

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA
EVALUACIÓN Y SELECCIÓN
DE INDICADORES AMBIENTALES¹
Estudio de Caso: Cuenca de la Quebrada Chachafrito,
Municipio de Rionegro, Antioquia - Colombia**

Luis Fernando Osorio Vélez²; Marcelena Pineda Correa³

RESUMEN

La presente investigación responde principalmente a la necesidad de desarrollar una metodología que permita obtener indicadores para facilitar la toma de decisiones en la gestión ambiental. En su elaboración se contó con el apoyo de la Corporación Autónoma Regional Rionegro – Nare “CORNARE” en Antioquia - Colombia, a través de un convenio suscrito entre esta entidad y los autores.

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo en dos partes: La primera involucra la búsqueda de caminos metodológicos conducentes a la evaluación y selección de indicadores aplicables a cuencas hidrográficas a través de la creación de parámetros que permiten calificar estos indicadores de forma directa; posteriormente se efectúa un tratamiento de tipo estadístico multivariado que conduce a la selección de indicadores de manera racional. Para la aplicación de la metodología, se definen los criterios bajo los cuales pueden ser evaluados los indicadores seleccionados; con estos criterios se construye la matriz que permite visualizar y calificar los indicadores, a partir de rangos y escalas previamente definidos; una vez realizada la evaluación y calificación de la matriz,

¹ Trabajo de Investigación elaborado por ambos autores para optar al título de Magister en Estudios Urbano - Regionales de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

¹ Ingeniero Forestal, M.Sc. Estudios Urbano-Regionales. Consultor. e-mail: luisosorio50@hotmail.com

² Ingeniera Geóloga, M.Sc. Estudios Urbano-Regionales. Consultora. e-mail: nenapine@hotmail.com

se inicia la selección a partir de análisis multivariados.

La segunda parte consiste en la aplicación de la metodología planteada a una muestra de indicadores previamente definidos y a un territorio determinado (cuena de la quebrada Chachafruto, Municipio de Rionegro – Antioquia - Colombia); a partir del listado de la totalidad de los indicadores reportados en la literatura consultada, se analiza la capacidad de los mismos de reflejar la problemática de una cuena, con base en parámetros como contextualización local y pertinencia al tema. Una vez realizada la primera selección, se someten estos indicadores a la calificación matricial y evaluación de resultados mediante análisis multivariado, conducentes a optimizar el número de indicadores ambientales. Posteriormente, para la validación de los indicadores seleccionados, se recopila diversa información temática y se identifican las bases de datos existentes para el territorio elegido, con el fin de analizar la capacidad de la base de datos de alimentar los indicadores seleccionados. Finalmente se identifica la forma en que éstos apoyan los procesos de gestión ambiental institucional.

En el presente estudio se realizaron análisis de tipo racional (no encontrados en la literatura consultada) para la selección de indicadores; esta metodología se constituye en el punto de partida para análisis más detallados con bases científicas, que permitan obtener resultados confiables y certeros, como los que pretende la presente investigación.

Palabras clave: Indicadores; indicadores ambientales; gestión ambiental; cuencas; criterios; rangos y escalas; evaluación matricial; análisis estadístico; análisis multivariado; bases de datos; territorio.

ABSTRACT

METHODOLOGICAL PROPOSAL FOR EVALUATING AND SELECTING ENVIRONMENTAL INDICATORS. Case: Chachafruto Stream Basin, Rionegro, Antioquia - Colombia

The investigation mainly responds to the necessity of developing a methodology that allows to get indicators to make easier the process of making decisions in the environmental administration field.

The elaboration was relied on the support of the Corporación Autónoma Regional Rionegro - Nare "CORNARE" in Antioquia - Colombia, through a subscribed agreement between this entity and the authors.

The development of the investigation was carried out in two parts: The first involves the search of methodological paths for the evaluation and selection of applicable indicators to basins, through the creation of parameters that allow to qualify these indicators in direct form; this is followed by a statistical treatment that allows to select indicators in a rational way. For application purposes, some criteria are defined in a such way that the selected indicators can be evaluated; with these criteria the matrix is constructed; this allows to view and qualify the indicators, starting from ranges and scales previously defined; once the evaluation and qualification matrix are carried out, the selection process is begun from multivariate analysis.

The second part consists in the methodology application expounded to a pattern of indicators previously defined and a determined territory (basin of the Chachafruto stream, Rionegro - Antioquia - Colombia); starting from the listing of the whole reported indicators in the consulted literature, the ability of themselves to reflex the basin problems is analyzed, based on parameters such as local contextualization and focusness of the topic. Once the first selection is done, the indicators are submitted to the qualification and evaluation matrix and its results are analyzed by multivariate analysis, in order to condense the environmental indicators to be used. Subsequently, for the evaluation of selected indicators, it is necessary to compile diverse thematic information and to identify the existent data bases for the select territory, in order to analyze the data bases capacity to support the selected indicators. Finally, the way of this indicators support the institutional environmental administration processes is identify.

In the investigation, rational type analysis (not found in the consulted literature) was applied for the indicators selection; this methodology becomes to the first step for more detailed analysis in a scientific basis, allowing to obtain accurate and reliable results, as the ones that this investigation pretends to obtain.

Key words: Indicators; environmental indicators; environmental administration; basins; criteria; ranges and scales; matrix evaluation; statistical analysis; multivariate analysis; data bases; territory.

INTRODUCCION

En el ámbito ambiental existen muchos indicadores propuestos, algunos sin análisis rigurosos que permitan determinar con certeza su relevancia y aplicabilidad, por lo que ellos en muchos casos no se ciñen a un marco conceptual y a una base científica confiable, generando confusión entre indicadores y datos; el alto costo

para su obtención no es compensado con los resultados de ellos.

Además, las diferentes metodologías propuestas para la selección de indicadores (SIDES 1997 Costa Rica; UNEP 1995 y 1996 con el modelo Presión – Estado – Respuesta; CIAT 1998 para América Central, entre otras) no plantean ningún tipo de valoración o calificación de

critérios (p.e creación de rangos y escalas para valorar los criterios, análisis matricial), lo que conduce a generar un sistema de clasificación y tipificación de indicadores, en lugar de una verdadera metodología de selección.

Existen diversos criterios que permiten garantizar la confiabilidad de la base de datos y su capacidad de apoyar la construcción de indicadores; en este sentido, los sistemas de medición son el

Con referencia a la relación de los indicadores con los procesos de planificación y ordenación, es importante que éstos sean capaces de reflejar situaciones específicas y apoyen verdaderamente la evaluación de los planes de monitoreo y seguimiento en los procesos de gestión ambiental del territorio, aún en casos que impliquen variación en las condiciones existentes. Finalmente, es fundamental que el proceso de construcción de indicadores conlleve a facilitar su utilización, es decir, a su operatividad y aplicabilidad; por este motivo, debe garantizarse su capacidad de brindar elementos para la toma de decisiones.

El desarrollo de la investigación se lleva a cabo en dos partes divididas en varias etapas y fases, que involucran la búsqueda de caminos metodológicos conducentes a la evaluación y selección de indicadores ambientales aplicables a territorios específicos, con base en la

pilar fundamental, ya que de su correcta aplicación y de la adecuada frecuencia de muestreo depende la calidad de los datos a obtener. Así mismo, esta calidad determina su validez científica. Por otra parte, los sistemas de medición deben tener una adecuada relación costo/eficiencia de obtención, para permitir así su apropiación y disponibilidad.

recopilación y análisis de información existente para la zona de interés:

PARTE I. PROPUESTA METODOLÓGICA

ETAPA 1: Definición de parámetros para la evaluación de indicadores

Definición de Criterios
Definición de Rangos y Escalas para los Criterios
Calificación Matricial

ETAPA 2: Análisis de la matriz y selección de indicadores. Evaluación de la Matriz a partir de Análisis Multivariado SYN-TAX 5.0 (Podani, 1993).

PARTE II. APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA PARA LA SELEC-CIÓN DE INDICADORES EN UN AREA DE ESTUDIO ESPECIFICA.

FASE I. Recopilación y análisis de

información secundaria. Inicialmente, para la aplicación de la metodología se acopia la información básica existente relacionada con indicadores ambientales; esta búsqueda se apoya principalmente en la información encontrada en diferentes entidades ambientales, bibliotecas universitarias e INTERNET. Así mismo, se recopilan y analizan los indicadores ambientales utilizados en las entidades públicas y privadas (CORNARE, MASORA, EEPPM) que tengan relación con el área de estudio.

FASE 2. Recopilación y selección de indicadores. En esta fase se realiza un proceso de recopilación de indicadores ambientales básicos en el manejo y

Proponer una metodología que permita evaluar y seleccionar indicadores, con el fin de avanzar en los procesos de monitoreo y seguimiento de planes y programas ambientales dirigidos al manejo y conservación de cuencas hidrográficas.

DESARROLLO

PARTE I. PROPUESTA METODOLÓGICA.

A continuación se describe de manera detallada cada una de las etapas planteadas.

ETAPA 1. Definición de parámetros para la evaluación de indicadores.

conservación de cuencas.

FASE 3. Aplicación de los indicadores seleccionados al área de estudio (cuenca de la quebrada Chachafruto). En esta fase se pretende determinar la relación entre los indicadores seleccionados y la base de datos correspondiente al área de estudio (cuenca de la quebrada Chachafruto), analizando su capacidad de apoyar los indicadores, a partir de la caracterización y evaluación de los diversos datos encontrados.

OBJETIVO

Definición de criterios: Consiste en recopilar algunos elementos que permiten definir los criterios bajo los cuales pueden ser evaluados los indicadores seleccionados (CIAT – UNEP, 1995); estos criterios son clasificados de acuerdo con:

- La confiabilidad de los datos.
- La relación con los problemas.
- La utilidad para el usuario.

A cada uno de los criterios (Tabla 1) se le otorga una definición, de acuerdo con lo planteado en la literatura consultada, así:

Validez Científica: Posee soporte documental adecuado y suficiente para determinar su calidad, de tal manera que

se pueda comprobar objetivamente.

Medición: Los datos deben ser medibles por medio de métodos y equipos correctos, confiables, oportunos y precisos; además debe contarse con personal calificado que diseñe, desarrolle e implemente el sistema de medición.

Disponibilidad: Los datos necesarios existen y son accesibles para diversos usos y usuarios; su grado de actualización es aceptable.

Costo/Eficiencia de obtención: La mayor cantidad de datos puede ser ubicada y obtenida de manera rápida y a costo razonable.

Conveniencia de escalas: Refleja condiciones y cambios a escalas espaciales y temporales apropiadas al tema y necesidad.

Retrospectivo: Capaz de definir variabilidad y tendencias según comportamiento histórico.

Definición de rangos y escalas para los criterios: A los criterios previamente definidos se les asigna una calificación y valoración de acuerdo con rangos y esca-

Cobertura geográfica: Aplicable a nivel local, regional o nacional, siempre que las condiciones biofísicas y socioeconómicas no presenten variaciones que signifiquen alteración importante en los análisis.

Especificidad: Responde a cuestiones de detalle, reflejando comportamientos específicos del sistema; debe guardar correspondencia con la naturaleza del proceso evaluado, y con los programas y proyectos planteados para la zona.

Aplicabilidad: Puede ser utilizado en diversas situaciones, tiempos y contextos.

Comprensibilidad: Es (o puede ser convertido a un formato) que sea accesible a diferentes grados de conocimiento de los usuarios.

las (Tabla 1); para la definición de rangos se asignaron varios niveles de alternativas, que van desde las condiciones óptimas hasta las más inadecuadas de cada criterio.

Las escalas son definidas con valores descendentes, donde el mayor valor corresponde a las condiciones óptimas.

Tabla 1. Definición de Rangos y Escalas para los Criterios.

CRITERIO	RANGO	ESCALA
VALIDEZ CIENTÍFICA	Existen varios métodos científicos para comprobar el indicador	5
	Existe un solo método	3
	No existe ningún método científico para comprobar el indicador	1
MEDICIÓN	Claro nivel de referencia; bajo o nulo margen de error	4
	Claro nivel de referencia; alto margen de error	3

	Nivel de referencia relativo; bajo margen de error	2
	Nivel de referencia no es claro, o no es posible asignarlo	1
DISPONIBILIDAD DE DATOS	Datos necesarios existen y están disponibles	4
	Datos necesarios existen pero no están disponibles	3
	Datos necesarios no existen pero sí insumos para construirlos	2
	Datos necesarios no existen y no hay posibilidad de construirlos	1
COSTO/EFICIENCIA DE OBTENCIÓN	Datos necesarios se obtienen rápidamente y a bajo costo	5
	Datos necesarios se obtienen rápidamente pero a alto costo	4
	Datos necesarios se obtienen mediante trámites a bajo costo	3
CONVENIENCIA DE ESCALAS	Datos necesarios se obtienen mediante trámites a alto costo	2
	La escala es apropiada al tema y necesidad	3
	La escala no corresponde a la del problema, pero puede efectuarse su análisis con cierto grado de error	2
	La escala no corresponde a la del problema	1
COBERTURA GEOGRÁFICA	Aplicable en cuencas	3
	Aplicable en subcuencas	2
	Aplicable en microcuencas	1
ESPECIFICIDAD	Responde a un problema o situación específica de cuencas	5
	Complementa o contribuye a complementar análisis	3
	No es específico para un problema o situación de cuencas	1
APLICABILIDAD	Aplicable a otros temas además de manejo de cuencas	3
	Aplicable sólo al tema de manejo de cuencas	1
COMPRESIBILIDAD	Comprensible por cualquier persona, con o sin capacitación	5
	Comprensible por técnicos con capacitación media	3
	Su significado sólo es comprensible por personal especializado	1
RETROSPECTIVO	Existe un comportamiento (registro) histórico que permite definir posibles variaciones y tendencias	3
	No se tienen registros históricos que permitan visualizar posibles variaciones y tendencias	1

Calificación Matricial: Una vez definidos los parámetros para la evaluación de indicadores, se construye una matriz de diez (10) columnas (criterios) por n filas (indicadores); esta matriz permite calificar de forma directa los indicadores propuestos para el análisis que se requiera (Tabla 3). La calificación consiste en darle un valor a los indicadores de acuerdo con los rangos y escalas definidos para cada uno de los criterios de la matriz.

Es importante anotar que la calificación obtenida, está sujeta a la apreciación particular y subjetiva del calificador de la matriz, por lo cual la calificación debe ser

realizada por personas idóneas. Además, debe tener conocimientos suficientes de la base de datos correspondiente a la zona que se analiza.

ETAPA 2. Análisis de la Matriz y Selección de Indicadores. Los resultados de la matriz poseen cierta particularidad al ser obtenidos mediante una calificación con variables nominales; además del tamaño de la misma, esta situación determina un tratamiento estadístico más complejo a través de análisis multivariados.

El programa estadístico SYN - TAX versión 5.0 es utilizado en la actualidad para el análisis de datos, principalmente en las áreas de Ecología; este programa es útil para explorar la estructura de las bases de datos y resumir la información de una forma conveniente. Para efectos del presente estudio, el SYN - TAX cuenta con dos métodos de análisis (Clasificación y Ordenación) que permiten trabajar con variables nominales, para realizar agrupamientos, eliminación y/o fusión de variables (a través de Agrupamientos Jerárquicos y No Jerárquicos, Análisis de Correspondencia y Escalamiento Métrico Multidimensional, entre otros), y generar una síntesis con los modelos más adecuados producidos por dichos métodos, siendo la base para la definición de los indicadores más significativos y de mejor desempeño.

PARTE II. APLICACIÓN METODOLÓGICA PARA LA SELECCIÓN DE INDICADORES EN UN AREA DE ESTUDIO ESPECÍFICA

Con el fin de evaluar el comportamiento y los resultados de la **FASE 2. Recopilación y Selección de Indicadores.** En esta fase se realiza un proceso de recopilación de indicadores ambientales básicos en el manejo y conservación de cuencas; de esta búsqueda se obtuvo una muestra aproximada de 292 indicadores reportados en la literatura actual.

metodología propuesta para la selección de indicadores, se determinó un territorio específico (cuenca de la quebrada Chachafruto, municipio de Rionegro, Antioquia - Colombia) y una muestra preliminar de indicadores ambientales utilizados en la actualidad. A continuación se describen las fases desarrolladas para la aplicación de la metodología.

FASE 1. Recopilación y Análisis de Información Secundaria. En esta fase se hace una caracterización del área objeto de estudio y se realiza un inventario de la base de datos existente, con el fin de determinar la disponibilidad de datos, criterio básico en la calificación de la matriz.

Selección Preliminar de Indicadores: Esta selección se realiza con el fin de ajustar la muestra inicial a unas condiciones tales que permitan realizar la aplicación de la metodología al territorio elegido, disminuyendo el tamaño de la matriz. Para esta selección se parte de la

muestra inicial de 292 indicadores, a los cuales se aplican parámetros como contextualización local y pertinencia al tema, y así analizar su capacidad de reflejar la problemática ambiental de una cuenca o territorio.

- Contextualización local: Hace referencia a las condiciones latitudinales; específicamente se tienen en cuenta los indicadores con aplicabilidad a latitudes tropicales (Colombia).
- Pertinencia al tema: Tiene relación con los indicadores que tratan sobre el ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas, y particularmente con el abastecimiento de agua para el consumo humano.

En la Tabla 2 se recopilan 81 indicadores seleccionados a partir del análisis de la muestra inicial (292), con base en los parámetros anteriores. Estos indicadores se someten posteriormente al método de calificación propuesto.

Tabla 2. Selección Preliminar de Indicadores. Numeración y abreviaturas de los indicadores para su análisis estadístico.

INDICADOR	Número	Abreviatura
Población en la cuenca	1	Pobcu
Menores en fuerza de trabajo	2	Mentrb
Generación de empleo verde permanente	3	Empver
Industrias/empresas creadas en el último año	4	Indemp
Desempleo	5	Desem
PIB en educación	6	Pibed
Deserción escolar	7	Deser
Analfabetismo	8	Analf
Cobertura en educación	9	Cobed
Estudiantes que acceden a secundaria	10	Estsec
Cobertura en programas preventivos (promotores salud)	11	Cobprev
PIB en salud	12	Pibsal
Morbilidad por enfermedades de origen ambiental	13	Morbi
Población con NBI	14	Nbi
Población en miseria	15	Mise
Población con acceso a energía eléctrica	16	Pobee
Docentes capacitados con evaluación positiva o bien calificados	17	Doce
Escuelas ordenadas ambientalmente con labores ambientales permanentes	18	Escor
Legalidad en predios	19	Legal

Area en conflicto de uso	20	Confli
Area afectada por erosión	21	Eros
Recuperación de áreas erosionadas	22	Recu

Continuación Tabla 2....

INDICADOR	Número	Abreviatura
Pérdida de suelo	23	Persu
Pérdida de nutrientes	24	Pernu
Áreas degradadas por uso intensivo del suelo	25	Degra
Áreas reincorporadas al uso productivo	26	Rein
Área afectada por desastres	27	Adesas
Recuperación de áreas afectadas por desastres	28	Recudes
Población afectada por desastres	29	Pobdes
Población reubicada	30	Reubi
Población capacitada en prevención y atención de desastres	31	Capades
Emisión por actividad de material particulado	32	Matpar
Emisión por actividad de CO ₂ , CO	33	Co
Niveles de ruido	34	Ruido
Población afectada por ruido	35	Pobrui
Rendimientos por cultivo	36	Rencu
Ampliación frontera agropecuaria	37	Froagro
Producción pecuaria	38	Pecu
Mejoramiento de pastos	39	Pasto
Producción piscícola	40	Pisci
Convenios y proyectos de producción limpia	41	Limpia
Inversión ambiental como % del PIB	42	Pibam
Deforestación anual	43	Defo
% de bosque en la cuenca	44	Boscu
Área en bosque natural legalmente protegido	45	Bosnat
Reforestación anual	46	Refoan
Área del Municipio para protección	47	Prote
Pérdida anual de áreas naturales y en regeneración	48	Perdi
Índice de diversidad	49	Indive
Especies endémicas	50	Ende
Producción minera	51	Mina
Área degradada por actividad minera	52	Aremín
Oferta de agua per cápita	53	Ofagua
Caudal cauce principal	54	Cauce
DBO	55	Dbo
DQO	56	Dqo
Coliformes totales	57	Colit
Coliformes fecales	58	Colif
Sólidos totales	59	Soto
Sólidos suspendidos	60	Sosus
Ph	61	Ph
Turbiedad	62	Turb
Color	63	Color
Alcalinidad	64	Alca
Dureza	65	Dure
Nitritos	66	Nitri

P total	67	Ptot
Carga orgánica promedio	68	Corg
Población con acceso a agua tratada	69	Pobat
Población con acceso a disposición de aguas residuales	70	Pobar
Cobertura en tratamiento de aguas residuales	71	Cobtar
Recuperación de residuos sólidos	72	Recrs

Continuación Tabla 2....

INDICADOR	Número	Abreviatura
Eficiencia en la disposición de residuos sólidos	73	Efidis
Eficiencia en la recolección de residuos sólidos	74	Efirec
Nivel académico y profesional del personal dedicado a proyectos en la cuenca	75	Acade
Apoyo técnico institucional en cuencas	76	Apoyo
Tasa bruta de participación	77	Parti
Formulación y ejecución de propuestas por comunidades organizadas	78	Formu
Manejo de reservas por comunidad rural	79	Rescr
Ejecución de convenios	80	Conve
Formulación con monitoreo y seguimiento	81	Monseg

Calificación Matricial: Una vez preseleccionados los indicadores, se obtiene una matriz de 10 columnas por 81 filas (Tabla 3), en la cual cada indicador es calificado con base en los rangos y escalas definidos en la metodología propuesta (Tabla 1). Es importante resaltar la necesidad de que los indicadores sean calificados por personal idóneo, con conocimiento previo de la base de datos del territorio objeto de análisis. La Tabla 3 ilustra un segmento de la matriz completa.

Análisis de los métodos utilizados para evaluación y selección de indicadores:

En el caso de los indicadores, estos métodos generaron 25 tipos de agrupamientos, los cuales se distribuyen de forma similar, dándole una mayor consistencia al análisis estadístico. La selección de los modelos más adecuados parte de la definición de dos grupos

claramente identificados en cada modelo (físico - biótico y socioeconómico - gestión); además se evaluó la similitud de las fusiones encontradas en cada uno de ellos. Para efectos de procedimiento, sólo se presentarán las alternativas más representativas.

En los análisis no jerárquicos puede observarse una distribución de los indicadores en un grupo físico - biótico claramente marcado, y dos grupos más donde se combina la temática socio - económica con la gestión, dificultando la separación de las dos últimas temáticas (Tabla 4). Dicho análisis se complementa con la metodología de agrupamiento jerárquico, en la cual los resultados obtenidos en los dendrogramas teniendo en cuenta las distancias al eje horizontal, muestran una tendencia a conformar dos grupos similares a los encontrados en el agrupamiento no

jerárquico. Además de agrupar, el método jerárquico puede fusionar dos o más variables por presentar cierta colinealidad o igual significancia; en este caso se obtuvieron 25 fusiones para el Agrupamiento Jerárquico utilizando Homogenización - Optimización, y 15 fusiones con el Radio Mínimo (Figura 1);

a partir de las fusiones se realizó la selección de los indicadores más representativos o la integración de éstos en un nuevo indicador, como en el caso de los parámetros fisicoquímicos para el agua, donde las diferentes alternativas coinciden en su fusión.

Tabla 3. Matriz de calificación de indicadores

INDICADOR	CRITERIO	Confiabilidad de los datos			Relación con los problemas			Utilidad para el usuario		
	Validez científica	Medición	Disponibilidad	Costo/Eficiencia de Obtención	Conveniencia de escalas	Cobertura geográfica	Especificidad	Aplicabilidad	Comprensibilidad	Retrospectivo
Población en la cuenca	5	2	2	3	3	3	5	3	5	3
Menores en fuerza de trabajo	3	2	2	3	2	3	3	3	5	3
Generación de empleo verde permanente	3	1	2	3	3	3	5	3	5	1
Industrias/empresas creadas en el último año	3	2	4	5	3	3	3	3	5	3
Desempleo	3	2	2	3	2	3	3	3	5	3
PIB en educación	3	2	4	3	2	3	3	3	3	3
Deserción escolar	3	4	4	3	2	3	3	3	5	3
Analfabetismo	3	3	2	3	2	3	3	3	5	3
Cobertura en educación	3	4	4	5	2	3	3	3	5	3
Estudiantes que acceden a secundaria	3	4	4	5	2	3	3	3	5	3
Cobertura en programas preventivos (promotores salud)	3	2	4	5	3	3	3	3	5	3
PIB en salud	3	2	4	3	2	3	3	3	3	3
Morbilidad por enfermedades de origen ambiental	3	2	2	3	2	3	3	3	3	3
Población con NBI	3	3	2	3	2	3	3	3	3	3
Población en miseria	3	3	2	3	2	3	3	3	5	3
Población con acceso a energía eléctrica	3	4	4	5	2	3	3	3	5	3
Docentes capacitados con evaluación positiva o bien calificados	3	2	2	3	2	3	3	3	3	1
Escuelas ordenadas ambientalmente con labores ambientales permanentes	3	4	4	5	3	3	5	1	3	1
Legalidad en predios	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3

Tabla 4. Agrupamiento no jerárquico por optimización global utilizando disimilaridad por distancia.

CLUSTER 1	CLUSTER 2	CLUSTER 3
Indemp	Pobcu	Confli
Pobee	Analf	Pobdes
Reubi	Doce	Pasto
Refoan	Rencu	Ende
Formu	Mentrb	DBO
Deser	Pibsal	Sosus
Escor	Persu	Dure
Capades	Pibam	DQO
Prote	Empver	PH
Rescr	Morbi	Nitri
Cobed	Pernu	Colit
Legal	Acade	Turb
Pisci	Desem	Ptot
Pobat	NBI	Colif
Conve	Ruido	Color
Estsec	Parti	Corg
Adesas	Pibed	Soto
Limpia	Mise	Alca
Pobar	Pobru	Efidis
Monseg		Efirec
Cobprev		Matpar
Recudes		CO
Bosnat		Defo
Cobtar		Mina
		Boscu
		Aremin
		Froagro
		Perdi
		Ofagua
		Rein
		Pecu
		Indive
		Cauce
		Recrs
		Apoyo

Además de los análisis anteriores, se aplicó la metodología del Minimum Spanning Tree, que permite ratificar de una manera gráfica el agrupamiento de los indicadores y la relación directa e indirecta entre ellos, a partir del eje principal del árbol (Figura 2).

Figura 2. Minimum Spanning Tree por Distancias

Para ratificar los resultados obtenidos en los anteriores análisis, se utilizó la alternativa de Ordenación, con los métodos de Análisis de Correspondencia y Escalamiento Métrico Multidimensional; éstos, al igual que los anteriores, presentan agrupamientos o distribuciones similares y seleccionan

indicadores no deseados o con problemas de explicabilidad (Figura 3). Es importante resaltar el porcentaje de explicabilidad del modelo, en este caso de 63.27%, muy alto para el tipo de variables utilizadas (Nominales).

Figura 3. Análisis de correspondencia.

Es importante resaltar la consistencia de los datos en los diferentes métodos, pues la mayoría de los análisis presentan agrupamientos y fusiones similares, tanto entre grupos como entre variables, fortaleciendo así la selección de indicadores al eliminar aquellos que son explicados por otros o que simplemente no cumplen su papel como tal.

Selección de los Indicadores.

A partir de la definición de las diferentes fusiones generadas

se realiza un listado del total de fusiones obtenidas; éstas son confrontadas con las variables eliminadas por los métodos utilizados en la alternativa Ordenación. Las variables obtenidas en la intersección por los diferentes métodos, son eliminadas de forma contundente.

De acuerdo con lo anterior, se definen en la Tabla 5 los indicadores que deben ser asumidos para la evaluación de la base de datos de la cuenca Cha-chafrito (cuenca objeto del estudio de caso) y la propuesta de implementación de los indicadores.

Tabla 5. Indicadores seleccionados.

INDICADOR	ABREVIATURA
Desempleo	Desemp
Deserción escolar	Deser
Analfabetismo	Analf
Cobertura en educación	Cobed
Cobertura en programas preventivos	Cobprev
PIB en servicios sociales	Pibcers
Población con acceso a energía eléctrica	Pobee
Escuelas ordenadas ambientalmente con labores ambientales permanentes	Escor
Area en conflicto de uso	Confli
Area afectada por erosión	Eros
Recuperación de áreas erosionadas	Recu
Pérdida de suelo	Persu
Area degradada por uso intensivo de suelo	Degra
Población reubicada	Reubi
Población capacitada en prevención y atención de desastres	Capades
Producción pecuaria	Pecu

Convenios y proyectos de producción limpia	Limpia
Porcentaje de bosque en la cuenca	Boscu
Area del Municipio para protección	Prote
Pérdida anual de áreas naturales y en regeneración	Perdi
Índice de diversidad	Indive
Producción minera	Mina
Caudal cauce principal	Cauce
Índice de calidad del agua	ICA
Cobertura en acueducto	Cobac
Cobertura en saneamiento	Cobsan
Eficiencia en manejo de residuos sólidos	Efirs
Índice de calidad del aire	ICAIRE
Tasa bruta de participación	Parti
Formulación y ejecución de propuestas por comunidades organizadas	Formu
Ejecución de convenios	Conve

FASE 3. Aplicación de los indicadores seleccionados al área de estudio (cuenca de la quebrada Chachafrito).

En esta fase se pretende determinar la relación entre los indicadores seleccionados y la base de datos

Análisis de la base de datos y relación

corres-pondiente al área en estudio (cuenca de la quebrada Chachafrito), analizando su capacidad de apoyar los indicadores, a partir de la caracterización y evaluación de los diversos datos encontrados.

con los indicadores seleccionados. Para

la determinación de la capacidad que posee la base de datos existente, de apoyar a los indicadores seleccionados, se realiza un análisis de diversos aspectos que tienen relación con la naturaleza de los datos, así como con la fuente de éstos. A partir de la definición de estos aspectos para el caso específico de la cuenca de la quebrada Chachafruto, en la Tabla 6 se analiza la disponibilidad de los datos que deben apoyar dichos indicadores. Para el área en estudio se cuenta con una base apropiada para apoyar el sistema de indicadores seleccionados. Sin embargo, gran parte de la información se encuentra dispersa en diversas entidades e instituciones, lo que dificulta su acopio y análisis. En el caso de algunos indicadores (Caudal Cauce Principal, Pérdida de Suelo, Áreas Degradadas por Uso Intensivo, Índice de Calidad de Agua, Índice de Calidad de Aire, Índice

de Diversidad, entre otros), la disponibilidad de datos es parcial, debido a que no cuentan con sitios o métodos de muestreo claramente definidos.

Descripción de indicadores seleccionados y su relación con planes, programas y proyectos institucionales.

A continuación se presenta una descripción de los indicadores seleccionados y su relación con las estrategias, planes, programas y metas contenidos en el Plan de Acción 1998-2000 y Plan de Gestión Ambiental Regional 1998-2006 de la Corporación Autónoma Regional Rionegro - Nare "CORNARE" (Tabla 7). El propósito de esta tabla es identificar los programas institucionales en los cuales se inscriben algunos indicadores seleccionados; a partir de allí pueden diseñarse e implementarse programas de monitoreo y seguimiento, necesarios para la recolección de datos que permitirán su operatividad.

Tabla 6. Disponibilidad de datos para los indicadores seleccionados.

INDICADOR	Variables Relacionadas	Expresión	Fuente	Disponibilidad de datos
Desempleo	Empleo	<u>Población sin empleo</u>	DANE	Parcial (Dptal., Regional)
		<u>Población económicamente activa</u>	SISBEN	
Deserción escolar	Educación	<u># estudiantes que no concluyen ciclo</u>	Núcleo Educativo	Plan Desarrollo POT
		<u>Total estudiantes que inician ciclo</u>		
Analfabetismo	Educación	<u># analfabetas/total población</u>	Núcleo Educativo	Plan Desarrollo POT
Cobertura en educación	Educación	<u># estudiantes/total población en edad escolar</u>	Núcleo Educativo	Plan Desarrollo POT

Continuación Tabla 6

INDICADOR	Variables Relacionadas	Expresión	Fuente	Disponibilidad de datos
Cobertura en programas preventivos (promotores salud)	Salud	<u># promotores salud/total población</u>	Hospital	Plan Desarrollo POT
PIB en servicios sociales	Salud	<u>Inversión en salud/total población</u>	Admón. Mpal.	Plan Desarrollo POT
Población con acceso a energía eléctrica	Calidad de vida	<u># viviendas con acceso a electricidad/total</u>	EADE SISBEN	Plan Desarrollo POT

Escuelas ordenadas ambientalmente con labores ambientales permanentes	Educación ambiental	viviendas <u>Escuelas ordenadas ambientalmente</u> Total escuelas	UGAM CORNARE	Informes de gestión
Area en conflicto de uso	Uso y tenencia de la tierra	Area en conflicto de uso/área total	UGAM CORNARE	Mapa conflictos de usos POT Mapas uso actual y potencial
Area afectada por erosión	Suelo	Area afectada por erosión/área total	UGAM CORNARE	Fotos aéreas Mapa uso actual
Recuperación de áreas erosionadas	Suelo	Areas estabilizadas/áreas afectadas	UGAM CORNARE	Fotos aéreas de diferentes años
Pérdida de suelo	Suelo	Ton./ha./año	UGAM CORNARE	Parcial (Muestreo tasas retributivas; estudios puntuales)

Tabla 7. Caracterización de los indicadores seleccionados y su relación con planes y programas institucionales.

Indicador	Características	Tipo de indicador	Responsable producción	Meta	Programa Institucional Relacionado
Desempleo		Estado	DANE SISBEN	Reducción	Capacitación Manejo integral de residuos sólidos Planes maestros de acueducto y alcantarillado

Recuperación de zonas y suelos erosionados

Deserción escolar	Estado	Núcleo Educativo	Reducción
Analfabetismo	Estado	Núcleo Educativo	Reducción Capacitación

Continuación Tabla 7....

Indicador	Características	Tipo de indicador	Responsable producción	Meta	Programa Institucional Relacionado
Cobertura en educación		Gestión	Núcleo Educativo	Incremento	Capacitación
Cobertura en programas preventivos (promotores salud)		Gestión	Hospital	Incremento	
PIB en servicios sociales		Gestión	Administración Municipal	Incremento	
Población con acceso a energía eléctrica		Gestión	EADE SISBEN	Incremento	
Escuelas ordenadas ambientalmente con labores ambientales permanentes		Gestión	UGAM CORNARE	Incremento	Cátedra ambiental municipal Educación ambiental en todas las actuaciones ambientales Capacitación
Area en conflicto de uso	Estado		UGAM CORNARE UGAM	Reducción	Caracterización del recurso suelo

Area afectada por erosión	Estado	CORNARE (Fotos aéreas)	Reducción	Caracterización del recurso suelo
Recuperación de áreas erosionadas	Gestión	UGAM CORNARE	Incremento	Caracterización del recurso suelo Recuperación de suelos degradados por erosión
Pérdida de suelo	Estado	UGAM CORNARE	Reducción	Caracterización del recurso suelo

CONCLUSIONES

- El método propuesto permite calificar y seleccionar, de una forma directa y racional los indicadores, apoyado en análisis estadístico multivariado.
- El método propuesto selecciona, a partir de un tamaño de muestra de 81 indicadores preseleccionados, un grupo
- Los indicadores seleccionados a partir del método propuesto, responden a las necesidades y expectativas que surgen en los procesos de gestión ambiental para el manejo y conservación de

de 31 que se ajustan a los diferentes métodos estadísticos de clasificación y ordenación propuestos en la metodología. Estos resultados de cierta forma muestran la colinealidad o explicabilidad entre algunos indicadores, y la falta de solidez conceptual de los mismos.

cuencas; además, se inscriben adecuadamente en las estrategias, programas y proyectos institucionales.

- A pesar de los buenos resultados

obtenidos con este tipo de análisis y de variables nominales (63% de explicabilidad según análisis de correspondencia), es necesario profundizar en el tema, incluyendo la transformación de variables nominales ordinales a binarias, con el fin de lograr mejores resultados.

- A pesar de los diferentes estudios y programas adelantados en la cuenca de la quebrada Chachafruto no se cuenta con una base de datos clara, consistente y actualizada que permita implementar de manera inmediata el sistema de indicadores propuesto, lo que implica desarrollar un proceso de levantamiento y actualización de información que complemente la base de datos requerida. Es necesario entonces fortalecer los métodos de muestreo, así como la periodicidad de los mismos y la coordinación interinstitucional para el acopio de la información por parte de

la entidad responsable del sistema de indicadores seleccionado.

- La relación directa entre indicadores y programas institucionales garantiza la generación de datos requeridos en la operación del sistema de indicadores propuesto, siempre y cuando se cuente con un sistema de seguimiento adecuado para el acopio de la información necesaria.
- Al definir un número adecuado de indicadores, no sólo se hace más ágil y operativa la gestión, sino que también se reduce considerablemente el costo en la obtención de la información y el análisis y eficiencia de la misma.

BIBLIOGRAFÍA

AGUDELO LUNA, Rubén Hernando. Definición de la relación entre el estado de los Indicadores de efectividad y el comportamiento de los procesos corporativos de la

Administración Central Municipal de Medellín. Medellín, 1997. 120p. Trabajo de grado (Ingeniero Administrador). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas.

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. Indicadores de sostenibilidad rural: una visión para América Central. (www.ciat.cgiar.org/indicators/wbank).

_____ y CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE RISARALDA. Desarrollo y uso de ndicadores ambientales para la planificación y la toma de decisiones en la CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL and UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME.

Environmental and sustainability indicators: marco conceptual para el desarrollo y uso de indicadores ambientales y de sustentabilidad para toma de decisiones en Latinoamérica y el Caribe. (www.ciat.cgiar.org/land/indicators/paper.html). 1995

_____ and _____. Potential spatial indicators. (www.ciat.cgiar.org/land/

Corporación Autónoma Regional de Risaralda: marco conceptual y aplicación. Convenio (CARDER CIAT). (www.ciat.cgiar.org/indicators/carder.html) 1996.

_____ y PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE. Indicadores ambientales y de sostenibilidad: una visión para América Latina y el Caribe. (www.ciat.cgiar.org/indicators/proyect.html) 1997.

indicators/indic2.html. 1997.

COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE. Orientación metodológica para medición de variables ambientales. Chile: CONAMA, año. p

CORPORACION AUTONÓMA REGIONAL RIONEGRO-NARE CORNARE. Diagnóstico sanitario Subcuenca La Chachafruto. Rionegro : CORNARE, 1991. 83 p.

_____. Estudio de la oferta hídrica de la Cuenca del Río Negro a nivel de microcuencas: documento de discusión interna. El Santuario: CORNARE, 1990. 16p.

_____. Estudio de variables ambientales de la subregión del oriente antioqueño cercano. Rionegro : CORNARE, 1992. 145 p.

_____. Informe de Actividades. Rionegro: CORNARE, 1991. 40p.

_____. _____. Rionegro : CORNARE, 1990. 58p.

_____. _____. Rionegro: CORNARE, 1989. 60p.

CORPORACION AUTONÓMA REGIONAL RIONEGRO-NARE CORNARE. Rionegro: CORNARE, 1987-1988. 45p.

_____. _____. 1986. 50p.

_____. _____. Rionegro : CORNARE, 1985.

_____. Informe de gestión . Rionegro : CORNARE, 1995.

_____. Informe de gestión . Rionegro : CORNARE, 1994.

_____. Informe de gestión . Rionegro : CORNARE, 1993.

_____. Informe de gestión social y financiera. Rionegro : CORNARE, 1992.

_____. Informe financiero y de inversión social. Rionegro : CORNARE, 1997.

_____. Plan de acción 1998 - 2000. CORNARE, 1998. 65p.

_____. Plan de gestión ambiental Regional 1998 - 2006. El Santuario CORNARE, 1998. 70 p.

_____. Sistema de indicadores de gestión ambiental. El Santuario : CORNARE, 1998. 12 p.

_____. Taller de educación ambiental

dirigido a educadores de las escuelas ubicadas en la Microcuenca Abreo - Malpaso y Chachafruto - Municipio de Rionegro. Rionegro: CORNARE, 1990. 43 p.

CORPORACION AUTONÓMA REGIONAL RIONEGRO-NARE CORNARE. Rionegro: CORNARE, y MASORA (ANTIOQUIA). Convenio para el ordenamiento e intervención de la subregión del altiplano del oriente antioqueño - Pueblos: una interpretación para el ordenamiento concertado de la subregión. El Santuario : CORNARE, 1990. 138p. (Documento Diagnóstico, Síntesis, Fase II).

_____ y SANEAR LTDA. Estudio para el control de erosión de Cárcavas al norte del Aeropuerto José María Córdova: evaluación agronómica. Rionegro: s.n., 1990. 90 p.

_____ y _____. Estudio para el control de erosión de Cárcavas al norte del Aeropuerto José María Córdova: geología y caracterización de problemas erosivos. Rionegro: s.n., 1990. 90p.

_____ y FAL LTDA. Cobertura y uso actual de los suelos de los municipios del altiplano del oriente antioqueño, Santafé de Bogotá D.C.: s.n., 1995. 208 p.

_____ y _____. Estudio para el control de erosión de Cárcavas al norte del Aeropuerto José María Córdova: hidrología y sedimentos. Rionegro: s.n., 1990. 90p.

_____ y _____. Estudio para el control de erosión de Cárcavas al norte del Aeropuerto José María Córdova: informe final. Rionegro: s.n., 1990. 162p.

_____ y UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA. FACULTAD NACIONAL DE SALUD PÚBLICA. Diagnóstico sanitario y estrategias de manejo y protección para las microcuencas que abastecen el acueducto municipal de Rionegro, Medellín. Rionegro: s.n., 1989. 136 p.

_____. Y UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Informe final estudio quebrada La Yarumal. Medellín : CORNARE; 1987. 71 p.

- COSTA RICA. MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN NACIONAL Y POLÍTICA ECONÓMICA. Sistema de indicadores sobre desarrollo sostenible. (www.hs.mideplan.gov.cr.sides) 1997.
- ECOLINK. Ecología del Paisaje . (www.envirolink.org/Ecolink/structur.html).
- EPA. Watershed indicators. (www.epa.gov/surf2/iwi/help.html) 1996.
- ESCUELA DE LIDERAZGO DEMO-CRÁTICO. El diseño de indicadores Corporación SOS Colombia - Viva La Ciudadanía. En: Planificación de proyectos y diseño de indicadores. S.l. : PODION, 1996. 29 p.
- INSTITUTO MI RIO. Impacto de programas socio - ambientales e indicadores de gestión. Medellín : El Instituto, 1998. 144 p.
- INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA (México). DIRECCIÓN GENERAL DE QUINTERO URIBE, Victor Manuel. La Construcción y utilización de los indicadores sociales: una propuesta metodológica. *Err.* Economía. No. 18 (1994); p.68-83.
- GESTIÓN E INFORMACIÓN AMBIEN-TAL . Sistema de indicadores para la evaluación del desempeño ambiental. (www. ine.gov.mx/indicadores/.htm) 1996.
- PODANI, J. Computer programs for multivariate data analysis in ecology and systematics version 5.0: user 's guide. University Budapest, 1993. 104 p.
- _____. Multivariate data analysis in ecology and systematics: a metodological Guide to the SYN-TAX 5.0 package. University Budapest,1994. 315p.
- PROGRAMA INTEGRAL DE MEJORA-MIENTO DE BARRIOS SUBNORMALES - CORPORACIÓN DE VIVIENDA Y DESARROLLO SOCIAL. Diseño e implementación metodológica para el monitoreo y evaluación de los impactos sociales y económicos en los proyectos del sector público. Medellín: PRIMED, 1999. 34 p.

SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE.
Indicadores de gestión institucional. Medellín :
SENA, 1995.