



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Propuesta de un índice para valorar los servicios ecosistémicos ofrecidos por una microcuenca andina. Caso El Chocho

Laura Giratá Sastoque

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería y Administración
Escuela de Posgrado
Palmira, Colombia
2014

Propuesta de un índice para valorar los servicios ecosistémicos ofrecidos por una microcuenca andina. Caso El Chocho

Laura Giratá Sastoque

Trabajo final presentado como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ingeniería Ambiental

Directora:

MSc. Viviana Vargas Franco

Grupo de Investigación en Monitoreo, Modelación y Gestión de Cuencas Hidrográficas

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería y Administración
Escuela de Posgrado
Palmira, Colombia

2014

A Dios por la oportunidad de poder realizar este sueño realidad.

A José por su amor y apoyo incondicional.

A mis padres, suegros, hermana y cuñados por su apoyo y motivación a seguir adelante.

Resumen

En este trabajo se propone un Índice para la Valoración de Servicios Ecosistémicos de Microcuencas Andinas, denominado ISEMCA como estrategia para identificar el estado de los servicios ecosistémicos (SE) usando una escala de 0 a 100, donde 100 es el mayor y mejor estado de los SE.

El índice ISEMCA es una herramienta para la toma de decisiones con respecto a la gestión en la conservación de servicios ecosistémicos en microcuencas andinas. Para el desarrollo del índice se utilizó el método Delphi, manejo estadístico de la información y el diseño en Excel para su fácil ejecución, con el uso de información secundaria. La aplicación del ISEMCA se realizó en la microcuenca El Chocho (Cali, Valle del Cauca, Colombia), que obtuvo una calificación de 57,6. Esta valoración indica que la microcuenca presenta un deterioro que afecta la prestación de SE en el mediano plazo, en especial por cambios en los componentes de aproximación al estado de la cobertura vegetal, fauna, flora y cuerpo de agua.

Este estudio muestra que la aplicación de la herramienta en el estudio de caso fue satisfactoria debido al fuerte impacto ambiental reseñado en la bibliografía para la microcuenca andina El Chocho.

Palabras clave: Índice, Servicios Ecosistémicos, gestión ambiental, microcuencas andinas, microcuenca el Chocho (Cali, Colombia).

Abstract

This work propose an Index for Assessing Ecosystem Services of Andean Catchments called ISEMCA (ISEMCA for its acronym in spanish), as a strategy to identify the status of ecosystem services (ES) on a scale from 0 to 100, where 100 is the highest and best state of SE .

The ISEMCA index is a tool for decision-making regarding the management of ecosystem services conservation in Andean basin. To develop the index the Delphi method, statistical information management and design in Excel for easy implementation, the use of secondary data was use. The application of ISEMCA index was conducted in the watershed El Chocho (Cali, Valle del Cauca, Colombia), which received a score of 57,6. This valuation indicates that the basin has a deterioration that affects the provision of ES in the medium term, especially for changes in the components approach the state of vegetation cover, wildlife, flora and the basin.

This study shows that the application of the tool in the case study was successful due to the strong environmental impact reported in the literature for the Andean watershed El Chocho.

Keywords: Index, Ecosystem Services, environmental management, Andean basin, el chocho basin (Cali, Colombia).

Contenido

	Pág.
Resumen	VII
Lista de Figuras	XII
Lista de tablas	XIV
Introducción	1
1. Antecedentes y contexto de la investigación	3
1.1 Objetivos	5
1.1.1 Objetivo general	5
1.1.2 Objetivos específicos	5
2. Revisión de literatura	7
2.1 Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EEM)	7
2.2 Ecosistemas	8
2.3 Servicios Ecosistémicos (SE)	10
2.4 Política Nacional de Gestión Integrada de la Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE).....	12
2.5 Cuencas andinas	13
2.6 Microcuenca El Chocho	15
2.7 Índices ambientales	17
2.8 Índices ambientales para la valoración de Servicios Ecosistémicos.....	19
3. Materiales y métodos	23
3.1 Primera Fase: Revisión bibliográfica.....	24
3.2 Segunda fase: Desarrollo propuesta del índice ISEMCA	25
3.3 Tercera fase: Uso de método Delphi y diseño de la herramienta en Excel	26
3.3.1 Método Delphi	26
3.3.2 Cuestionario experto	27
3.3.3 Selección de panel de expertos	27
3.3.4 Diligenciamiento del cuestionario experto	28
3.3.5 Análisis estadístico descriptivo y cualitativo	29
3.3.6 Diseño de índice ISEMCA en Excel	29
3.4 Cuarta fase: Aplicación de la herramienta en la microcuenca andina: El Chocho en el municipio de Santiago de Cali – Valle, Colombia	30
3.4.1 Aprestamiento de información secundaria.....	30
3.4.2 Diligenciamiento del índice ISEMCA y análisis de resultados.....	32

4.	Resultados y análisis.....	33
4.1	Resultados para el objetivo específico 1: Identificar los Servicios Ecosistémicos ofrecidos por las microcuencas de la cordillera de los Andes	33
4.2	Resultados para el objetivo específico 2: Desarrollar un índice para la valoración de Servicios Ecosistémicos en microcuencas andinas	35
4.2.1	Identificación del contexto del índice.....	35
4.2.2	Construcción del Índice ISEMCA	37
4.2.3	Ponderación inicial de los componentes del índice ISEMCA.....	38
4.2.4	Ponderación inicial de las variables estimativas usadas en el índice ISEMCA.....	39
4.2.5	Ponderación de los componentes del índice ISEMCA por parte del panel experto.	41
4.2.6	Ponderación de variables estimativas del componente 1 del índice ISEMCA por parte del panel experto.....	43
4.2.7	Ponderación de variables estimativas del componente 2 del índice ISEMCA por parte del panel experto.....	44
4.2.8	Ponderación de variables estimativas del componente 3 del índice ISEMCA por parte del panel experto.....	45
4.2.9	Ponderación de variables estimativas del componente 4 del índice ISEMCA por parte del panel experto.....	47
4.2.10	Ponderación de categorías respuesta a variables estimativas del componente 1 del índice ISEMCA por parte del panel experto.	48
4.2.11	Ponderación de categorías respuesta a variables estimativas del componente 2 del índice ISEMCA por parte del panel experto.	55
4.2.12	Ponderación de categorías respuesta a variables estimativas del componente 3 del índice ISEMCA por parte del panel experto.	59
4.2.13	Ponderación de categorías respuesta a variables estimativas del componente 4 del índice ISEMCA por parte del panel experto.	66
4.3	Resultados para el objetivo específico 3: Diseñar una herramienta informática para el manejo del índice de valoración de Servicios Ecosistémicos ofrecidos en microcuencas andinas.....	69
4.3.1	Introducción a la herramienta informática ISEMCA.....	70
4.3.2	Valoración de componentes de aproximación y variables de estimación de la herramienta informática ISEMCA.	71
4.3.3	Ingreso a la información obtenida en la encuesta de la comunidad en la herramienta informática ISEMCA.....	72
4.3.4	Presentación de resultados del índice ISEMCA.....	73
4.3.5	Formato para impresión de la encuesta a la comunidad asentada en la microcuenca	74
4.4	Resultados para el objetivo específico 4: Realizar una aplicación de la herramienta con el caso de estudio Microcuenca El Chocho (Santiago de Cali).	75
4.4.1	Diligenciamiento de herramienta ISEMCA.	75
4.4.2	Resultado de aplicación del índice ISEMCA en la microcuenca El Chocho.	78
5.	Discusión general	81
6.	Conclusiones y recomendaciones	85
6.1	Conclusiones.....	85
6.2	Recomendaciones.....	87

A. Anexo A: Cuestionario panel experto	89
B. Anexo B: Índice ISEMCA en Excel	99
Bibliografía	101

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 2-1: Esquema de ubicación de la microcuenca el chocho, municipio de Cali – Colombia.....	15
Figura 3-1: Esquema de las fases metodológicas empleadas en este trabajo.....	24
Figura 4-1: El sistema de la microcuenca andina y sus servicios ecosistémicos.	36
Figura 4-2: Ponderación de los componentes de aproximación del índice ISEMCA obtenido del panel de expertos.	42
Figura 4-3: Ponderaciones en las variables estimativas del componente de aproximación al estado de la cobertura vegetal y biodiversidad propuesta por el panel experto.	44
Figura 4-4: Ponderaciones en las variables estimativas del componente de aproximación al estado de los cuerpos de agua, del índice ISEMCA propuesta por el panel experto. ...	45
Figura 4-5: Ponderaciones en las variables estimativas del componente de aproximación al estado de la relación comunidades y entorno propuesta por el panel experto.	46
Figura 4-6: Ponderaciones en las variables estimativas del componente de aproximación al estado de la regulación climática propuesta por el panel experto.....	47
Figura 4-7: Categorías de respuesta a la variable estimativa erosión del suelo.....	49
Figura 4-8: Categorías de respuesta a la variable estimativa usos del suelo (Bosque nativo y plantado).....	50
Figura 4-9: Categorías de respuesta a la variable estimativa usos del suelo (cultivos de ciclo corto, medio y largo, ganadera extensiva, rastrojos y pastos).	51
Figura 4-10: Categorías de respuesta a la variable estimativa usos del suelo (presencia de industria).	52
Figura 4-11: Categorías de respuesta a la variable estimativa ecosistema natural vs. alterado.....	53
Figura 4-12: Categorías de respuesta a la variable estimativa ecosistema natural vs. alterado.....	54
Figura 4-13: Categorías de respuesta a la variable estimativa especies endémicas de fauna.....	54
Figura 4-14: Categorías de respuesta a la variable estimativa deforestación anual.	55
Figura 4-15: Categorías de respuesta a la variable estimativa calidad de agua.	56
Figura 4-16: Categorías de respuesta a la variable estimativa relación caudal invierno/verano	57
Figura 4-17: Categorías de respuesta a la variable estimativa usos del agua (abastecimiento doméstico, desarrollo agrícola y pecuario).	58

Figura 4-18: Categorías de respuesta a la variable estimativa usos del agua (abastecimiento para recreación y la industria).....	59
Figura 4-19: Categorías de respuesta a la variable estimativa población asentada en la microcuenca.....	60
Figura 4-20: Categorías de respuesta a la variable estimativa proyectos de conservación.	61
Figura 4-21: Categorías de respuesta a la variable estimativa cobertura servicio público de acueducto.....	62
Figura 4-22: Categorías de respuesta a la variable estimativa cobertura servicio público de alcantarillado.	63
Figura 4-23: Categorías de respuesta a la variable estimativa manejo de residuos sólidos	64
Figura 4-24: Categorías de respuesta a la variable estimativa presencia de agroturismo.	65
Figura 4-25: Categorías de respuesta a la variable estimativa incidencia de sequía.	66
Figura 4-26: Categorías de respuesta a la variable estimativa incidencia de deslizamientos.....	67
Figura 4-27: Categorías de respuesta a la variable estimativa incidencia de inundaciones.	68
Figura 4-28: Categorías de respuesta a la variable estimativa incidencia de incendios. .	69
Figura 4-29: Pestaña de introducción a la herramienta informática para el índice ISEMCA.	70
Figura 4-30: Pestaña de ingreso datos para la valoración de los componentes de aproximación en la Herramienta en Excel de ISEMCA.	71
Figura 4-31: Pestaña de ingreso datos de la encuesta a la comunidad en la herramienta en Excel de ISEMCA.	72
Figura 4-32: Pestaña de presentación de resultados de la herramienta en Excel de ISEMCA}	73
Figura 4-33: Formato para impresión de encuesta a la comunidad asentada en la microcuenca.....	74

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 2-1: Clasificación de los servicios ecosistémicos, definición y servicios ecosistémicos relacionados según la EEM (2005).	10
Tabla 2-2: Índices ambientales usados para la valoración de los servicios ecosistémicos	19
Tabla 3-1: Nivel universitario, experticia y ámbito de trabajo del panel de expertos.....	28
Tabla 3-2: Listado de documentos consultados por variable estimativa para el diligenciamiento del índice ISEMCA.....	30
Tabla 4-1: Servicios ecosistémicos ofrecidos por las microcuencas andinas.....	34
Tabla 4-2: Escala de valoración y categorías de calificación del índice ISEMCA en una microcuenca andina.....	38
Tabla 4-3: Ponderación inicial de componentes que conforman al índice ISEMCA.	39
Tabla 4-4: Ponderación de variables estimativas por componentes de aproximación del índice ISEMCA.....	40
Tabla 4-5: Categorías de respuesta de la microcuenca andina El Chocho, aplicadas en el índice ISEMCA.....	75
Tabla 4-6: Categorías de respuesta de la variable estimativa encuesta a la comunidad de la microcuenca andina El Chocho, aplicadas en el índice ISEMCA.....	77
Tabla 4-7: Ponderación por componente de aproximación de la microcuenca El Chocho (Cali, Colombia).	79

Introducción

Durante siglos los asentamientos humanos se han ubicado en cuencas hidrográficas debido principalmente, a la provisión del agua, aunque no es el único beneficio que aportan. Al conjunto de servicios y bienes provistos por los ecosistemas para el bienestar humano se le conoce como Servicio Ecosistémico (SE). Este término ha tenido su evolución desde los años ochenta y se ha consolidado en el ámbito mundial después de las publicaciones del evento científico: Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EEM), en el año 2005, donde se discutió el valor ecológico y económico de los ecosistemas del mundo.

Los ecosistemas proveen servicios clasificados en 4 categorías, según la EEM. Las dos primeras, servicios de provisión y culturales, hacen referencia a los bienes tangibles como materia prima de procesos de transformación o de consumo directo, y los servicios intangibles que son los espirituales y paisajísticos, respectivamente. Las otras dos categorías, son las de soporte y regulación, que están relacionadas con los procesos que ocurren en el ecosistema para que éste funcione adecuadamente.

En Colombia, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible publicó en el año 2012 la Política Nacional de Gestión Integrada de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE), la cual pretende impulsar la conservación del medio ambiente, trabajando con el marco de la EEM, resaltando la importancia de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos para el PIB nacional. La política de PNGIBSE se constituye en el marco de referencia colombiano para los estudios desarrollados de valoración de SE y de las herramientas de gestión que se construyan bajo este enfoque.

Una forma de valorar los servicios ecosistémicos es a través de índices. Estas herramientas son utilizadas para sintetizar complejas interrelaciones, pues brindan información concisa y de utilidad para la toma de decisiones.

2 Propuesta de un índice para valorar los servicios ecosistémicos ofrecidos por una microcuenca andina. Caso El Chocho

En los últimos años se han publicado estudios científicos con propuestas de valoración indicativa de los servicios ecosistémicos a diferentes procesos: suelos, agua, biodiversidad y culturales. Sin embargo, las herramientas mencionadas presentan dificultades de aplicación, por los esfuerzos que demandan la realización de las pruebas biológicas, físicas y químicas e, incluso, el hecho de establecer sitios de muestreo constante.

Dentro de estas iniciativas de valoración se observa que faltan investigaciones que indiquen el estado de las microcuencas andinas. Este complejo sistema de ecosistemas, es de gran importancia para Suramérica, debido a la provisión de agua para el consumo humano y el albergue de biodiversidad. Por lo tanto, se hace necesario identificar los servicios ecosistémicos prestados en las microcuencas andinas para valorarlos y generar estrategias de conservación.

El índice propuesto para este trabajo responde a la necesidad de valorar los servicios ecosistémicos de una microcuenca andina que permita el uso de información secundaria a partir de la revisión documental y primaria suministrada por la comunidad asentada en ella, con el propósito de obtener una visión general de su estado y liderar acciones de gestión ambiental articulada a las necesidades de la microcuenca.

Los materiales y métodos utilizados en este trabajo, permitieron realizar una revisión bibliográfica intensiva, la preparación preliminar de la propuesta indicativa en la elección del contexto, variables estimativas y ponderaciones, la aplicación del método Delphi, el diseño del índice en Excel y finalmente la aplicación del índice en la microcuenca andina el Chocho (Cali, Colombia).

El índice nombrado ISEMCA, está compuesto por cuatro componentes de aproximación que agrupa variables de estimación relacionadas con: cobertura vegetal y biodiversidad, cuerpos de agua, relación comunidad y entorno y regulación climática. La herramienta funciona a través del programa Excel 2010 de Microsoft, donde introduciendo los datos solicitados de información secundaria, permite visualizar una calificación en escala de 0 a 100, siendo este último la mayor y mejor ponderación del estado de los servicios ecosistémicos para la microcuenca.

1. Antecedentes y contexto de la investigación

El creciente deterioro de los ecosistemas en el mundo ha llamado la atención de quienes toman las decisiones para formular estrategias de conservación. La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EEM), fue una de ellas. En este evento se planteó la necesidad de valorar los servicios provistos por los ecosistemas del mundo, en términos monetarios y ambientales, para visibilizar los impactos que puede tener su deterioro en el bienestar humano. Como respuesta la EEM se planteó en Colombia, desde el año 2012, la política nacional de gestión integrada de la biodiversidad y servicios ecosistémicos (PNGIBSE), que tiene como objetivo enmarcar y orientar instrumentos de gestión ambiental.

Según Ávila-Foucat (2007), el 60% de los SE no están siendo utilizados de forma sustentable generando su degradación y haciendo necesario orientar estudios que analicen las relaciones entre los SE y el bienestar humano; lo cual hace necesario buscar la forma de identificar y priorizar los servicios ecosistémicos, dada su importancia en tiempos presentes y futuros (Onaindia, 2010). Considerando que los SE, deben ser analizados como un subconjunto de funciones que satisfacen las necesidades de las comunidades (Balvanera y Cotler, 2007).

La valoración de los servicios ecosistémicos puede realizarse a través de índices. Los índices son considerados herramientas que permiten sintetizar diversas variables (Heink y Kowarik, 2010), visualizar de forma sencilla el estado en que se encuentran los SE (Sánchez y Cruz, 2007) y generar acciones en el ámbito de la gestión ambiental (Celemín y Velásquez, 2011). Por esto, se hace cada vez más importante desarrollar índices que cuantifiquen los beneficios de los ecosistemas y sus propiedades (Quetier *et al.*, 2007), y con ello desarrollar procesos de gestión y conservación de los ecosistemas (Onaindia, 2010).

Se han revisado los índices publicados los cuales han sido enfocados a la valoración de servicios ecosistémicos. Estos índices solo valoran una parte de los SE, relacionados con el estado de la calidad del agua y de los bosques ribereños (Acosta *et al.*, 2009; Sirombra y Mesa, 2012; Villamarín *et al.*, 2013; Srebotnjak *et al.*, 2012; Xu *et al.*, 2005), la calidad del suelo (Velásquez *et al.*, 2007, Rutgers *et al.*, 2012) y el estado de la biodiversidad

4 Propuesta de un índice para valorar los servicios ecosistémicos ofrecidos por una microcuenca andina. **Caso El Chocho**

(Czúcz *et al.*, 2012; von Haaren *et al.*, 2012). Sin embargo, en las publicaciones mencionadas falta un elemento integrador, que permita relacionar la complejidad de los servicios ecosistémicos de forma holística e integrada.

En el caso de las microcuencas andinas, no existen mayores propuestas indicativas de valoración a pesar de su importancia económica y ecológica para las comunidades que se benefician de ellas, en especial, por la provisión de agua y la biodiversidad (Harden, 2006; Ramírez y Cisneros, 2006; Encalada y Guhl, 2010; Guzmán, 2010; Villamarín *et al.*, 2013). Igualmente, se conserva el mismo patrón de especializarse sólo en uno de los servicios ecosistémicos, lo que evidencia la necesidad de trabajar en la escala espacial de microcuenca andina, porque no se han estudiado de forma integrada y se constituyen en una unidad en la cual se pueden ejercer acciones de gestión ambiental.

Se planteó como problema, la falta de un índice que permita la identificación y la evaluación de los servicios ecosistémicos ofrecidos por una microcuenca andina. Así mismo, la necesidad de que este índice pudiera ser fácil de diligenciar a través de una herramienta informática.

Este índice se propone con el objetivo de servir como apoyo en la toma de decisiones en cuanto a la mitigación de impactos, conservación de recursos y la gestión de programas que contribuyan a la preservación de sus ecosistemas. Para este propósito se tuvo en cuenta las interrelaciones del sistema microcuenca andina que se consideraron necesarias para la prestación de SE.

Por lo tanto, este estudio propone un índice de valoración de los servicios ecosistémicos a nivel microcuenca andina. Para brindar una herramienta de gestión ambiental para procurar la conservación de los beneficios que proveen los ecosistemas para las futuras generaciones (Villamarín *et al.*, 2013). Este índice emplea información secundaria, cuya aplicación se realiza a través del diseño informático en Excel, que permite ser usado fácilmente por ONG, líderes de la comunidad o autoridades ambientales. Igualmente, este índice permitirá que se tomen decisiones en la conservación de los ecosistemas presentes en la microcuenca andina.

En esta propuesta se planteó realizar un estudio de caso, en la microcuenca andina El Chocho (Cali, Colombia), la cual presenta evidente deterioro ambiental. Así mismo, por ser la principal tributaria de la cuenca Aguacatal y proveedora mayoritaria de agua para consumo de los habitantes y para riego de los cultivos ubicados en los corregimientos de Montebello, Castilla, La Paz y Golondrinas del Municipio de Santiago de Cali (Butterworth *et al.*, 2006).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Desarrollar una propuesta de índice para la valoración de los Servicios Ecosistémicos ofrecidos por una microcuenca de la Cordillera de los Andes. Caso de estudio Microcuenca el Chocho (Santiago de Cali).

1.1.2 Objetivos específicos

- Identificar los Servicios Ecosistémicos ofrecidos por las microcuencas de la cordillera de los Andes.
- Desarrollar un índice para la valoración de Servicios Ecosistémicos en microcuencas andinas.
- Diseñar una herramienta informática para el manejo del índice de valoración de Servicios Ecosistémicos ofrecidos en microcuencas andinas.
- Realizar una aplicación de la herramienta informática en la microcuenca El Chocho (Santiago de Cali).

2.Revisión de literatura

2.1 Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EEM)

La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, en adelante EEM, fue un evento científico que tuvo lugar en el año 2001, con la participación de 95 países, que involucró a más de 1.300 científicos, puesto en marcha por el Secretario de las Organizaciones Naciones Unidas (MEA, 2005).

El objetivo del evento fue la evaluación de las consecuencias de interpretar, entender y valorar la relación entre los ecosistemas y el bienestar humano a escala global (MEA, 2005; Wang *et al.*, 2010), respondiendo a los requerimientos gubernamentales de información de las cuatro convenciones internacionales: Diversidad biológica, Desertificación en las Naciones Unidas, Ramsar de humedales y de especies migratorias (MEA, 2005).

La EEM se constituyó en el marco de referencia para relacionar el estado de los ecosistemas del mundo con el bienestar provisto a la humanidad (Hein *et al.*, 2006; Fu *et al.*, 2011), mediante la valoración del estado de los ecosistemas de forma general (Balvanera *et al.*, 2009; Onaindia, 2010), cambiando la atención de los procesos y funciones ecológicas de los ecosistemas hacia el concepto del servicio ecosistémico como tal (Liu *et al.*, 2010).

Igualmente, la EEM permitió el inicio de diseño de políticas públicas, creando mapas conceptuales, definiciones y la clasificación de los servicios ecosistémicos que fueron publicados cinco años más tarde en formato de resúmenes y libros (Balvanera y Cotler, 2007; Arico y Car, 2010).

La propuesta de la EEM en el área ambiental, se constituye en un paradigma que abre paso a diversas investigaciones teniendo como línea de trabajo la valoración de los servicios ecosistémicos con el fin de identificarlos, conocer su estado actual, desde el punto de vista ecológico y/o monetario, como una forma de visibilizar los cambios que generan los modelos de desarrollo económico actual, para finalmente estructurar estrategias que permitan contrarrestar el evidente deterioro de los ecosistemas y los servicios que prestan para el bienestar humano, mediante la creación y puesta en marcha de políticas públicas macro.

Sin embargo, los alcances y propuestas planteados por la EEM, sigue en constante retroalimentación, por parte de científicos a nivel mundial encargados de dar a conocer la importancia de que esta iniciativa académica se articule de una mejor manera con las políticas de gestión ambiental en el mundo.

2.2 Ecosistemas

El concepto ecosistema, fue definido inicialmente por Tansley en el año 1934, como una unidad ecológica, resultante del ensamblaje entre la comunidad biótica y sus factores físicos (Post *et al.*, 2007). A partir de este momento el concepto ha evolucionado con aportes de Eugene y Howard Odum en la década de los cincuenta, quienes articularon el concepto de ecosistema en el campo del sistema ecológico, definiéndolo como una unidad ambiental delimitada (Schizas y Stamou, 2010). En la década de los noventa, algunos autores sugirieron que los ecosistemas fueran tomados como una unidad de estudio en la ecología (Post *et al.*, 2007).

En el año 2009, fue definido por la Convención sobre Diversidad Biológica, como un complejo dinámico de comunidades de flora y fauna con su medio no viviente que interactúan como unidad funcional, en el cual el hombre es considerado parte integral (Armenteras y Morales, 2010).

Este concepto ha tenido varios enfoques de estudio desde el punto de vista biológico, sistémico y de servicios ecosistémicos. La definición de ecosistema con enfoque biológico, permite entenderlo como una unidad organizada y funcional de la naturaleza compuesta de plantas, animales, microorganismos y sus interacciones con el medio ambiente no viviente, que provee una serie de bienes y servicios fundamentales para el mantenimiento de la vida humana (Hein *et al.*, 2006; Zhang *et al.*, 2010).

Desde el enfoque sistémico, los ecosistemas se entienden como un sistema complejo altamente interconectado, con interacciones no lineales entre variables (Chee, 2004), con resiliencia ante disturbios externos y compuesto por agentes biológicos, físicos y sociales que interactúan en diferentes escalas espaciales y temporales (Fu *et al.*, 2011).

Por último, bajo el enfoque de los servicios ecosistémicos, se define al ecosistema como una unidad conformada por cuatro partes: a) entradas abióticas con la lluvia, el sol y los nutrientes; b) servicios intermedios que permiten la formación del suelo, la productividad primaria, el ciclo de nutrientes, la fotosíntesis y la polinización, entre otros; c) servicios finales como la regulación de agua y la producción primaria, y finalmente, d) beneficios aportados por los ecosistemas como el agua para riego y consumo, las hidroeléctricas, alimento, madera, etc. (Ojea *et al.*, 2012).

Se reconocen como ecosistemas a los humedales, ríos, lagos, aguas marinas, zonas áridas, sistemas costeros, coralinos, estuarios, manglares, costas urbanizadas, bosques tropicales (MEA, 2005), aguas continentales, bosque, desiertos, islas, montañas, polos, cultivos y sistemas urbanos (Balvanera *et al.*, 2009; Onaindia, 2010). En Colombia, existen 311 tipos de ecosistemas continentales y costeros, que incluyen los naturales y transformados por causas antrópicas (PNGIBSE, 2012)

El concepto de ecosistema como unidad funcional que puede ser evaluada y con la cual se pueden generar acciones para su conservación, resulta de importancia para los

investigadores en el marco de los EEM, ya que permite delimitar el objeto de estudio y con ello a cada uno de los componentes a considerar para su valoración. No obstante, la delimitación geográfica de estos ecosistemas puede resultar complicada por hacer parte de un complejo biológico que esta en constante alteración de origen antrópico.

2.3 Servicios Ecosistémicos (SE)

Los Servicios Ecosistémicos (SE), fueron reconocidos a nivel mundial a partir del año 2005 en el marco de la EEM (Hein *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2010; Fu *et al.*, 2011). Los SE son definidos como los *“Beneficios que brindan los ecosistemas al hombre que hacen su vida físicamente posible y digna de ser vivida”* (MEA, 2005).

Estos servicios fueron clasificados en cuatro categorías, los dos primeros, SE de provisión y culturales como bienes y servicios obtenidos directamente de los ecosistemas. Los otros dos como los que hacen posible su funcionamiento, SE de regulación y soporte. En la Tabla 2.1 se muestra la definición de las categorías de los servicios ecosistémicos propuestos por la EEM y sus servicios relacionados

Tabla 2-1: Clasificación de los servicios ecosistémicos, definición y servicios ecosistémicos relacionados según la EEM (2005).

Categoría	Definición	Servicios Ecosistémicos relacionados
-----------	------------	--------------------------------------

Provisión	Bienes y servicios producidos por el ecosistema (Hein <i>et al.</i> , 2006; Balvanera <i>et al.</i> , 2009) que proporcionan el sustento básico a la humanidad través de recursos naturales de gran importancia para la biodiversidad y actividades productivas y económicas (Rönnbäck <i>et al.</i> , 2007; Balvanera <i>et al.</i> , 2009).	Alimentos, fibras, recursos genéticos, bioquímicos, medicina natural y farmacéuticos, agua fresca.
Culturales	Percepciones colectivas de beneficios materiales o no materiales obtenidos de los ecosistemas (Balvanera <i>et al.</i> , 2009; Ojea <i>et al.</i> , 2012).	Diversidad cultural, espiritual y religiosa, sistemas de conocimiento, valores educacionales, inspiración, valores estéticos, relaciones sociales, sentido de pertenencia, valores de herencia cultural, recreación y ecoturismo.
Regulación	Capacidad para regular procesos ecológicos esenciales complejos como el clima, a través de estructuras, funciones, ciclos biogeoquímicos como el ciclo hidrológico y de nutrientes (Hein <i>et al.</i> , 2006; Rönnbäck <i>et al.</i> , 2007; Ojea <i>et al.</i> , 2012).	Regulación de la calidad del aire, del clima, del agua, de la erosión, de las enfermedades, de las pestes y de desastres naturales. Purificación del agua y tratamiento de residuos, polinización.
Soporte o sustento	Procesos biológicos que aseguran el funcionamiento de los ecosistemas y el flujo de los otros bienes y servicios la producción de otros bienes ecosistémicos (Balvanera <i>et al.</i> , 2009; Ojea <i>et al.</i> , 2012).	Formación de suelo, fotosíntesis, producción primaria, ciclo de nutrientes y del agua.

Los servicios ecosistémicos, entendidos como un concepto antropogénico, permite una vinculación directa entre los ecosistemas y el bienestar de la humanidad, lo que genera un gran interés en el emprendimiento de acciones que permitan de forma concreta mitigar los constantes impactos ambientales de origen antrópico.

En cuanto a las categorías de los servicios ecosistémicos, si bien plasman de forma integrada la complejidad de servicios y bienes provistos, son difíciles de evaluar, en especial, los de soporte y regulación, debido que es complejo poder separar cada uno de ellos. Investigadores como de Groot y colaboradores (2002), han liderado propuestas para

unir los servicios ecosistémicos de soporte y regulación como una forma de evitar el doble conteo monetario y ecológico de los servicios ecosistémicos.

2.4 Política Nacional de Gestión Integrada de la Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE)

La política colombiana PNGIBSE fue creada con el objetivo de enmarcar y orientar los instrumentos de gestión ambiental como políticas, normas, planes y proyectos, para la conservación de la biodiversidad del país, generador de servicios ecosistémicos que resultan indispensables para el desarrollo y bienestar de la sociedad colombiana para hacer frente al cambio ambiental de origen antrópico, mantener la resiliencia de sistemas socio ecológicos y considerar la acción articulada del estado, la sociedad civil y el sector productivo (PNGIBSE, 2012).

Esta política se constituye en el marco normativo ambiental del país. Explica los conceptos generales usados, como ecosistemas, comunidades vegetales, especies, poblaciones y genes. También, publica la extensión de los ecosistemas reconocidos en el país, y hace una relación de las categorías de los SE vinculado a la importancia económica en el PIB colombiano. Por otro lado, describe el marco de acción de la política, definiendo dos formas de valorar los servicios ecosistémicos, de forma económica o no económica, esta última, de forma cualitativa o cuantitativa (PNGIBSE, 2012).

Por otro lado, la política plantea como opción para lograr su operatividad la articulación con otros instrumentos de política sectorial como: la Política Agropecuaria 2010-2014, la Política de Seguridad Alimentaria y Nutricional, el Plan Nacional de Desarrollo Minero y a la Inversión Extranjera Directa en el País 2019, el Plan Energético Nacional 2010-2030, Conpes 3272 Política Integral de Infraestructura Vial (2004) y el Conpes 3527: Política Nacional para la Productividad y la Competitividad (2008).

Igualmente, considera que debe articularse a los planes regionales de acción en biodiversidad (PARGIBSE), los planes de gestión ambiental regional (PGAR), los planes de acción cuatrienal de la autoridad ambiental (PAC) y los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA), entre otros programas, políticas y planes de carácter nacional, regional, departamental y municipal. Finalmente, plantea la necesidad de realizar un diagnóstico estratégico de la problemática asociada con la gestión de la biodiversidad y el marco estratégico que consta de 14 principios orientadores, con 6 ejes temáticos y 34 líneas de acción (PNGIBSE, 2012)

Esta política nacional, es el primer acercamiento al marco de la EEM y por supuesto, a los servicios ecosistémicos, vinculado directamente a la biodiversidad, que es de vital importancia para el país. Sin embargo, se observa que las propuestas para aplicar esta política se basa en el logro de articulaciones con políticas, planes y programas establecidos, lo cual hace parte del deber ser del documento, pero, no se observan las herramientas que permitan alcanzar este objetivo. Llama la atención que esta política busque articularse a las que, de alguna forma, apoyan la actividad minera, conocida por sus fuertes impactos ambientales.

2.5 Cuencas andinas

La cuenca hidrográfica es una unidad territorial, donde confluye una red natural de cauces que desembocan en un depósito natural de agua, pantano o mar (Sauer *et al.*, 2000; IDEAM, 2010; República de Colombia, 2002). Es considerada un sistema organizado de complejas relaciones biofísicas, económicas, sociales y culturales, por tanto una unidad fundamental para la gestión ambiental (García, 2003). Las cuencas andinas están ubicadas en la cordillera de los andes, que se considera una las cadenas montañosas más extensa del planeta, ubicada en el extremo occidental de Suramérica, con un área 1.543.000 km², lo que implica una amplia complejidad topográfica y climatológica (Gasto, 1993; Acosta *et al.*, 2009).

Las cuencas andinas son considerada primordiales para el abastecimiento de agua en el continente para consumo humano, generación de energía hidroeléctrica, recreación y transporte (Andrade y Navarrete, 2004; Harden, 2006). Además, son proveedoras de otros servicios ecosistémicos como: reservorio de biodiversidad, almacenaje de nutrientes, mitigación de inundaciones, regulación del agua, disponibilidad de hábitats, retención de sedimentos, entre otros (Villamarín *et al.*, 2013).

A pesar de la importancia de los SE mencionados, estos se han visto afectados por causas antrópicas, como los cambios en la cobertura vegetal generados por las comunidades asentadas en los andes, por el desarrollo de actividades relacionadas con la ganadería, agricultura, deforestación, carreteras, contaminaciones de origen doméstico e industrial (Molina *et al.*, 2012; Villamarín *et al.*, 2013), plantaciones de bosque exótico y minería (Acosta *et al.*, 2009)

En Colombia, las cuencas andinas están ubicadas en las cordilleras occidental, central y oriental, en los valles interandinos del Valle del Cauca y Magdalena y otras formaciones periféricas, que cubren cerca del 25% del territorio nacional con un área de 280.000 km², desde los 500 a los 5.400 m.s.n.m., lo cual influye en su alta complejidad biológica, cultural, social y económica (Rodríguez *et al.*, 2007; Marín *et al.*, 2008).

Las características anteriormente mencionadas, hacen que las cuencas andinas colombianas brinden una alta disponibilidad de recursos hídricos y biodiversidad (Molina y Escobar, 2005), aunque han tenido una gran presión antrópica de la población asentada (Marín *et al.*, 2008) puesto que cerca del 78% de los habitantes del país están concentrados en esta región en las ciudades de Bogotá, Medellín, Cali y Bucaramanga, que representan el 38% del PIB nacional (Rodríguez *et al.*, 2007).

Las cuencas andinas son un complejo sistema considerado como una unidad ecológica, que por su amplia biodiversidad, fauna, flora y, principalmente, la provisión de agua, son

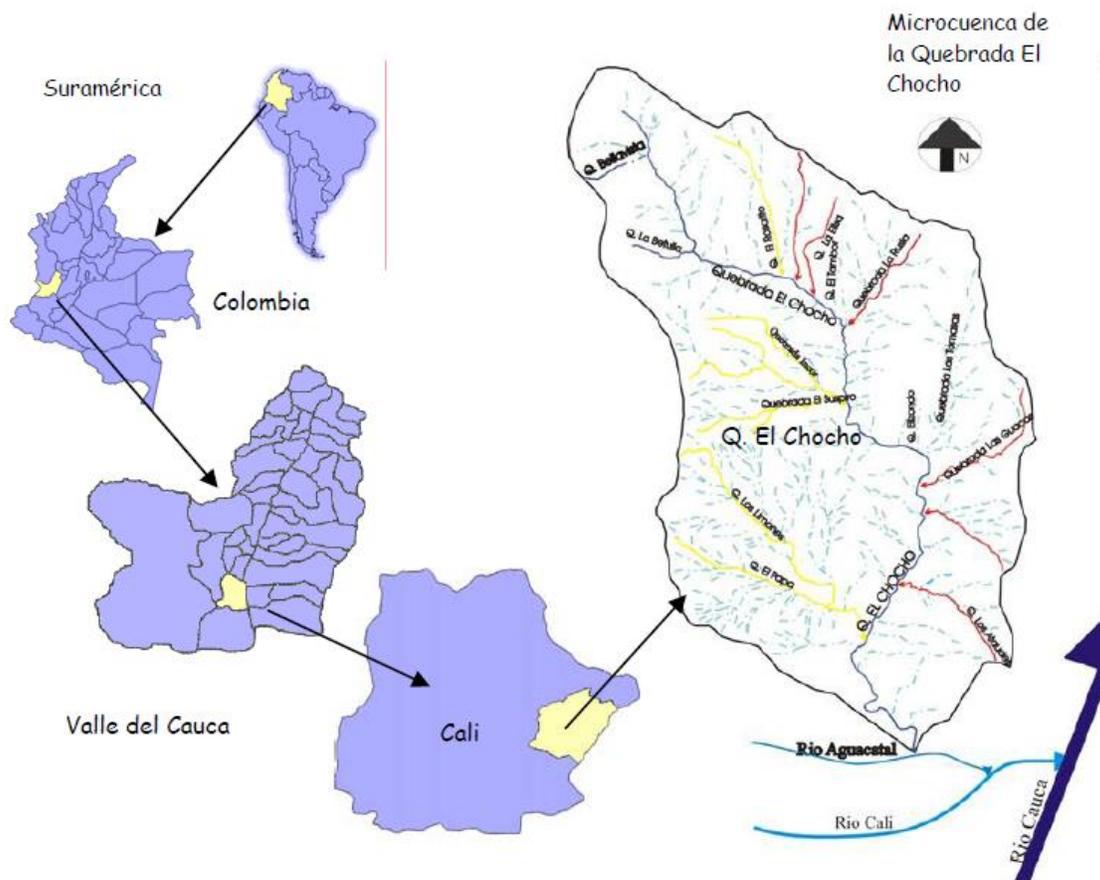
de vital importancia para el desarrollo económico y bienestar de las comunidades asentadas y, por esta misma razón, las más afectadas por alteraciones de origen antrópico. Esto hace que las cuencas andinas requieren de estrategias que permitan la conservación de las funciones y servicios ecosistémicos.

2.6 Microcuenca El Chocho

La microcuenca El Chocho está ubicada en la cordillera occidental de los Andes colombianos, en la zona rural del municipio de Cali del departamento del Valle del Cauca, Colombia, que desemboca a los 1.035 m.s.n.m. en la zona urbana del municipio como se observa en la Figura 2.1. (Marín, 2004; Smits *et al.*, 2004; Butterworth *et al.*, 2006; Alcaldía Municipal de Santiago de Cali *et al.*, 2008).

La microcuenca El Chocho es considerado un ecosistema estratégico por su importancia ecológica y ambiental, en el abastecimiento de agua para usos recreativos, productivos, biodiversidad, explotación de carbón mineral y triturados (Marín, 2004; Butterworth *et al.*, 2006).

Figura 2-1: Esquema de ubicación de la microcuenca el chocho, municipio de Cali – Colombia



Fuente: Butterworth *et al.*, 2006.

La microcuenca El Chocho tiene un área de 21,3 km². Es la mayor tributaria de la subcuenca del río aguacatal, que a su vez, desemboca en la cuenca del río Cali (Marín, 2004; Alcaldía de Santiago de Cali *et al.*, 2006). Constituye el límite entre los corregimientos de Golondrinas y La Castilla, y entre La Castilla y Montebello. Abastece 8 acueductos rurales de la zona (Marín, 2004) para la provisión de agua de uso doméstico y productivo a cerca de 15.000 habitantes (Butterworth *et al.*, 2006).

Desde el punto de vista ambiental, esta microcuenca se ha visto afectada por el cambio de uso de suelo, el aumento de población en asentamientos subnormales, el vertimiento de aguas residuales e industriales, el mal manejo de residuos sólidos y la minería (Alcaldía de Santiago de Cali *et al.*, 2006; Butterworth *et al.*, 2006; Universidad del Valle, 2009).

Las actividades mencionadas afectan la calidad del agua de la parte media y baja de la microcuenca en los corregimientos de Montebello y Golondrinas, especialmente, en parámetros como el oxígeno disuelto, color aparente, contenido de metales y turbidez (Butterworth et al., 2006; CVC et al, 2011).

La microcuenca El Chocho ha sido de importancia económica para el municipio de Cali, en especial, para actividades de minería, lo cual ha causado impactos ambientales no solo en la calidad y cantidad del agua, sino en la prestación de servicios ecosistémicos, como el albergue de biodiversidad y recreación. Sumado a esta problemática, se encuentra el rápido incremento de la población asentada en la parte media y baja de la microcuenca que por su cercanía al casco urbano y bajo costo en la vivienda, que generan presiones e impactos al ecosistema. Estas características hacen que sea importante iniciar intervenciones para diagnosticar y realizar acciones de conservación con la comunidad habitante y empresas ubicadas en la microcuenca.

2.7 Índices ambientales

Los índices son considerados un tipo de indicador que integran complejas condiciones y que reúnen varios indicadores en uno solo (Heink y Kowarik, 2010), que pueden representar una aproximación útil y brindar una visión general del estudio, por tanto facilita la toma de decisiones (Carvajal y Quintero, 2008). Así mismo, permiten fusionar información de diversas variables que son ponderadas en una sola expresión numérica (Sánchez y Cruz, 2007), generalmente expresados en números adimensionales (Heink y Kowarik, 2010), que pueden ser representados a través de un número, rango, símbolo o incluso con colores (Fernández *et al.*, 2001).

Estos deben ser simples, prácticos y significativos (Hakanson *et al.*, 2000). Los índices son usados como una herramienta de información para el público y los agentes creadores de políticas y son útiles en la toma de decisiones (Celemín y Velásquez, 2011).

Para el diseño de índices se recomiendan seguir los siguientes pasos:

- i.) Identificación del objetivo del índice y del contexto a valorar (Velásquez *et al.*, 2007; Carvajal y Quintero, 2008; Sierra, 2011; Czúcz *et al.*, 2012; Rutgers *et al.*, 2012; Srebotnjak *et al.*, 2012; Villamarín *et al.*, 2013)
- ii.) Selección de las variables a considerar, teniendo en cuenta el presupuesto disponible y el uso de parámetros representativos (Suarez *et al.*, 2005; Velásquez *et al.*, 2007; Carvajal y Quintero, 2008; Sierra, 2011; Villamarín *et al.*, 2013).
- iii.) Establecimiento del rango de variación del índice y la escala (Xu *et al.*, 2005; Velásquez *et al.*, 2007; Sierra, 2011; Srebotnjak *et al.*, 2012).
- iv.) Agrupación de las variables seleccionadas en los términos que representan los aspectos a evaluar (Velásquez *et al.*, 2007; Carvajal y Quintero, 2008; Sierra, 2011; Villamarín *et al.*, 2013).
- v.) Determinación de la importancia que tiene los grupos de variables asignándoles un valor de peso a cada término. La suma de los factores de peso debe sumar el valor máximo de la rango en el cual varía el índice. (Suarez *et al.*, 2005; Velásquez *et al.*, 2007; Sierra, 2011; Rutgers *et al.*, 2012; Srebotnjak *et al.*, 2012; Villamarín *et al.*, 2013).
- vi.) Formulación de la expresión matemática para calcular el índice (Xu *et al.*, 2005; Velásquez *et al.*, 2007; Sierra, 2011; Srebotnjak *et al.*, 2012).
- vii.) Establecimiento de las clasificaciones dependiendo de la ponderación (Suarez *et al.*, 2005; Xu *et al.*, 2005)

Los índices ambientales brindan información concreta y resumida acerca de una situación de interés como herramienta primordial en la toma de decisiones frente a acciones de conservación de ecosistemas y sus servicios, educación ambiental e incluso en reglamentaciones o políticas públicas que se generen, por lo tanto, los índices son una herramienta útil y poderosa. La construcción del índice es una labor que requiere de gran responsabilidad y claridad del objetivo para el cual fue elaborado, de su aplicabilidad, pertinencia e identificación de los actores que pueden aprovecharlos en la toma de decisiones.

2.8 Índices ambientales para la valoración de Servicios Ecosistémicos

Diversos índices han sido construidos en el mundo para la valoración de los servicios ecosistémicos, los cuales están contenidos en la Tabla 2.2. Los índices consultados en este trabajo muestran similitudes y diferencias. En las similitudes, se encuentra que son construidos para evaluar ecosistemas como cuencas, lagos, humedales, paisajes o fincas; manejan variables agrupadas en componentes y escalas de valoración, y al menos un caso de aplicación para conocer el comportamiento de la herramienta.

Por otro lado, se encuentran diferencias en los enfoques de valoración. En el caso de las cuencas por ejemplo, un índice puede medir ya sea la calidad del agua, la sostenibilidad del recurso hídrico, el impacto de las acciones antrópicas, la calidad del suelo, la biodiversidad, los servicios ecosistémicos culturales o adaptaciones locales a índices externos.

De igual forma, a pesar de que algunos índices evalúen lo mismo, como, por ejemplo, la calidad del agua, se manejan variables diferentes dependiendo de la experticia de quien lo propone, observándose componentes biológicos como el uso de bioindicadores acuáticos, biodiversidad y hábitat, componentes energéticos como la exergía, o el uso de herramientas informáticas como las bases de datos disponibles en países europeos. Así mismo, se observa que pocos de los índices propuestos tienen herramientas operativas para su aplicación como es el caso del software MANUELA (von Haaren et al, 2012)

Tabla 2-2: Índices ambientales usados para la valoración de los servicios ecosistémicos

Autor, año	Objetivo	Tipo de Metodología	Aplicación SE
------------	----------	---------------------	---------------

Suarez et al., 2005	Desarrollar un índice de calidad del agua utilizando macrófitos acuáticos, fácil de calcular sin requerir alta especialización taxonómica.	Índice de Macrófitos (IM) para la Calidad de agua.	Cuenca del Segura (España).
Xu et al., 2005	Valorar la salud ecosistémica de los lagos utilizando variables biológicas y exergéticas.	Índice de Salud de los ecosistemas (EHI).	Lagos Italianos.
Acosta et al., 2006	Proponer un protocolo de cuantificación de presiones e impactos del origen de la degradación de las comunidades acuáticas y terrestres.	Protocolo CERA: Calidad Ecológica de los Ríos Andinos.	Cuenca de Ecuador y Perú.
Velásquez et al., 2007	Diseñar un índice de Calidad de suelo y sus Servicios Ecosistémicos que permita cuantificar en un rango común desde 0.1 a 1.0, a través del uso de subindicadores relacionados con el suelo como: estado físico, la fertilidad química, la calidad y las reservas de materia orgánica, la morfología del perfil de suelo de más de 5 cm. y la composición de las comunidades de macro invertebrados en el suelo.	Indicador General de Calidad de Suelos (GISQ) para la valoración de SE.	Microcuenca de Potrerillo (Cauca, Colombia) y Wibuse (Matagalpa, Nicaragua), con diferente uso de los suelos: pastos, cultivos de maíz, plantaciones de café, bosques secundarios, cultivos mezclados, jardines y tierra erosionada.
Shiels, 2010	Correlacionar los índices de paisajes con las muestras de la calidad de agua obtenidas de los estudios LARE (Desempeño de Lagos y Ríos).	Correlación de índices.	Paisajes de la Cuenca Mississinewa (Estados Unidos).
Suneetha et al., 2011	Valorar el bienestar humano y los cambios productivos del suelo derivados de las alteraciones de los ecosistemas a través de la comparación por décadas de información biofísica y socioeconómica en ecosistemas seleccionados en China, Japón, Indonesia y Tailandia.	Comparación de resultados de diversos indicadores para ecosistemas seleccionados.	Cuenca Supa, (Provincia Yunnan, China), Cuencas Kushiro, Hokkaido, un humedal de Ramsar (Japón), Villa Bawan, Cuenca Kahayan, Kalimantan central (Indonesia) y Cuenca Mae Hae(Tailandia) en 2009.

Tabla 2.2. (Continuación).

Autor, año	Objetivo	Tipo de Metodología	Aplicación SE
Czucz et al., 2012	Demostrar que el Índice de Capital Natural (NCI), es un indicador flexible en el tema de	Índice de Capital Natural que agrega indicadores de	86 diferentes hábitats naturales y

	biodiversidad. Así mismo, evaluar indicadores regionales establecidos como: Índice de conservación de paisajes (ILC), Índice Hemeroby y Hectáreas de hábitat, que hacen parte del NCI.	biodiversidad aplicados a nivel internacional, bajo el modelo: cantidad por calidad de ecosistemas.	semi-naturales (Hungría).
Loaiza Cerón et al., 2012.	Realizar la aplicación del índice de Sostenibilidad del Recurso Hídrico en la Agricultura (ISRHA) en una microcuenca para establecer estrategias tecnológicas sostenibles.	Índice ISHRA, agrupa 27 indicadores biofísicos, tecnológicos, socioeconómicos y político institucionales	Microcuenca Centella (Dagua, Colombia)
Rutgers et al., 2012	Valorar y cuantificar los SE de 4 fincas cultivables en Holanda.	Valoración ecológica SE relacionados con el suelo.	Fincas de Hoeksche Waard (Holanda).
Srebotnjak et al., 2012	Realizar un acercamiento en la creación de un índice de Calidad de agua fresca (WATQI) desarrollado como un indicador en el 2008 Discutir los cambios en la definición y medición de la calidad del agua haciendo énfasis en la limitada disponibilidad de los datos a nivel mundial.	Índice de Calidad de Agua fresca (WATQI).	Sin Aplicación en caso de estudio.
Vihervaara et al, 2012	Estudiar el efecto del establecimiento de cultivos de pinos y eucaliptos en la percepción de los SE. Así mismo, Valorar las restricciones políticas y económicas que pueden limitar el establecimiento de nuevos mercados a los SE.	Valoración de SE realizando entrevistas.	Plantaciones de Eucalipto y pino en los departamentos de Durazno y Tacuarembó a lo largo del río Negro en Uruguay central.
von Haaren et al, 2012	Desarrollar una metodología para evaluar la biodiversidad aplicada a nivel de finca, a través de un indicador en cuanto al estado de los biotipos (condición, calidad y sensibilidad) y los cambios causados en la finca por cambios en el uso de suelo.	Valoración de SE a través de Software MANUELA que implementa un indicador para medición de SE.	Fincas de Alemania de diferente tamaño y regiones geográficas.

Tabla 2.2. (Continuación).

Autor, año	Objetivo	Tipo de Metodología	Aplicación SE
-------------------	-----------------	----------------------------	----------------------

22 Propuesta de un índice para valorar los servicios ecosistémicos ofrecidos por una microcuenca andina. **Caso El Chocho**

Radford y James, 2013	Identificar las tendencias en cuanto a las percepciones en los diferentes paisajes y sus SE.	Mapeo de SE.	Paisajes urbanos, semiurbanos, periurbano y rural – Servicios Culturales (Inglaterra)
Villamarín et al, 2013	Proponer y evaluar un índice Multimétrico para valorar la condición biológica de las corrientes de la cordillera andina aplicable en un amplio rango geográfico.	Índice Multimétrico del Estado Ecológico para Ríos Alto Andinos –IMMERA, para bosques, páramos y punas.	Rio Guayllabamba, Ecuador.
Sirombra y Mesa, 2012	Adaptar el índice QBR para evaluar la calidad ribereña de las corrientes de la bioma Yunga	Índice QBRy (Qualitat del Bosc de ribera)	Subcuenca de la Provincia de Tucumán Argentina

De los índices revisados, solo algunos han tenido aplicaciones en cuencas andinas (GISQ, ISHRA, IMMERA, y QBRy) con la característica común, de solo valorar parte de la cuenca hidrográfica o algún servicio ecosistémico. Estas investigaciones arrojan resultados en términos de calidad del suelo, calidad del agua, sostenibilidad del recurso hídrico frente a su uso agrícola y de los hábitats ribereños, con datos obtenidos en campo por personal especializado que hace costoso la aplicación de este tipo de índices.

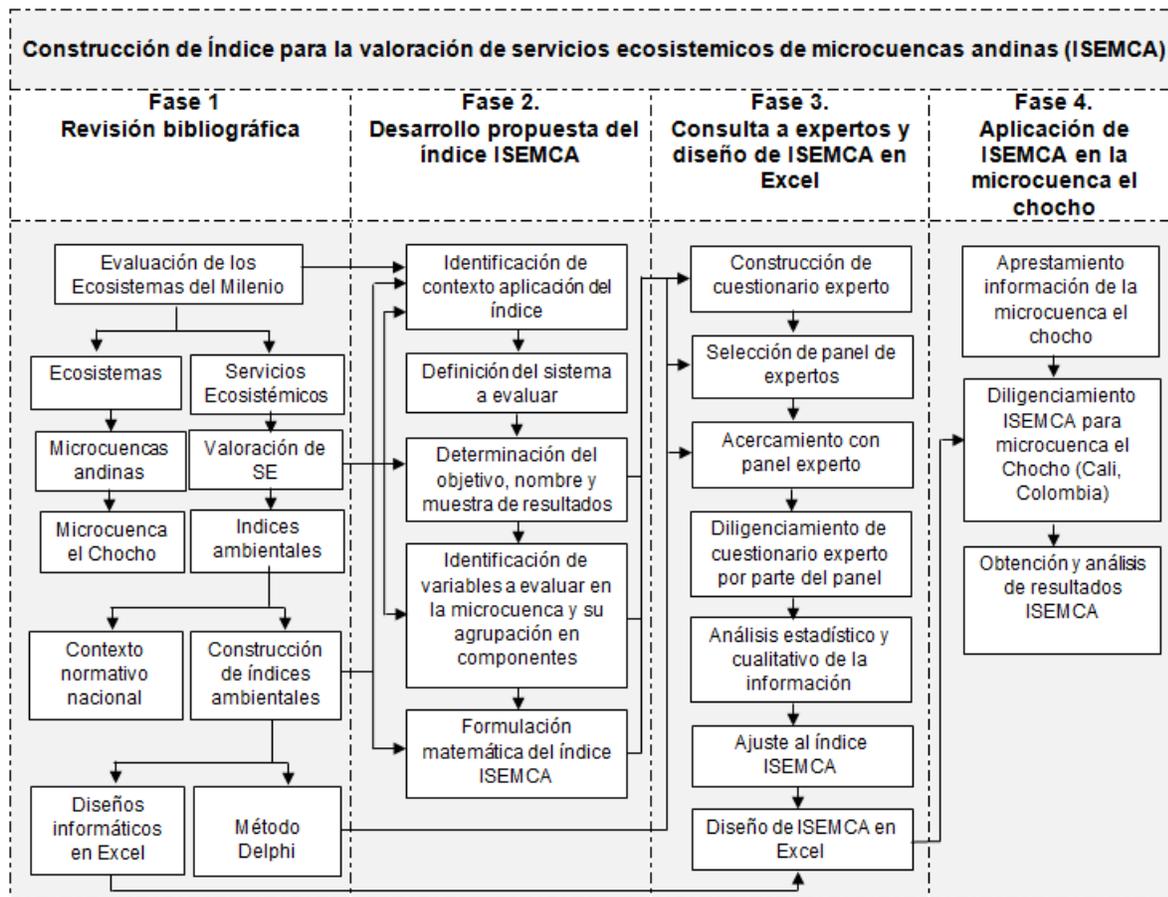
Adicionalmente, de los índices consultados ninguno permite visualizar en una escala macro e integrada, lo que sucede en ese ecosistema, solo algunos de los servicios ecosistémicos asociados a las cuencas andinas. Este hecho hace que sea importante y necesario proponer índices con las que se pueda trabajar información integrada de las microcuencas, que sirva como herramienta en la toma de decisiones.

3. Materiales y métodos

Para lograr los objetivos propuestos en este trabajo se planteó una estrategia metodológica que consiste en cuatro fases: i) revisión de literatura para la construcción del marco contextual y antecedentes del estudio, ii) la construcción inicial de propuesta del índice denominado ISEMCA (Índice para la valoración de los Servicios Ecosistémicos de microcuencas andinas), iii) la consulta con un panel de expertos de las ponderaciones propuestas en el índice, diseñar el índice ISEMCA en Excel, y iv) la aplicación del índice ISEMCA con datos secundarios publicados de la microcuenca El Chocho ubicada en Cali Colombia.

En la Figura 3.1., se muestra de forma resumida las fases metodológicas seguidas en este trabajo y los procesos realizados para alcanzar el objetivo general. Cabe anotar que esta metodología, presenta como característica, la constante retroalimentación de las fases con el propósito de que sea un proceso dinámico que permita el logro del objetivo propuesto. Cada fase se describe a continuación

Figura 3-1: Esquema de las fases metodológicas empleadas en este trabajo.



Fuente: Laura Giratá Sastoque.

3.1 Primera Fase: Revisión bibliográfica

En esta fase, se reunió la documentación necesaria para dar cumplimiento al primer objetivo, para lo cual se realizó una relación entre los servicios ecosistémicos reconocidos por la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio y los artículos científicos donde se encontraron reporte de los SE ofrecidos por las microcuencas andinas. Así mismo, mediante la revisión de información disponible de los temas mencionados en la Figura 3.1.

3.2 Segunda fase: Desarrollo propuesta del índice ISEMCA

En esta fase, se planteó el contexto bajo el cual funcionaría el índice ISEMCA, es decir, para microcuencas andinas, lo que permitió establecer la estructura del modelo a evaluar a partir de la identificación de sus componentes de aproximación, sus interacciones, relacionadas con las cuatro categorías de los servicios ecosistémicos. También, se estableció el objetivo, nombre, forma de presentación de resultados del índice en el marco de la gestión ambiental.

Se identificaron y priorizaron las variables estimativas, que fueron agrupadas en cuatro componentes de aproximación a la valoración del estado de los SE en cuanto a: cobertura vegetal y biodiversidad, cuerpos de agua, relación comunidades y entorno, y regulación climática. Es de resaltar que la evaluación de cada uno de estos componentes será una aproximación a la estimación de la situación de ellos en una microcuenca andina. En el tercer componente de aproximación, relación comunidades y el entorno, se estructuró una encuesta para ser diligenciada con la comunidad con el fin de tener en información primaria sobre la percepción del recurso agua, uso del suelo, y el recurso humano, en los últimos 5 años, teniendo categorías de respuesta limitada.

Luego se realizó la formulación matemática del índice a través de ponderaciones propuestas para las variables y los componentes, fundamentado en la revisión de literatura de estudios similares como los publicados por Acosta y colaboradores en el año 2009, Villamarín y colaboradores en el año 2013. Igualmente, se tuvo en cuenta la metodología de construcción de índices de calidad de agua y suelo para la prestación de SE publicado por Sierra (2011) y Velásquez y colaboradores (2007), respectivamente.

3.3 Tercera fase: Uso de método Delphi y diseño de la herramienta en Excel

3.3.1 Método Delphi

Con el objeto de consensuar las ponderaciones propuestas para el índice ISEMCA, se utilizó el método Delphi porque es una técnica grupal eficaz y sistemática de consenso de las opiniones de un grupo de expertos a través de cuestionarios de un tema en particular, (Landeta, 2006; Blasco *et al.*, 2010; Landeta *et al.*, 2011), con un grupo entre 7 y 30 expertos (Rodríguez y Sánchez, 2012; Varela-Ruiz *et al.*, 2012). El método Delphi permite validar cuestionarios y ponderaciones con la opinión experta en diversos ámbitos de conocimiento (Blasco *et al.*, 2010)

El método Delphi tiene como características: el anonimato de los expertos y sus respuestas, la retroalimentación controlada, el manejo estadístico de la información y se considera un proceso iterativo (Landeta, 2006; Landeta *et al.*, 2011; Mateos-Ronco *et al.*, 2011). Usualmente se siguen tres etapas: i) Delimitación del contexto, los objetivos, el diseño, elección de los elementos básicos del trabajo y la selección de los expertos, ii) Elaboración y aplicación de los cuestionarios, iii) Análisis estadísticos y presentación de la información (Carreño, 2009).

Actualmente, es utilizado el método Delphi en tiempo real, que permite una consulta con expertos de forma simultánea o no, y obtener respuestas de forma inmediata para ser analizadas (Varela-Ruiz *et al.*, 2012; Gnatzy *et al.*, 2011). Con la aplicación de cuestionarios que muestran la media o mediana de la respuesta del grupo, la justificación de respuesta de los integrantes del panel y se provee un espacio para la retroalimentación del experto (Gordon y Pease, 2006). La aplicación de la prueba de hipótesis y de regresión,

no arrojaron diferencias significativas que indicaran el condicionamiento de los conceptos emitidos por el experto al conocer una ponderación inicial (Gnatzy *et al.*, 2011).

3.3.2 Cuestionario experto

El cuestionario experto se preparó teniendo en cuenta que fuera fácil de entender, diligenciar, considerando la metodología a utilizar y los tiempos de ejecución (Landeta, 2006; Blasco *et al.*, 2010; Landeta *et al.*, 2011). El cuestionario experto consta de cinco partes. La primera, fue una introducción explicativa del objeto y contexto del índice. La segunda, se planteó para que los expertos ponderaran la importancia de los cuatro componentes de aproximación propuestos para el índice ISEMCA. La tercera parte, permitió al panel de experto la calificación de las 21 variables estimativas propuestas. En la cuarta parte se trabajó la ponderación de cada categoría de respuesta. La quinta parte se valoró la encuesta a líderes de la comunidad.

Como aporte complementario de los expertos se planteó un espacio abierto de observaciones, donde se brindó la posibilidad de justificar las respuestas brindadas (ver Anexo A).

3.3.3 Selección de panel de expertos

Para la selección del panel de expertos, se tuvo en cuenta peritos en temas relacionados con microcuencas andinas y/o servicios ecosistémicos, que hicieran parte del sector privado a través de consultorías ambientales o del sector público en instituciones de vigilancia y control en el sector ambiental, asistencia técnica rural o académico. Se seleccionaron 12 posibles participantes con experiencia principalmente en ingeniería, biología y ecología.

Se realizó un primer contacto con los expertos, principalmente, vía correo electrónico y teléfono. Se socializó el contexto del índice ISEMCA y la forma de consulta a través del uso de un cuestionario para diligenciamiento individual. En esta parte, se concertaron los espacios de reunión o el compromiso de envío de forma virtual con las ponderaciones y observaciones.

3.3.4 Diligenciamiento del cuestionario experto

Se terminó el proceso de consulta de forma satisfactoria con 7 expertos (Tabla 3.1.) de los 12 seleccionados, acorde con la recomendación del método Delphi (Varela-Ruiz *et al.*, 2012). Las otras 5 personas se rehusaron a diligenciar el cuestionario experto, argumentando falta de tiempo. Con cuatro expertos se realizó entrevista personal y los restantes de forma virtual. El promedio de tiempo utilizado en la primera modalidad fue de 1 hora y media, y en la segunda, 2 meses, por lo cual fue necesario realizar constantes recordatorios vía telefónica y correo electrónico a los participantes.

Tabla 3-1: Nivel universitario, experticia y ámbito de trabajo del panel de expertos.

No	Nivel Universitario	Experticia	Ámbito de trabajo
1	Especialista	Cuencas hidrográficas andinas	Sector privado consultoría
2	Especialista	Cuencas hidrográficas andinas	Sector privado consultoría
3	Especialista	Cuencas hidrográficas andinas y SE	Sector público asistencia técnica rural
4	Especialista	Ecosistemas y SE	Sector público en organismo de control ambiental
5	Maestría	Cuencas hidrográficas andinas	Sector privado consultoría
6	Maestría	Ecosistemas y SE	Sector público en organismo de gestión ambiental
7	Doctorado	Cuencas hidrográficas andinas	Sector público en organismo de control ambiental

3.3.5 Análisis estadístico descriptivo y cualitativo

Se realizó el análisis estadístico descriptivo de la información obtenida del panel de experto, utilizando los programas Microsoft Excel 2010 y el IBM SPSS Statistics 20. Este análisis se hizo para las ponderaciones de los componentes, variables y categorías de respuesta, manejando los parámetros de media aritmética y desviación estándar. Así mismo, se revisaron las observaciones que los expertos pasaron por escrito para retroalimentar el índice.

3.3.6 Diseño de índice ISEMCA en Excel

Luego de hacer los ajustes al índice en cuanto a las ponderaciones de los componentes de aproximación, variables estimativas y categorías de respuesta, se realizó el diseño de ISEMCA en Excel. Se decidió usar este software porque es muy conocido a nivel mundial, fácil de manejar y amigable con el usuario. Para el montaje del modelo se tuvo en cuenta el diseño empleado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 2005). Se trabajaron las pestañas: introducción, valoración de los componentes, encuesta a comunidades, resultados ISEMCA y, finalmente, el formato encuesta a comunidades para su impresión y ejecución en campo.

3.4 Cuarta fase: Aplicación de la herramienta en la microcuenca andina: El Chocho en el municipio de Santiago de Cali – Valle, Colombia

3.4.1 Aprestamiento de información secundaria

Se reunió la información necesaria para el diligenciamiento de la herramienta, haciendo revisión de tesis, artículos, publicaciones o informes técnicos de estudios realizados en la microcuenca el Chocho y en los corregimientos que la conforman, como se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.3.2.**

Tabla 3-2: Listado de documentos consultados por variable estimativa para el diligenciamiento del índice ISEMCA.

No.	Variable estimativa diligenciada	Tipo de documento	Autor y año
1	Erosión del suelo.	Tesis Maestría.	Marín, 2004.
2	Cobertura del suelo.	Caracterización de la microcuenca.	Alcaldía de Santiago de Cali, 2008.
3	Relación ecosistema naturales vs. Alterados.	Caracterización de la microcuenca.	Alcaldía de Santiago de Cali, 2008.
4	Especies endémicas de flora.	Mapas sociales de los corregimientos. Caracterización bosques y tierras forestales.	Alcaldía de Santiago de Cali, 2005. Universidad del Tolima y CVC, 2010.
5	Especies endémicas de fauna.	Mapas sociales de los corregimientos. Política Nacional de Colombia.	Alcaldía de Santiago de Cali, 2005. PNGIBSE, 2012.
6	Deforestación anual.	Política Nacional de Colombia.	PNGIBSE, 2012
7	Calidad del agua.	Tesis pregrado	Ramos, 2009.
8	Variación del caudal promedio.	Caracterización de la microcuenca.	Alcaldía de Santiago de Cali, 2008.
9	Usos del agua.	Estudio de la microcuenca.	Butterworth <i>et al.</i> , 2006.
10	Población.	Planes de desarrollo 2012-2015 de los corregimientos.	Alcaldía de Santiago de Cali, 2011.
11	Descarga de industria establecidas.	Estudio de la microcuenca.	Butterworth <i>et al.</i> , 2006.

Tabla 3.2. (Continuación)

No.	Variable estimativa diligenciada	Tipo de documento	Autor y año
12	Iniciativas de conservación de la microcuena.	Estudio de la microcuena.	Butterworth et al., 2006.
13	Servicios públicos de acueducto.	Planes de desarrollo 2012-2015 de los corregimientos.	Alcaldía de Santiago de Cali, 2011.
14	Servicios públicos de alcantarillado.	Planes de desarrollo 2012-2015 de los corregimientos	Alcaldía de Santiago de Cali, 2011.
15	Manejo de residuos sólidos.	Planes de desarrollo 2012-2015 de los corregimientos	Alcaldía de Santiago de Cali, 2011
16	Presencia de agro ecoturismo.	Guía de turismo rural en Santiago de Cali	Alcaldía de Santiago de Cali, 2008
17	Encuesta comunidad.	Líder comunitario de la microcuena	Sr. Oliverio Suarez.
18	Incidencia de sequía.	Cali en cifras.	Alcaldía de Cali, 2012
19	Incidencia de deslizamientos.	Cali en cifras.	Alcaldía de Cali, 2012
20	Incidencia de inundaciones.	Cali en cifras.	Alcaldía de Cali, 2012
21	Incidencia de incendio.	Cali en cifras.	Alcaldía de Cali, 2012

Adicionalmente se realizó la encuesta a un líder de la zona que ha trabajado con proyectos de conservación en la microcuena el Chocho, y pudiera dar razón de los cambios en la prestación de servicios ecosistémicos. Para esta labor se contactó y se encuestó al señor Oliverio Suarez Suarez identificado con la cedula de ciudadanía 17.079.539, representante legal de la Junta de acueducto y alcantarillado del corregimiento de Golondrinas (Cali); quien, actualmente, participa del proyecto “Adaptación al cambio climático en la Colombia rural: el papel de la gobernanza de agua” que es financiado por International Development Research Center (IDRC), coordinado por el Instituto CINARA (Universidad del Valle) y la Fundación Evaristo García (FEG).

3.4.2 Diligenciamiento del índice ISEMCA y análisis de resultados

Se ingresaron los datos proveniente de información secundaria y primaria (encuesta al líder de la microcuenca). Se obtuvo los resultados de la aplicación del índice ISEMCA en la microcuenca el Chocho, que arrojó la calificación, estado de prestación de los servicios ecosistémicos y componentes donde se pueden realizar acciones de gestión ambiental.

De igual manera, se realizó la interpretación de los datos analizando su coherencia con los reportes de trabajos de investigación realizados en la microcuenca debido que se tiene conocimiento de su afectación por presiones sociales (asentamientos humanos) y económicas (industriales entre ellos la minería).

4.Resultados y análisis

Los resultados que se muestran a continuación, están orientados al cumplimiento de los cuatro objetivos específicos propuestos. Estos responden a la metodología planteada de cuatro fases. Al desarrollar la metodología se logra obtener el objetivo principal de este trabajo, que consiste en proponer un índice que permita la valoración de los servicios ecosistémicos de una microcuenca andina. Un índice que se espera pueda ser aplicado ampliamente en otras microcuencas ubicada en la cordillera de los Andes.

4.1 Resultados para el objetivo específico 1: Identificar los Servicios Ecosistémicos ofrecidos por las microcuencas de la cordillera de los Andes

En las publicaciones de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio se establecen 29 servicios ecosistémicos agrupados en las categorías de provisión, culturales, soporte y regulación. En este trabajo fueron agrupados en 20 servicios ecosistémicos por afinidades. De esta revisión se construyó la Tabla 4.1., donde se muestra cada categoría de servicio ecosistémico y la relación con bibliografía de cuencas andinas.

Se encontró evidencia bibliográfica de que se prestan la totalidad de los servicios ecosistémicos planteados en la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio en las microcuencas ubicadas en la cordillera andina. Se muestra un vínculo, bien sea por la importancia económica de los SE, como en el caso de los productos maderables; su relevancia en el área de conservación como en el caso de la biodiversidad, o por beneficios espirituales, educativos o diversidad cultural identificados. En el caso de las microcuencas colombianas, la política PNGIBSE resalta la prestación de los servicios ecosistémicos en el país relacionando su importancia económica en términos de aporte al PIB nacional.

Tabla 4-1: Servicios ecosistémicos ofrecidos por las microcuencas andinas.

No	Categoría SE	SE reconocido por la EEM	SE identificado en cuencas andinas	Autor, Año
1	Provisión	Alimentos	Provisión de alimentos	Villamarín <i>et al.</i> , 2013
2		Madera y leña	Productos forestales maderables	PNGIBSE, 2012
3		Agua	Mantenimiento de la cantidad de agua	Villamarín <i>et al.</i> , 2013
4		Fibras	Productos forestales no maderables	PNGIBSE, 2012
5		Bioquímicos	Medicamentos	PNGIBSE, 2012
6		Recursos genéticos	Mantenimiento del hábitat y biodiversidad, especies endémicas y migratorias	Guzmán, 2010; Villamarín <i>et al.</i> , 2013, PNGIBSE, 2012
7	Cultural	Espirituales y religiosos	El agua como divinidad	Quintero, 2010
8		Recreación y Ecoturismo	Mantenimiento de hábitat y biodiversidad, paisajísticos	Villamarín <i>et al.</i> , 2013, Molina <i>et al.</i> , 2012
9		Estéticos	Complejidad del paisaje	Marín <i>et al.</i> , 2008, Molina <i>et al.</i> , 2012
10		De inspiración	Paisajes culturales	Young, 1997
11		Educacionales y sistemas de conocimiento	Campañas de educación ambiental con campesinos	Quintero 2010
13		Sentido de identidad y pertenencia a un lugar	Cultura indígena andina	Encalada y Guhl, 2010
13		Herencia y diversidad cultural	Biodiversidad cultural	Ramírez y Cisneros, 2006
14	Regulación	Regulación del clima y de desastres naturales	Mitigación de inundaciones	Villamarín <i>et al.</i> , 2013
15		Regulación de las enfermedades y pestes	Control de plagas	Encalada y Guhl, 2010
16		Regulación del agua	Regulación del sistema hidrológico, recarga de acuíferos,	Harden, 2006; Villamarín <i>et al.</i> , 2013
17		Purificación del agua	Mantenimiento de la calidad del agua	Villamarín <i>et al.</i> , 2013
18	Soporte	Formación del suelo	Retención de sedimentos, efectos de erosión	Villamarín <i>et al.</i> , 2013, Harden, 2006
19		Ciclos de los nutrientes y del agua	Almacenamiento y reciclaje de nutrientes, ciclo hidrológico	Molina y Escobar, 2005; Villamarín <i>et al.</i> , 2013
20		Producción de primaria y fotosíntesis	Mantenimiento de hábitat y biodiversidad	Villamarín <i>et al.</i> , 2013

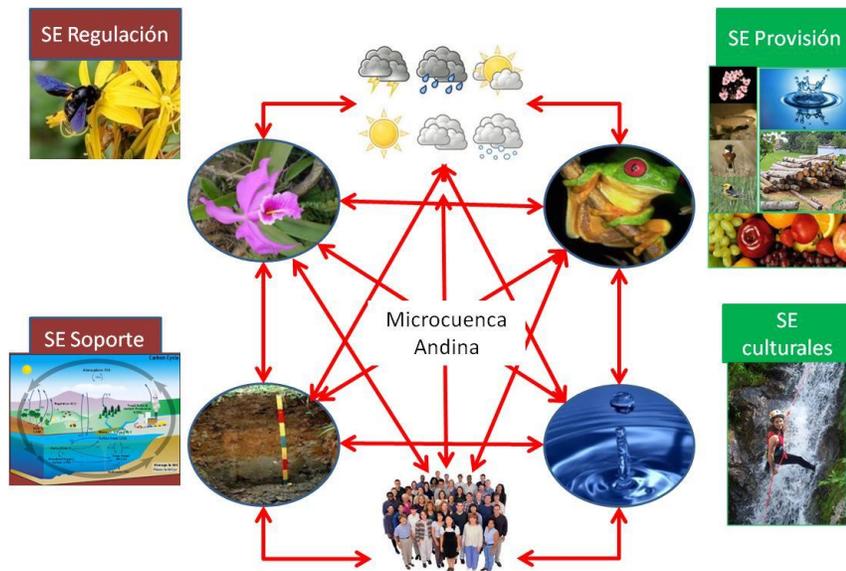
Este resultado fundamenta científicamente el enfoque y objetivo general de este estudio dado que respalda la existencia de servicios ecosistémicos en las microcuencas andinas. Con este hallazgo, se definió que es necesario proponer herramientas que valoren y visibilicen la potencial pérdida del estado de los servicios ecosistémicos por presiones antrópicas. De esta forma, se podría generar interés a los tomadores de decisiones para generar las acciones acertadas en la conservación de los ecosistemas, en especial las microcuencas andinas por su importancia en la prestación de servicios hídricos.

4.2 Resultados para el objetivo específico 2: Desarrollar un índice para la valoración de Servicios Ecosistémicos en microcuencas andinas

4.2.1 Identificación del contexto del índice.

La identificación del contexto del índice, se realizó a partir del planteamiento del sistema a valorar. Para las microcuencas andinas se consideró como un sistema abierto, en constante interrelación con su entorno y con los seres humanos. El sistema contempla las complejas interrelaciones entre la fauna, flora, usos del suelo y cobertura vegetal, cuerpos de agua, clima y las comunidades, teniendo en cuenta que este último se benefician de los SE provistos por la microcuenca andina, pero, también pueden afectarla. El sistema planteado permitió establecer un vínculo entre los componentes de la microcuenca y los servicios ecosistémicos, como se observa en la Figura 4.1.

Figura 4-1: El sistema de la microcuenca andina y sus servicios ecosistémicos.



Fuente: Laura Giratá Sastoque.

Se plantea la parte biofísica (fauna, flora, suelo y agua) de la microcuenca como un generador de servicios ecosistémicos a través de funciones internas de regulación y soporte. Estas funciones permiten que en la microcuenca ocurran procesos como el ciclo hidrológico, de nutrientes y de formación de suelos, por ejemplo. De igual forma, se reconoce su rol como proveedor de alimentos, agua, entre otros, y los servicios culturales, como por ejemplo la conformación de diversos paisajes derivados de los usos del suelo.

También, se plantea el clima en el sentido que la microcuenca tiene mecanismos que permiten responder y regularse en caso de presentarse eventos relacionados con el cambio climático, como los sucesos de sequía y se reconoce importante considerar a las comunidades asentadas en la microcuenca, que aprovechan los servicios ecosistémicos, y pueden conservar o impactar los ecosistemas. Las afectaciones se comprueban principalmente, por la presión ejercida sobre el agua y los recursos naturales, mediante prácticas como el inadecuado manejo de residuos sólidos y líquidos de origen doméstico e industrial.

En este contexto, se define que el objetivo del índice ISEMCA es valorar de forma integrada la prestación de los servicios ecosistémicos en una microcuenca andina. Para lograrlo se usan variables que consideran aproximaciones al estado de la microcuenca que se reflejan en el estado de los SE. Así mismo, se hace énfasis en la utilización de información secundaria. El índice ISEMCA se diseña para ser usada como una herramienta de gestión ambiental útil para los tomadores de decisiones que intervienen en la microcuenca.

4.2.2 Construcción del Índice ISEMCA

Para la construcción del índice, se inició con la formulación matemática usando una función lineal como se muestra en la Ecuación 4.1. Se utilizó esta función con el fin de integrar las variables en un índice que permitiera sintetizar la información de la microcuenca, calificando en una escala de 0 a 100, siendo esta última la mayor y mejor calificación posible en cuanto a la prestación de servicios ecosistémicos.

$$ISEMCA = f \left(\begin{array}{l} \text{cobertura vegetal y biodiversidad,} \\ \text{cuerpo de agua, comunidad y entorno,} \\ \text{regulación climática} \end{array} \right) \quad (4.1)$$

También se realizó la clasificación del índice ISEMCA en cinco categorías. Estas clases se establecieron basándose en literatura relacionada con indicadores e índices ambientales y de calidad de agua, como se observa en la Tabla 4.2. Así mismo, se relacionan las categorías y calificación obtenida en el índice ISEMCA con colores, que muestran el estado de prestación de servicios ecosistémicos de la microcuenca andina valorada.

Tabla 4-2: Escala de valoración y categorías de calificación del índice ISEMCA en una microcuenca andina.

Categoría de calificación	Calificación	Color asociado
Muy buen estado de prestación de SE	90 a 100	
Buen estado de prestación de SE	70 a 89	
Regular estado de deterioro en la prestación de SE	50 a 69	
Alto estado de deterioro que pone en riesgo la prestación de SE	25 a 49	
Muy alto estado de deterioro que pone en riesgo la prestación de SE	0 a 24	

Fuente: Laura Giratá Sastoque.

4.2.3 Ponderación inicial de los componentes del índice ISEMCA.

Se establecieron cuatro componentes de aproximación al estado de los servicios ecosistémicos en una microcuenca andina con los cuales se plantea el índice ISEMCA:

- Componente 1: Aproximación a la valoración del estado de la cobertura vegetal y biodiversidad.
- Componente 2: Aproximación a la valoración del estado de los cuerpos de agua.
- Componente 3: Aproximación a la valoración del estado de la relación comunidades y el entorno.
- Componente 4: Aproximación a la valoración del estado de la regulación climática

Para realizar la ponderación inicial de cada uno de ellos, se consideró que la escala propuesta para el del índice ISEMCA va de 0 a 100. Se tomó la decisión de que la suma de las ponderaciones de los componentes fuera igual a 100, como se observa en la Tabla 4.3.

Tabla 4-3: Ponderación inicial de componentes que conforman al índice ISEMCA.

Componentes	Ponderación
Aproximación a la valoración del estado de la cobertura vegetal y biodiversidad	25
Aproximación a la valoración del estado de los cuerpos de agua	20
Aproximación a la valoración del estado de la relación comunidades y el entorno	40
Aproximación a la valoración del estado de la regulación climática	15
Total	100

Fuente: Laura Giratá Sastoque.

Se consideró que el mayor valor lo tendría el componente “Aproximación a la valoración del estado de la relación comunidades y el entorno” dado que la población es quien usa los servicios ecosistémicos de forma directa, y puede ejercer acciones que afecten o conserven el estado de los ecosistemas. La segunda ponderación más alta se consideró para “Aproximación a la valoración del estado de la cobertura vegetal y biodiversidad” que son, principalmente, las características biofísicas de la microcuenca que hacen posible la prestación de servicios ecosistémicos intermedios y finales.

La tercera ponderación más alta se le dio al componente “Aproximación a la valoración del estado de los cuerpos de agua”, que quedó separada de los otros factores biofísicos de la microcuenca andina por cumplir un papel fundamental en la provisión de agua. La más baja valoración propuesta fue para el componente “Aproximación a la valoración del estado de la regulación climática” porque son factores que no se pueden controlar, pero la microcuenca puede tener mecanismos para afrontar los cambios climáticos.

4.2.4 Ponderación inicial de las variables estimativas usadas en el índice ISEMCA.

Se trabajaron con 21 variables estimativas, teniéndose en cuenta sólo aquellas que se consideran tienen relación directa con la prestación de servicios ecosistémicos de una microcuenca andina.

Las variables estimativas fueron ponderadas de acuerdo a la percepción personal, fundamentada en la revisión de literatura. Así mismo, se estableció que la suma de las variables estimativas que hacen parte de cada componente de aproximación tuviera un peso máximo de 100 puntos en cada uno de ellos como se observa en la Tabla 4.5.

En el componente 3: “Aproximación a la valoración del estado de la relación comunidades y el entorno”, se propuso la aplicación de una encuesta para realizarse con personas habitantes de la microcuenca andina, como único ingreso de información primaria. El objetivo de la preparación de esta herramienta fue determinar la percepción de los servicios ecosistémicos por parte de la población asentada en ella, además de identificar los posibles cambios en un lapso de tiempo de 5 años.

Tabla 4-4: Ponderación de variables estimativas por componentes de aproximación del índice ISEMCA.

Componente 1: Aproximación a la valoración del estado de la cobertura vegetal y biodiversidad	
VARIABLES ESTIMATIVAS	PONDERACIÓN
Erosión de suelo	10
Cobertura vegetal	30
Relación ecosistemas naturales Vs. Alterados	20
Especies endémicas de flora	15
Especies endémicas de fauna	15
Deforestación anual	10
Componente 2: Aproximación a la valoración del estado de los cuerpos de agua	
VARIABLES ESTIMATIVAS	PONDERACIÓN
Calidad de agua	40
Variación caudal promedio	20
Usos del agua	40
Componente 3: Aproximación a la valoración del estado de la relación comunidades y el entorno	
VARIABLES ESTIMATIVAS	PONDERACIÓN
Población	10
Descargas industrias establecida	10
Iniciativas conservación de la microcuenca	15
Servicios públicos de acueducto	10

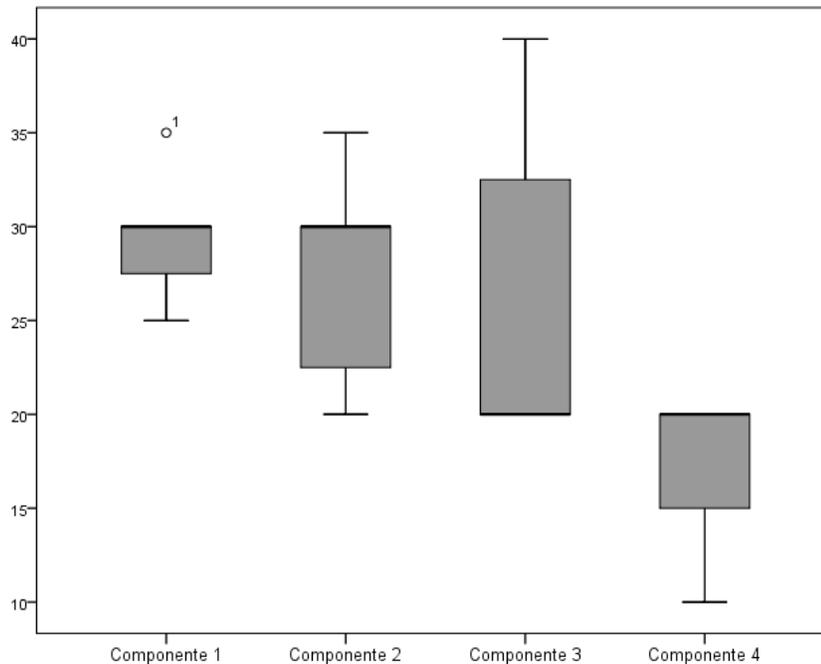
Servicios públicos de alcantarillado	10
Manejo de residuos sólidos	10
Presencia de agro ecoturismo sostenible	15
Encuesta líder habitante de la zona	20
Componente 4: Aproximación a la valoración del estado de la regulación climática	
Variables estimativas	Ponderación
Incidencia de sequía	20
Incidencia de deslizamientos	20
Incidencia de inundaciones	30
Incidencia de incendios	30

A partir de esta propuesta, se trabajó en la forma en que se ingresaría la información al índice ISEMCA. Entonces, se decidió establecer categorías de respuesta, donde una contestación automáticamente excluye otra posible. Este diseño es la base con la cual se construyó el cuestionario que diligenció el panel experto.

4.2.5 Ponderación de los componentes del índice ISEMCA por parte del panel experto.

Se obtuvo los resultados mostrados en la Figura 4.2. Para el componente 3: “Aproximación a la valoración del estado de la relación comunidades y el entorno” hubo el mayor cambio de ponderación, puesto que pasó de un propuesto de 40 a 26 sugerido por el panel experto. Así mismo, se aumentó la ponderación de los componentes 1 y 2, “Aproximación a la valoración del estado de la cobertura vegetal y biodiversidad” y “Aproximación a la valoración del estado de los cuerpos de agua” en 4 y 7 puntos respectivamente. En el caso del componente 4 “Aproximación a la valoración del estado de la regulación climática”, la ponderación se incrementó en 2 puntos porcentuales.

Figura 4-2: Ponderación de los componentes de aproximación del índice ISEMCA obtenido del panel de expertos.



Fuente: Laura Giratá Sastoque.

En cuanto a la desviación estándar de los componentes ponderados por el panel experto se observa que la más grande (8,5), fue la del componente “Aproximación a la valoración del estado de la relación comunidades y el entorno”. Consecuentemente, con la ambigüedad presentada en los puntos de vista de los expertos, puesto que unos argumentaban que era más importante el factor biofísico de la microcuenca y otros la intervención del ecosistema por parte de la población asentada. La menor variación de ponderaciones (3,5), la obtuvo el componente 1 “Aproximación a la valoración del estado de la cobertura vegetal y biodiversidad”.

Cabe anotar que al cambiar las ponderaciones de los componentes de aproximación, cambian las calificaciones máximas de las variables de estimación y con ello de las categorías de respuesta, lo cual se evidencia a partir del numeral 4.2.10.

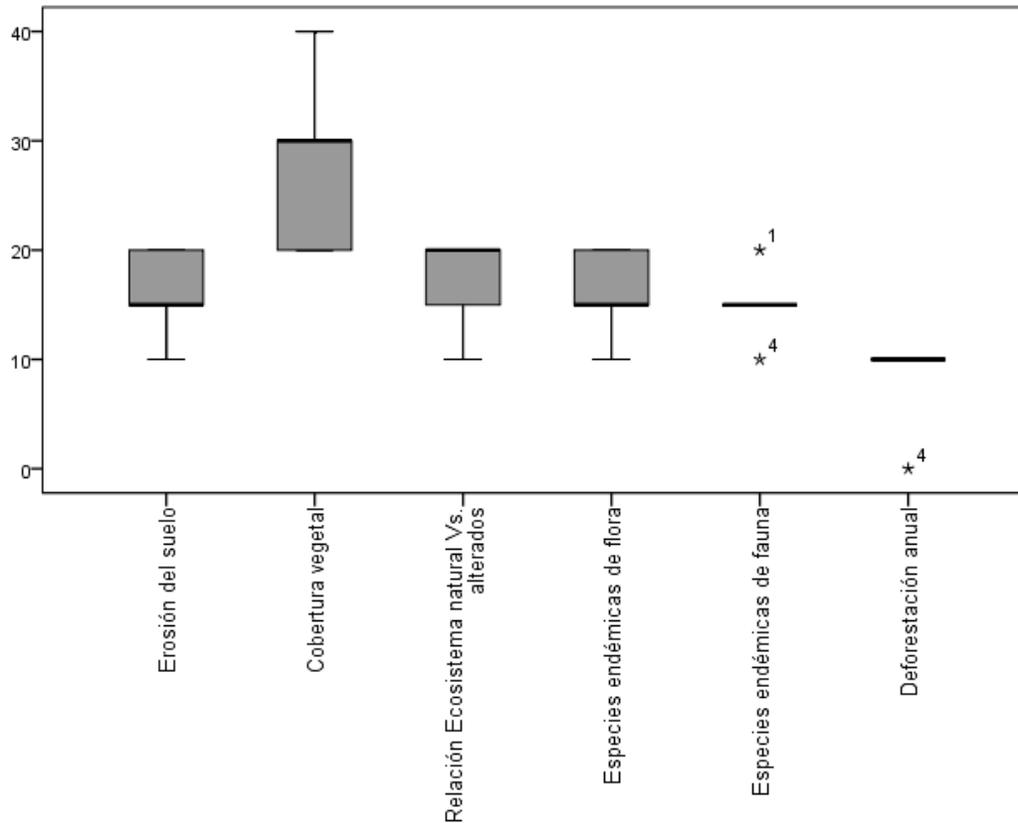
4.2.6 Ponderación de variables estimativas del componente 1 del índice ISEMCA por parte del panel experto.

Los expertos sugieren en el componente 1: Aproximación a la valoración del estado de la cobertura vegetal y biodiversidad. (Figura 4.3), que la variable estimativa con mayor ponderación sea usos del suelo, aunque tuvo una desviación estándar de 8,5 puntos. Esto debido a opiniones encontradas en los cuales se discutieron temas como el uso del suelo, que para algunos expertos, éstos dependían del nivel de erosión y de la deforestación, mientras que otros argumentaban que dependiendo del uso del suelo se podría albergar una mayor biodiversidad. La variable con menor ponderación fue la deforestación anual y la variable con menor desviación estándar fue el de especies endémicas de fauna (4,5).

Al comparar los cambios entre las ponderaciones propuestas y las sugeridas por panel de expertos de las variables estimativas se encontró que hubo consenso en 3. Estas variables fueron las relacionadas con las especies endémicas de flora, especies endémicas de fauna y deforestación anual con una ponderación de 15, 15 y 10, respectivamente. El mayor cambio de ponderación ocurrió para la variable estimativa de erosión de suelo que paso de 10 a 16 puntos.

Las otras dos variables estimativas (uso de suelo y ecosistemas naturales vs. ecosistemas alterados) presentaron una reducción en 2 y 3 puntos respectivamente, frente a la ponderación propuesta.

Figura 4-3: Ponderaciones en las variables estimativas del componente de aproximación al estado de la cobertura vegetal y biodiversidad propuesta por el panel experto.



Fuente: Laura Giratá Sastoque.

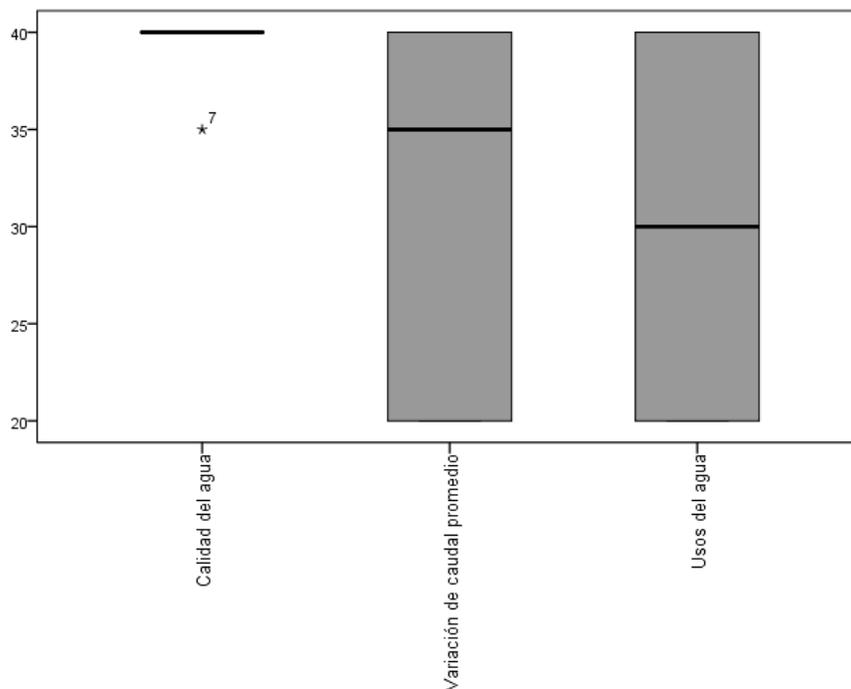
4.2.7 Ponderación de variables estimativas del componente 2 del índice ISEMCA por parte del panel experto.

En el segundo componente: aproximación a la valoración del estado de los cuerpos de agua (Figura 4.4.) se evidenció un consenso en que la calidad del agua debía tener la mayor ponderación con 40 puntos.

Igualmente, las variables estimativas de usos del agua y variación caudal, presentaron desviaciones estándares superiores a 10, lo cual significa que hubo expertos con opiniones encontradas, lo que se manifestó en diferencias con respecto a las ponderaciones

propuestas inicialmente. Las variables estimativas de variación caudal promedio y usos del agua, pasaron de una ponderación inicial de 20 y 40 respectivamente, a ser ponderada por el panel experto con 30 puntos cada una.

Figura 4-4: Ponderaciones en las variables estimativas del componente de aproximación al estado de los cuerpos de agua, del índice ISEMCA propuesta por el panel experto.



Fuente: Laura Giratá Sastoque.

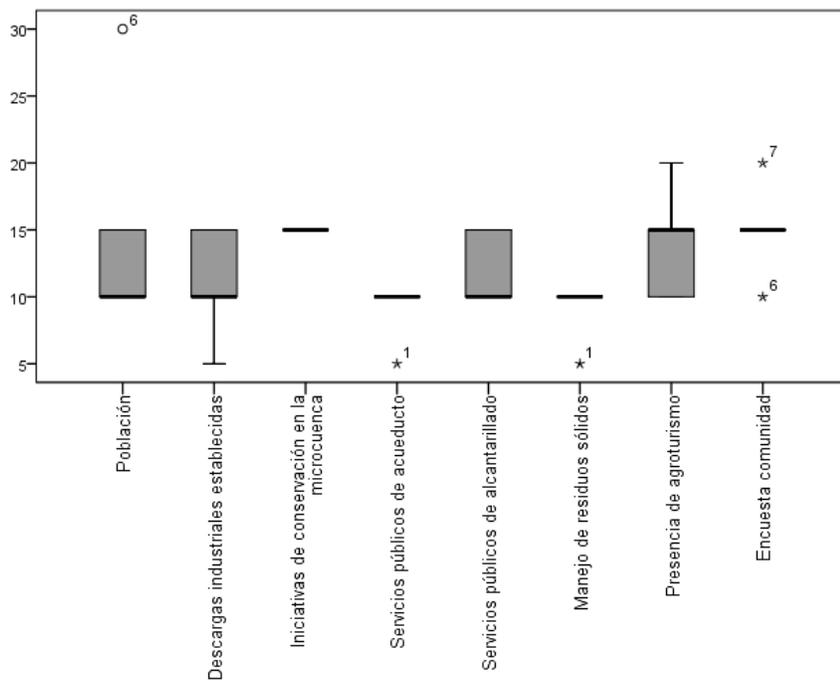
4.2.8 Ponderación de variables estimativas del componente 3 del índice ISEMCA por parte del panel experto.

Para el componente aproximación a la valoración del estado de la relación comunidades y el entorno, se construyó la Figura 4.5. Se observa que en la variable estimativa población (que hace referencia a los asentamientos en la microcuenca), hubo el mayor desacuerdo de los expertos, lo cual se refleja en su alta desviación estándar (8,7), principalmente, por los dos puntos de vista planteados, el primero hacía referencia que a mayor cantidad de habitantes mayor prestación de servicios ecosistémicos tenía la microcuenca. Por otro

lado, expertos argumentaban que a mayor población se incrementa la posibilidad de impactar el ecosistema. Estadísticamente la herramienta ISEMCA mostró preferencia hacia la segunda opción.

La variable con menor desviación estándar (0) fue el de iniciativas de conservación en el cual se consideró 15 como la ponderación adecuada de forma unánime por parte del panel experto. Respecto a las otras seis variables se observó que la desviación estándar estuvo en el rango de 2,2 a 4,2, conservándose las ponderaciones propuestas inicialmente, a excepción de la encuesta a la comunidad cuya calificación disminuyó en cinco puntos, porque los expertos consideraron que la ponderación inicial era muy alta.

Figura 4-5: Ponderaciones en las variables estimativas del componente de aproximación al estado de la relación comunidades y entorno propuesta por el panel experto.



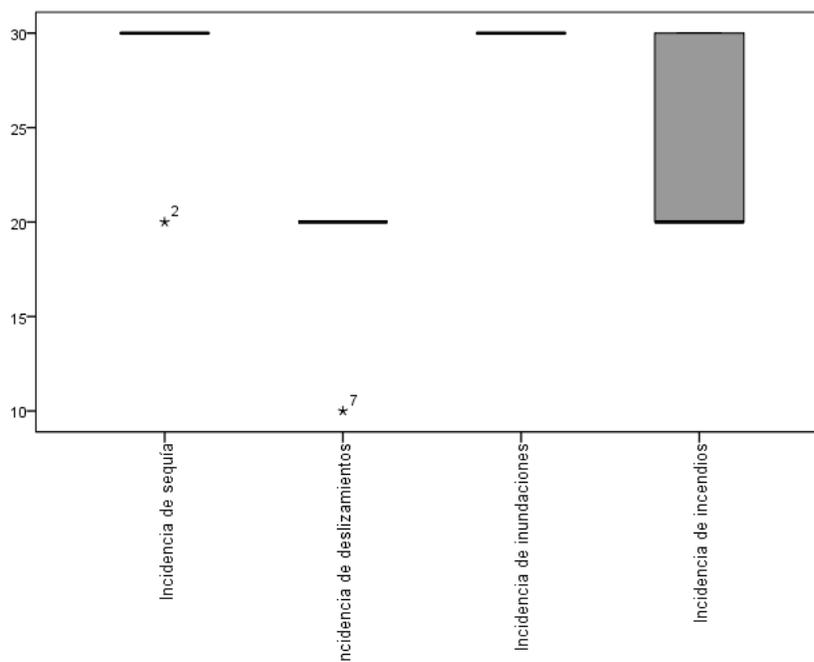
Fuente: Laura Giratá Sastoque.

4.2.9 Ponderación de variables estimativas del componente 4 del índice ISEMCA por parte del panel experto.

Para el último componente: aproximación a la valoración del estado de la regulación climática se construyó la Figura 4.6. Se notó un consenso general en la ponderación de inundaciones, mientras que las otras variables se encontró que la desviación estándar estaba en el rango de 4,5 y 5,5 principalmente, porque se presentaron opiniones encontradas entre los expertos.

Por otro lado, la ponderación de sequía aumentó en 10 puntos que fueron disminuidos de la variable incendios, probablemente relacionado con el hecho de que las microcuencas andinas son proveedores de agua principalmente y los eventos de sequía indicarían un deterioro en la prestación de los SE.

Figura 4-6: Ponderaciones en las variables estimativas del componente de aproximación al estado de la regulación climática propuesta por el panel experto



Fuente: Laura Giratá Sastoque.

Finalmente, algunos expertos sugirieron agrupar las cuatro variables estimativas en dos por afinidad. El primero, inundación y deslizamientos ya que están relacionadas, porque al haber inundaciones pueden presentarse eventos de deslizamientos. El segundo, sequía e incendios, relacionado en el sentido que en épocas de sequía la cobertura vegetal está más seca y está expuesta a generar incendio. Para este índice propuesto se establece que las cuatro variables estimativas se pueden valorar de forma separada, puesto que se pueden presentar eventos de forma independiente.

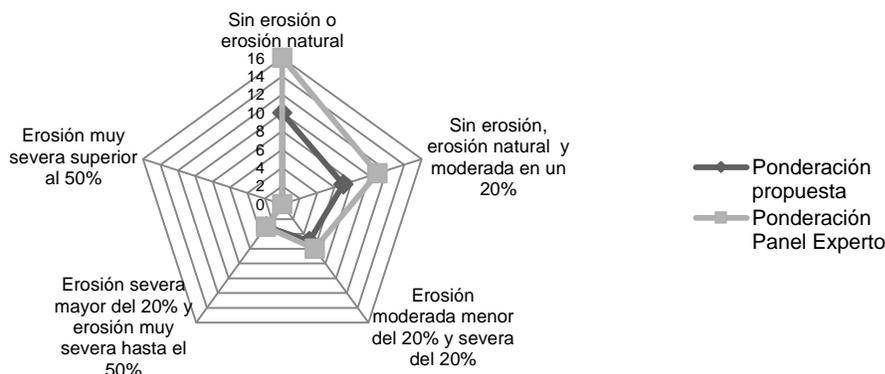
4.2.10 Ponderación de categorías respuesta a variables estimativas del componente 1 del índice ISEMCA por parte del panel experto.

Para el primer componente “Aproximación a la valoración del estado de la cobertura vegetal y biodiversidad”, se construyeron 8 figuras que comparan la ponderación propuesta con las obtenidas del panel experto, de las categorías de respuesta a las variables estimativa.

En la Figura 4.7., se muestra la ponderación para las categorías de valoración de la erosión en el suelo. Se observa que la puntuación más alta fue 16 puntos para el caso un alto grado de erosión natural o sin erosión. La menor puntuación fue cero para la categoría de erosión muy severa superior a 50%. La desviación estándar promedio de estas categorías estuvo en el rango de 0 a 1,9 lo cual muestra un consenso entre los expertos. Los porcentajes expresados en estas categorías están dados en el área de la microcuenca.

Por sugerencia del panel de experto, se hicieron ajustes al nombre de las categorías de respuesta de la variable estimativa erosión del suelo. Esta modificación permitió que el índice ISEMCA, pudiera evaluar de mejor manera esta variable estimativa.

Figura 4-7: Categorías de respuesta a la variable estimativa erosión del suelo.



Fuente: Laura Giratá Sastoque.

En la variable estimativa usos de suelo, se tienen agrupaciones de categorías de las respuestas a considerar en cuanto al porcentaje de área respecto a la totalidad de la microcuenca en los siguientes grupos: bosque nativo, bosque plantado, cultivo de ciclo medio y largo, cultivo de ciclo corto, ganadería, pastos y rastrojos y, por último, la presencia de industria en la microcuenca.

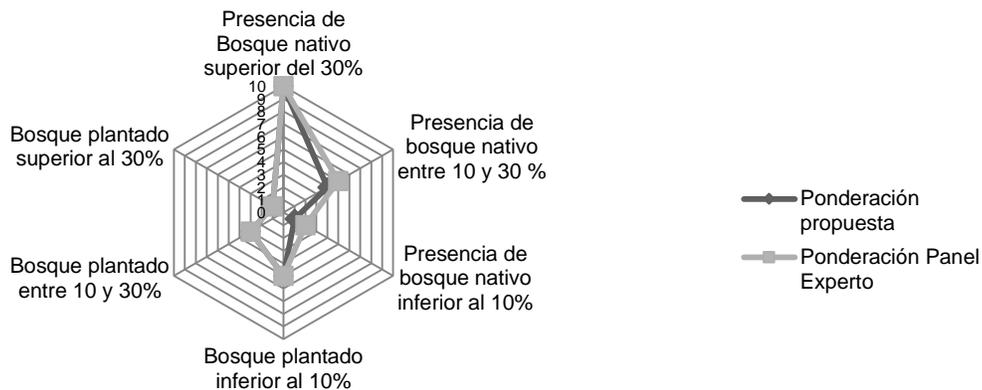
Para el uso de suelo en bosque nativo y plantado se muestra la **Figura 4.8**. Se puede observar que la mayor ponderación correspondió a la categoría de respuesta de 30% de bosque nativo con una puntuación de 10 y para la presencia de bosque plantado inferior al 10% con 5 puntos.

Mientras que la menor ponderación de estas dos categorías de respuesta fue de 2 puntos otorgada al bosque nativo con área inferior al 10% y 1 punto para el bosque plantado superior al 30%, teniendo en cuenta que esta categoría hace referencia a los bosques exóticos como el pino y eucalipto, algunos expertos consideraron que esta puntuación era muy baja debido que existe fauna relacionada con este tipo de bosque. La desviación estándar estuvo en el rango de 0,4 a 1,9.

Así mismo, al comparar las ponderaciones iniciales y del panel experto para la categoría de respuesta de la variable usos de suelo en bosque nativo y plantado, se observa que

hay variación solo en dos categorías de respuesta, donde el panel experto sugiere una mayor calificación a la presencia de bosque nativo.

Figura 4-8: Categorías de respuesta a la variable estimativa usos del suelo (Bosque nativo y plantado)



Fuente: Laura Giratá Sastoque.

En la variable estimativa usos del suelo, para las categorías de respuesta relacionadas con cultivos de largo, mediano y corto plazo, ganadería, pastos y rastrojos, se muestra la Figura 4.9.

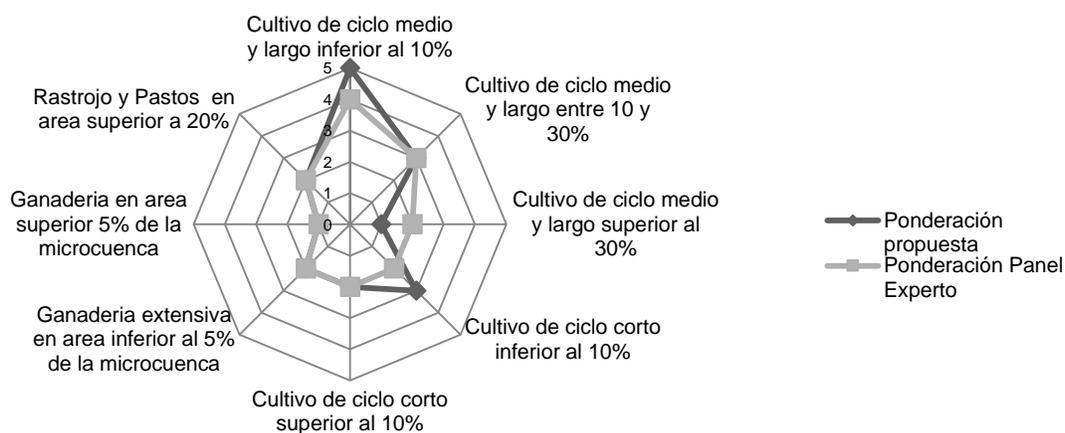
La mayor ponderación (4 puntos) fue obtenida para cultivos de largo y mediano plazo, sugiriendo que este tipo de cultivo tiene plan de fertilización y de manejo de plagas y enfermedades, con aplicaciones menos frecuentes, lo cual podría impactar menos a la biodiversidad. Seguida de cultivos de ciclo corto inferiores al 10% con 3 puntos, ganadería en área inferior al 5% con 2 puntos y la presencia de pastos y rastrojos en un 20% con 2 puntos.

En cuanto a la categoría de respuesta de cultivos de ciclo corto, se presentó menor ponderación debido a su relación con el uso intensivo de agroquímicos. Los rastrojos y pastos, se consideraron como categoría de valoración porque según algunos expertos son el primer paso hacia la revegetación natural. La ganadería tuvo la menor puntuación debido principalmente a los efectos de compactación del suelo, y emisiones de gases efecto invernadero que afectan la prestación de servicios ecosistémicos en la microcuenca, por

lo tanto, el porcentaje considerado fue 5%. La desviación estándar de estas categorías estuvo en el rango de 0,4 y 1,7.

Sólo 3 categorías de respuesta a la variable estimativa usos de suelo mostraron cambio en la ponderación en cuanto a cultivos, ganado y rastrojos. Estas fueron: Cultivo de ciclo medio y largo plazo inferior al 10%, superior al 30 y a los cultivos de ciclo corto inferior al 10%, para lo cual consideraron calificaciones similares para los dos últimos casos.

Figura 4-9: Categorías de respuesta a la variable estimativa usos del suelo (cultivos de ciclo corto, medio y largo, ganadera extensiva, rastrojos y pastos).



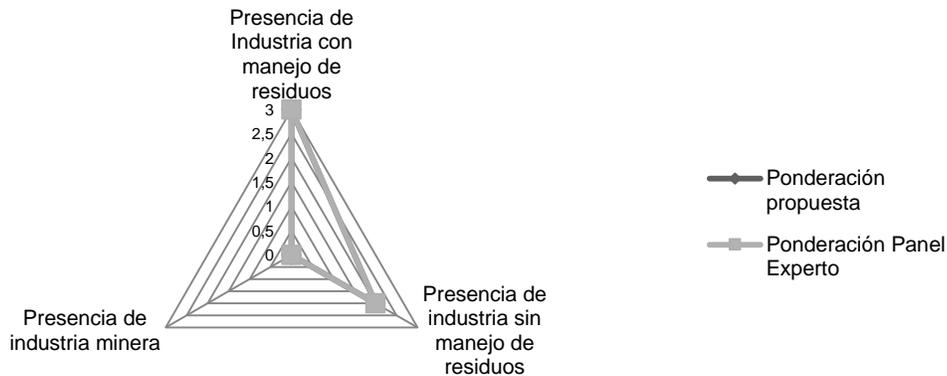
Fuente: Laura Giratá Sastoque.

Para finalizar las categorías de respuesta a la variable estimativa uso de suelo, se consideró la presencia de industria asentada en la microcuenca, que se muestra en la Figura 4.10. Se tuvo en cuenta esta categoría de respuesta, debido que genera empleo en la zona aunque pueda causar impactos negativos en la microcuenca. La mayor ponderación obtenida de los expertos (3 puntos) fue para la presencia de industria con manejo de residuos bajo el supuesto de un menor impacto en los ecosistemas.

Se consideró la categoría de la presencia de industria minera con una ponderación de cero, por el gran impacto negativo que causa en los ecosistemas terrestres y acuáticos, además a que en el caso de aplicación del índice ISEMCA, hay influencia de este tipo de

industria. La desviación estándar en esta categoría estuvo en el rango de 0,4 a 0,5. Se observa coincidencia entre la ponderación propuesta y la obtenida en el panel experto.

Figura 4-10: Categorías de respuesta a la variable estimativa usos del suelo (presencia de industria).

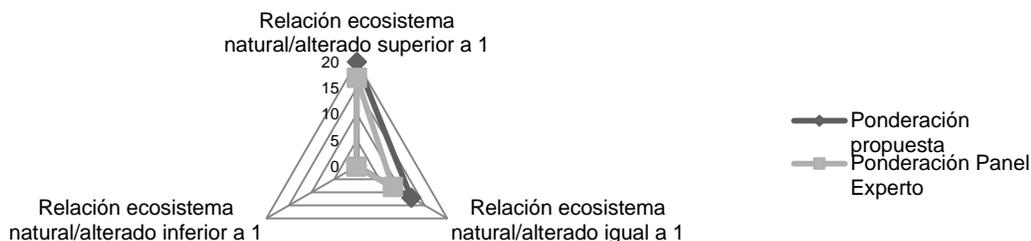


Fuente: Laura Giratá Sastoque.

Para la variable estimativa relación ecosistema natural vs. alterado, se construyó la Figura 4.11. Esta variable estimativa consiste en una relación directamente proporcional entre área de microcuenca en ecosistemas naturales y la prestación de SE en todas sus categorías. Por recomendación del panel experto, se disminuyó la cantidad de categorías respuesta de cinco a tres, para facilitar la valoración. Así mismo, se ajustaron las categorías para que no reflejaran porcentajes sino una relación de área.

La mayor ponderación fue obtenida para la categoría de la relación superior a uno con 15 puntos y la menor con una puntuación de cero cuando la relación estaba dada en valores inferiores de 1. La desviación estándar de esta relación estuvo en el rango de 0,4 a 2,9. Se observa que hubo cambio en la ponderación de las categorías de respuesta relación ecosistema natural vs alterados, cuando es superior a 1 y cuando es igual a 1, disminuyéndose en 3 y 4 puntos respectivamente.

Figura 4-11: Categorías de respuesta a la variable estimativa ecosistema natural vs. alterado.

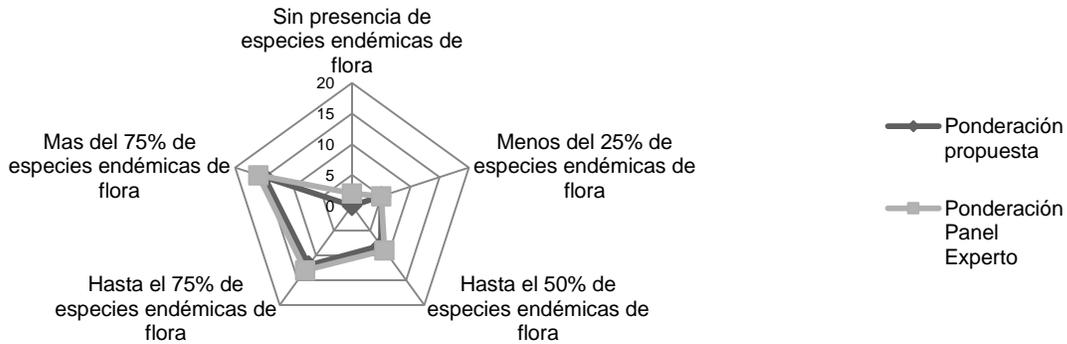


Fuente: Laura Giratá Sastoque.

En cuanto a la variable estimativa de especies endémicas de flora, se consideraron cinco categorías de calificación como se observa en la Figura 4.12. La menor ponderación (2 puntos) fue dada por el panel experto para la categoría de respuesta a sin presencia de especies endémicas de flora en la microcuenca, lo cual implica un deterioro de la biodiversidad y, con ellos, de los SE de soporte.

La mayor puntuación, fue para la categoría más 75% de especies endémicas con 16 puntos, lo cual representaría que se estarían conservando la prestación de SE en la microcuenca. La desviación estándar de estas categorías estuvo en el rango de 2,2 a 3 puntos. Por otro lado, se observa, que hubo cercanía entre las ponderaciones propuestas y las obtenidas del panel experto.

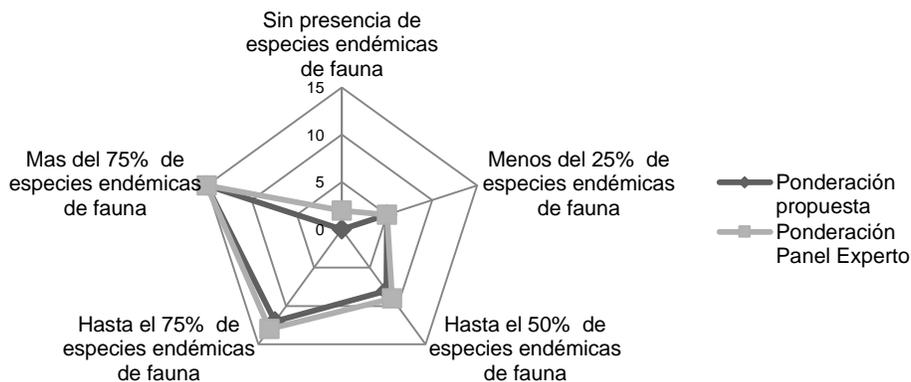
Figura 4-12: Categorías de respuesta a la variable estimativa ecosistema natural vs. alterado.



Fuente: Laura Giratá Sastoque.

Las categorías de respuesta para la variable estimativa de especies endémicas de fauna son cinco como se observan en la Figura 4.13. La menor puntuación fue la obtenida para la categoría de respuesta: sin especies endémicas de fauna en la microcuenca con 2 puntos, y la mayor ponderación se encuentra para la categoría más del 75% de especies endémicas de fauna con 15 puntos. La desviación estándar de 2,2 a 3,5 puntos.

Figura 4-13: Categorías de respuesta a la variable estimativa especies endémicas de fauna.

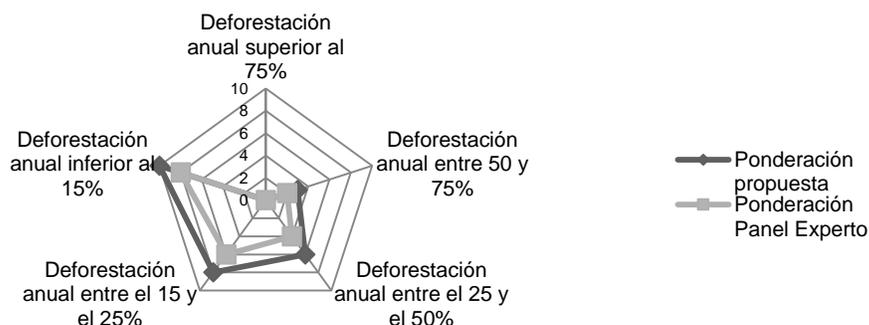


Fuente: Laura Giratá Sastoque.

La última variable estimativa del primer componente, corresponde a la deforestación anual la cual muestra los resultados de ponderación de las categorías de respuesta en la Figura 4.14. Se considera que esta variable estimativa presenta una estrecha relación con la afectación de la biodiversidad, suelos, calidad y cantidad de agua, paisaje y regulación climática, además de otros SE relacionados.

La mayor ponderación se obtuvo para una deforestación anual inferior al 15% con 8 puntos y la menor cuando la deforestación es superior al 75% con cero puntos. La desviación estándar para esta categoría se encontró en el rango de 0 a 4,5, ponderando altamente la baja deforestación. Se observa una disminución en la ponderación general de cada una de las categorías de respuesta debido a que la variable disminuyó su ponderación general (numeral 4.2.6.)

Figura 4-14: Categorías de respuesta a la variable estimativa deforestación anual.



Fuente: Laura Giratá Sastoque.

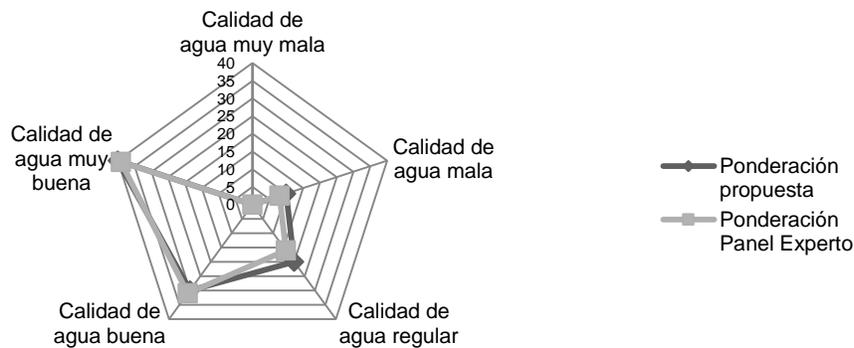
4.2.11 Ponderación de categorías respuesta a variables estimativas del componente 2 del índice ISEMCA por parte del panel experto.

El segundo componente, aproximación a la valoración del estado de los cuerpos de agua, fue trabajado en cuatro figuras para las tres variables estimativas propuestas. La primera, relacionada con la calidad del agua de la microcuenca, se muestra en la Figura 4.15., que

se trabajaron con cinco categorías, de las cuales la mayor puntuación fue para calidad del agua muy buena con 39 puntos y la más baja la calidad de agua muy mala con cero puntos, debido que los servicios ecosistémicos estarían gravemente afectados.

Como se observó en la gráfica, hay una caída evidente en la ponderación de las categorías de respuesta calidad buena y regular con una disminución de 15 puntos, con la justificación por parte de los expertos que esta última ya implica un alto deterioro del curso de agua. La desviación estándar de esta variable estuvo en el rango de 0 a 12 puntos, la alta variación se presenta porque algunos expertos solo consideraban tener en cuenta solo las categorías de calidad de agua muy buena, buena y regular, alterando la calificación en especial para la primera mencionada.

Figura 4-15: Categorías de respuesta a la variable estimativa calidad de agua.



Fuente: Laura Giratá Sastoque.

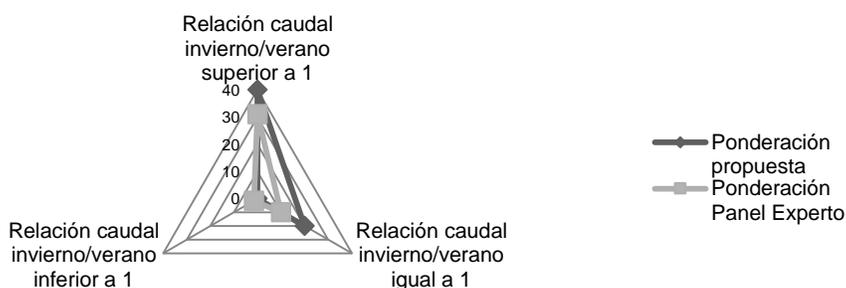
En cuanto a la variable estimativa de relación caudal invierno/verano, planteada con el propósito de valorar los SE de regulación de la microcuenca andina, se obtuvo la Figura 4.16.

Se notó la mayor ponderación para la categoría de respuesta de la relación caudal invierno/verano superior a uno con 31 puntos, lo cual indicaría que existen diferencias en estas épocas del año una condición normal para las cuencas andinas. La menor ponderación fue para la relación caudal invierno/verano inferior a uno, con una ponderación

de 2 puntos, soportado en el hecho de que esto sucedería cuando el ecosistema presenta graves alteraciones.

La desviación estándar de esta variable estimativa, se encontró en el rango de 4,5 a 10 puntos, debido principalmente a que se tenían propuestas 5 categorías para esta variable estimativa y se ajustaron a 3 por recomendación de los expertos.

Figura 4-16: Categorías de respuesta a la variable estimativa relación caudal invierno/verano

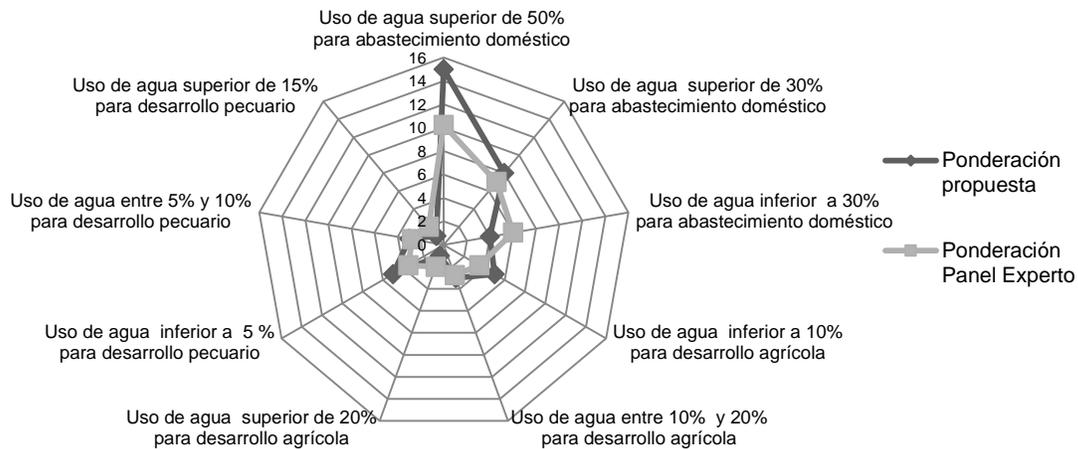


Fuente: Laura Giratá Sastoque.

Para la variable usos del agua se usaron 2 figuras donde se muestran las categorías de abastecimiento doméstico, desarrollo agrícola, desarrollo pecuario, recreación, industria y minería. La Figura 4.17., muestra las categorías respuesta a la variable estimativa usos del agua para abastecimiento doméstico, desarrollo agrícola y pecuario.

Se observó que las mayores ponderaciones obtenidas para cada grupo de categorías respuesta fueron para: el 50% del abastecimiento doméstico con ponderación de 30 puntos, seguido de abastecimiento desarrollo agrícola inferior al 10% con 6 puntos y, por último, el abastecimiento para el desarrollo pecuario entre el 5 y el 10%. La desviación estándar se encontró en el rango de 0,5 a 6,2 puntos.

Figura 4-17: Categorías de respuesta a la variable estimativa usos del agua (abastecimiento doméstico, desarrollo agrícola y pecuario).

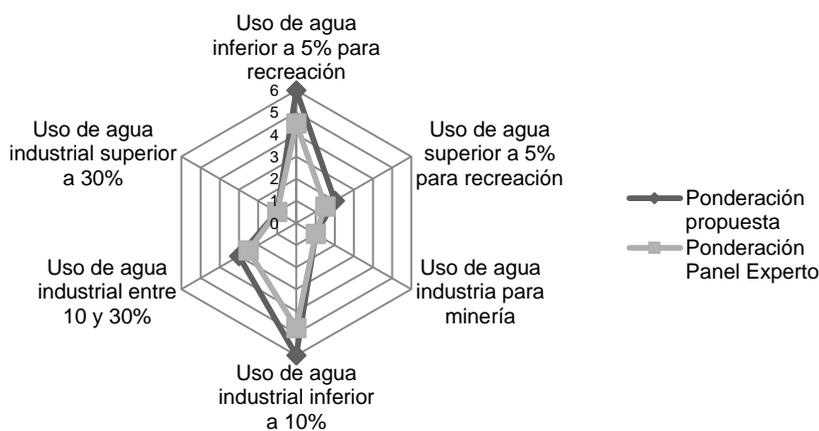


Fuente: Laura Giratá Sastoque.

La Figura 4.18., muestra las categorías respuesta a la variable usos del agua para recreación y la industria. Se observa que la mayor ponderación fue la obtenida para el uso de agua superior a 5% para la recreación con 4 puntos porque este uso no es consuntivo y está relacionado con los servicios ecosistémicos culturales de la zona. Así mismo, la ponderación más alta para el uso de agua industrial inferior al 10% con 5 puntos.

Por otro lado, las puntuaciones más bajas, 1 y 2 son para las categorías de uso de agua industrial superior al 10% y uso de agua para recreación inferior al 5%. La desviación estándar estuvo en el rango de 0 a 1,9 puntos. Al comparar las ponderaciones propuestas y la obtenida por los expertos, se observan pocas variaciones, lo que puede indicar un consenso en los criterios.

Figura 4-18: Categorías de respuesta a la variable estimativa usos del agua (abastecimiento para recreación y la industria).



Fuente: Laura Giratá Sastoque.

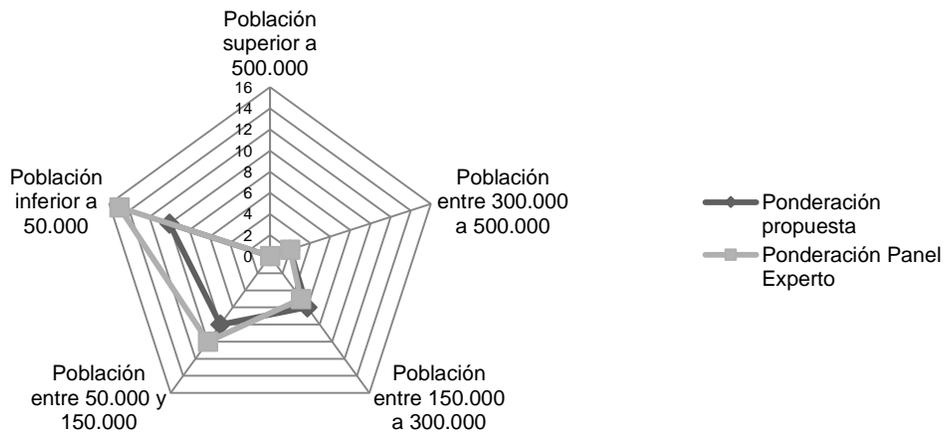
4.2.12 Ponderación de categorías respuesta a variables estimativas del componente 3 del índice ISEMCA por parte del panel experto.

El tercer componente: aproximación a la valoración del estado de la relación comunidades y el entorno, fue trabajado con nueve variables estimativas. La primera es la relacionada con la cantidad de población asentada en la microcuenca (Figura 4.19), donde la mayor ponderación obtenida fue para microcuencas con menos de 50.000 habitantes con 15 puntos y la menor puntuación cuando se encontraban poblaciones superiores al 500.000 con cero.

En esta variable estimativa se encontraron opiniones contrarias en los expertos porque algunos consideraban que a mayor población, mayor podría considerarse la oferta de servicios ecosistémicos en la microcuenca. Mientras que otros expertos argumentaban que, a mayor población, mayor impacto sobre la microcuenca y sus SE. A pesar de estos puntos de vista encontrados el último razonamiento expuesto, fue el que lideró las ponderaciones de esta variable. La desviación estándar de esta variable estuvo en el rango de los 0 a los 10 puntos.

Por sugerencia del panel experto se hace ajuste a las categorías de respuesta a la variable población. Se disminuyó el rango de habitantes a 500.000 como máximo, antes estaba en 1.000.000. Este ajuste se realiza teniendo en cuenta que en la escala microcuenca una población tan grande no es la adecuada.

Figura 4-19: Categorías de respuesta a la variable estimativa población asentada en la microcuenca



Fuente: Laura Giratá Sastoque.

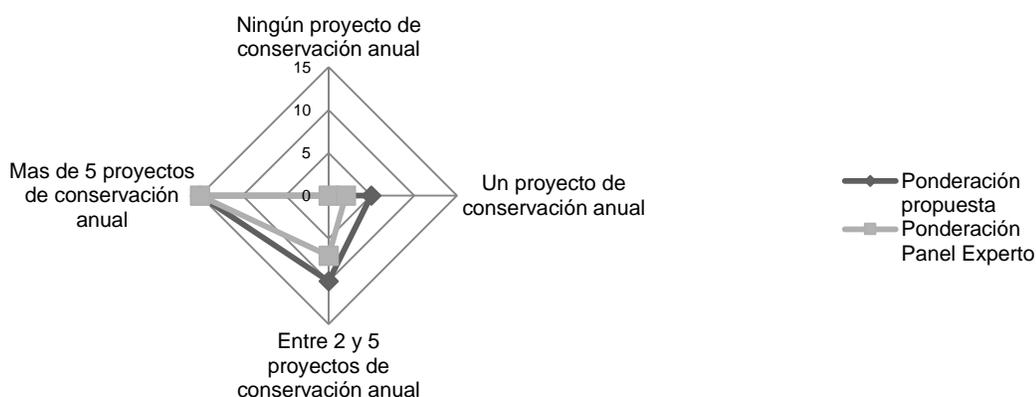
Para la variable estimativa proyectos de conservación de la microcuenca y sus categorías de respuesta se construye la Figura 4.20. Esta variable estimativa se tiene en cuenta, por considerarse una estrategia de la comunidad para visibilizar problemas ambientales y realizar campañas que permitan la conservación de los recursos naturales de la microcuenca y, con ello, la prestación de los servicios ecosistémicos.

La mayor ponderación se obtuvo para la presentación de más de 5 iniciativas con 10 puntos y la menor cuando no hay iniciativas de conservación ponderada en cero puntos. La desviación estándar de esta variable estuvo entre 0 y 7,5.

Es importante resaltar que unos expertos recomendaron separar iniciativas de proyectos, porque a veces los proyectos ejecutados son menores. Se hicieron ajustes a las categorías de respuesta, en cuanto a la cantidad de iniciativas, que pasaron de 10 como máximo a 5.

También, se pasaron de cinco categorías de respuesta a cuatro, por sugerencia del panel experto.

Figura 4-20: Categorías de respuesta a la variable estimativa proyectos de conservación.



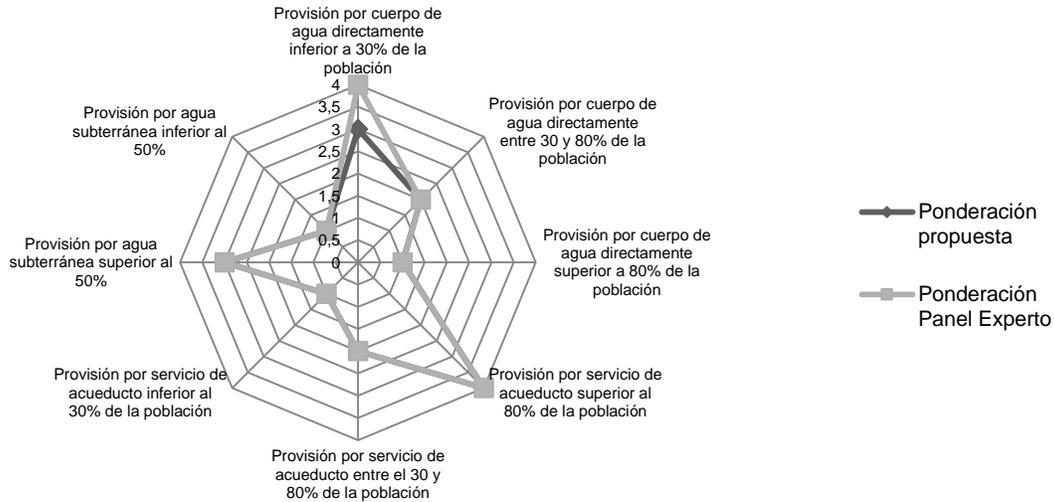
Fuente: Laura Giratá Sastoque.

En cuanto a la variable estimativa de cobertura de servicios públicos de acueducto, fue tomada en cuenta en esta valoración, debido que pueden repercutir en la salud de las personas que la consumen y, de igual forma, permite establecer la presión que la comunidad ejerce sobre el cuerpo de agua. Para esta variable estimativa se consideró que la provisión estuviera dada directamente por el cuerpo de agua, por agua subterránea o por acueducto, entendiéndose este último como un servicio de potabilización y conducción del agua y no solo como la conducción del agua de forma comunitaria en la microcuenca.

La Figura 4.21., muestra los resultados obtenidos para las categorías respuesta de la variable estimativa de cobertura de servicios públicos de acueducto. La mayor ponderación fue la obtenida para la provisión de agua de acueducto en un 80%, la provisión de agua por el cuerpo de agua directamente en un porcentaje inferior al 30%, y la provisión con agua subterránea superior al 50%, con puntuación de 4,4, y 2 respectivamente. La desviación estándar estuvo en el rango de cero a 0,8 puntos.

Se observa un consenso entre las ponderaciones propuestas y las obtenidas por el panel experto en la mayoría de las categorías respuesta.

Figura 4-21: Categorías de respuesta a la variable estimativa cobertura servicio público de acueducto.



Fuente: Laura Giratá Sastoque.

Igualmente, la variable estimativa de cobertura de servicio público de alcantarillado, apunta a la disposición final de residuos líquidos domésticos de la población asentada en la microcuenca, como una posible fuente en la contaminación de fuentes hídricas y suelos que pueden alterar la prestación de servicios ecosistémicos.

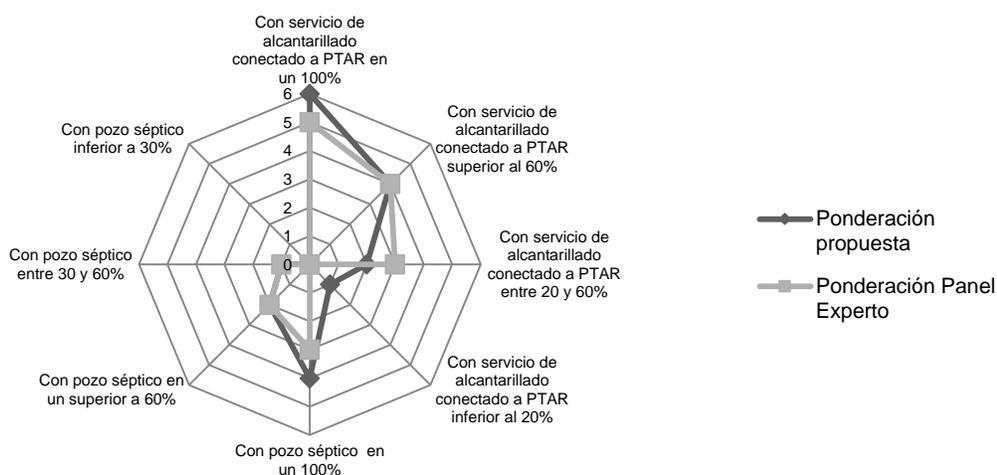
A pesar de que algunos expertos consideraron que no se tuviera en cuenta el uso de pozo séptico como una opción, debido a los daños que puede generar en el ambiente, se tuvo en cuenta porque, en algunas comunidades andinas se encuentran sitios que funcionan con esta modalidad, inclusive, sin servicio de alcantarillado, o con el uso de conducciones directas de las aguas servidas sin ningún tratamiento.

La Figura 4.22., muestra los resultados obtenidos en las categorías respuesta de la variable estimativa cobertura de servicio público de alcantarillado. Se encontró que las mayores ponderaciones, estuvieron en el caso de que el 100% de la población contara con el servicio de alcantarillado conectado a un PTAR con una puntuación de 5, seguida de uso de pozo séptico de un 100% de la población con una puntuación de 3. Las menores

ponderaciones son de cero en caso de que no cuente con ninguno de los dos servicios. La desviación estándar se encontró en el rango de 0 y 1,5 puntos.

Como se observa, no hubo mayores diferencias entre las ponderaciones propuestas y las obtenidas por el panel experto. Hubo variaciones solo de 1 punto en la calificación de cuatro categorías de la 7 mostradas.

Figura 4-22: Categorías de respuesta a la variable estimativa cobertura servicio público de alcantarillado.



Fuente: Laura Giratá Sastoque.

Para el manejo de residuos sólidos de la comunidad se tuvo en cuenta esta variable estimativa, categorizada en: aprovechamiento de residuos orgánicos en abonos, el reciclaje de residuos, el envío de basuras a un relleno sanitario y el entierro o quema de residuos. Esta última categoría de respuesta consideró, aunque se ha difundido ampliamente que es perjudicial para los ecosistemas, puesto que es aún una práctica que se realiza en la zona rural de Colombia.

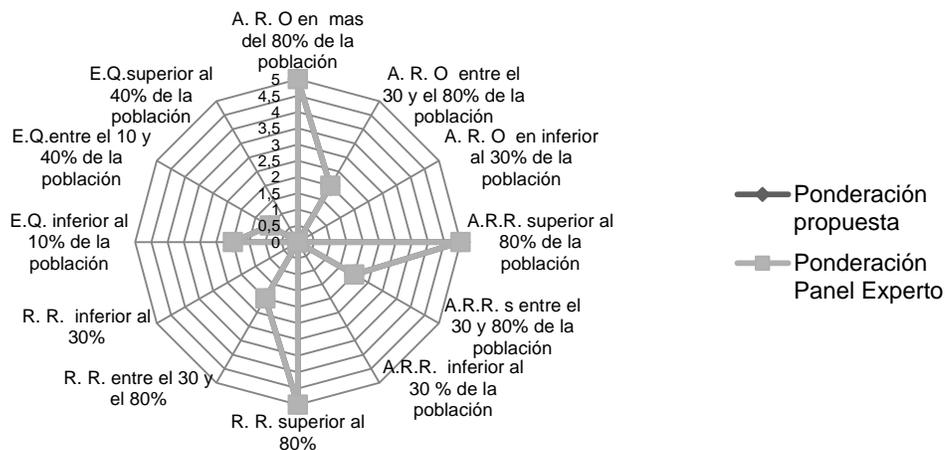
La Figura 4.23., muestra los resultados de la ponderación de las categorías de respuesta de la variable estimativa de manejo de residuos sólidos. La mayor ponderación fue

obtenida para el aprovechamiento de residuos en abonos orgánicos, en el reciclaje y la disposición de relleno sanitario superior al 80% de la población con 5 puntos cada uno seguido de quemas y entierro de residuos sólidos, como una práctica realizada por menos del 10% de la población con 2 puntos.

Las menores ponderaciones, estuvieron dadas por los menores porcentajes de aprovechamiento de residuos sólidos para reciclaje o abonos, y la disposición en un relleno sanitario, así mismo, para mayores porcentajes de quema y entierro de residuos sólidos, con ponderaciones iguales a cero. La desviación estándar de esta variable estuvo en el rango de 0 a 2,1. Como se observa hubo un consenso entre la ponderación propuesta inicialmente y las conseguidas con el panel experto.

Figura 4-23: Categorías de respuesta a la variable estimativa manejo de residuos sólidos

(A.R.O: Aprovechamiento de residuos orgánicos en abonos. A.R.R: Aprovechamiento de residuos reciclables. R.R.: Recolección de basuras para envío a relleno sanitario. E.Q.: Entierro y/o quema de basuras).

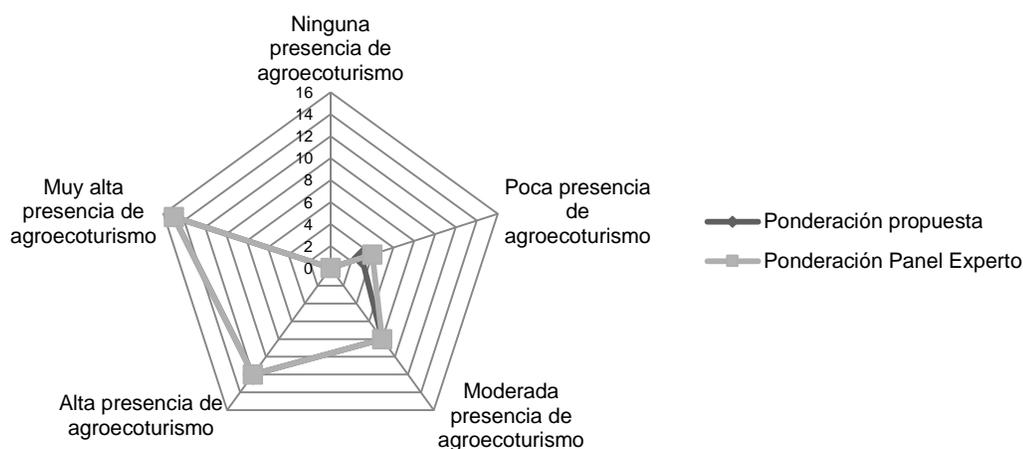


Fuente: Laura Giratá Sastoque.

Considerando los servicios ecosistémicos culturales, se incluyó la variable estimativa presencia de agroturismo. Se relacionó directamente con actividades como paisajismo, belleza escénica, avistamiento de aves o incluso actividades de educación ambiental.

La mayor ponderación de variable estimativa está dada por la presencia muy alta de agroecoturismo con 15 puntos, y la menor ponderación para la no presencia de agroecoturismo en la zona con una puntuación de cero, con lo que se presume que hay una afectación de la prestación de SE (Figura 4.24). La desviación estándar de esta variable está en el rango de 0 a 2,1.

Figura 4-24: Categorías de respuesta a la variable estimativa presencia de agroecoturismo.



Fuente: Laura Giratá Sastoque.

Para la variable estimativa de descarga de residuos industriales en la microcuenca se tuvo en cuenta dos categorías de respuesta, por recomendación del panel experto. La primera, hace referencia al cumplimiento de la normativa de disposición de residuos con una ponderación de 9 puntos. La segunda, se refiere al no cumplimiento de la norma con una valoración de 2, respectivamente. Estas categorías de respuesta presentaron una desviación estándar en 2,5.

En cuanto a la variable estimativa encuesta a la comunidad, fue calificada por panel experto con 15 puntos disminuyendo en 5 puntos respecto a la ponderación inicial. Su desviación estándar fue de 3,5 puntos por divergencias entre el panel de expertos.

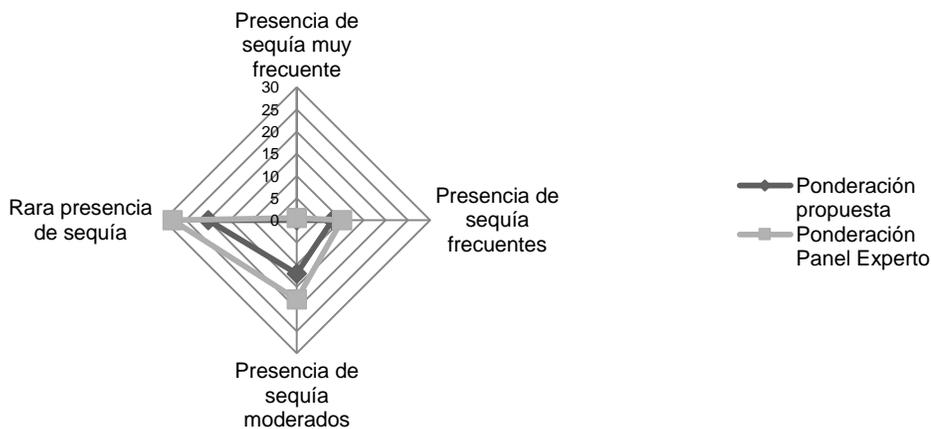
4.2.13 Ponderación de categorías respuesta a variables estimativas del componente 4 del índice ISEMCA por parte del panel experto.

Para el componente de aproximación a la valoración del estado de la regulación climática, se trabajaron cuatro variables estimativas. Este componente está relacionado con la respuesta de la microcuenca a los cambios climáticos que se presentan, haciendo referencia a los servicios ecosistémicos de regulación.

La primera variable estimativa incidencia de sequía tiene cuatro categorías de respuesta (Figura 4.25). La mayor ponderación fue para la categoría de respuesta de rara presencia de sequía con 28 puntos y la menor puntuación para la categoría de respuesta presencia de sequía muy frecuente con 1 punto.

La desviación estándar de esta variable estuvo en el rango de 0,9 a 5,5. Como se observa en la figura, hubo un aumento en la ponderación de las categorías de respuesta debido que el panel experto sugirió que esta variable estimativa debería tener un mayor peso en el componente.

Figura 4-25: Categorías de respuesta a la variable estimativa incidencia de sequía.

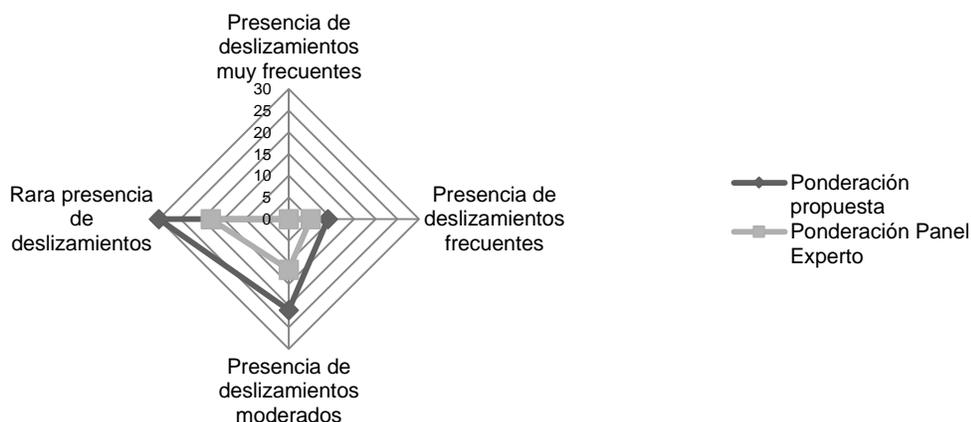


Fuente: Laura Giratá Sastoque.

Para la segunda variable estimativa, incidencia de deslizamientos, los resultados se muestran en la Figura 4.26. Se observa que la mayor calificación fue la obtenida para categoría de respuesta, rara presencia de deslizamientos, con 18 puntos.

La menor ponderación fue de cero cuando se elige la categoría de respuesta, presencia de deslizamientos muy frecuentes. Esta última ponderación, indicaría un deterioro de la estructura de los suelos y, con ello, de la regulación de los efectos climáticos en la microcuenca. La desviación estándar estuvo en el rango de 0 a 5,8 puntos. Al comparar las ponderaciones propuestas con las del panel experto se observa que hubo una disminución de 12 puntos.

Figura 4-26: Categorías de respuesta a la variable estimativa incidencia de deslizamientos.

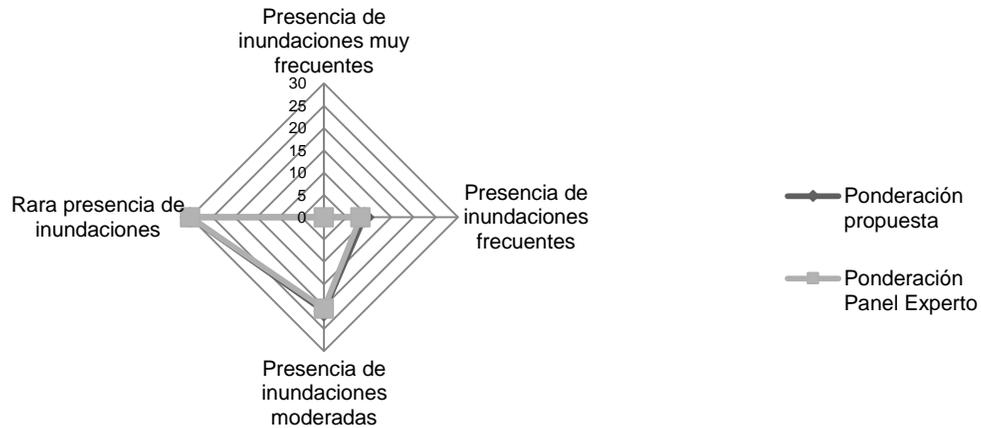


Fuente: Laura Giratá Sastoque.

En cuanto a la variable estimativa, incidencia de inundaciones, se observan los resultados obtenidos en la Figura 4.27. La mayor ponderación está dada para la categoría de respuesta, rara presencia de inundaciones, con 30 puntos. Esta calificación indica que hay poca intervención del hombre en la microcuenca, en el cambio de cobertura de vegetal, lo cual contribuye a que haya una mejor respuesta ante episodios de lluvia intensa en la microcuenca. La menor puntuación, fue de cero, para la categoría de respuesta, presencia de inundaciones muy frecuentes. La desviación estándar de esta variable estuvo en el

rango de 0 a 5 puntos. Hubo consenso entre las ponderaciones del panel experto y las propuestas inicialmente.

Figura 4-27: Categorías de respuesta a la variable estimativa incidencia de inundaciones.

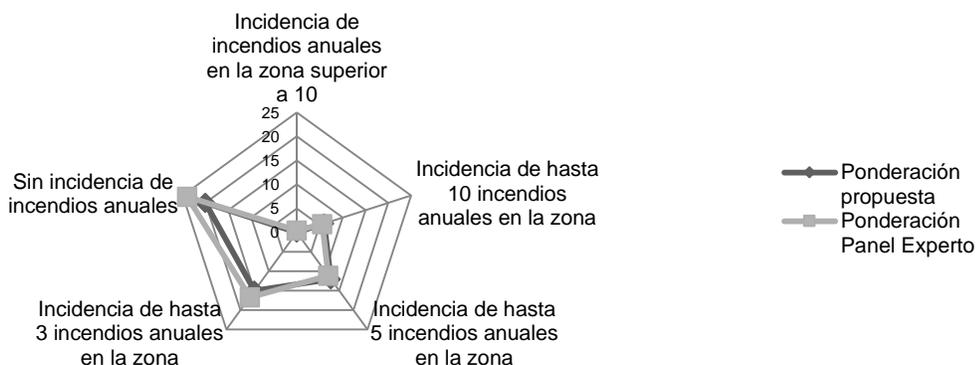


Fuente: Laura Giratá Sastoque.

Finalmente, teniendo en cuenta que los incendios son generados en gran parte por factores antrópicos, que afectan directamente la biodiversidad florística y faunística de la microcuenca, a través del deterioro de la cobertura vegetal. Se considera entonces, la variable estimativa incidencia de incendios, cuyos resultados se observan en la Figura 4.28.

La mayor calificación, 24 puntos, fue obtenida para la categoría de respuesta, sin presencia de incendios anuales. La menor ponderación, fue de cero puntos para la categoría de respuesta, incidencia de más 10 eventos de incendios en la microcuenca. Esta variable estimativa presentó una desviación estándar en el rango de 0 a 2,9 puntos.

Figura 4-28: Categorías de respuesta a la variable estimativa incidencia de incendios.



Fuente: Laura Giratá Sastoque.

4.3 Resultados para el objetivo específico 3: Diseñar una herramienta informática para el manejo del índice de valoración de Servicios Ecosistémicos ofrecidos en microcuencas andinas.

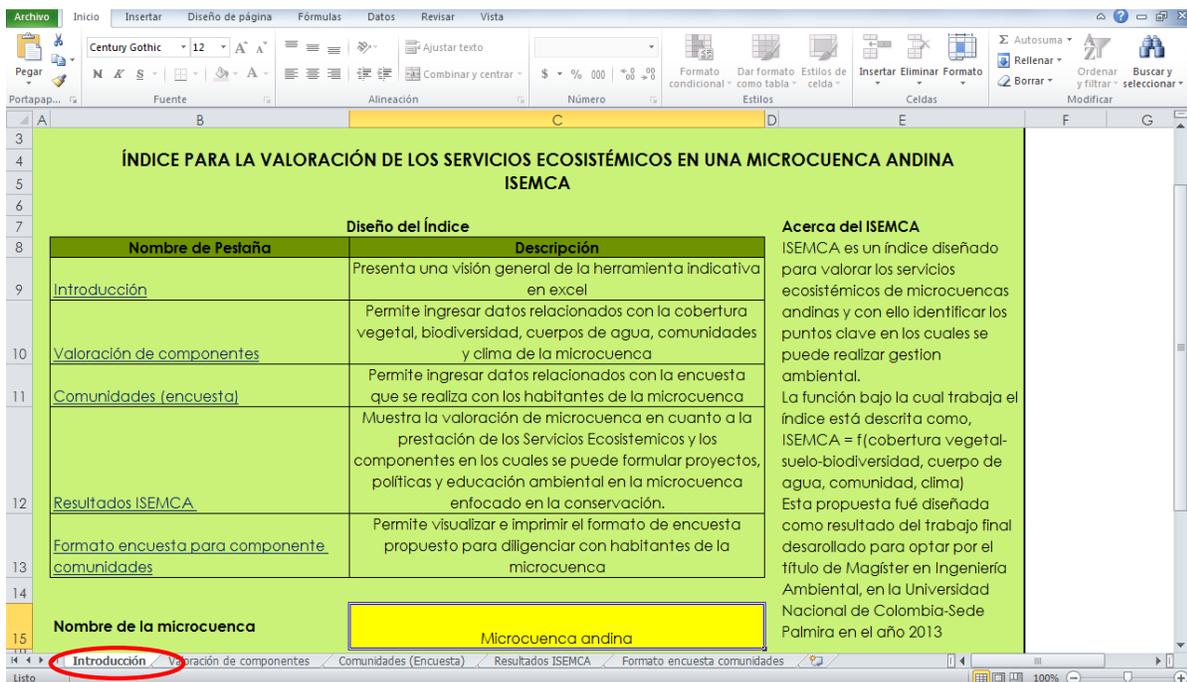
El diseño de la herramienta en Excel del índice ISEMCA, consta de cinco pestañas. Primero la introducción a la herramienta. Seguido se encuentran dos pestañas donde se ingresa la información secundaria y la obtenida en la comunidad. Posteriormente, se muestran los resultados obtenidos al aplicar el índice ISEMCA. Finalmente, existe una pestaña que permite obtener la versión para imprimir de la encuesta a las comunidades.

Cada pestaña tiene un hipervínculo que le facilita al usuario desplazarse por el instrumento de forma sencilla y ágil, según la actividad que decida realizar. Además, es importante destacar que cada categoría de respuesta excluye la otra posible. Para visualizar el diseño del índice ISEMCA completo en Excel, consultar el Anexo B.

4.3.1 Introducción a la herramienta informática ISEMCA.

En esta primera pantalla, se muestra un cuadro que simplifica la información que contiene la herramienta. Informa al usuario sobre el contenido y su aplicación como se observa en la **Figura 4.29**. Así mismo, se describe el propósito, la fórmula matemática y el marco en que se construyó la propuesta del ISEMCA como herramienta de valoración y gestión de los servicios ecosistémicos. Finalmente, permite introducir el nombre de la microcuenca a la cual se le van a valorar los SE.

Figura 4-29: Pestaña de introducción a la herramienta informática para el índice ISEMCA.

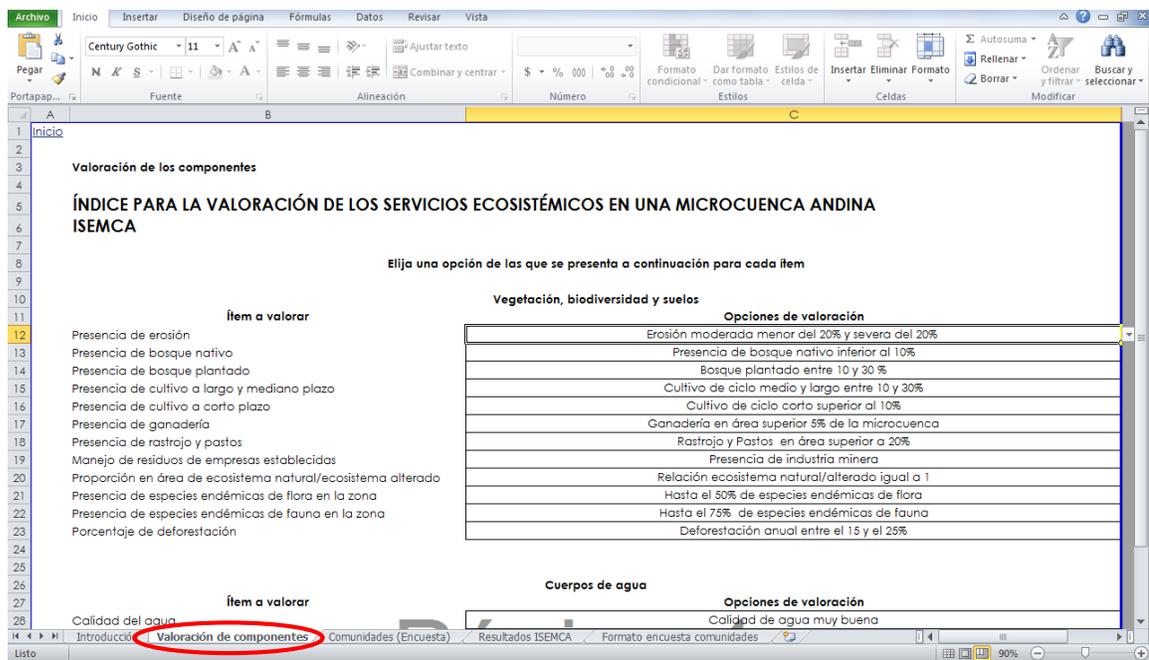


Fuente: Laura Giratá Sastoque.

4.3.2 Valoración de componentes de aproximación y variables de estimación de la herramienta informática ISEMCA.

En esta pestaña (Figura 4.30.) el usuario de la herramienta puede introducir la información secundaria necesaria para aplicar el índice ISEMCA. En esta sección, para cada componente de aproximación, se muestran las variables estimativas y se despliega un listado que permite seleccionar la categoría de respuesta de la microcuenca andina. De igual forma, se muestra que para ingresar los datos correspondientes al diligenciamiento de la encuesta a los líderes de la microcuenca, existe un hipervínculo que permite llegar a la pestaña de forma rápida.

Figura 4-30: Pestaña de ingreso datos para la valoración de los componentes de aproximación en la Herramienta en Excel de ISEMCA.

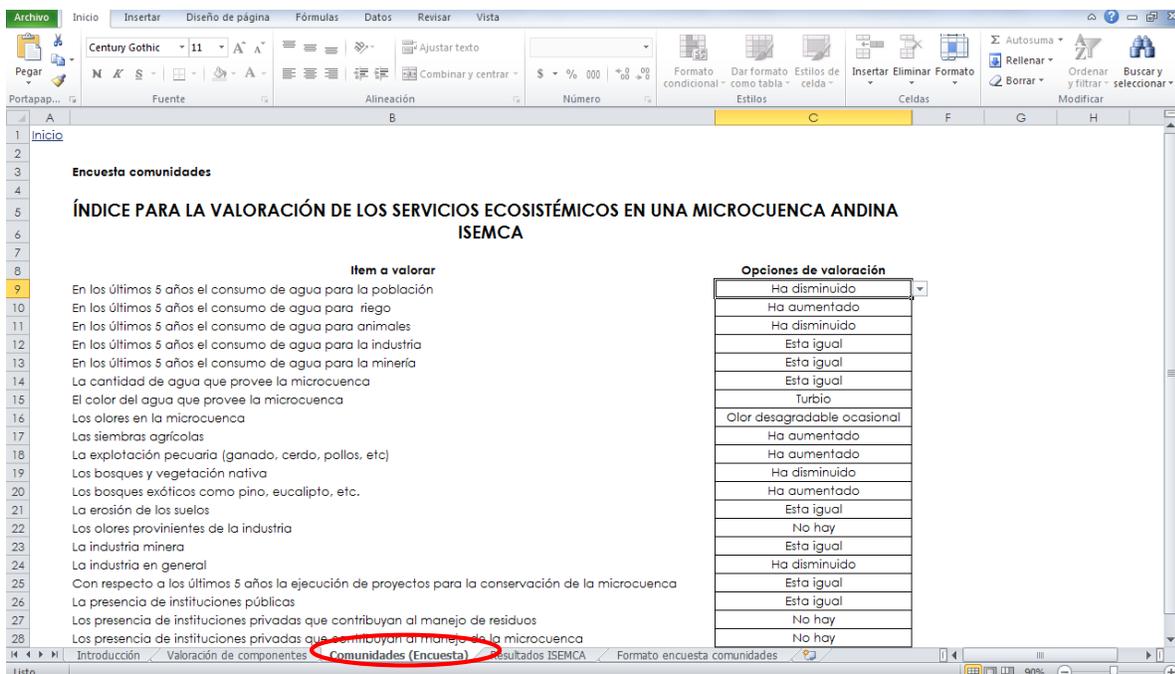


Fuente: Laura Giratá Sastoque.

4.3.3 Ingreso a la información obtenida en la encuesta de la comunidad en la herramienta informática ISEMCA.

Esta pestaña hace referencia a las categorías de respuesta de la variable estimativa encuesta a la comunidad, del componente aproximación a la valoración del estado de la relación comunidades y el entorno. Adicionalmente, permite el ingreso de la información al índice ISEMCA, para que la persona que diligenció la encuesta en campo introduzca los datos como se muestra en la Figura 4.31. Se sugiere se trabaje con la moda de las respuestas debido que estas variables tienen respuesta categórica y no numérica.

Figura 4-31: Pestaña de ingreso datos de la encuesta a la comunidad en la herramienta en Excel de ISEMCA.

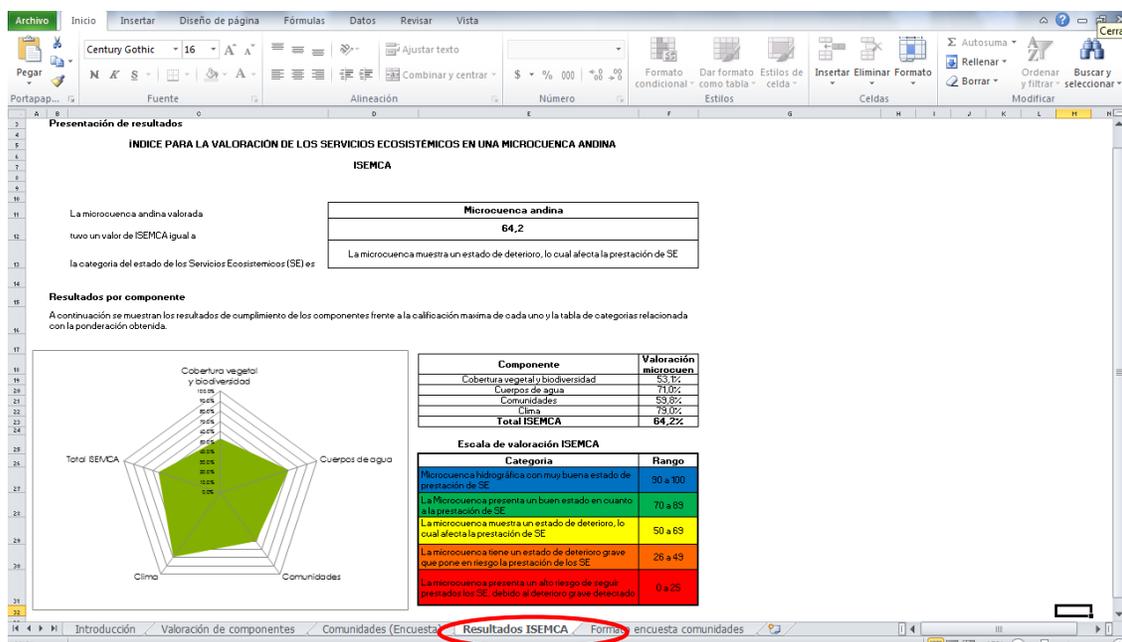


Fuente: Laura Giratá Sastoque.

4.3.4 Presentación de resultados del índice ISEMCA

En esta pestaña (Figura 4.32), se muestran los resultados de la aplicación del índice ISEMCA. Primero, se muestra la ponderación general de la microcuenca y la categoría en la cual se encuentra la prestación de los servicios ecosistémicos. Segundo, permite observar la calificación de cada uno de los componentes de aproximación que hacen parte del índice y, tercero, permite visualizar de forma sencilla a través de una grafica tipo araña la valoración obtenida en cada uno de los cuatro componentes de aproximación.

Figura 4-32: Pestaña de presentación de resultados de la herramienta en Excel de ISEMCA}



Fuente: Laura Giratá Sastoque.

Esta pestaña, permite identificar los componentes de aproximación en los cuales se pueden realizar gestión ambiental. Por ejemplo, para decidir en cuales de los aspectos valorados se podrían realizar acciones concretas de gestión ambiental en la microcuenca

74 Propuesta de un índice para valorar los servicios ecosistémicos ofrecidos por una microcuenca andina. **Caso El Chocho**

para su conservación a través de diversos proyectos de conservación, reforestación, educación ambiental, entre otras.

4.3.5 Formato para impresión de la encuesta a la comunidad asentada en la microcuenca

Esta pestaña está diseñada para permitir la impresión de la encuesta para ser diligenciada en campo por la persona o institución que use el ISEMCA como una herramienta de gestión ambiental (ver Figura 4.33.).

Figura 4-33: Formato para impresión de encuesta a la comunidad asentada en la microcuenca.

Formato encuesta para componente comunidades

ÍNDICE PARA LA VALORACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN UNA MICROCUENCA ANDINA
ISEMCA

Encuesta a personas habitantes de la microcuenca

Fecha _____
Nombre del Encuestador _____
Nombre del Encuestado _____

Segun su percepción escoja una de las siguientes opciones para cada pregunta

Recurso Agua	Ha aumentado	Ha estado igual	Ha disminuido	No hay
En los últimos 5 años el consumo de agua para la poblacion				
En los últimos 5 años el consumo de agua para riego				
En los últimos 5 años el consumo de agua para animales				
En los últimos 5 años el consumo de agua para la industria				
En los últimos 5 años el consumo de agua para la minería				
La cantidad de agua que provee la microcuenca				
El color del agua que provee la microcuenca	Cristalino	Ligeramente turbio	Turbio	Muy turbio
Los olores en la microcuenca	Desgradable ocasional	Desagradable y constante	No hay	

Formato encuesta comunidades

Fuente: Laura Giratá Sastoque.

4.4 Resultados para el objetivo específico 4: Realizar una aplicación de la herramienta con el caso de estudio Microcuenca El Chocho (Santiago de Cali).

La aplicación de la herramienta permitió estudiar el comportamiento de la misma, y analizar las posibles ventajas y desventajas de su diligenciamiento. Para lograr este resultado, se utilizó la herramienta informática en Excel de ISEMCA desarrollada en el objetivo específico 3 y con la información secundaria encontrada en publicaciones de estudios realizados en la microcuenca el chocho, puesto que es la materia prima para aplicación de la herramienta.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en cuanto al diligenciamiento del ISEMCA y la calificación obtenida del índice con la respectiva interpretación

4.4.1 Diligenciamiento de herramienta ISEMCA.

El diligenciamiento se realizó rápidamente teniendo como herramienta de trabajo la hoja de respuesta basada en la revisión de literatura, a partir de los cuales la información fue ingresada al ISEMCA en Excel (Tabla 4.5.).

Tabla 4-5: Categorías de respuesta de la microcuenca andina El Chocho, aplicadas en el índice ISEMCA.

Aproximación a la valoración del estado de la cobertura vegetal y biodiversidad	
Variable estimativa	Categoría de respuesta
Presencia de erosión	Erosión severa mayor del 20% y erosión muy severa hasta el 50%
Presencia de bosque nativo	Presencia de Bosque nativo superior del 30%
Presencia de bosque plantado	Bosque plantado inferior al 10%
Presencia de cultivo a largo y mediano plazo	Cultivo de ciclo medio y largo inferior al 10%
Presencia de cultivo a corto plazo	Cultivo de ciclo corto inferior al 10%
Presencia de ganadería	Ganadería extensiva en área inferior al 5% de la microcuenca
Presencia de rastrojo y pastos	Rastrojo y Pastos en área inferior a 20%

Tabla 4.5. (Continuación).

Aproximación a la valoración del estado de la cobertura vegetal y biodiversidad	
Variable estimativa	Categoría de respuesta
Manejo de residuos de empresas establecidas	Presencia de industria minera
Proporción en área de ecosistema natural/ecosistema alterado	Relación ecosistema natural/alterado superior a 1
Presencia de especies endémicas de flora en la zona	Sin presencia de especies endémicas de flora
Presencia de especies endémicas de fauna en la zona	Menos del 25% de especies endémicas de fauna
Porcentaje de deforestación	Deforestación anual inferior al 15%
Aproximación a la valoración del estado de los cuerpos de agua	
Variable estimativa	Categoría de respuesta
Calidad del agua	Calidad de agua mala
Relación caudal invierno/verano	Relación caudal invierno/verano superior a 1
Uso de agua para abastecimiento doméstico	Uso de agua superior de 50% para abastecimiento doméstico
Uso de agua para abastecimiento labores agrícola	Uso de agua entre 10% y 20% para desarrollo agrícola
Uso de agua para abastecimiento pecuario	Uso de agua entre 5% y 10% para desarrollo pecuario
Uso de agua para abastecimiento recreación	Uso de agua inferior a 5% para recreación
Uso de agua para abastecimiento industria	Uso de agua en la industria minera
Aproximación a la valoración del estado de la relación comunidades y el entorno	
Variable estimativa	Categoría de respuesta
Población habitante en la microcuenca	Población asentada en la microcuenca inferior a 50.000
Descargas industriales detectadas	Las descargas industriales detectadas en la zona no cumplen con la norma
Número de proyectos ambientales	Existe 1 proyecto de conservación de microcuenca al año
Consumo de agua superficial cruda	Provisión por cuerpo de agua directamente inferior a 30% de la población
Consumo de agua subterránea cruda	Provisión por agua subterránea inferior al 50%
Consumo de agua tratada	Provisión por servicio de acueducto entre el 30 y 80% de la población
Tipo de disposición de residuos domésticos líquidos 1	Con servicio de alcantarillado conectado a PTAR entre 20 y 60%
Tipo de disposición de residuos domésticos líquidos 2	Con pozo séptico inferior a 30%

Aprovechamiento de residuos sólidos para abono orgánico	Aprovechamiento inferior al 30% de la población, de residuos orgánicos para producción de abonos
Aprovechamiento de residuos sólidos para reciclaje	Aprovechamiento inferior al 30 % de la población de residuos sólidos para reciclaje

Tabla 4.5. (Continuación).

Aproximación a la valoración del estado de la relación comunidades y el entorno	
Variable estimativa	Categoría de respuesta
Disposición de residuos sólidos en relleno sanitario	Recolección de basuras para envío a relleno sanitario superior al 80%
Presencia de agroturismo	Existe poca presencia de agroecoturismo en la microcuenca
Encuesta comunidad	Ver Tabla 4.6.
Aproximación a la valoración del estado de la regulación climática	
Variable estimativa	Categoría de respuesta
Incidencia de sequía	Rara presencia de sequía
Incidencia de deslizamientos	Presencia de deslizamientos frecuentes
Incidencia de inundación	Rara presencia de inundaciones
Incidencia de incendios	Incidencia de incendios anuales en la zona superior a 10

Igualmente, se diligenció la encuesta con las respuestas de un líder de la comunidad asentada en la microcuenca andina El Chocho. A continuación, en la Tabla 4.6 se muestran los resultados obtenidos, en los términos que requiere la herramienta en Excel para el diligenciamiento del índice ISEMCA.

Tabla 4-6: Categorías de respuesta de la variable estimativa encuesta a la comunidad de la microcuenca andina El Chocho, aplicadas en el índice ISEMCA

Variable estimativa	Categoría de respuesta
En los últimos 5 años el consumo de agua para la población	Ha aumentado
En los últimos 5 años el consumo de agua para riego	Ha aumentado
En los últimos 5 años el consumo de agua para animales	Ha aumentado
En los últimos 5 años el consumo de agua para la industria	No hay
En los últimos 5 años el consumo de agua para la minería	Esta igual
La cantidad de agua que provee la microcuenca	Esta igual
El color del agua que provee la microcuenca	Ligeramente turbio

Los olores en la microcuenca	No hay
Las siembras agrícolas	Ha aumentado
La explotación pecuaria (ganado, cerdo, pollos, etc.)	Ha aumentado
Los bosques y vegetación nativa	Ha disminuido
Los bosques exóticos como pino, eucalipto, etc.	No hay

Tabla 4.6. (Continuación)

Variable estimativa	Categoría de respuesta
La erosión de los suelos	Ha aumentado
Los olores provenientes de la industria	No hay
La industria minera	Esta igual
La industria en general	Ha aumentado
Con respecto a los últimos 5 años la ejecución de proyectos para la conservación de la microcuenca	Esta igual
La presencia de instituciones públicas	Esta igual
Los presencia de instituciones privadas que contribuyan al manejo de residuos	No hay
Los presencia de instituciones privadas que contribuyan al manejo de la microcuenca	No hay
El establecimiento de asociaciones o fundaciones ambientales de la zona	No hay
La presencia de Juntas de acueducto en acciones ambientales de la microcuenca	Ha aumentado

4.4.2 Resultado de aplicación del índice ISEMCA en la microcuenca El Chocho.

El resultado del índice ISEMCA para la microcuenca andina El Chocho fue de 57,6. Esta calificación está la categoría de “la microcuenca muestra un estado de deterioro lo cual afecta la prestación de los servicios ecosistémicos”. Este resultado muestra que la microcuenca ha sido afectada por la comunidad que se beneficia de ella y que se hace necesario realizar acciones de gestión ambiental en esta microcuenca andina.

En cuanto a los resultados respecto a los componentes de aproximación (Tabla 4.7.), se muestra que todos ellos están en la misma categoría de calificación. Se observa que el componente con menor valoración es el relacionado con la comunidad y el entorno.

Posiblemente, debido a las prácticas inadecuadas de disposición de residuos sólidos y líquidos de origen doméstico e industrial, además de la minería.

Teniendo en cuenta este hallazgo se podría plantear acciones de educación ambiental a la comunidad asentada en la microcuenca El Chocho. Estas iniciativas podrían ser encausadas a la conservación y disposición adecuada de residuos con el propósito de que la microcuenca pueda seguir prestando los servicios ecosistémicos de provisión, culturales, regulación y soporte para el beneficio de los corregimientos que hacen parte de esta microcuenca.

Tabla 4-7: Ponderación por componente de aproximación de la microcuenca El Chocho (Cali, Colombia).

Componente de aproximación	Calificación	Categoría	Color
Cobertura vegetal y biodiversidad	59,0%	Regular estado de deterioro en la prestación de SE	
Cuerpos de agua	58,0%	Regular estado de deterioro en la prestación de SE	
Relación comunidad y entorno	50,6%	Regular estado de deterioro en la prestación de SE	
Regulación climática	65,0%	Regular estado de deterioro en la prestación de SE	
Total ISEMCA	57,6%	Regular estado de deterioro en la prestación de SE	

Fuente: Laura Giratá Sastoque.

Por otro lado, los componentes de aproximación a la valoración del estado de los cuerpos de agua, y el del estado de la cobertura vegetal y biodiversidad, mostraron una baja puntuación. Esto es grave, considerando que son componentes de aproximación que soportan y regulan los servicios ecosistémicos en la microcuenca El Chocho. Por lo tanto, se podrían formular estrategias de gestión que permitan acciones por ejemplo en el campo de reforestación, usos de suelo, y conservación de fuentes hídricas. La mayor ponderación

la tuvo el componente clima, en la cual la microcuenca presenta problemas principalmente en la incidencia de deslizamientos.

Los resultados obtenidos del índice ISEMCA muestran afinidad con el deterioro evidenciado en la bibliografía consultada de la microcuenca El Chocho. Este hallazgo es importante porque en esta primera aplicación muestra que es posible construir una herramienta indicativa que tenga una visión integrada del estado de los servicios ecosistémicos en la escala de microcuenca. Esto resulta ser un estímulo para que en próximas investigaciones se realicen aplicaciones en otras microcuencas andinas.

5. Discusión general

Estructurar una propuesta de un índice para valorar los servicios ecosistémicos provistos por microcuencas andinas requiere de escoger el enfoque a trabajar. En el caso del índice ISEMCA, fue claro la necesidad de plantear una herramienta que permitiera evaluar de forma global e integrado la prestación de los servicios ecosistémicos, teniendo presente que las microcuencas andinas tienen una gran importancia en el suministro de agua.

Para iniciar, se relacionaron los servicios ecosistémicos con los reportados para las microcuencas andinas. Mediante la correlación entre bibliografía publicada de la cordillera de los andes y sus cuencas, haciendo evidente la validez del enfoque y el análisis del contexto del índice ISEMCA.

Para la construcción de esta propuesta indicativa, se requirió de una extensa revisión bibliográfica y la aplicación del método Delphi en tiempo real. La revisión permitió identificar la necesidad de crear esta propuesta, definir el sistema a evaluar y el planteamiento de cuatro componentes de aproximación, que agrupan variables de estimación y categorías de respuesta únicas.

La consulta con panel experto permitió fortalecer la propuesta del índice ISEMCA. Esto se ve reflejado el ajuste de las ponderaciones propuestas inicialmente para los componentes de aproximación, las variables estimativas y las categorías de respuesta. Así mismo, a través de las observaciones del panel experto se pudieron acomodar las categorías de respuesta de forma mas adecuada. Esta retroalimentación a la propuesta inicial, fue muy importante porque respalda el trabajo propuesto.

Se ocupó bastante tiempo y esfuerzo en la construcción de la propuesta indicativa, debido a que constituye el aporte científico de este trabajo. Por lo tanto se espera que el índice ISEMCA sea aplicada en otras microcuencas andinas a partir de información secundaria.

Así mismo, que sea usada como una herramienta clave en la construcción de estrategias de gestión y planes de acción con el objeto de conservar los servicios ecosistémicos asociados a las microcuencas andinas.

La aplicación del índice ISEMCA en la microcuenca El Chocho (Cali, Colombia), tuvo una calificación de 57,6. Este resultado es congruente con las publicaciones del evidente deterioro ambiental de la microcuenca. Este hecho, es consecuencia de las presiones antrópicas de población asentadas, en especial, por la cercanía al casco urbano del municipio de Cali, y actividades de extracción minera.

Este resultado muestra que la categoría de aproximación con la menor ponderación fue la relacionada con la valoración estimada de las comunidades y su entorno, lo cual sugiere acciones de educación ambiental con los habitantes de la microcuenca y las industrias establecidas en ella. Esta calificación es preocupante teniendo en cuenta que esta en limite con la categoría inferior que indicaría grave estado de deterioro de los SE

Los componentes de aproximación relacionados con la valoración de estado de la cobertura vegetal, biodiversidad y de los cuerpos de agua, tuvieron baja calificación también, por lo tanto, se pueden plantear estrategias de gestión ambiental enfocadas en la conservación de estos recursos biofísicos que conforman los servicios ecosistémicos.

Al comparar el índice ISEMCA con otros propuestos se observa que este tiene como ventaja el hecho de que permite tener una visión amplia del estado de la prestación de los servicios ecosistémicos, no se enfoca solo a uno de ellos, o a una parte biofísica. Además, del hecho de estar construido para aplicarse en microcuencas andinas, lo cual no es muy común, puesto que lo encontrado frecuentemente son índices foráneos ajustados a condiciones locales.

De igual forma, se considera una ventaja su fácil aplicación ya sea por la comunidad, ONG o autoridades ambientales y sin necesitar personal especializado para su diligenciamiento. Puesto que se puede acceder al índice ISEMCA a través del programa Microsoft Excel, aspecto que muy pocas herramientas ofrecen al usuario y que permite la aplicación de esta propuesta de forma sencilla.

Por otro lado, la información secundaria es una ventaja, si se tiene fácil acceso a ella, de lo contrario puede resultar ser un problema, que podría corregirse al realizar trabajo de campo con los líderes o personas conocedoras de la microcuenca.

El índice ISEMCA, metodológicamente se constituye en un primer paso para la construcción de nuevos acercamientos de la valoración de servicios ecosistémicos en cuencas andinas, con un enfoque global e integrado, que permitirá en un futuro cercano, nuevas investigaciones. Así como, las aplicaciones en otras microcuencas andinas con el objeto de iniciar a validez de la herramienta.

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

De este trabajo se concluye que se pueden plantear estrategias que permitan valorar los servicios ecosistémicos bajo condiciones locales, a través de un índice. El propósito de este índice fue evaluar el estado de los SE de forma integrada, cuya fuente de información es generalmente, secundaria.

Se concluye que las microcuencas andinas, son prestadores de los servicios ecosistémicos planteados por la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. Como evidencia se encontraron documentos normativos, artículos científicos y publicaciones, que demuestran la importancia de su identificación no solo ecológica sino en términos monetarios para el desarrollo de la comunidad andina. Así mismo, se evidenció la complejidad ambiental y cultural que alberga la cordillera de los andes.

La forma en que se propone el índice ISEMCA permite que pueda ser usado en otras microcuencas andinas. Para lo cual se estableció el sistema a evaluar, los cuatro componentes de aproximación, que reunieron 21 variables estimativas del estado de los servicios ecosistémicos en la microcuenca. Igualmente, este índice, tiene en cuenta la percepción de los SE por parte de los líderes de la zona, quienes aprecian en su diario vivir los cambios que ocurren en la microcuenca andina y con ello la prestación de SE.

Este estudio permitió la construcción del índice ISEMCA. Este índice fue avalado por un grupo de expertos en el tema de microcuencas andinas y servicios ecosistémicos, en un ejercicio académico guiado por el método Delphi modalidad de tiempo real. Se contaron con expertos profesionales, que laboran en el sector público y privado del departamento del Valle del Cauca. Este proceso de consulta a expertos fundamenta la estructura presentada, aunque se conoce que al cambiar el panel de expertos puede haber variación

en las ponderaciones propuestas para el ISEMCA, lo cual puede motivar a realizar más investigaciones en esta área.

Para que los índices no queden solo en propuestas, es necesario plasmarlas en herramientas informáticas. El índice ISEMCA se trabajó en Excel, mediante el uso de cinco pestañas. Una de ellas como introducción y presentación general del índice. Dos ventanas para el ingreso de información secundaria. Una cuarta para mostrar los resultados obtenidos de forma sencilla. Finalmente, una quinta que permite la impresión de la encuesta a líderes de la comunidad.

El instrumento en Excel, permite acceder fácilmente al índice y presentar los componentes de aproximación en los cuales se pueden plantear proyectos de gestión de proyectos ambiental. Esta herramienta es una ventaja frente a otros índices, debido que facilita su aplicación en campo y al establecer categorías de respuesta única en el índice ISEMCA permite a los investigadores, tomadores de decisiones y ejecutores de proyectos, realizar comparaciones entre las aplicaciones que se realicen en otras microcuencas o en la misma, en diferentes lapsos de tiempo, y para hacer seguimiento a los proyectos efectuados en la microcuenca.

Los resultados de la aplicación en la microcuenca andina El Chocho (Cali, Colombia) fueron satisfactorios. Se observó una coherencia entre la calificación de 57,6 reportado por el índice ISEMCA que la categorizó como una microcuenca que presenta afectación en el estado de la prestación de los SE; la problemática ambiental registrada en bibliografía y la evidenciada por la comunidad asentada y pivotante de la microcuenca andina.

Este logro demuestra en un primer acercamiento que el ISEMCA cumple con el objetivo de valorar la prestación de los servicios ecosistémicos de una microcuenca. También, visualiza los componentes de aproximación en los cuales se puede realizar acciones estratégicas de gestión, teniendo como soporte científico esta herramienta.

6.2 Recomendaciones

Para diligenciar la herramienta en Excel se recomienda, primero, que se organice la información secundaria en los términos que se necesitan ingresar. Segundo, es necesario tener acceso a la mayor información secundaria posible con el objeto de minimizar las percepciones del usuario de la herramienta y que todo quede fundamentado en registros publicados con anticipación. Tercero, que la encuesta que se propone se realice con el líder comunitario contemple un momento previo de socialización del contexto y los alcances de la herramienta, para obtener respuestas que realmente logren el objetivo propuesto.

En cuanto a la aplicación del índice ISEMCA en otras microcuencas andinas se recomienda realizar su diligenciamiento en la parta alta, media y baja. Esto permitirá que la herramienta pueda determinar si hay homogeneidad en el estado de la prestación de los servicios ecosistémicos en las tres zonas o si por el contrario, alguna de ellas requiere de acciones especiales.

Finalmente se recomienda realizar aplicaciones en otras microcuencas andinas con otras condiciones ambientales, con el objetivo de evaluar el desempeño del índice propuesto en este trabajo.

A. Anexo A: Cuestionario panel experto

CUESTIONARIO PANEL EXPERTO

Este cuestionario se compone de cuatro partes:

1. Componentes de aproximación general
2. Variables de estimación de los componentes de aproximación
3. Categorías de respuesta para las variables de estimación
4. Cuestionario líderes de la zona

PARTE 1: COMPONENTES DE APROXIMACIÓN GENERALES

A continuación se muestra los cuatro componentes de aproximación que se consideran agrupan las variables que permiten evaluar una microcuenca andina, con la estimación propuesta y un recuadro para que usted califique de acuerdo a su criterio.

Valoración de los servicios ecosistémicos de una microcuenca andina

Componentes de aproximación al estado	Estimado	Calificación experto
Cobertura vegetal y biodiversidad	25	
Cuerpos de Agua	20	
Comunidades	40	
Regulación climática	15	
Total	100	100

Observaciones:

PARTE 2: VARIABLES ESTIMATIVAS DE LOS COMPONENTES DE APROXIMACIÓN

A continuación se muestra para cada uno de los cuatro componentes, las variables estimativas, que se proponen son necesarias para la valoración de los servicios ecosistémico, con su respectiva ponderación y un recuadro para que usted califique de acuerdo a su criterio.

Valoración componente de aproximación al estado de la cobertura vegetal y biodiversidad

Variables estimativas	Ponderación	Calificación experto
Erosión de suelo	10	
Uso de Suelo	30	
Relación ecosistemas naturales Vs. Alterados	20	
Especies endémicas de flora	15	
Especies endémicas de fauna	15	
Deforestación anual	10	
Total	100	100

Observaciones:

Valoración componente aproximación al estado de los cuerpos de agua

Variables estimativas	Ponderación	Calificación experto
Calidad de Agua	40	
Variación caudal promedio	20	
Usos del Agua	40	
Total	100	100

Observaciones:

Valoración componente de aproximación al estado de la relación comunidades y el entorno

Variables estimativas	Ponderación	Calificación experto
Población	10	
Descargas industrias establecida	10	
Iniciativas conservación de la microcuenca	15	
Servicios públicos de acueducto	10	
Servicios públicos de alcantarillado	10	
Manejo de residuos solidos	10	
Presencia de agro ecoturismo sostenible	15	
Visión líderes (Encuesta)	20	
Total	100	100

Observaciones:

Valoración componente aproximación al estado de la regulación climática

Variables estimativas	Ponderación	Calificación experto
Sequia	20	
Deslizamientos	20	
Inundaciones	30	
Incendios	30	
Total	100	100

Observaciones:

PARTE 3: CATEGORIAS DE RESPUESTA A LAS VARIABLES ESTIMATIVAS

A continuación se muestra para cada uno de los cuatro componentes aproximación, las categorías de respuesta propuestas para calificar. Se muestra su respectiva ponderación y un recuadro para que usted califique de acuerdo a su criterio. Recuerde que las categorías de respuesta mostradas permitirán valorar la prestación de servicios ecosistémicos de una microcuenca andina.

Componente aproximación al estado de la cobertura vegetal y biodiversidad: Para estas variables el porcentaje que se evalúa esta dado por su relación porcentual en la microcuenca. Tenga en cuenta que las siguientes variables solo tienen una sola opción de calificación, por lo tanto no se obtiene una puntuación de 100 en la sumatoria de cada una.

Categoría de respuesta a la variable estimativa: Erosión de suelo

Categoría de respuesta	Ponderación	Calificación experto
Con presencia de erosión severa a muy severa superior al 80%	0	
Con presencia de erosión severa a muy severa hasta el 60%	3	
Con presencia de erosión severa a muy severa hasta el 40%	5	
Presencia de erosión severa y muy severa hasta el 20%	7	
Presencia de erosión natural y moderada de mas de 20%	10	

Categoría de respuesta a la variable estimativa: Uso de suelo.

Categoría de respuesta	Ponderación	Calificación experto
Bosque Nativo: Máximo 10 puntos		
Presencia de Bosque nativo superior del 30%	10	
Presencia de bosque nativo entre 10 y 30 %	4	
Presencia de bosque nativo inferior al 10%	1	
Bosque plantado exótico como pino y eucalipto: Máximo 5 puntos		
Bosque plantado inferior al 10%	5	
Bosque plantado entre 10 y 30 %	3	
Bosque plantado superior al 30%	1	
Cultivos de medio largo plazo: Máximo 5 puntos		
Cultivo de ciclo medio y largo inferior al 10%	5	
Cultivo de ciclo medio y largo entre 10 y 30%	3	
Cultivo de ciclo medio y largo superior al 30%	1	
Categoría de respuesta	Ponderación	Calificación experto
Cultivo ciclo corto: Máximo 3 puntos		
Cultivo de ciclo corto inferior al 10%	3	
Cultivo de ciclo corto superior al 10%	2	
Ganadería extensiva: Máximo 2 punto		
Ganadería extensiva en área inferior al 5% de la microcuenca	2	
Ganadería en área superior al 5% de la microcuenca	1	
Rastrojos y pastos: Máximo 2 puntos		
Rastrojo y Pastos en área superior a 20%	2	
Industria: Máximo 3 puntos		
Presencia de Industria con manejo de residuos	3	
Presencia de industria sin manejo de residuos	2	
Presencia de industria minera	0	

Categoría de respuesta a la variable estimativa: Relación ecosistema natural/ ecosistema alterado.

Categoría de respuesta	Ponderación	Calificación experto
Menor del 10%	0	
Hasta el 30%	6	
Hasta el 60%	12	
Hasta el 75%	16	
Mas del 75%	20	

Categoría de respuesta a la variable estimativa: Especies endémicas de flora

Categoría de respuesta	Ponderación	Calificación experto
Sin presencia	0	
Menos del 25%	5	
Hasta el 50%	8	
Hasta el 75%	12	
Mas del 75%	15	

Categoría de respuesta a la variable estimativa: Especies endémicas de fauna

Categoría de respuesta	Ponderación	Calificación experto
Sin presencia	0	
Menos del 25%	5	
Hasta el 50%	8	
Hasta el 75%	12	
Mas del 75%	15	

Categoría de respuesta a la variable estimativa: Deforestación anual

Categoría de respuesta	Ponderación	Calificación experto
Superior al 85%	0	
Entre 75 y 85%	3	
Entre el 50 y el 75%	6	
Entre el 25 y el 50%	8	
Inferior al 25%	10	

Observaciones:

Componente de aproximación al estado de los cuerpos de agua: Tenga en cuenta que las siguientes variables solo tienen una sola opción de calificación, por lo tanto no se obtiene una puntuación de 100 en la sumatoria de cada una.

Categoría de respuesta a la variable estimativa: Calidad del agua

Categoría de respuesta	Ponderación	Calificación experto
Muy mala	0	
Mala	10	
Regular	20	
Buena	30	
Muy Buena	40	

Categoría de respuesta a la variable estimativa: Variación caudal invierno/verano

Categoría de respuesta	Ponderación	Calificación experto
Muy mala	0	
Mala	10	
Regular	20	
Buena	30	
Muy Buena	40	

Categoría de respuesta a la variable estimativa: Uso del agua

Categoría de respuesta	Ponderación	Calificación experto
Doméstico: Máximo 15 puntos		
Uso de agua superior de 50% para abastecimiento doméstico	15	
Uso de agua superior de 30% para abastecimiento doméstico	8	
Uso de agua inferior a 30% para abastecimiento doméstico	4	
Desarrollo agrícola: Máximo 5 puntos		
Uso de agua inferior a 10% para desarrollo agrícola	5	
Uso de agua entre 10% y 20% para desarrollo agrícola	3	
Uso de agua superior de 20% para desarrollo agrícola	1	
Desarrollo pecuario: Máximo 5 puntos		
Uso de agua inferior a 5% para desarrollo pecuario	5	
Uso de agua entre 5% y 10% para desarrollo pecuario	3	
Uso de agua superior de 15% para desarrollo pecuario	1	
Recreación: Máximo 6 puntos		
Uso de agua inferior a 5% para recreación	6	
Uso de agua superior a 5% para recreación	2	
Industria minera: Máximo 3 puntos		
Uso de agua industria para poca minería de forma sostenible	3	
Uso de agua industria para mucha minería	1	
Industria: Máximo 6 puntos		
Uso de agua industrial inferior a 10%	6	
Uso de agua industrial entre 10 y 30%	3	
Uso de agua industrial superior a 30%	1	

Observaciones:

Componente aproximación a la relación comunidades y el entorno: Tenga en cuenta que las siguientes variables solo tienen una sola opción de calificación, por lo tanto no se obtiene una puntuación de 100 en la sumatoria de cada una

Categoría de respuesta a la variable estimativa: Población en la microcuenca

Categoría de respuesta	Ponderación	Calificación experto
Superior a 1.000.000	0	
Hasta 1.000.000	2	
Hasta 100.000	6	
Hasta 10.000	8	
Menos de 10.000	10	

Categoría de respuesta a la variable estimativa: Descargas industriales detectadas

Categoría de respuesta	Ponderación	Calificación experto
Metales pesado	0	
Ácidos	0	
Material orgánico	0	
Cumpliendo la norma	10	

Categoría de respuesta a la variable estimativa: iniciativas de conservación en la microcuenca

Categoría de respuesta	Ponderación	Calificación experto
Ninguna	0	
Hasta 3	3	
Hasta 5	8	
Hasta 8	12	
Mas de 10	15	

Categoría de respuesta a la variable estimativa: Cobertura poblacional de servicios públicos de acueducto

Categoría de respuesta	Ponderación	Calificación experto
Cuerpo de agua: Máximo 3 puntos		
Provisión por cuerpo de agua directamente inferior a 30% de la población	3	
Provisión por cuerpo de agua directamente entre 30 y 80% de la población	2	
Provisión por cuerpo de agua directamente superior a 80% de la población	1	
Servicio de acueducto: Máximo 4 puntos		
Provisión de acueducto superior al 80% de la población	4	
Provisión de acueducto entre el 30 y 80% de la población	2	
Provisión de acueducto inferior al 30% de la población	1	
Categoría de respuesta	Ponderación	Calificación experto
Agua subterránea: Máximo 3 puntos		
Provisión por agua subterránea superior al 50%	3	
Provisión por agua subterránea inferior al 50%	1	

Categoría de respuesta a la variable estimativa: Cobertura poblacional servicio de alcantarillado

Categoría de respuesta	Ponderación	Calificación experto
Alcantarillado: Máximo 6 puntos		
Servicio de alcantarillado conectado a PTAR en un 100%	6	
Servicio de alcantarillado conectado a PTAR superior al 60%	4	
Servicio de alcantarillado conectado a PTAR entre 20 y 60%	2	
Servicio de alcantarillado conectado a PTAR inferior al 20%	0	
Pozo séptico: Máximo 4 puntos		
Con pozo séptico en un 100%	4	
Con pozo séptico en un superior a 60%	2	
Con pozo séptico entre 30 y 60%	1	
Con pozo séptico inferior a 30%	0	

Categoría de respuesta a la variable estimativa: Manejo de residuos sólidos en la microcuencia

Categoría de respuesta	Ponderación	Calificación experto
Abonos orgánicos: Máximo 5 puntos		
Aprovechamiento de residuos orgánicos en abonos de más del 80% de la población	5	
Aprovechamiento de residuos orgánicos en abonos entre el 30 y el 80% de la población	2	
Aprovechamiento de residuos orgánicos en abonos inferior al 30% de la población	0	
Categoría de respuesta		
Reciclaje: Máximo 5 puntos		
Aprovechamiento de residuos reciclables superior al 80% de la población	5	
Aprovechamiento de residuos reciclables entre el 30 y 80% de la población	2	
Aprovechamiento de residuos reciclables inferior al 30 % de la población	0	
Recolección de basuras: Máximo 5 puntos		
Recolección de basuras para envío a relleno sanitario superior al 80%	5	
Recolección de basuras para envío a relleno sanitario entre el 30 y el 80%	2	
Recolección de basuras para envío a relleno sanitario inferior al 30%	0	
Entierro y/o quema: Máximo 2 puntos		
Entierro y/o quemas de basura inferior al 10% de la población	2	
Entierro y/o quemas de basura entre el 10 y 40% de la población	1	
Entierro y/o quemas de basura superior al 40% de la población	0	

Categoría de respuesta a la variable estimativa: presencia de agro ecoturismo sostenible

Categoría de respuesta	Ponderación	Calificación experto
Ninguna	0	
Poca	3	
Moderada	8	
Alta	12	
Muy alta	15	

Variable estimativa: Encuesta a líderes de la zona. 20 puntos

Observaciones:

Componente aproximación a la regulación climática: Tenga en cuenta que las siguientes variables solo tienen una sola opción de calificación, por lo tanto no se obtiene una puntuación de 100 en la sumatoria de cada una.

Categoría de respuesta a la variable estimativa: Incidencia de sequía anual

Categoría de respuesta	Ponderación	Calificación experto
Muy frecuentes	0	
Frecuentes	8	
Moderados	12	
Raros	20	

Categoría de respuesta a la variable estimativa: Incidencia de deslizamientos anual

Categoría de respuesta	Ponderación	Calificación experto
Muy frecuentes	0	
Frecuentes	9	
Moderados	21	
Raros	30	

Categoría de respuesta a la variable estimativa: Incidencia de inundaciones anual

Variable	Estimado	Calificación experto
Muy frecuentes	0	
Frecuentes	9	
Moderados	21	
Raros	30	

Categoría de respuesta a la variable estimativa: Incidencia de incendios anuales

Categoría de respuesta	Ponderación	Calificación experto
Superior a 10	0	
Hasta 10	6	
Hasta 5	12	
Hasta 3	15	
Ninguno	20	

Observaciones:

PARTE 4: ENCUESTA LIDERES DE LA ZONA

Para esta parte por favor observe las puntuaciones otorgadas a cada variable y si desea sugerir un cambio en la evaluación colóquela en el mismo recuadro. Tenga en cuenta que las siguientes variables solo tienen una sola opción de calificación, por lo tanto no se obtiene una puntuación de 100 en la sumatoria de cada una.

Recurso Agua: 30 puntos	Ha aumentado	Esta igual	Ha disminuido	No hay
En los últimos 5 años el consumo de agua para la población	1	2	4	0
En los últimos 5 años el consumo de agua para riego	1	2	4	0
En los últimos 5 años el consumo de agua para animales	1	2	4	0
En los últimos 5 años el consumo de agua para la industria	1	2	3	0
En los últimos 5 años el consumo de agua para la minería	1	2	3	0
La cantidad de agua que provee la microcuenca	4	3	2	0
El color turbio del agua que provee la microcuenca	0	2	3	4
Los malos olores en la microcuenca	0	2	3	4
Recurso Suelo: 30 puntos	Ha aumentado	Esta igual	Ha disminuido	No hay
Las siembras agrícolas	1	2	4	0
La explotación pecuaria (ganado, cerdo, pollos, etc.)	1	2	4	0
Los bosques y vegetación nativa	1	2	4	0
Los bosques exóticos como pino, eucalipto, etc.	1	2	4	0
La erosión de los suelos	1	2	4	0
Los malos olores provenientes de la industria	1	2	4	0
La industria minera	0	1	2	3
La industria en general sin incluir iniciativas agroecoturísticas	0	1	2	3
Recurso Humano: 40 puntos	Ha aumentado	Esta igual	Ha disminuido	No hay
Con respecto a los últimos 5 años la ejecución de proyectos para la conservación de la cuenca	7	3	1	0
La presencia de instituciones públicas como la CVC, Parques Nacionales Naturales, Univalle, UMATA, Alcaldía, Gobernación, Presidencia, entre otros	7	3	1	0
Los presencia de instituciones privadas que contribuyan al manejo de residuos	7	3	1	0
Los presencia de instituciones privadas que contribuyan al manejo de la microcuenca	7	3	1	0
El establecimiento de asociaciones o fundaciones ambientales de la zona	6	3	1	0
La presencia de Juntas de acueducto en acciones ambientales de la microcuenca	6	3	1	0

Observaciones:

B. Anexo B: Índice ISEMCA en Excel

Este anexo, tiene adjunto un CD que contiene el diseño del índice ISEMCA en Excel, para facilitar el uso de la herramienta propuesta. Para la visualización del este anexo es necesario el uso del computador y tener instalado el software Microsoft office 2010.

Bibliografía

Acosta A., Ríos B., Rieradevall M., Prat N. (2009). Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Revista Limnética*, 28 (1), 25-64.

Alcaldía de Santiago de Cali (2012). Cali en cifras 2011. Recuperado de: <http://planeacion.cali.gov.co>

Alcaldía del Municipio de Cali, Unidad de Asistencia Técnica Municipal Agropecuaria (UMATA), Fundación para la vida en comunidad vivir (Funviviir). (2005). Mapa Social Corregimiento Golondrinas. Santiago de Cali. pp.78

Alcaldía del Municipio de Cali, Unidad de Asistencia Técnica Municipal Agropecuaria (UMATA), Fundación para la vida en comunidad vivir (Funviviir). (2005). Mapa Social Corregimiento Montebello. Santiago de Cali. pp.61

Alcaldía del Municipio de Cali, Unidad de Asistencia Técnica Municipal Agropecuaria (UMATA), Fundación para la vida en comunidad vivir (Funviviir). (2005). Mapa Social Corregimiento La Castilla. Santiago de Cali. pp. 65

Alcaldía del Municipio de Cali, Unidad de Asistencia Técnica Municipal Agropecuaria (UMATA), Fundación para la vida en comunidad vivir (Funviviir). (2005). Mapa Social Corregimiento La Paz. Santiago de Cali. pp.6

Alcaldía del Municipio de Santiago de Cali, Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA), Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), Fundación Ser Social. (2006). Agenda Ambiental de Santiago de Cali. Capítulo 1: Comuna 1. Río Aguacatal. pp. 7-28.

Alcaldía Municipal de Santiago de Cali, Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria (UMATA), Fundación para la vida en comunidad vivir (Funviviir), Parques Nacionales Naturales (PNN). (2008). Informe Final Convenio N. 414626-001 BP 38319 "Conservación y mejoramiento de las condiciones de sostenibilidad de la oferta hídrica en la zona rural del municipio de Santiago de Cali".

Alcaldía del Municipio de Cali, Unidad de Asistencia Técnica Municipal Agropecuaria (UMATA), Fundación para la vida en comunidad vivir (Funviviir). (2008). Guía Turística de la zona rural de Santiago de Cali. pp.67

Alcaldía del Municipio de Cali. (2011). Plan de Desarrollo 2012 – 2015. Corregimiento La Paz Comprometidos con el Desarrollo Local. pp. 75.

Alcaldía del Municipio de Cali. (2011). Plan de Desarrollo 2012 – 2015. Corregimiento de Montebello. Pensando y actuando con honestidad, vamos transformando lo local. pp. 76.

Alcaldía del Municipio de Cali. (2011). Plan de Desarrollo 2012 – 2015. Corregimiento de Golondrinas. “actuando con honestidad, le aportamos al desarrollo local”. pp. 76

Alcaldía Municipio de Cali. (2011). Plan de Desarrollo 2012 – 2015. Corregimiento La Castilla. Todos Participando, por un propósito común. pp. 73

Andrade, A., Navarrete F. (2004) Lineamientos para la aplicación del enfoque ecosistémico a la gestión integral del recurso hídrico. *Serie Manuales de Educación y Capacitación Ambiental. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente - PNUMA - Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Red de Formación Ambiental. 111 pp.*

Arico S., Car, M. (2010). Marco internacional para la evaluación de la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas: resultados de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, implicaciones y nuevas aplicaciones. *Servicios de los ecosistemas y bienestar humano*, 15-26. UNESCO. España

Armenteras D., Morales M. (2010). Capacitación para EAI Volumen 2 Aplicación del enfoque ecosistémico en las Evaluaciones Ambientales Integrales (EAI). *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)*. 60 pp.

Ávila-Foucat V. S. (2007) Los modelos de la economía ecológica: una herramienta metodológica para el estudio de los servicios ambientales. *Gaceta Ecológica número especial Instituto Nacional de Ecología de México*, 84-85, 85-91.

Balvanera P., Cotler H., Aburto O., Aguilar A., Aguilera M., Aluja M., Andrade A., Arroyo I., Ashworth L. Astier M., Ávila P., Bitrán D., Camargo T., Campo J., Cárdenas B., Casas A., Díaz-Fleischer F., Etchevers J. D., Ghillardi A., González-Padilla E., Guevara A., Lazos E., López C., López R., Martínez J., Masera O., Mazarí M., Nadal A., Pérez-Salicrú D., Pérez-Gil R., Quesada M., Ramos-Elorduy J., Robles A., Rodríguez H., Rull J., Suzán G., Vergara C. H., Xolalpa S., Zambrano L., Zarco A. (2009). Estado y tendencias de los servicios ecosistémicos, en *Capital natural de México*, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO, México, pp. 185-245.

Balvanera P., Cotler, H. (2007). Acercamiento al estudio de los Servicios Ecosistémicos. *Gaceta Ecológica número especial*, 84-87, 8-15. Instituto Nacional de Ecología. México.

Blasco J. E., López A., Mengual S. (2010). Validación mediante método Delphi de un cuestionario para conocer las experiencias e interés hacia las Actividades acuáticas con especial atención al windsurf. *Ágora para la EF y el deporte*, 12 (1), 75-96.

Butterworth J., Restrepo I., Domínguez I. C., Corrales S. M. (2006). Caso de estudio Microcuenca de la quebrada El Chocho. *Usos Múltiples del Agua como Estrategia para Enfrentar la Pobreza*. Challenge Program on Water and Food, International Water Management Institute, International Water and Sanitation Centre, Instituto Cinara – Universidad Del Valle, 66 pp.

Carreño, M. (2009). El método Delphi: cuando dos cabezas piensan más que una en el desarrollo de guías de práctica clínica. *Revista Colombiana de Psiquiatría*, 38 (1), 185-193.

Carvajal Y., Quintero M. (2008). Hacia la evaluación de prácticas de adaptación ante La variabilidad y el cambio climático. En: Aldunce P., Neri C., Szlafsztein C. F. (Eds.) Capítulo 6. Tendencias en el uso de indicadores e índices para evaluar la adaptación a la variabilidad y cambio climático (pp 61-72).

Celemín J. P., Velázquez G. A. (2011). Estimación de un índice de calidad ambiental para la Ciudad y Provincia de Buenos Aires. *Journal of Latin American Geography*, 10(1), 1-15.

Chee Y. E. (2004). An ecological perspective on the valuation of ecosystem services. *Biological conservation*, 120, 549–565

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC - Fundación Pachamama. (2011). Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Cali (POMCH). Primera Edición. pp. 209

Czúcz B., Molnár Z., Horváth F., Nagy G. G., Botta-Dukát Z., Török K. (2012). Using the natural capital index framework as a scalable aggregation methodology for regional biodiversity indicators. *Journal for Nature Conservation*, 20, 144-152.

de Groot R. S., Wilson M. A., Boumans R. M. J. (2002) A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 4, 393–408.

Encalada, G., Guhl E. (2010). El Agua de los Andes un recurso clave para el desarrollo e integración de la región. *Secretaría General de la Comunidad Andina*. Perú. 42 p.

Fernández N., Ramírez A., Solano F. (2001). Índices Físicoquímicos de calidad de agua un estudio comparativo. *Conferencia Internacional Usos Múltiples del Agua: Para la vida y Desarrollo sostenible*. pp. 1-9.

Fu B. J., Su C. H., Wei Y. P., Willett I. R., Lu Y. H., Liu G. H. (2011). Double counting in ecosystem services valuation: causes and countermeasures. *Ecol. Res.*, 26, 1-14.

García, W. G. (2003). El Sistema Complejo de la Cuenca Hidrográfica. Versión on line Consultado el 2/10/2012

Gasto, J. (1993). Aproximación Agroecosistémica. *Centro internacional de la papa. El Agroecosistema Andino: Problemas, limitaciones, perspectivas*. CIP, Lima. Anales del Taller Internacional sobre Agroecosistema Andino, Lima, marzo 30-abril 2, 1992. , 31-49.

Gnatzy T., Warth J., von der Gracht H., Darkow I.L. (2011). Validating an innovative real-time Delphi approach - A methodological comparison between real-time and conventional Delphi studies. *Technological Forecasting & Social Change*, 78,1681–1694.

Gordon T., Pease A. (2006). RT Delphi: An efficient, “round-less” almost real time Delphi method. *Technological Forecasting & Social Change*, 73, 321–333.

Guzmán S. L. (2010). Valoración de un sistema productivo agropecuario priorizado y su relación con los Servicios Ecosistémicos en Cuenca del río Otún. *Tesis Magister*. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. 181 p.

Hakanson L., Gallego E., Ríos-Insua S. (2000). The application of the lake ecosystem index in multi-attribute decision analysis in radioecology. *Journal of Environmental Radioactivity*, 49, 319-344.

Harden, C. (2006). Human impacts on headwater fluvial systems in the northern and central Andes. *Geomorphology*, 79, 249–263

Hein L., van Koppen K., de Groot R. S., van Ierland E. C. (2006). Spatial scales, stakeholders and the valuation of ecosystem services. *Ecological Economics*, 57, 209-228.

Heink U., Kowarik I. (2010) What are indicators? On the definition of indicators in ecology and environmental planning. *Ecological Indicators*, 10, 584–593.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM (2010) Guía para la ordenación y manejo de cuencas hidrográficas en Colombia segunda versión. 250 pp.

Landeta J. (2006). Current validity of the Delphi method in social sciences. *Technological Forecasting & Social Change*, 73, 467–482.

Landeta J., Barrutia J., Lertxundi A. (2011). Hybrid Delphi: A methodology to facilitate contribution from experts in professional contexts". *Technological Forecasting & Social Change*, 78, 1629–1641.

Liu S., Constanza R., Farber S., Troy A. (2010). Valuing ecosystem services: Theory, practice, and the need for a transdisciplinary synthesis. *Annals of The New York Academy of Sciences*, 1185, 54-78.

Loaiza Cerón W., Reyes Trujillo A., Carvajal Escobar, Y. (2012). Aplicación del índice de Sostenibilidad del Recurso Hídrico en la Agricultura (ISRHA) para definir estrategias tecnológicas sostenibles en la microcuenca Centella. *Ingeniería y Desarrollo Universidad del Norte*, 30, 160-181.

Marín A. L., Toro L. J., Uribe S. I. (2008). Conectividad estructural del paisaje cafetero en la cuenca alta del río san juan, suroeste antioqueño, Colombia. *Boletín de ciencias de la tierra*, 23, 43 -54.

Marín M. I., Restrepo I. (2004). Metodología para la gestión integrada de la calidad del agua de la microcuenca El Chocho, Santiago de Cali. *Tesis Magister*, Universidad del Valle, Cali, Colombia. 170 p.

Mateos-Ronco A., Server R. J. (2011). Drawing up the official adjustment rules for damage assessment in agricultural insurance: Results of a Delphi survey for fruit crops in Spain. *Technological Forecasting & Social Change*, 78, 1542–1556.

Molina A., Vanacker V., Balthazar V., Mora D., Govers G. (2012). Complex land cover change, water and sediment yield in a degraded Andean environment. *Journal of Hydrology*, 472–473, 25–35.

Molina J. M., Escobar C. M. (2005). La neblina como fuente de agua: Evaluación de su colección en el sur de los Andes colombianos usando mallas de polipropileno. *Avances en Recursos Hídricos*, 12, 33-4.

Ojea E., Martín-Ortega J., Chiabai A. (2013). Defining and classifying ecosystem services for economic valuation: the case of forest water services. *Environmental Science Policy*, 19-20, 1-15.

Onaindia M. (2010). Biodiversidad y Servicios de los Ecosistemas. En: Servicios de los ecosistemas y bienestar humano, 9-14, UNESCO. España.

Post D. M., Doyle M. W., Sabo J. L., Finlay J. C. (2007). The problem of boundaries in defining ecosystems: A potential landmine for uniting geomorphology and ecology. *Geomorphology*, 89, 111–126.

Quetier F., Tapella E., Conti G., Cáceres D., Díaz S. (2007). Servicios Ecosistémicos y actores sociales. Aspectos conceptuales y metodológicos para un estudio interdisciplinario. *Gaceta Ecológica número especial Instituto Nacional de Ecología. De México*, 84-87, 17-26.

Radford K. G., James P. (2013). Changes in the value of ecosystem services along a rural–urban gradient: A case study of Greater Manchester, UK. *Landscape and Urban Planning*, 109, 117-127.

Ramírez, M. C., Cisneros, H. (2006). Andean System of Basins: Watershed Profiles Enhancing Agricultural Water Productivity Through Strategic Research. *Technical Report No.1. CGIAR Challenge Program on Water and Food*. Sri Lanka. 109 p.

Ramos B.C. (2009). Efecto de vertimientos de minas de carbón sobre la entomofauna acuática y calidad del agua en la quebrada el Chocho, (Valle del Cauca, Colombia). *Tesis pregrado*. Universidad del Valle, Colombia. 83 p.

Republica de Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2002). Decreto 1729 de 2002, 28 pp. Colombia

República de Colombia, Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible. (2012). Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE). 128 pp. Colombia

Rodríguez N., Armenteras D., Bernal N.R., Rincón A. (2007). Fundamentos conceptuales de monitoreo y su aplicación en la biodiversidad. En Armenteras D. y Rodríguez N. (Ed.). *Monitoreo de los ecosistemas andinos 1985-2005: Síntesis y perspectivas* (pp. 19-38). Bogotá, D.C. Colombia: Instituto de Investigación Alexander von Humboldt.

Rodríguez J.M., Sánchez J.C. (2012). Aplicación del método Delphi para identificar los factores clave de fidelización entre proveedor y cliente dentro del sector eléctrico. *Revista de ciencia, Tecnología y medio ambiente*, 10, 1- 15.

Rönnbäck P., Kautsky N., Pihl L., Troell M., Söderqvist T., Weenhage H. (2007). Ecosystem Goods and Services from Swedish Coastal Habitats: Identification, Valuation and Implications of ecosystem Shifts. *Ambio*, 36 (7), 1-12

Rutgers M., van Wijnen H. J., Schouten A. J., Mulder C., Kuiten A. M. P., Brussaard L., Breure A. M. (2012). A method to assess ecosystem services developed from soil attributes with stakeholders and data of four arable farms. *Science of Total Environment*, 415, 39-48.

Sánchez D. L., Cruz G. (2007). Marco conceptual para el desarrollo de indicadores de sostenibilidad. *Agron.*, 15 (1), 63-88.

Sauer T. J., Alexander R. B., Brahana J. V., Smith R. A. (2000). Nitrogen in the Environment: Sources, Problems, and Management. Chapter 7. The Importance and Role of Watersheds in the Transport of Nitrogen. Follett R.F. y Hatfield J.L. (Eds.), *Elsevier Science*, 147 -181

Schizas D., Stamou G. (2010). Beyond identity crisis: The challenge of recontextualizing ecosystem delimitation. *Ecological Modelling*, 221, 1630–1635

Shiels D. R. (2010). Implementing landscape indices to predict stream water quality in an agricultural setting: An assessment of the Lake and River Enhancement (LARE) protocol in the Mississinewa River watershed, East-Central Indiana. *Ecological Indicators*, 10, 1102-1110.

Smits S., Sánchez A., Sánchez L. D. (2004). Reconocer la realidad: el uso múltiple de los sistemas de abastecimiento de agua en zonas rurales. *Conferencia Internacional Usos Múltiples del Agua: Para la vida y el Desarrollo Sostenible*, 1-10.

Sierra C. A. (2011). Calidad del agua, Evaluación y diagnóstico. En: L.D. López (Ed.), Capítulo 5. Índices de Calidad de agua (pp. 149-171). Universidad de Medellín. Colombia.

Sirombra M. G., Mesa L. M. (2012). A method for assessing the ecological quality of riparian forests in subtropical Andean streams: QBRy index. *Ecological Indicators*, 20, 324-331.

Srebotnjak T., Carr G., de Sherbinin A., Rickwood C. (2012). A global Water Quality Index and hot-deck imputation of missing data. *Ecological Indicator*, 17, 108-119.

Suárez M. L., Mellado A., Sánchez-Montoya M. M., Vidal-Abarca M. R. (2005). Propuesta de un índice de macrófitos (IM) para evaluar la calidad ecológica de los ríos de la cuenca del Segura. *Limnética*, 24(3-4), 305-318

Suneetha M.S., Rahajoe J. S., Shoyama K., Thapa S., Braimoh A. K., Lu X. (2011). An indicator-based integrated assessment of ecosystem change and human-well-being: Selected case studies from Indonesia, China and Japan. *Ecological Economics*, 70, 2124-2136.

The Millennium Ecosystem Assessment. (2005). Ecosystems and human well-being: current state and trends: findings of the Condition and Trends. En: Hassan R., Scholes R., Ash N. (Ed). The millennium ecosystem assessment series, 1. Estados Unidos.

United States Environmental Protection Agency – EPA. (2005). Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02. User's Guide, Recuperado de: <http://www.epa.gov>.

Universidad del Tolima y Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca-CVC. (2010). Informe ejecutivo. Caracterización de los bosques naturales y zonificación de las

tierras forestales en las Cuencas hidrográficas de los ríos de la cordillera central y occidental del Valle del Cauca. *Informe del estudio Caracterización de los Bosques Naturales y Zonificación de las Tierras Forestales en 36 Cuencas Hidrográficas*. 78 pp.

Universidad del Valle, Proyecto Cali Visión 2036, Alcaldía Municipal de Santiago de Cali. (2009). Tendencias eje desarrollo territorial y medio ambiente. 47 pp.

Varela-Ruiz M., Díaz-Bravo L., García-Durán R. (2012). Descripción y usos del método Delphi en investigaciones del área de la salud. *Inv. Ed. Med.*, 1(2), 90-95.

Velásquez E., Lavelle P., Andrade M. (2007). GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. *Soil Biology & Biochemistry*, 39, 3066–3080.

Vihervaara P., Marjokorpi A., Kumpula T., Walls M., Kamppinen M. (2012). Ecosystem services of fast-growing tree plantations: A case study on integrating social valuations with land-use changes in Uruguay. *Forest Policy and Economics*, 14, 58-68.

Villamarín C., Rieradevall M., Paul M. J., Barbour M. T., Prat N. (2013). A tool to assess the ecological condition of tropical high Andean streams in Ecuador and Peru: The IMEERA index. *Ecological Indicators*, 29, 79-92.

von Haaren C., Kempa D., Vogel K., Rüter S. (2012). Assessing biodiversity on the farm scale as basis for ecosystem service payments. *Journal of Environmental Management*, 113, 40-50.

Wang X., Chen W., Zhang L., Jin D., Lu C. (2010). Estimating the ecosystem service losses from proposed land reclamation projects: A case study in Xiamen. *Ecological Economics*, 69, 2549–2556.

Xu F. L., Zhao Z. Y., Zhan W., Zhao S. S., Dawson R.W., Tao S. (2005). An ecosystem health index methodology (EHIM) for lake ecosystem health assessment. *Ecological Modelling*, 188, 327–339.

Zhang B., Li W., Xie G. (2010). Ecosystem services research in China: Progress and perspective. *Ecological Economics*, 69, 1389-139