparar la tendencia actual con los distintos escenarios planteados.

1.9. Recomendaciones para tomadores de decisiones a diferentes niveles

Los resultados obtenidos luego de modelar y analizar los distintos escenarios, constituyen la evidencia técnica y científica que soporta las recomendaciones de política que se van a realizar para los tomadores de decisiones a diferentes niveles, empezando con el nivel local, en las alcaldías, comunidades y asociaciones pertenecientes al Valle de Sibundoy.

Una vez descrita de manera global la estructura del proyecto, a continuación, se profundiza en el paso 2 relacionado con la generación de modelos, el cual conforma el objetivo central de este documento. Primero, se expone el marco conceptual dentro del cual se desarrollan las distintas metodologías y luego se explica de manera detallada las categorías de análisis.

2. Marco Conceptual

2.1. Marco TEEB AgriFood

El proyecto “TEEB Colombia – Putumayo” se desarrolla en el marco de TEEB, el cual *“es una iniciativa global centrada en “hacer visibles los valores de la naturaleza”, para lo cual plantea un enfoque estructurado de valoración que ayude a los tomadores de decisiones a reconocer la amplia gama de beneficios proporcionados por los ecosistemas y la biodiversidad, que demuestre sus valores en términos económicos y, cuando corresponda, capture esos valores en la toma de decisiones”* (TEEB, 2018).

A su vez, el marco específico de TEEB AgriFood, busca ser un marco para la generación de evaluaciones de sistemas agrícolas, prácticas, productos y escenarios de políticas, que vincule los impactos y dependencias a lo largo de las cadenas de valor alimentarias. Este marco reúne de manera integral distintas herramientas para modelar las relaciones en los agroecosistemas y ofrece una batería de instrumentos para evaluar y valorar los servicios ecosistémicos.

En la misma línea, el proyecto “TEEB Colombia – Putumayo” pretende demostrar el valor (no solamente económico si no también ecológico) de los servicios ecosistémicos a lo largo de las cadenas de valor, y pretende generar la evidencia científica para que estos valores se capturen en el diseño de políticas de ordenamiento territorial, ambientales y agrícolas en el Valle de Sibundoy. Adicionalmente, el proyecto utiliza distintas metodologías pertenecientes al marco TEEB AgriFood, tales como la dinámica de sistemas, y realiza aportes metodológicos al marco general de TEEB. A lo largo del capítulo se desarrollarán las metodologías propias del Marco TEEB y los aportes que se están realizando.

En el proyecto “TEEB Colombia – Putumayo” se implementarán dos modelos, de los cuales el primero analizará la incidencia de las políticas (agrícolas, ambientales y de ordenamiento territorial) en el cambio del uso del suelo, mientras que el segundo estudiará las relaciones existentes entre el uso del suelo, la oferta de servicios ecosistémicos y el bienestar humano, en los agroecosistemas priorizados a lo largo de los eslabones de la cadena de valor seleccionados: **producción y acopio y procesamiento**.

Para el primer modelo, correspondiente a la incidencia de las políticas en el cambio del uso del suelo, se utilizará una **red de implicaciones**. Esta metodología formalmente no hace parte de la caja de herramientas propuestas por el Marco de Evaluación TEEB (TEEB, 2018), pero sí encaja con los pasos a seguir propuestos por el Marco y es adaptable al enfoque TEEB. Por su parte, el segundo modelo, correspondiente a las relaciones entre el uso del suelo, los agroecosistemas y el bienestar humano, implementará la **dinámica de sistemas** para estudiar las relaciones entre los inventarios y los flujos de este sistema. Este método de modelación hace parte de la caja de herramientas propuesta por el Marco TEEB AgriFood (TEEB, 2018). Cada uno de estos modelos aplica distintas metodologías, las cuales se exponen a continuación.

2.2. Redes de implicaciones

Las redes de implicaciones son una metodología desarrollada por Redondo et al. (2019) para el análisis sistémico de una característica del espacio físico de estudio, a través de la implementación de la metodología en cada uno de los paisajes que se definen en el espacio físico de estudio. Se basa en la consideración de las implicaciones directas, indirectas y acumulativas (aditivas y sinérgicas) que se pueden encontrar en un paisaje del espacio físico de estudio, para establecer prioridades de gestión, lineamientos para esas prioridades y, en consecuencia, distintos escenarios.

La metodología se basa en los siguientes pasos (Redondo et al, 2019):

1. **Definición del tipo de estudio que se realiza:** aquí se realiza la definición del tipo de actividad que será considerada y el tipo de incidencia o sensibilidad de la actividad seleccionada sobre cada una de las unidades de paisaje en el espacio físico de estudio que será evaluado.
2. **Elaboración de las redes de implicaciones:** en este paso se realiza la construcción de las redes de implicaciones para la actividad definida. Durante la construcción de la red quedan definidos los condicionantes de las relaciones de la red, lo que a su vez direcciona qué bases de datos espaciales deben obtenerse para el paso de cálculo. Esta actividad se realiza a través de talleres con 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:** durante este paso se alimenta las redes de implicaciones de cada uno de los paisajes definidos con las bases de datos espaciales que se obtuvieron para la obtención de la incidencia o sensibilidad de la actividad sobre cada unidad de paisaje del espacio físico de estudio. Esta información obtenida se presenta en un sistema de información geográfica utilizando valores cualitativos de colores.

Dado que las políticas no están formuladas pensando en las unidades de paisaje obtenidas a través de la metodología expuesta, se tomará para cada paisaje las políticas que apliquen. Hay un grupo de políticas que son departamentales, estas se aplicarán para todas las unidades de paisaje. Hay otras políticas que son municipales, estas se aplicarán para las unidades de paisaje de cada municipio, según corresponda. Por último, hay otro grupo de políticas que son sectoriales, por lo que se aplicarán según las características identificadas en cada paisaje: para los paisajes con ganadería se aplicarán las políticas ganaderas, para un paisaje

destinado al turismo se tomarán en cuentas las políticas destinadas al turismo, así sucesivamente.

5. **Identificación de las prioridades de gestión:** Dado que en el mapa de incidencia o sensibilidad obtenido se pueden encontrar dos polígonos con el mismo color que no necesariamente tienen el mismo tipo de prioridades, y considerando que el color se obtiene de las redes de implicaciones elaboradas, se calcula la incidencia de los atributos de la red en el resultado obtenido a través del algoritmo presentado por Díaz (2014) y se organizan de mayor a menor, lo que permite la obtención de las prioridades de gestión para cada unidad de paisaje.
6. **Identificación de las tipologías de gestión:** Es el conjunto de todas las celdas con el mismo conjunto de prioridades de gestión dan lugar a una tipología de gestión, por supuesto, entre más prioridades de gestión se consideran, más tipologías de gestión se tendrán. Dado que es posible que las que son prioridades de gestión de un paisaje también lo sean en otro, aunque estén organizadas de forma distinta, se define con ellas tipologías de gestión, logrando la eficiencia en el análisis.

Una n-tipología de gestión es un conjunto con n prioridades de gestión en el top n. Por ejemplo, si se toma el top 3 de prioridades de gestión para construir las tipologías, entonces cada tipología tendrá 3 prioridades de gestión sin importar su orden y tendremos por cada una de ellas una 3-tipología de gestión. Esto permite el análisis eficiente de los múltiples paisajes estudiados, en los que se pueden presentar un grupo de distintas tipologías, de acuerdo a si tienen o no los mismos grupos de prioridades (tipologías).

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:** Cada propuesta de lineamientos para la gestión de las tipologías debe demostrar ser viable, entonces se debe contar con un método de análisis de la viabilidad de los lineamientos. Aquí es donde se realiza el análisis del comportamiento tendencial de cada lineamiento con la metodología de la dinámica de sistemas, tomando cada lineamiento propuesto como un nuevo escenario de simulación, en el que se consideran sus condiciones pesimistas, moderadas y optimistas, mediante el arreglo de los parámetros del sistema socioecológico representado. De este modo, cada escenario cuenta con tres arreglos distintos de los parámetros, que son los que le confieren la cualidad de pesimista, moderado u optimista. Al final, se entregarán los resultados de las simulaciones de todos los lineamientos considerados, clasificándolos como viables o no viables. La viabilidad de un lineamiento vendrá dada por la capacidad de mejorar el bienestar actual del sistema socioecológico en su escenario pesimista.

Lo anterior implica que se analizarán m-escenarios, dependiendo de las tipologías de gestión que surjan luego de la simulación del modelo de políticas públicas. Es importante

resaltar que para cada tipología de gestión se plantea un lineamiento de política, que se encuentra constituido por un conjunto de estrategias encaminadas a mejorar las prioridades de gestión. Cada uno de los lineamientos es un escenario, y cada escenario tiene 3 arreglos: pesimista, moderado y optimista. Si para un escenario dado, el arreglo pesimista genera en el modelo de paisaje un bienestar mayor al del Business-As-Usual, este escenario se considera como viable. En el caso contrario, no lo es. Esto garantiza que los lineamientos que se propongan necesariamente garantizarán un incremento del bienestar en el territorio.

2.3. Dinámica de sistemas

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 este proyecto se considerará la metodología propuesta por Aracil & Gordillo (1997) basada en tres pasos:

1. **Conceptualización:** en este paso se trata la construcción de una hipótesis dinámica del sistema para el problema definido a través de enunciados de las relaciones de causa y efecto entre los diferentes atributos del sistema. La hipótesis dinámica se expresa en un diagrama causal en el que necesariamente se espera la identificación de bucles de realimentación. Esta actividad se realiza a través de talleres con expertos.
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 diferencial.
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.

3. Metodología de definición de unidades de análisis, modelación y de evaluación dentro del marco TEEB AgriFood

Como se comentó anteriormente, una vez definidas las unidades de análisis espaciales, el trabajo que se realizará sobre el espacio físico de estudio demanda de dos ejercicios de modelamiento matemático: el primero es el análisis de la incidencia de las políticas en el cambio del uso del suelo, con el cual se definirán escenarios de evaluación, y el segundo es el análisis de las relaciones entre oferta de servicios ecosistémicos, cadenas de valor y uso del suelo. A continuación, se expondrá la metodología a implementar para definir las unidades de análisis y las metodologías que se utilizarán para modelar y analizar.

3.1. Definición de unidades de análisis espaciales

La definición de las unidades de análisis espaciales no sólo permite delimitar las unidades de paisaje sino que también permite conocer las características relacionadas con cada unidad. Así mismo, de las características de cada unidad de análisis, como el tipo de arreglo (p.e. qué cultivos tiene, si tiene pastos o no, o si tiene coberturas naturales o no), emergen las cadenas de valor que se van a analizar en el proyecto. En resumen, estas características permitirán encontrar unidades que son homogéneas en ciertos aspectos y que, por ende, se pueden analizar de manera conjunta.

Lo anterior realza la importancia que tienen las relaciones que se establecen dentro de una unidad espacial y que contribuyen a los flujos que de esta se originan (pilar principal de la metodología TEEB), como el agua (cantidad y calidad), los cultivos cosechados (ya sean para venta o para autoconsumo), los residuos, etc. Por ejemplo, si en una unidad de análisis se encuentran pastos con ganado lechero en combinación con un cultivo de maíz, las relaciones y los resultados que de estas se derivan serán diferentes a una unidad que sólo tenga pastos con ganado lechero, o a una unidad que sólo tenga un cultivo de maíz. Lo mismo sucede con características biofísicas como el clima o la fisiografía, ya que las relaciones que se establecen bajo estas condiciones pueden divergir: no es lo mismo un cultivo de frijol en un clima templado que en un clima frío-húmedo. Es por esto por lo que, a continuación, se expone la metodología para definir las unidades de análisis, de las cuales emergerán las cadenas de valor a estudiar.

3.1.1. Definición de unidades de análisis

En concordancia con la metodología para el Análisis y categorización de la sostenibilidad de paisajes agropecuarios (Bustamante et al., 2018), y la aproximación metodológica desde dinámica de sistemas para el análisis de sostenibilidad de los paisajes, la definición de las unidades de análisis se realiza a partir de los siguientes criterios: clima, fisiografía, cobertura de la tierra, tipo de productor agrícola y tecnología (Bustamante et al., 2018), con el objetivo de generar unidades homogéneas a partir de estos criterios, de los cuales la fisiografía y el clima presentan una mayor regularidad,

mientras que las coberturas, el tipo de productor y tecnología, requieren de un análisis de variación y comportamiento más dinámico en el tiempo.

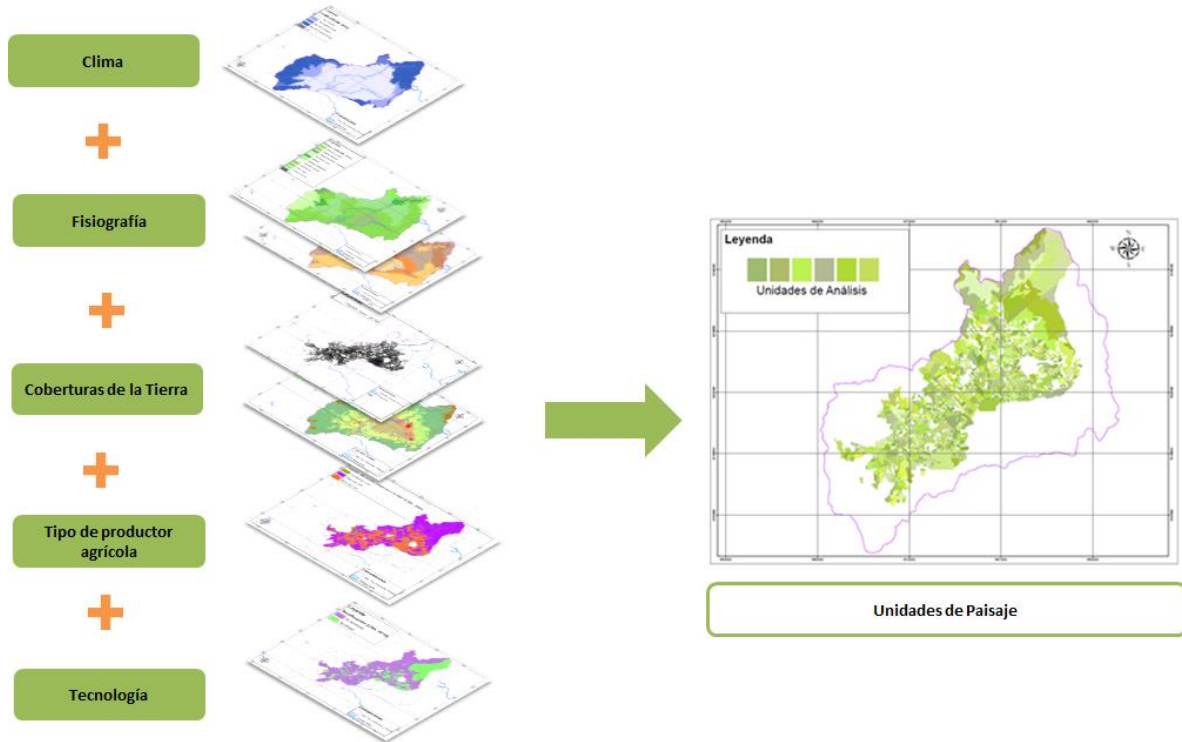


Figura 2. Aplicación de los criterios para definir las unidades espaciales de análisis

Fuente: Elaboración propia.

A partir de procesos estadísticos y álgebra de mapas, se interseca la información de las fuentes oficiales de información generadas por instituciones como el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (Sinchi), el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

La información climática se obtiene del mapa de ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia, escala 1:100.000 (IDEAM, 2017), que en el área de estudio varía entre el frío húmedo en la parte más plana, hasta muy frío súper húmedo en las zonas más montañosas. El criterio fisiográfico se trabaja a partir de las unidades de relieve como abanicos y glacis, lomas y colinas, depresiones, entre otros, y las unidades del ambiente edafológico (IDEAM, 2017). La información de usos se genera a partir de la creación de arreglos de cultivos, pastos y áreas naturales a partir del mapa de coberturas de la tierra de la Amazonía colombiana, generado por el Instituto Sinchi (2018), a escala 1:100.000.

Para la definición del tipo de productor agrícola se toma como referencia el tamaño de la Unidad Agrícola Familiar en los municipios de Sibundoy, Colón, Santiago y San Francisco, con clima frío comprendida entre el rango de 10 a 14 hectáreas (ICRA, 1996); por último, el criterio de tecnología toma como insumo la información del CNA (2014) del DANE, específicamente la pregunta **P_S9P117**², relacionada con la presencia de maquinaria para el desarrollo de actividades agropecuarias. A partir de un proceso de álgebra de mapas, se realizó la combinación de variables espaciales antes descritas.

Esta división del paisaje permitirá ver las distintas unidades que lo componen. Es necesario priorizar qué unidades se van a analizar, dado que el estudio de las unidades de paisaje en su totalidad requeriría más tiempo.

3.1.2. Criterios de Priorización de Unidades de Análisis

Una vez obtenidas las unidades de paisaje, es posible que se obtengan un cuantioso número de unidades, razón por la cual es importante tener criterios que permitan priorizar qué unidades se analizarán finalmente. A continuación, se exponen los criterios seleccionados.

1. Representatividad por área

Para aplicar este criterio se genera un filtro de las 100 unidades con mayor área que contienen arreglos de cobertura en los que se reportan usos agropecuarios únicamente o con coberturas naturales, y las 100 unidades de mayor área con arreglos de áreas naturales.

2. Prioridades de Conservación

En concordancia con la información de la formulación de estrategias y lineamientos territoriales para la conservación de la biodiversidad (cartografía escala 1: 100.000), del proyecto de Planeación ambiental para la Conservación de la biodiversidad en áreas operativas de Ecopetrol (Hernández et al. 2014), se seleccionan las áreas con los siguientes lineamientos, por su importancia y articulación con el análisis de este estudio:

- Manejo de Recursos Naturales
- Aprovechamiento de recursos en áreas seminaturales
- Restauración para la preservación

3. Amenazas naturales y antrópicas

² “**P_S9P117** Hoy; ¿existe maquinaria para el desarrollo de las actividades agropecuarias?” (CNA DANE, 2014)

En el Plan de ordenación y manejo de la cuenca alta del río Putumayo (Corpoamazonía, 2009), se identificaron las amenazas naturales y antrópicas de esta subregión de acuerdo con la información biofísica, generando las siguientes categorías:

- Áreas con amenaza de deforestación, sobrepastoreo y ampliación de frontera agrícola
- Áreas con amenaza de deforestación y sísmica
- Áreas con amenaza de desbordamiento y deforestación
- Áreas con amenaza de inundación y nivel freático alto
- Áreas con nivel freático alto y alta deforestación

Para el ejercicio de priorización, se seleccionan las unidades que presentan amenazas de deforestación, sobrepastoreo y ampliación de frontera agrícola, y amenaza de desbordamiento y deforestación.

Ahora bien, una vez identificadas las unidades priorizadas, es importante recalcar que el relacionamiento con los Cabildos de Santiago, Sibundoy, San Francisco, Colón, San Andrés y San Pedro, avanza según el ritmo propio de trabajo de las comunidades y que, por el desarrollo de la articulación o porque no desean seguir trabajando de la mano con el proyecto, es posible que en el análisis final no sea posible tener en cuenta algunas de las unidades generadas.

3.2. Modelo de políticas y uso del suelo

El primer modelo pretende analizar la incidencia que tienen las políticas ambientales, agrícolas y de ordenamiento territorial en el cambio del uso del suelo a partir de la mencionada metodología para las redes de implicaciones, vea Sección 2.2. Para este análisis, se partirá del marco jurídico y de política general del ordenamiento territorial, teniendo en cuenta que este contiene las disposiciones tanto de la planificación ambiental como la productiva para la regulación del uso del suelo, y claves para la toma de decisiones sobre paisajes agrícolas con criterios de sostenibilidad ambiental.

En ese sentido, y teniendo en cuenta que no existe una metodología estándar en Colombia para el análisis normativo, y las políticas públicas se derivan de este marco legal, el estudio atenderá el principio de la jerarquía normativa o jerarquía de la pirámide de Kelsen³, lo que supone partir de lo dispuesto por la Constitución Política de 1991, norma de normas, y que en materia de ordenamiento territorial prescribió la expedición de leyes orgánicas (de especial expedición y rango legal) para el ordenamiento del territorio en Colombia, vea **Figura 3**.

En la misma línea, dado que estas leyes especiales otorgan competencias en los distintos niveles territoriales para regular la ordenación de su propio territorio y dispone que sean ejercidas

³ Este principio obedece un criterio de fundamentación material y formal de un ordenamiento jurídico que, según Hans Kelsen, supone ubicar de mayor a menor jerarquía las normas, de modo que una será superior a otra en la medida en que determine sus condiciones de validez, es decir, sus órganos y procedimiento de creación.

conforme a los principios de coordinación, concurrencia y subsidiariedad; el análisis procurará la revisión tanto de las leyes de ordenamiento territorial como de los instrumentos de planificación locales (municipales), denominados Planes de Ordenamiento Territorial o Esquemas de Ordenamiento Territorial y el Plan de Ordenamiento Territorial Departamental (regional). Adicionalmente, se abordarán en el análisis los instrumentos de política relacionados - principalmente los expedidos por Consejo Nacional de Política Económica y Social - Conpes-, en la medida que brinde herramientas para la operatividad de las normas objeto de análisis.



Figura 3. Jerarquía normativa en Colombia.

Fuente: elaboración propia, basado en Kelsen (1995).

Adicionalmente, dado que el Plan Nacional de Desarrollo es la carta de navegación mediante el cual el Gobierno define sus objetivos nacionales de largo plazo, las metas y prioridades de la acción estatal a mediano plazo y las estrategias y orientaciones generales de la política, este análisis también tendrá en cuenta de manera transversal, lo que el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022, "Pacto por Colombia, Pacto por la equidad", se haya trazado en materia ambiental, agropecuaria y sus respectivos instrumentos económicos para sus cuatro años de Gobierno.

Es importante tener en cuenta que el proyecto TEEB AgriFood para Putumayo se desarrolla en un contexto de cambio de gobiernos locales y regionales a partir del 1° de enero de 2020, momento a partir del cual los nuevos alcaldes del Valle de Sibundoy y el gobernador del Departamento del Putumayo, iniciarán proceso de elaboración y adopción de sus planes de desarrollo de manera concertada entre ellos y con el gobierno nacional en atención al Plan Nacional de Desarrollo, lo cual representa una oportunidad para incidir en dicha formulación.

Así las cosas, se analizará la legislación básica del ordenamiento territorial colombiano, en la cual se definen los lineamientos técnicos, políticos, administrativos y jurídicos sobre el proceso de

ordenamiento territorial y, de manera transversal, la Ley del Plan Nacional de Desarrollo, entendido como el articulado y sus bases conceptuales con los pactos allí contenidos, principalmente, el Pacto por la Sostenibilidad y el Pacto por el Emprendimiento y la Productividad.

Ahora bien, enfocándose ya en el modelo como tal, por la implementación de la metodología de las redes de implicaciones, se conocerá cuál es la incidencia de las mencionadas políticas sobre el uso del suelo. Esta incidencia tendrá una calificación cualitativa para cada uno de los paisajes definidos en términos de: nula, muy baja, baja, media, alta y muy alta.

El análisis de influencias de las redes de implicación, como se mencionó en la sección 1.2., permite la identificación de las prioridades de gestión para hacer de las políticas instrumentos de mayor incidencia en los usos del suelo de los paisajes del espacio físico de estudio.

Con las prioridades de gestión encontradas por la técnica de las redes de implicaciones se realizará la proposición de un conjunto de estrategias que conduzcan a la atención de esas prioridades. Cada una de ellas será denominada como un escenario y se evaluará a través del modelo de análisis de algunos de los indicadores de sostenibilidad en comparación con el escenario del comportamiento tendencial de la situación actual.

3.2. Usos del suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y el bienestar humano

El segundo modelo corresponde a la relación entre el uso del suelo, la oferta de servicios ecosistémicos y el bienestar humano a través de las cadenas de valor. Así, el modelo de dinámica de sistemas une estos tres componentes. A continuación, se expone cómo se evaluará cada componente dentro de la modelación.

3.2.1. Caracterización de servicios ecosistémicos

La caracterización y análisis de la oferta de servicios ecosistémicos se abordará en este capítulo a partir de métodos de análisis espacial según variables cualitativas y cuantitativas, que permitan mapear el potencial de los ecosistemas para la provisión de servicios ecosistémicos y la concordancia espacial entre múltiples servicios ecosistémicos, con datos de tipo socioecológico (Rincón-Ruíz, 2014); la valoración monetaria se desarrolla a lo largo del análisis de las cadenas de valor al momento de caracterizar los ingresos e insumos de cada eslabón (numeral 3.2.3).

Los métodos abordados en el 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), entre el Instituto Humboldt y Gran Tierra Energy Inc. Colombia, serán aplicados para el área de

estudio. Adicionalmente se compilará la información aplicable para la caracterización de servicios ecosistémicos de estudios regionales como la identificación y cuantificación de bienes y servicios ambientales para el 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, generado entre Corpoamazonía y WWF Colombia en el 2010 (Corpoamazonía & WWF Colombia, 2010). A continuación, se expone cómo se analizará cada uno de los servicios ecosistémicos seleccionados:

- **Servicios de Provisión:**

- 1. Provisión de alimentos**

La aproximación espacial al servicio de provisión de alimentos se realizará a partir de la creación de arreglos espaciales entre las unidades identificadas como predios, los cultivos existentes, usos pecuarios y áreas naturales. Para la generación de las unidades, la información base será extraída del mapa de coberturas de la tierra de la Amazonía colombiana, generado por el Instituto Sinchi (Sinchi, 2018), a escala 1:100.000, que fue integrado con la Base de datos Catastral del departamento de Putumayo (IGAC, 2019), y la información referente a la presencia de cultivos y usos pecuarios en las Unidades Productoras Agropecuarias, compilada en el Tercer Censo Nacional Agropecuario (CNA) del DANE (2014).

- 2. Oferta hídrica**

El análisis de la oferta se generará a partir de las variables principales del ciclo hidrológico, como la precipitación, que se mide en milímetros, los cuales a su vez equivalen a litros de agua por metro cuadrado (Lts/m²) y es la entrada principal del recurso hídrico a una cuenca, y la evaporación, la transpiración, la infiltración y la escorrentía como salidas del sistema (IDEAM, 2019). A partir de estas variables, se genera un cálculo de la Escorrentía Superficial Directa (ESD) (IAvH, Gran Tierra, 2019).

- **Servicio de regulación:**

- 1. Secuestro y Almacenamiento de carbono**

La identificación espacial de las áreas con almacenamiento de Carbono se realizará a partir de la implementación de la metodología del ejercicio de identificación y cuantificación de bienes y servicios ambientales para el 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, generado entre Corpoamazonia y WWF Colombia en el 2010.

El ejercicio se basa en la identificación de reservorios de carbono en la biomasa superficial, biomasa subterránea, el suelo y biomasa muerta, que luego son agregados a través de la herramienta InVEST (Integrated valuation of ecosystem services and tradeoffs) (Sharp et al., 2018), de acuerdo a cada

unidad de suelos y tipo de cobertura de la tierra, estimando valores en miligramos (Mg) de carbono por cada cuadrícula. Esta herramienta también hace parte del marco TEEB AgriFood.

2. Control de la erosión

Para la mapeación de este servicio, se considera la importancia de la cobertura vegetal sobre el control de los procesos de erosión, a partir de la identificación de las áreas con degradación de suelo por este tipo de degradación, entendido como *“la pérdida de la capa superficial de la corteza terrestre por acción del agua y/o del viento, que es mediada por el ser humano, y trae consecuencias ambientales, sociales, económicas y culturales”* (IDEAM-UDCA, 2015). Estas áreas se relacionan con las zonas con coberturas naturales y semi-naturales, determinando que este servicio ecosistémico es correlativo a la magnitud del proceso siempre y cuando exista superposición con coberturas de este tipo (IAvH, Gran Tierra, 2019).

3. Regulación hídrica

La aproximación espacial para el servicio de regulación hídrica está relacionada con cobertura vegetal, la pendiente, la geología, la capacidad de drenaje del suelo y la presencia de humedales. En el proyecto Chawar (2018) se aborda considerando la retención de la oferta hídrica por la permeabilidad y porosidad del suelo, el escurrimiento de acuerdo a las pendientes del terreno, y las retenciones generadas por las coberturas de la tierra (IAvH, Gran Tierra, 2019).

4. Polinización

De acuerdo a la aproximación del Proyecto Chawar (2018), el mapeo se realizará a partir de la identificación de coberturas naturales y semi-naturales, con potencial de ofrecer hábitat a insectos polinizadores, respecto a la cercanía de las áreas con cultivos, establecida dentro de dos rangos (menor a 50m y menor a 300m) que, de acuerdo con lo establecido por diferentes autores, corresponden a las distancias de visita de diferentes polinizadores (Benjamin et al. 2014, Carvalheiro et al. 2010, en IAvH, Gran Tierra, 2019). La incertidumbre en la metodología del Proyecto Chawar, respecto a la dificultad de identificar el tipo de cultivo del insumo de coberturas de la tierra, será abordado a partir del uso de los arreglos identificados en la definición de unidades de análisis para este estudio, que permite identificar con mayor detalle los tipos de cultivo reportados.

• Servicios de hábitat

1. Provisión de Hábitat

De acuerdo con la metodología implementada por Corpoamazonía & WWF (2010), el servicio de provisión de hábitat está definido de acuerdo a la calidad del hábitat, como la posibilidad de un ecosistema para brindar condiciones adecuadas para la persistencia de individuos y poblaciones,

que se aproxima desde la clasificación de las coberturas naturales y los tipos de suelo, categorizando los tipos de uso de suelo con manejo (no hábitat) y los tipos de usos del suelo sin manejo.

Adicionalmente, se cuantifica la sensibilidad relativa de cada tipo de hábitat frente a las amenazas a la degradación por proximidad a áreas con alto grado de transformación como áreas urbanas y vías, asignando valores entre 0 y 1, donde 1 indica mayor sensibilidad, y 0 mayor resistencia a la amenaza. Esta información es procesada en la herramienta InVEST, para obtener valores de calidad del hábitat.

- **Servicios culturales**

1. **Turismo de naturaleza**

La modelación de este servicio se realizará a partir de los resultados del Análisis multidimensional de la potencialidad de los recursos y atractivos naturales para la gestión sostenible del turismo de naturaleza, cuyo objetivo va más allá de *“identificar sitios que se constituyan en atractivos de turismo de naturaleza”* (Bustamante et al. 2019).

En las áreas definidas como potenciales de turismo de naturaleza, confluyen características biológicas, físicas y culturales atrayentes, y una sensibilidad socioambiental por las posibles implicaciones de las diferentes fases de un producto de turismo de naturaleza, y sus condicionantes sociales, económicos y ambientales.

La metodología integra espacialmente unidades que por sus características pueden significar un potencial atractivo de turismo de naturaleza, con la sensibilidad socioambiental que este turismo puede generar en el paisaje, a partir de la identificación de los condicionantes y la red de implicaciones que generarían sobre los atributos socioambientales del paisaje. Los atractivos se identifican a partir de álgebra de mapas con variables en las dimensiones biológica y física.

Tabla 1. Variables para la definición de recursos y atractivos para el turismo de naturaleza

DIMENSIÓN	CRITERIO	VARIABLE	FUENTE
BIOLÓGICA	Especies	Riqueza	IAvH, 2015
		Diversidad de especies bandera (Riqueza y endemismo Primates)	IAvH, 2019
	Cobertura y uso de la tierra	Zonas naturales y seminaturales	IDEAM, 2012
	Ecosistemas	Ecosistemas raros (Aves Endémicas)	IAvH, 2017
		Ecosistemas en peligro (Aves Amenazadas)	IAvH, 2017
	Áreas de Importancia de Conservación (AIC)	Nuevas áreas de interés para la conservación	SIAC, 2017

		AICAS	SIAC, 2017
		Importancia aviturismo	IAvH, 2016
		Otras categorías diferente a SPNN	SIAC, 2017
FÍSICA	Clima	Unidades climáticas (mayor diversidad)	Ideam,2012
	Visibilidad	Belleza escénica (miradores)	MADS, Patrimonio Natural 2010
		Zonas secas (bosque seco)	SIAC, 2017
	Cuerpos de agua	Cataratas	IGAC 2012
		Cuerpos de agua superficiales	IGAC, 2012
	Suelos	Desiertos	IAvH,2017
		Dunas	IAvH,2017
		Médanos	IAvH,2017
	Geología	Formaciones geológicas (volcanes con buffer de 1km)	SGC, 2017
Cavernas (con buffer de 1km)		Higuera, 2018	

Fuente: tomado de Bustamante et al. (2019).

Los condicionantes de la red de implicaciones, que caracterizan la sensibilidad, fueron agrupados a escala veredal con información del CNA (2014), optimizados con algoritmos computacionales, que luego fueron superpuestos con las áreas en donde se identificaron recursos y/o atractivos.

Tabla 2. Condicionantes de la red de implicaciones para la sensibilidad socioambiental al turismo de naturaleza

No.	Condicionante	Símbolo	Rango	Fuente
1	Informalidad	cl	0 - 1	Censo General DANE, 2005
2	Abastecimiento agrícola	cAA	0 - 1	CNA, 2014
3	IPM	cIMP	0 - 1	CNA, 2014
4	Percepción de pobreza CNA	cPP	0 - 1	CNA, 2014
5	Vías e infraestructura	cVI	v - f	Invías, 2017

6	Infraestructura proyectada de la que podría beneficiarse	cIP	v - f	ANI, 2019
8	La afectación de la tenencia	cAT	0 - 1	CNA, 2014
9	Participación local potencial	cPLP	0 - 1	CNA, 2014
10	Percepción sobre la reputación de las autoridades territoriales involucradas	cPR	0 - 1	CNA, 2014
11	Conocimiento y/o percepción del paisaje	cCPP	0 - 1	CNA, 2014
12	Posibilidad de encadenamiento productivo	cPEP	0 - 1	CNA, 2014
14	Institucionalidad formal e informal (JAL, grupos productivos, otros)	cIFI	0 - 1	CNA, 2014
16	Vulnerabilidad/fragilidad de especies y ecosistemas	cVEE	0 - 1	Etter,2017
18	Presencia de servicios de turismo (CNA)	cPST	0 - 1	CNA, 2014
19	Zonas de posconflicto	cZP	v - f	ART, 2017
20	Zonas de reserva campesina	cZRC	v - f	ANT,2017
21	Resguardos y territorios colectivos	cRTC	v - f	Incoder, 2010, 2015
23	Áreas protegidas	cAP	v - f	SIAC, 2017
24	Cultivos ilícitos	cCI	v - f	Simci, 2016
25	Minería informal	cMI	v - f	Upme, 2015
27	Etnia	cE	0 - 1	CNA, 2014
30	Valores culturales inmateriales	cVCI	v - f	Mincultura, 2017
31	Arraigo	cArr	0 - 1	CNA, 2014

Fuente: tomado de Bustamante et al. (2019).

Esta metodología para el potencial de turismo de naturaleza está asociada a recursos y atractivos naturales con énfasis en miradores, cavernas y diversidad de aves, primates y ecosistemas, relacionadas con el Turismo Científico de Naturaleza y Ecoturismo, excluyendo del área de análisis las áreas del Sistema Nacional de Parques Naturales de Colombia (SINAP, 2015).

3.2.2. Heterogeneidad

Además de la oferta de servicios ecosistémicos, dentro del modelamiento de las relaciones también se analizará la heterogeneidad del paisaje. Este indicador hace referencia al número de coberturas del suelo y a su representatividad en el paisaje. La fórmula para su cálculo es la siguiente:

$$H = \frac{N(H_V - 1) + 1}{1 - \sum_{i=1}^{N-1} P_i} * 100\%$$

Donde N es el número de coberturas del paisaje, P_i es la ponderación dada al i-ésimo uso en virtud de su condición de mosaico y H_V , denominada heterogeneidad virtual, se define como sigue:

$$H_V = 1 - \frac{1}{N} \frac{AN \cdot P_{AN}}{A_T} - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N-1} \frac{A_i}{A_T} P_i$$

Donde A_i es el área de la i-ésima cobertura, AN es la extensión del área natural, P_{AN} es la ponderación del área natural y A_T es el área total del paisaje.

Con los indicadores expuestos hasta el momento, es posible realizar el análisis de servicios ecosistémicos. A continuación, se explica cómo se realizará el análisis de cadenas de valor, las cuales están conectadas intrínsecamente con los servicios ecosistémicos en el primer eslabón de la cadena: **la producción**.

3.2.3. Cadenas de valor

Uno de los componentes de la metodología TEEB AgriFood es el análisis a lo largo de la cadena de valor: producción, acopio y procesamiento, distribución y marketing, y consumo. Como parte del alcance del proyecto (ver Documento de Alcance, numeral 2.7, Pág 24), se especificó que las cadenas de valor a analizar serán las que corresponden a los arreglos existentes dentro de cada una de las unidades de análisis espaciales priorizadas. Así mismo, se especificó que se analizarán dos eslabones de la cadena: la **producción** y el **acopio y el procesamiento**. A continuación, se expone qué análisis se realizará para cada eslabón.

1. Producción

La producción reúne todas las relaciones (inputs y outputs) concernientes a la obtención de alimentos en cada uno de los arreglos (Kaplinsky & Morris, 2001). El análisis como tal de la cadena de valor será principalmente a través de los beneficios económicos monetarios percibidos por el productor. Para esto se calculará el Beneficio Económico Neto de los productores, tomando en cuenta tanto los costos como los ingresos por cuenta de la cosecha de alimentos.

En relación con los servicios ecosistémicos a evaluar en el proyecto, aquellos que provean insumos o que constituyan fuente de ingresos para la producción, serán analizados de manera monetaria. Por ejemplo, el carbono secuestrado en una unidad de paisaje constituye un potencial ingreso gracias a los mercados de carbón. De igual manera, al agua que sirve como insumo para los cultivos también es posible asignarle un valor económico.

Así mismo, es posible identificar en qué unidades de paisaje puede haber mayores costos debido a la ausencia o debilidad de ciertos servicios. Por ejemplo, las unidades que se identifiquen con un mayor nivel de erosión constituyen en sí mayores costos para la producción.

2. Acopio y procesamiento

Por su parte, el análisis del **acopio y del procesamiento** tendrá en cuenta dos componentes:

- a) El acopio y la relevancia de la asociatividad en su éxito o fracaso

La asociatividad es la capacidad de hacer las cosas en conjunto y hacer alianzas duraderas como resultado de un alto nivel de cooperación o coalición de los actores en función de un objetivo común. Para lo anterior, se realizará un análisis de redes sociales que permitirá evaluar la capacidad de asociatividad entorno a los eslabones de las cadenas productivas identificadas, que permiten que los sistemas agroalimentarios se mantengan en el tiempo.

En el análisis se incluye las redes de individuos, grupos y organizaciones que vinculan a individuos de diferentes familias o grupos en actividades comunes para diversos fines, conformando asociaciones locales que trascienden en la toma de decisiones y arreglos institucionales de los paisajes, cubriendo una gama completa de arreglos horizontales formales e informales (Grootaert, 2002). La asociatividad puede ser formal e informal: la primera se refiere a la organización formal, con directivas reconocidas, requisitos de afiliación, reuniones, cuotas, credencial de pertenencia, etc., pudiendo adquirir o tener estatus jurídico en la sociedad; la segunda no requiere de ningún andamiaje organizativo, opera por la fuerza de la tradición y la costumbre (Tello, 2006).

La asociatividad en Colombia es una actividad frágil porque no hay constancia de los hogares en el proceso de participación en proyectos de largo plazo, respondiendo mejor a incentivos temporales como aquellos proporcionados por el gobierno (Poveda, 2019). Para superar los retos del sistema, es necesario identificar las organizaciones, formales e informales, que existen en la comunidad, como los diferentes tipos de organizaciones, asociaciones (agricultura, crédito, salud, educación, etc.) e identificar qué instituciones son más importantes en satisfacer las necesidades de la comunidad (Grootaert, 2004); por ejemplo, las cooperativas son en sí mismas instituciones híbridas marcadas por una coordinación horizontal estable.

El Censo Nacional Agropecuario (DANE, 2014) ofrece información sobre la pertenencia a algún tipo de asociaciones a nivel de Unidad Productora Agropecuaria (UPA), siendo la base de la caracterización de la asociatividad presente. Esta información se corroborará y actualizará por medio de la realización de encuestas y entrevistas semiestructuradas, que permitirán identificar las relaciones entre actores que propician la capacidad de asociación y cooperación, identificando tanto la asociatividad formal como informal.

b) Qué procesamiento existe y qué infraestructura existe para cada cadena de valor

Por su parte, el análisis del **procesamiento** tendrá un componente monetario, en el que se analizará con precios del mercado, cuál es el flujo económico que se percibe gracias al procesamiento o, en el caso de que no haya procesamiento, cuál sería el valor agregado y las posibles ganancias de realizar un procesamiento a los productos. Así mismo, se observará de manera cuantitativa, qué infraestructura y equipos actualmente se implementan para el procesamiento de productos en el Valle de Sibundoy.

Los servicios ecosistémicos están relacionados con el bienestar humano porque proveen alimentos y agua (entre otros servicios importantes) de una forma directa, como consecuencia de la producción, mientras que aportan estos servicios indirectamente gracias al flujo monetario que recorre las cadenas de valor y que permite adquirir alimentos y agua en el mercado, lo que confluye al bienestar humano. En los siguientes párrafos se explica detalladamente cómo se analizará el bienestar humano desde dos categorías: **seguridad alimentaria** y **acceso a agua**.

3.2.4. Bienestar humano

El bienestar humano es un concepto multidimensional, dinámico y, en la mayoría de las ocasiones, contexto-dependiente. En este sentido, encontrar una definición que abarque las distintas concepciones cosmogónicas y los múltiples contextos en los que se desenvuelven las comunidades es un reto monumental, por no decir inalcanzable. Es por esta razón, y con aras de poder aproximarse a una medición de bienestar, que se proponen dos categorías que corresponden a necesidades básicas del ser humano que permiten alcanzar el bienestar, independientemente del contexto: la **seguridad alimentaria** y el **acceso al agua**.

A continuación, se explica qué se entiende por cada categoría, qué dimensiones incluye y cuáles son los indicadores que se utilizarán para medir cada una. Dentro de cada categoría se identificaron 4 dimensiones: la primera es la cantidad en la provisión del recurso; la segunda es la calidad de cada dimensión a evaluar; la tercera es el acceso, tanto físico como económico; y, por último, la estabilidad a lo largo del tiempo se toma como una categoría transversal a las otras dimensiones de cada categoría. A priori entendemos que no son las únicas categorías del bienestar, sin embargo,

dados los alcances del estudio y la amplitud del concepto de bienestar, estas son adecuadas como una primera aproximación.

Para el análisis y el modelamiento de las variables de seguridad alimentaria y acceso al agua, existe una conexión directa con el análisis de servicios ecosistémicos, particularmente en la oferta hídrica y la provisión de alimentos. En primer lugar, la provisión de alimentos aporta directamente a la seguridad alimentaria, a través del autoconsumo y de ingresos derivados de la venta de la cosecha que pueden ser destinados a compra de alimentos. Por su parte, la oferta hídrica constituye uno de los indicadores del acceso al agua. A continuación, se exponen los indicadores específicos para analizar los dos componentes mencionados, sin embargo, esto no implica que el análisis esté desligado del análisis de servicios ecosistémicos, puesto que el modelo los integra, junto con el análisis de cadena de valor.

1. Seguridad Alimentaria

Según la FAO (2019, pág. 210) la seguridad alimentaria es *“una situación que existe cuando todas las personas, en todo momento, tienen acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, seguros y nutritivos que satisfagan sus necesidades dietéticas y preferencias alimentarias para una vida activa y saludable”*. Esta definición permite identificar distintas dimensiones que pueden ser observables y, en este caso, medibles: acceso, cantidad y calidad (nutrición). Estas dimensiones, además de la estabilidad (que es transversal a las demás e implica que se cumplen a lo largo del tiempo), son las dimensiones que se van a analizar para construir un índice de seguridad alimentaria.

Dimensiones e indicadores

- **Disponibilidad:** La disponibilidad es entendida como la unión entre la cantidad y la calidad de los alimentos ingeridos por cada individuo. La calidad es el resultado de tener disponibles alimentos diversos, inocuos y adecuados desde el punto de vista cultural, geográfico y según la etapa del desarrollo que permitan la ingesta de una variedad de macronutrientes (carbohidratos, lípidos, proteínas, etc.) y micronutrientes esenciales (hierro, vitamina A, entre otros) a través de la dieta. Adicionalmente, esta diversidad alimenticia debe estar complementada con la ingesta necesaria de los diferentes grupos alimenticios con las cantidades adecuadas de energía necesarias para llevar a cabo todas las actividades del día y gozar de buena salud.

La información para medir la disponibilidad en los elementos de cantidad y calidad se realizará a través de una encuesta semi-estructurada, en la cual se pregunta a cada individuo la composición de su dieta de las 72 horas (3 días) anteriores con el fin de identificar cuáles son los grupos alimenticios (que se enuncian a continuación) y las cantidades de cada alimento que componen su alimentación.

Teniendo en cuenta la información anterior, a continuación, se exponen los indicadores de disponibilidad de alimentos:

- a. **Energía mínima necesaria (cantidad):** con las preguntas recopiladas, se procede a cuantificar la cantidad de energía obtenida de la ingesta diaria de alimentos, con la ayuda de las tablas de nutrientes en los alimentos tanto 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)) ambas medidas en kilo calorías. La medida de la energía mínima necesaria se hará con base en la tabla de ingestas diarias recomendadas de energía y nutrientes de la FAO en donde, de acuerdo con la edad⁴ y además de exponer la cantidad mínima de kilocalorías diarias, se ilustran los grupos alimenticios principales para tener una vida sana (FAO, 2006).
- b. **Diversidad de alimentos (calidad):** Con la información recolectada en la encuesta, se identificarán los grupos alimenticios principales que los encuestados tiene en su dieta. De acuerdo con la FAO (2013) son 16:
 - Cereales
 - Raíces y tubérculos blancos
 - Tubérculos y verduras ricos en vitamina A
 - Verduras de hoja verde oscuro
 - Otras verduras
 - Frutas ricas en vitamina A
 - Otras frutas
 - Carne de vísceras.
 - Carnes
 - Huevos
 - Pescado y mariscos
 - Legumbres, nueces y semillas
 - Leche y productos lácteos
 - Aceites y grasas
 - Dulces
 - Especias, condimentos y bebidas

A partir de estos grupos es posible crear dos indicadores: 1) el HDDS (Puntaje de diversidad dietética en el hogar, por sus siglas en inglés), que reduce el número de grupos a 12 (compila los grupos alimenticios iguales: carnes, las verduras y las frutas), para proporcionar una medida de la diversidad de alimentos. A su vez, da señales sobre el acceso a los grupos básicos alimentarios por parte del hogar; 2) por otra parte se tiene el WDDS (Puntaje de diversidad alimentaria en la mujer, por sus

⁴ Para los rangos de edad principales (de 19 a 65 años) se requiere una ingesta diaria promedio de 2050 kcal en las mujeres y de 2600 kcal para los hombres.

siglas en inglés), que se encarga de medir la diversidad de grupos, pero con enfoque en los micronutrientes adecuados en la dieta y, en consecuencia, excluye del análisis los últimos tres grupos (aceites y grasas, dulces y especias, condimentos y bebidas) para agrupar los restantes en 9 grupos según su composición. Este análisis se puede ajustar para individuos de otro sexo.

Al procesar la información se obtiene entonces un índice de 0 a 12 para HDDS y de 0 a 9 para WDDS, los cuales se pueden normalizar de 0 a 1 si así se desea.

- **Acceso:** el acceso a los alimentos corresponde a la capacidad física y económica de acceder a alimentos culturalmente apropiados (inocuos, nutritivos y suficientes). El acceso tiene como determinantes la presencia y el funcionamiento de encadenamientos apropiados, que permitan, a través de las cosechas destinadas a autoconsumo y/o del ingreso suficiente, gozar de una dieta adecuada. Es importante resaltar que el acceso tiene distintos niveles, puesto que no es lo mismo no tener acceso a alimentos durante un día que durante la mitad del año. Es por esto que el acceso, o el no-acceso, se mide en escalas de moderado a severo⁵.

La severidad de las dificultades (moderada o severa) para acceder a los alimentos, será contrastada con la Escala de experiencia de inseguridad alimentaria (FIES), indicador internacional que guarda estrecha relación con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 2.1 relacionado con ‘Hambre Cero’ (FAO, 2019).

- **Estabilidad:** Este aspecto es transversal a los tres anteriores, y corresponde a la periodicidad en el acceso y la disponibilidad de alimentos a lo largo del tiempo. Por ejemplo, por fluctuaciones en la frecuencia de lluvias, como en la época seca, el acceso a los alimentos puede variar, al igual que su calidad y cantidad.

2. Acceso al Agua

Además del alimento necesario para vivir, el agua es otro elemento indispensable para el ser humano, tanto para consumo directo, como para las actividades productivas. Así mismo, el agua está vinculada con la inocuidad de los alimentos, con la presencia o no de enfermedades, con la productividad de los cultivos, entre otros muchos beneficios. Es así como *“el agua libre de impurezas y accesible para todos es parte esencial del mundo en que queremos vivir. Hay suficiente agua dulce en el planeta para lograr este sueño. Sin embargo, actualmente el reparto del agua no es el adecuado”* (ONU, 2016).

⁵ En el anexo 1 se puede encontrar un borrador de las preguntas que se pueden formular para determinar qué tan severo o moderado es el no-acceso a los alimentos.

Los problemas de escasez de recursos hídricos y de dificultades en el acceso están directamente relacionados con incremento en el hambre y la desnutrición. Más agravante aun es el hecho de que la escasez en ocasiones viene acompañada de una mala calidad del recurso, una combinación que, además de tener implicaciones en la baja inocuidad de los alimentos, puede propiciar condiciones para la aparición de enfermedades, como las gastrointestinales. Es así como el acceso al agua potable es un factor determinante en el desarrollo y el bienestar humano, razón por la cual este se constituye como uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS 6) de la ONU.

A continuación, se presentan las diferentes dimensiones del Acceso a Agua que son adaptadas de la Observación General N° 15 del Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales de las Naciones Unidas (CESCR, 2002). Los indicadores son adaptados del Formato Común de Hoja Metodológica de Indicadores Ambientales para cada indicador empleado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2017). La unidad de estudio para los indicadores serán los hogares.

Dimensiones e indicadores

- **Disponibilidad:** la disponibilidad tiene en cuenta tanto la cantidad como la calidad del abastecimiento de agua. Este debe ser continuo y suficiente para los usos personales y domésticos de los individuos (consumo, saneamiento, preparación de alimentos e higiene personal y doméstica), debe ser salubre (no contener microorganismos o sustancias que representen una amenaza para la salud de las personas que la consumen), así como un color, olor y sabor aceptables. Todo lo anterior en razón de la salud, el clima y las condiciones de trabajo de las comunidades.

Los indicadores para medir la disponibilidad de agua son:

- a. **Demanda Hídrica para consumo humano:** Corresponde a la cantidad de agua anual sustraída de los sistemas hídricos para suplir las necesidades de consumo humano. Se calcula con el número de personas por paisaje y una demanda promedio del recurso hídrico.
- b. **Oferta Hídrica:** Es importante identificar que puede haber múltiples fuentes del recurso hídrico para consumo humano. La principal fuente para consumo humano tradicionalmente es el acueducto. Para los casos en que haya conexión a acueducto, es posible calcular la oferta a través de la medición de capacidad del acueducto. Sin embargo, cuando la fuente de agua es diferente al acueducto, la oferta hídrica se da por conexiones a otros puntos o por agua lluvia. Por lo anterior, la oferta se generará a partir de las variables principales del ciclo hidrológico como la precipitación, que se mide en milímetros, los cuales a su vez equivalen a litros de agua por metro cuadrado (Lts/m²) y es la entrada principal del recurso hídrico a una cuenca, y la evaporación, la transpiración, la infiltración y la escorrentía como salidas del sistema (IDEAM, 2019). Este cálculo es el mismo que se realiza para medir la oferta hídrica tal como se expuso en el numeral 3.2.1.

- c. **Índice de calidad del agua en corrientes superficiales:** Corresponde al valor numérico que califica en una de cinco categorías, la calidad del agua de una corriente superficial, con base en las mediciones obtenidas para un conjunto de cinco o seis variables, las cuales son registradas en una estación de monitoreo j en el tiempo t .

Para calcular el índice se toma en cuenta los resultados " l "⁶ de un conjunto " n " de variables " i " (Oxígeno disuelto, Sólidos suspendidos totales, Demanda química de oxígeno, Nitrógeno total/Fósforo total, Conductividad eléctrica, pH) a las cuales se les asigna un peso relativo W que es igual para todas (se divide 1 entre el número de variables utilizadas). El cálculo de cada variable se hace por aparte y para obtener la calidad del agua se realiza la sumatoria del producto entre el peso relativo y el valor de cada variable.

- **Acceso:** El agua y las instalaciones y servicios de agua deben ser accesibles para todos, sin discriminación alguna. El acceso al agua tiene a su vez dos dimensiones superpuestas:
 - **El acceso físico:** Todos los individuos deben tener a su alcance físico el agua y las instalaciones que le provean un suministro de agua suficiente, salubre y aceptable. Dichas instalaciones deben ser de calidad suficiente y culturalmente adecuados.
 - **El acceso económico:** Los costos y cargos directos e indirectos asociados con el abastecimiento de agua deben ser asequibles y no deben comprometer ni poner en peligro el ejercicio de otros derechos fundamentales.

No se deben dejar de lado los principios de no discriminación y el acceso a la información pertinente relacionada con la provisión del recurso hídrico. A continuación, se expone el indicador para medir el acceso al agua.

a. Índice de Acceso al agua: Corresponde al nivel de inseguridad con respecto al recurso hídrico, permite cuantificar qué tan vulnerable se encuentra el hogar a perder el acceso al recurso y los motivos de esta pérdida. En el Anexo 2 se puede encontrar una primera aproximación del instrumento para medir el índice.

- **Estabilidad:** Al igual que en el caso de la seguridad alimentaria, es importante considerar que tanto la disponibilidad como el acceso al agua sean estables a lo largo del tiempo.

⁶ Los subíndices que acompañan a la variable " l ", corresponden a la estación de monitoreo j de la unidad espacial, registrado durante la medición realizada en el trimestre k , del período de tiempo t .

4. Conclusiones

Este documento tiene como objetivo principal exponer la metodología que implementará el proyecto “TEEB Colombia – Putumayo” para 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 humano en el Valle de Sibundoy.

Para cumplir con dicho objetivo y aplicar el Marco de Evaluación de TEEB AgriFood, se plantea la elaboración de dos modelos: el primero, corresponde al análisis de la incidencia de las políticas en el cambio del uso del suelo, el cual usará una **red de implicaciones**; y el segundo, hace referencia a las relaciones entre el uso del suelo, la oferta de servicios ecosistémicos, las cadenas de valor y el bienestar humano, relaciones que se analizarán a la luz de la **dinámica de sistemas**.

En el segundo modelo en particular, se estudiarán ocho **servicios ecosistémicos**, para cada uno de los cuales se expuso la metodología para evaluar. A su vez, de las cadenas de valor se evaluarán los eslabones de **producción y acopio y procesamiento**. Por su parte, el bienestar humano se analizará a través de dos categorías: **seguridad alimentaria (vinculado al consumo)** y **acceso al agua (vinculado con la oferta hídrica)**. Para cada una de estas categorías se evaluará la cantidad, la calidad, el acceso y la estabilidad.

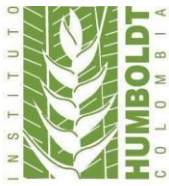
Finalmente, también se expuso la estructura del proyecto paso a paso, desde la definición del alcance hasta la formulación de recomendaciones de política, haciendo que este documento sea la hoja de ruta del proyecto. En los documentos paralelos correspondientes al Producto 2: 1) Se detallará la información de línea base del proyecto, producto de un análisis de información secundaria, y 2) Se completará la tabla de la metodología TEEB relacionada con los capitales y los eslabones de la cadena de valor.

5. Bibliografía

- Aracil, J. & Gordillo, F. (1997). Dinámica de sistema. Madrid: Isdefe.
- 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.
- Bustamante-Zamudio, C. Redondo, J., García-García J., Perez, D., Amador-Moncada, Hernández O. (2018). Gestión sostenible del turismo de naturaleza. 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.
- CESCR. (2002). Observación General N° 15: Del Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales, órgano del Consejo de Derechos Humanos de la ONU.
 - Recuperado el 15 de Octubre de 2019, de Web site of the Committee on Economic, Social and Cultural Rights: https://conf-dts1.unog.ch/1%20SPA/Tradutek/Derechos_hum_Base/CESCR/00_1_obs_grales_Cte%20Dchos%20Ec%20Soc%20Cult.html#GEN15
- CORPOAMAZONIA – WWF COLOMBIA, IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE BIENES Y SERVICIOS AMBIENTALES. “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.
- 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.
- 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). (2014) “*Censo Nacional Agropecuario (CNA)*”. Colombia.
- Díaz, R. (2009). Indirect Influences. arXiv preprint arXiv:0906.1610.
- 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. (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. (2019). Indicator 2.1.2 Prevalence of moderate or severe food insecurity in the population, based on the Food Insecurity Experience Scale. 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/sustainable-development-goals/indicators/2.1.2/en/>
- 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>
- Grootaert, C., Narayan, D., Jones, V. N., Woolcock, M. (2004). Measuring social capital: An integrated questionnaire. The World Bank.
- Grootaert, C., Van Bastelar, T. (Eds.). (2002). Understanding and measuring social capital: A multi-disciplinary tool for practitioners. The World Bank.
- 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. (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, 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 (2019). Estudio Nacional del Agua 2018. Bogotá: Ideam: 452 pp.
- Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (SINCHI). Mapa de Coberturas de la tierra de la Amazonia colombiana para el año 2018. Escala 1:100.000. Versión 1.0
- 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.
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 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.
- Kaplinsky, R. & Morris, M. (2001) *“A handbook for value chain research”*. Prepared for the International Development Research Centre (IDRC).
- Kelsen, Hans (1995) *“Teoría pura del Derecho”*. Universidad Autónoma de México.
- Lambin, E.F., Turner, B.L., Geist, H.J., Agbola, S.B., Angelsen, A. & Bruce, J.W. (2001) The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Glob Environ Chang Part A Hum Policy Dimens* 11(4):261–269.

- ONU. (2016). ODS 6: Agua limpia y Saneamiento. Recuperado el 15 de Octubre de 2019, de Sitio web de la Organización de las Naciones Unidas: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- Poveda, Andrea. (2019). Productores rurales y asociatividad: evidencia empírica para Colombia. Tesis de maestría. Universidad del Rosario. Recuperado de: <https://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/19322/PovedaOlarte-AndreaPaola-2019.pdf?sequence=1>
- Priego Santander, Á., Moreno Casasola, P., Palacio Prieto, J.L., López Portillo, J. & Geissert Kientz, D. (2003). Relación entre la heterogeneidad del paisaje y la riqueza de especies de flora en cuencas costeras del estado de Veracruz, México. *Investigaciones geográficas*, (52), 31-52.
- Qiu, J., & Turner, M. G. (2015). Importance of landscape heterogeneity in sustaining hydrologic ecosystem services in an agricultural watershed. *Ecosphere*, 6(11), art229. <https://doi.org/10.1890/ES15-00312.1>
- Redondo, J.M. & Bustamante-Zamudio, C. (2020). Making Decisions with Implications Networks: Methodology and Examples. *Journal of Physics: Conference Series*.
- Rincón-Ruíz, A., Echeverry-Duque, M., Piñeros, A. M., Tapia, C. H., David, A., Arias-Arévalo, P. y Zuluaga, P. A. 2014. Valoración integral de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos: Aspectos conceptuales y metodológicos. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D. C. Colombia, 151 pp.
- Sharp, R., Tallis, H.T., Ricketts, T., Guerry, A.D., Wood, S.A., Chaplin-Kramer, R., Nelson, E., Ennaanay, D., Wolny, S., Olwero, N., Vigerstol, K., Pennington, D., Mendoza, G., Aukema, J., Foster, J., Forrest, J., Cameron, D., Arkema, K., Lonsdorf, E., Kennedy, C., Verutes, G., Kim, C.K., Guannel, G., Papenfus, M., Toft, J., Marsik, M., Bernhardt, J., Griffin, R., Glowinski, K., Chaumont, N., Perelman, A., Lacayo, M. Mandle, L., Hamel, P., Vogl, A.L., Rogers, L., Bierbower, W., Denu, D., and Douglass, J. 2018. *INVEST 3.6.0 User's Guide*. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund.
- Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP). (2015). "Mapa SINAP". Parques Nacionales Naturales de Colombia. Bogotá DC, Colombia.
- Sterman, J. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. McGraw-Hill Education.
- TEEB (2018). "TEEB for Agriculture & Food: Scientific and Economic Foundations". Geneva: UN Environment.
- Tello, M. (2006). Aspectos teóricos del Capital Social y elementos para su uso en el análisis de la realidad. Lima: Consorcio de Investigaciones Económicas (CIES).
 - Recuperado de: <http://departamento.pucp.edu.pe/ciencias-sociales/files/2012/06/Aspectosteoricoscapsocial.pdf.pdf>



Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt

- Webster, C.J. (1998). Simulation of land development through the integration of cellular automata and multicriteria evaluation. *Environ Plan B* 25:103–126.
- Wu, J., Shen, W., Sun, W. & Tueller, P.T. (2002) Empirical patterns of the effects of changing scale on landscape metrics. *Landscape Ecol* 17(8):761–782.

Anexos

Anexo 1. Posibles preguntas para medir seguridad alimentaria

Para medir el no-acceso a alimentos, ya sea moderado o severo, se realizan diversas preguntas dentro de una encuesta semi-estructurada. Las siguientes preguntas, siguiendo a la FAO (2019, pág. 14), pueden llegar a hacer parte del diseño final:

- ¿Te preocupaba no tener suficiente comida para comer?
 - De ser la respuesta anterior afirmativa: ¿Cuál ha sido el principal motivo?
- ¿No pudo comer alimentos saludables y nutritivos?
 - De ser la respuesta anterior afirmativa: ¿Cuál ha sido el principal motivo?
- ¿Comiste solo unos pocos tipos de alimentos?
 - De ser la respuesta anterior afirmativa: ¿Cuál ha sido el principal motivo?
- ¿Tuviste que saltarte alguna comida?
 - De ser la respuesta anterior afirmativa: ¿Cuál ha sido el principal motivo?
- ¿Comiste menos de lo que creías que deberías?
 - De ser la respuesta anterior afirmativa: ¿Cuál ha sido el principal motivo?
- ¿Tu hogar se quedó sin comida?
 - De ser la respuesta anterior afirmativa: ¿Cuál ha sido el principal motivo?
- ¿Tenías hambre, pero no comiste?
 - De ser la respuesta anterior afirmativa: ¿Cuál ha sido el principal motivo?
- ¿Estuviste sin comer por un día entero?
 - De ser la respuesta anterior afirmativa: ¿Cuál ha sido el principal motivo?

Anexo 2. Posibles preguntas para medir acceso al agua

Su cálculo se realiza a través de las siguientes preguntas:

- ¿Tiene acceso al recurso hídrico?
- ¿Cuál es la fuente principal del recurso?
- ¿En el último año, en cuántas ocasiones no ha tenido acceso al recurso? ¿Cuál ha sido el motivo?