

ANEXOS

ANEXO 1.

1 METODOLOGIA PROPUESTA PARA LA VALORACIÓN DEL POTENCIAL GEOMORFOLÓGICO.

Cada una de las unidades geomorfológicas debe ser evaluada en función una serie de indicadores a los que se le asigna un valor que se encuentra en el rango de 1 a 5 y que permite establecer calificativos de muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto.

Debido a que no todos los indicadores tienen la misma influencia dentro de la valoración, se deben asignar coeficientes de ponderación (pesos), a cada uno de ellos, de manera que índice que muestre el resultado final del potencial permanezca expresado en el rango de 1 a 5 (muy bajo a muy alto).

1.1. POTENCIAL CIENTIFICO Y EDUCATIVO

El potencial científico – educativo es calculado mediante un índice que reúne indicadores como el estado de conservación, el significado, el grado de conocimiento, la singularidad y la diversidad (ver Figura 1). La ecuación matemática que permite calcular el índice del potencial científico - educativo se expresa de la siguiente manera:

$$PGC = (Wc * C) + (Wsg * SG) + (Wk * K) + (Wsi * SI)$$

Donde:

- PGC = Potencial geomorfológico científico-educativo
- W = Peso de cada indicador
- C = Indicador Estado de conservación
- SG = Indicador Significado
- K = Indicador Grado de conocimiento
- SI = Indicador Singularidad

Los indicadores estado de conservación, significado, grado de conocimiento y singularidad se definen de la siguiente manera:

Estado de conservación. (C). Es un indicador de gran influencia en el valor de un sitio de interés, teniendo en cuenta que mide el grado de preservación o de intervención con respecto a las condiciones iniciales en función de la cantidad de acciones humanas que deterioran o eliminan parte de las características del sitio de interés.

Significado. (S). Esta variable involucra la importancia de una unidad geomorfológica con respecto al entorno: sectorial, local, regional, nacional, e internacional.

Singularidad (SI). Hace referencia al grado de rareza de un elemento de interés determinado, en un rango que va desde muy común hasta muy rara.

Grado de conocimiento (K). Evalúa el estado de conocimiento en que se encuentra el elemento de interés, en función de la cantidad y el grado de profundidad de estudios realizados en términos de artículos publicados, y trabajos de tesis ya sea doctorales, maestrías o pregrados.

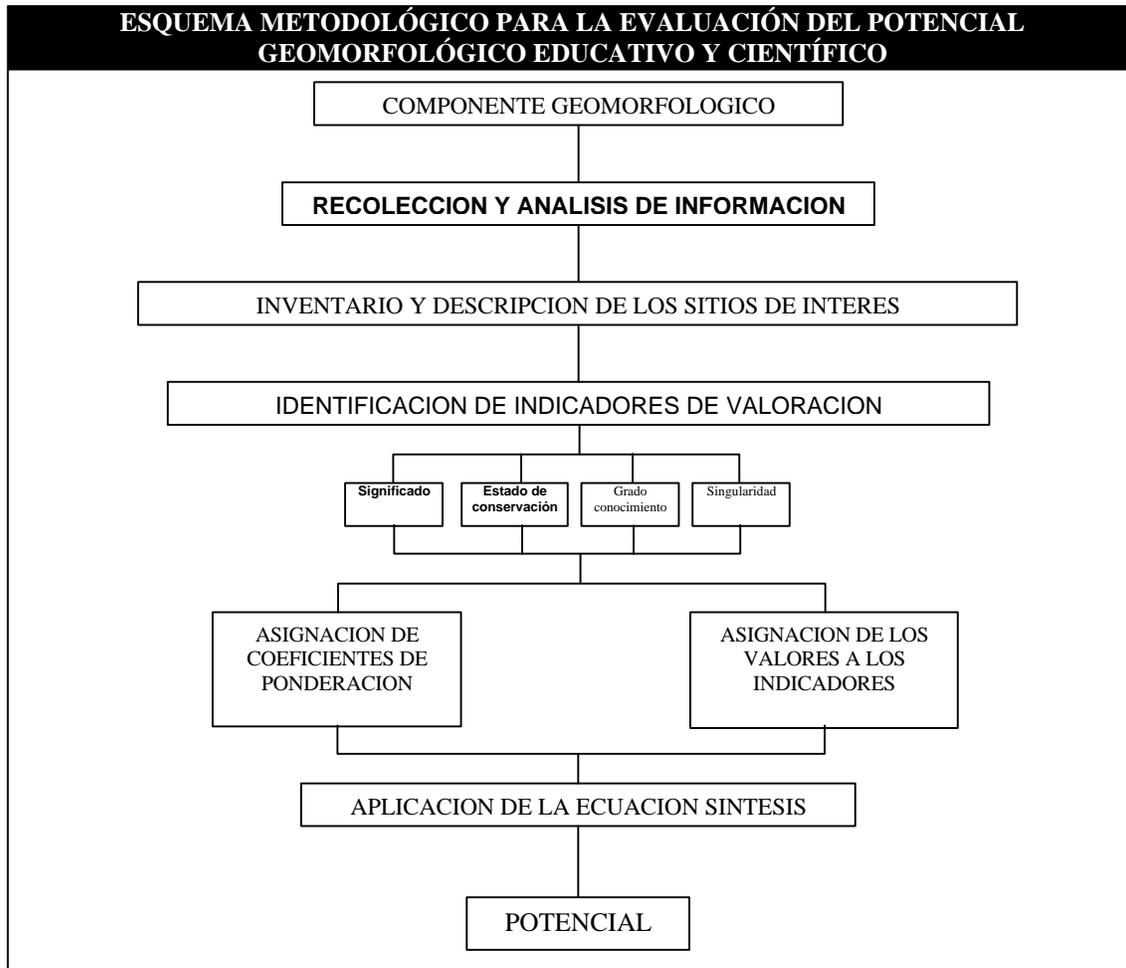


Figura 1. Esquema metodológico para la evaluación del potencial geomorfológico científico-educativo

Cada indicador tiene un valor que es definido de una manera cualitativa, semicuantitativa o cuantitativa. En la Tabla N° 1 se presenta una propuesta de escala valoración para cada uno de los indicadores empleados para determinar el índice del potencial científico – educativo, asignándole de acuerdo a su naturaleza un valor entre 1 y 5.

CUNDINAMARCA
Futuro en marcha

INDICADOR	VALOR				
	1	2	3	4	5
<i>Estado de conservación (C)</i>	Lugar destruido	Numerosas acciones humanas que deterioran el carácter del lugar	Deteriorada por acciones humanas que eliminan parte de las características	Algun deterioro con pérdida de algunos elementos menores	Bien preservada
<i>Significado (SG)</i>	Sectorial	Local	Regional	Nacional	Internacional
<i>Grado de conocimiento (K)</i>	Sin publicaciones	Algunas notas en revistas	Algunos artículos en revistas nacionales	Al menos una tesis de pregrado y/o más de un artículo	Más de una tesis de pregrado y/o postgrado; numerosos artículos
<i>Singularidad (SI)</i>	Muy común	Bastante común	Común	Rara	Muy rara

Tabla N° 1. Valores propuestos para los indicadores utilizados en la evaluación del potencial geomorfológico científico-educativo.

Igualmente a cada indicador se le debe asignar un peso relativo (coeficiente de ponderación w), de acuerdo a su importancia. En la Tabla N°2 se proponen los pesos que se deben considerar en la ecuación para hallar el índice del potencial científico - educativo.

INDICADOR	PESO
Estado de conservación (C)	0.4
Significado (SG)	0.2
Grado de conocimiento (K)	0.2
Singularidad (SI)	0.2

Tabla N° 2. Coeficientes de ponderación propuestos para los indicadores considerados en la valoración del potencial geomorfológico científico-educativo

1.1 POTENCIAL PAISAJISTICO.

Para la determinación del potencial paisajístico se propone utilizar un índice, que considera tanto indicadores de carácter intrínseco (complejidad y contraste del relieve, diversidad, presencia de agua, singularidad y alcance visual) y como extrínsecos (estado de conservación, condiciones para la observación, significado y la existencia de puntos de panorámica). En la figura N° 2 se presenta un esquema general del modo en que se debe evaluar el potencial paisajístico.

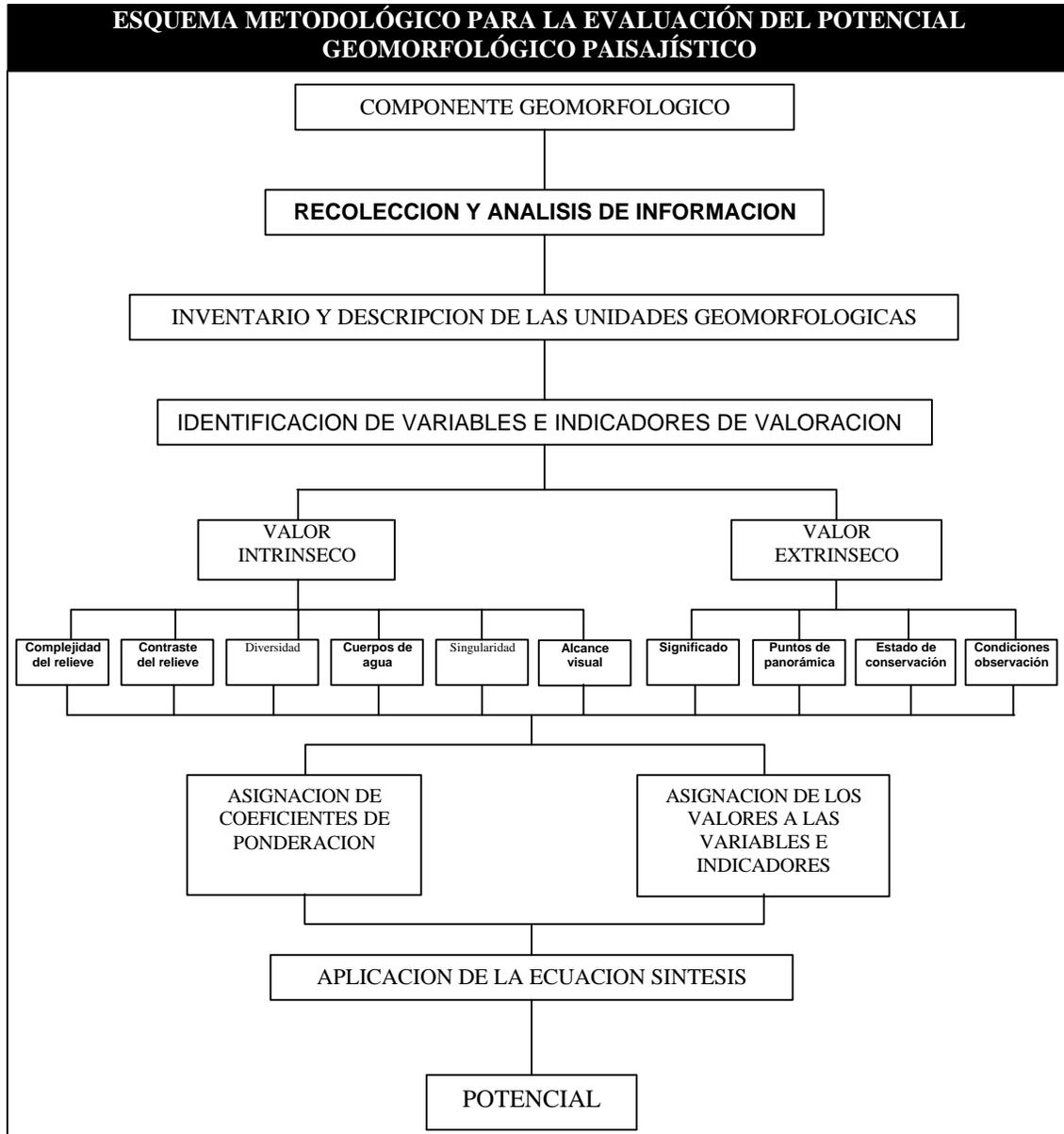


Figura 2. Esquema metodológico para la evaluación del potencial geomorfológico paisajístico

La ecuación para calcular el índice de potencial paisajístico tiene la siguiente expresión:

$$PGP = (WVI*VI) + (WVE*VE)$$

Donde:

CUNDINAMARCA

Futuro en marcha

PGP= Potencial geomorfológico paisajístico

WI= Peso de la variable intrínseca

VI= Valor intrínseco

WE= Peso de la variable extrínseca

VE= Valor extrínseco

A su vez el valor intrínseco y el valor extrínseco se expresan en términos de los indicadores según las ecuaciones:

$$VI = (W_{cpr} \cdot CPR) + (W_{ctr} \cdot CTR) + (W_d \cdot D) + (W_h \cdot H) + (W_{si} \cdot SI) + (W_{av} \cdot AV)$$

$$VE = (W_c \cdot C) + (W_o \cdot O) + (W_{sg} \cdot SG) + (W_{pp} \cdot PP)$$

Donde:

W = Peso de cada indicador

CPR = Indicador Complejidad del relieve

CTR = Indicador Contraste del relieve

D = Indicador Diversidad

H = Indicador presencia de Agua

SI = Indicador Singularidad

AV = Indicador Alcance visual

C = Indicador Estado de conservación

O = Ind. Condiciones para observación

SG = Indicador Significado

PP = Indicador Puntos de panorámica

Los indicadores intrínsecos, es decir, el contraste del relieve, la complejidad del relieve, la diversidad, la presencia de cuerpos de agua, la singularidad y el alcance visual, se definen de la siguiente manera:

Complejidad del relieve (CPR). Definida como el porcentaje de la sumatoria de las áreas de unidades geomorfológicas similares con respecto al área total.

Contraste del relieve (CTR). Es una medida de la energía del relieve que representa los cambios topográficos, expresado en metros y corresponde a la diferencia entre la altura mayor y la menor en la unidad geomorfológica.

Diversidad (D). Este indicador hace referencia a la cantidad de unidades geomorfológicas diferentes en el área.

Presencia de cuerpos de agua (H). Los cuerpos de agua ya sean de tipo lóxico (ríos, quebradas, etc.), o léntico (lagos, lagunas, embalses, etc.), le proporcionan al paisaje un valor agregado. De manera que en éste sentido se evalúa el indicador con respecto a la categoría de la corriente o del cuerpo de agua.

Singularidad (SI). Hace referencia al grado de rareza de una geoforma determinada, en un rango que va desde muy común hasta muy rara.

Alcance visual (AV). Este indicador representa en kilómetros la amplitud escénica de la geoforma hacia el exterior de manera que un mayor alcance visual permite tener acceso a mayor cantidad de características paisajísticas.

Los indicadores que definen el valor extrínseco, es decir, el estado de conservación, las condiciones para observación, cantidad de puntos de panorámica y el significado, se definen de la siguiente manera:

CUNDINAMARCA

Futuro en marcha

Estado de conservación (C). Es uno de los indicadores de mayor influencia en el valor estético de un paisaje, teniendo en cuenta que mide el grado de preservación o de intervención y destrucción humana de las condiciones iniciales en función de la cantidad de acciones humanas que deterioran o eliminan parte de las características del paisaje.

Condiciones para observación (O). Se analiza en ésta variable el grado de obstrucciones visuales (cercas, vegetación, construcciones, etc.), y las limitaciones de acceso por tenencia de la tierra (propiedad pública o privada).

Significado (S). Esta variable involucra la importancia de una unidad geomorfológica con respecto al entorno: sectorial, local, regional, nacional, e internacional.

Puntos de panorámica (PP). Aquí se tiene en cuenta la cantidad de lugares que posee la unidad que pueden ser utilizados como miradores.

Cada indicador tiene un valor que es definido de una manera cualitativa, semicuantitativa o cuantitativa. En la Tabla N° 3 se presenta una propuesta de escala valoración para cada uno de los indicadores empleados para determinar el índice del potencial paisajístico, asignándole de acuerdo a su naturaleza un valor entre 1 y 5.

VARIABLE	INDICADOR	VALOR				
		1	2	3	4	5
VALOR INTRÍNSECO (VI)	<i>Complejidad del relieve (CPR)</i>	Relieve plano	Relieve con pendiente homogénea, relieve colinado	Rasgos aislados de relieve predominantes	Vertientes disecadas, altiplano	Relieves abruptos
	<i>Contraste del relieve (CTR)</i>	< 20 m	20 – 50 m	50 – 100 m	100 – 200 m	> 200 m
	<i>Diversidad (D)</i>	0	1	2	3	4
	<i>Alcance visual (AV)</i>	< 10	10 – 30 Km	30 – 60 Km.	60 – 100 Km.	> 100 Km.
	<i>Cuerpos de agua (H)</i>	Sin presencia	Corrientes de tercer orden	Corrientes de segundo orden	Corrientes de primer orden	Presencia de lagos u otro tipo de humedal
	<i>Singularidad (SI)</i>	Muy común	Bastante común	Común	Rara	Muy rara

CUNDINAMARCA
Futuro en marcha

		VALOR				
VARIABLE	INDICADOR	1	2	3	4	5
VALOR EXTRINSECO (VE)	<i>Estado de conservación (C)</i>	Lugar destruido	Numerosas acciones humanas que deterioran el carácter del lugar	Deteriorada por acciones humanas que eliminan parte de las características	Algún deterioro con pérdida de algunos elementos menores	Bien preservada
	<i>Significado (SG)</i>	Sectorial	Local	Regional	Nacional	Internacional
	<i>Puntos de panorámica (PAN)</i>	0 puntos	1	2	3	4 puntos
	<i>Condiciones para observación (O)</i>	Visión obstruida por cercas, vegetación, ..., propiedad privada	-----	Obstrucciones visuales parciales, limitaciones de acceso	-----	Tierra de propiedad pública, sin limitaciones de acceso, sin obstrucciones visuales

Tabla N° 3. Valores propuestos para los indicadores utilizados en la evaluación del potencial paisajístico.

Igualmente a cada indicador se le debe asignar un peso relativo (coeficiente de ponderación w), de acuerdo a su importancia. En la Tabla N°4 se proponen los pesos que se deben considerar en la ecuación para hallar el índice del potencial paisajístico.

VARIABLE	PESO	INDICADOR	PESO
VALOR INTRÍNSECO (VI)	0.6	Complejidad del relieve (CR)	0.1
		Contraste del relieve (CR)	0.1
		Diversidad (D)	0.2
		Alcance visual (AV)	0.2
		Cuerpos de agua (Y)	0.2
		Singularidad (SI)	0.2
VALOR EXTRÍNSECO (VE)	0.4	Estado de conservación (C)	0.4
		Significado (SG)	0.2
		Puntos de panorámica (PAN)	0.2
		Condiciones para observación (O)	0.2

Tabla N° 4. Coeficientes de ponderación propuestos para los indicadores considerados en la valoración del potencial paisajístico.

ANEXO 2.

1. METODOLOGIA PROPUESTA PARA LA VALORACIÓN DEL POTENCIAL EDAFOLOGICO

Para la valoración del potencial del recurso suelo se propone una metodología que busca evaluar a partir de la consideración de parámetros o propiedades del suelo, el potencial y las limitaciones de este para los usos agrícola, pecuario, múltiple, forestal y de conservación.

Básicamente la metodología se apoya en la información que suministran los mapas de suelo. De estos mapas se extrae la información referente a la pendiente, erosión, inundabilidad, profundidad efectiva, textura y fertilidad de cada unidad fisiográfica. Es importante tener en cuenta la escala en la que se encuentra esta información, ya que normalmente es 1:100.000, lo que implica la necesidad de hacer algunos análisis fisiográficos a partir de fotointerpretación y algunos muestreos de campo que permitan disminuir la generalidad de estos mapas.

Una vez identificadas las unidades fisiográficas y de haber determinado sus propiedades, se plantea la determinación del potencial de cada una de estas unidades en función de los usos agrícola, pecuario, forestal y de conservación. Para lograr esto se propone la aplicación de un índice de potencial del suelo para cada uso. En la figura 1 se presenta el esquema metodológico para la valoración del potencial del recurso suelo.

El índice propuesto se expresa a través de una ecuación general que es similar para determinar el potencial para cada uno de los usos agrícola, pecuario, forestal y de conservación, y que se expresa de la siguiente manera:

$$PE = (Wp*P) + (We*E) + (Wi*I) + (Wpr*PR) + (Wt*T) + (Wf*F)$$

Donde:

PE=	Potencial edafológico	I =	Inundabilidad
W =	Peso de cada indicador	PR =	Profundidad
P =	Pendiente	T =	Textura
E =	Erosión	F =	Fertilidad

Para calcular el potencial en función de cada uno de los usos propuestos se establecen coeficientes de ponderación o pesos que indican la importancia e influencia que tiene cada uno de los parámetros en dicha actividad. A su vez, se propone asignar a cada indicador un valor de 1 a 5 de acuerdo a su naturaleza. Este valor puede o no variar según el uso, por ejemplo el parámetro pendiente en uso agrícola tiene un valor mayor cuando el terreno es plano y menor cuando este es escarpado; por el contrario, para el uso de conservación, cuando el terreno es escarpado el valor es mayor y cuando es plano es menor.

En la Tabla N° 1 se presenta una propuesta de los coeficientes de ponderación que se deben asignar a cada parámetro para cada uno de los usos y los valores que se deben asignar a cada uno de esos parámetros también en cada una de las actividades.

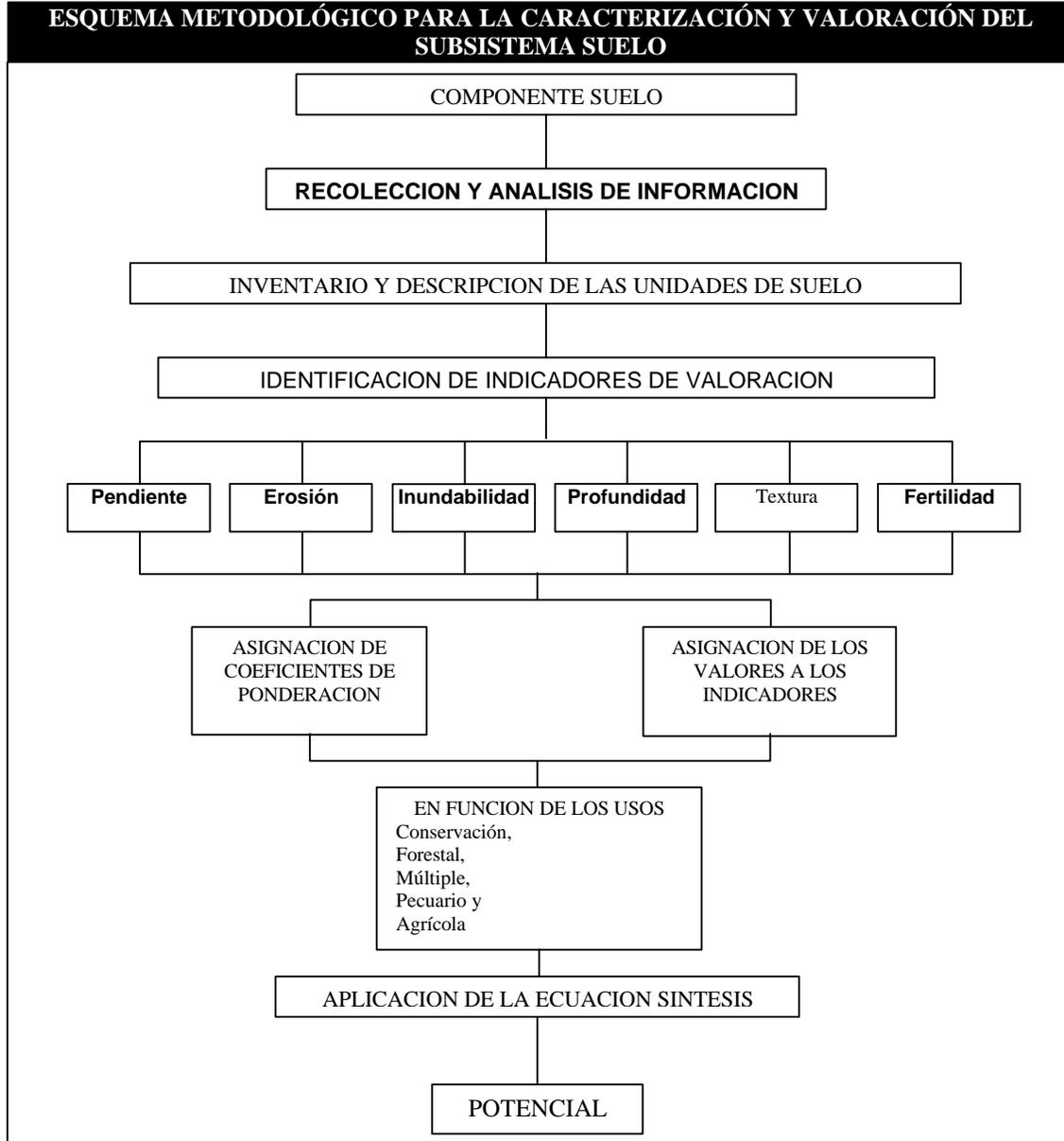


Figura Nº 1 . Esquema metodológico para la valoración y caracterización del recurso Suelo

La ecuación esta diseñada para que los potenciales agrícola, pecuario, forestal y de conservación, arrojen valores entre 1 y 5 que indican potenciales de muy bajo (1), bajo (2), medio (3), alto (4) y muy alto (5).

Una vez aplicada la ecuación y determinado el potencial de cada unidad fisiográfica se procede a evaluar de acuerdo a los resultados obtenidos la mejor vocación de cada una de ellas. Para lograr

CUNDINAMARCA

Futuro en marcha

esto se cotejan los resultados y se elige para cada unidad fisiográfica su vocación a través de la elección del uso para el que se halla obtenido el mayor índice (valor de 5 o potencial muy alto o en su defecto el uso que obtenga el valor más alto comparado con los demás).

En los casos en que en una unidad fisiográfica coincidan más de un uso potencial con valores similares, se debe definir por parte del especialista que realiza la valoración el uso más recomendado en caso de que exista conflictividad entre ambos.

En los casos en que la valoración no arroje resultados en los que se defina la predominancia de un uso y muestran que para mas de dos usos los valores son similares, esto indica que la unidad fisiográfica tiene vocación de uso múltiple.

I.1.1.1.1.1	CARACTERISTICA	AGRICOLA		PECUARIO		FORESTAL		CONSERVACION	
		PESO%	VALOR	PESO %	VALOR	PESO%	VALOR	PESO%	VALOR
PENDIENTE	0-7 PLANO A LIGERAMENTE PLANO	25	5	20	5	25	1	30	1
	7-12 INCLINADO		4		4		2		2
	12-25 ONDU LADOS		3		3		5		3
	25-50 QUEBRADOS		2		2		4		4
	50-75 ESCARPADOS		1		1		3		5
EROSION	SIN EROSION	20	5	20	5	25	1	25	1
	LIGERAMENTE EROSIONADO		4		4		2		2
	MODERADAMENTE EROSIONADO		3		3		5		3
	SEVERA		2		2		4		4
	MUY SEVERA		1		1		3		5
INUNDABILIDAD	NO INUNDABLE	5	5	10	5	20	1	15	1
	RARAMENTE INUNDADO		4		4		5		2
	OCASIONALMENTE INUNDADO		3		3		4		3
	FRECUENTEMENTE INUNDADO		2		2		3		4
	PERMANENTEMENTE INUNDADO		1		1		2		5
PROFUNDIDAD	MUY SUPERFICIAL	16	1	15	1	15	3	10	5
	SUPERFICIAL		2		2		4		4
	MODERAMENTE PROFUNDO		3		5		5		3
	PROFUNDOS		4		4		2		2
	MUY PROFUNDOS		5		3		1		1
TEXTURA	MUY FINA	20	2	20	1	10	2	15	2
	FINA		4		2		1		3
	MODERADA		5		5		5		1
	GRUESA		3		4		4		5
	MUY GRUESA		1		3		3		4
FERTILIDAD	MUY BAJA	14	1	15	1	5	3	5	5
	BAJA		2		2		4		4
	MEDIA		3		3		5		3
	ALTA		4		4		2		2
	MUY ALTA		5		5		1		1

Tabla N° 1. Criterios utilizados para la valoración del recurso suelo

ANEXO 3**1. METODOLOGIA PROPUESTA PARA LA VALORACIÓN DEL POTENCIAL DEL RECURSO HIDRICO SUPERFICIAL****1.1 EVALUACIÓN DE LA CANTIDAD**

Para la evaluación de la cantidad de agua se debe realizar un balance hídrico, el cual debe calcularse a partir de la aplicación de diferentes métodos hidrológicos. La selección del método más apropiado depende del tipo, de la calidad y de la confiabilidad de la información existente en las diferentes entidades encargadas de su recolección, procesamiento y manejo.

El profesional encargado de la realización del balance hídrico decidirá de acuerdo a la necesidad y a la escala de trabajo, la manera como abordar el análisis, es decir regional o por cuenca, de tal modo que finalmente se pueda obtener la distribución espacial del recurso hídrico y así permita visualizar la disponibilidad del mismo.

A continuación se presenta el concepto básico de balance hídrico, dando una descripción sucinta de los elementos que lo componen.

Balance hídrico

El balance hídrico es una ecuación de balance de masas, en donde la diferencia entre las entradas y las salidas de agua son iguales al cambio en el almacenamiento del suelo. Luego la forma general de la ecuación de balance hídrico es:

$$\frac{dS}{dt} = I - Q$$

Donde:

I	=	Entradas
Q	=	Salidas
$\frac{dS}{dt}$	=	Cambio en el almacenamiento

Si se define un volumen de control completo en donde se incluya tanto el flujo superficial como el flujo subterráneo, la ecuación de balance de masas total obtenida es:

$$P - Q - G - ET = \Delta S$$

Donde:

P	=	Precipitación en el periodo de interés
Q	=	Flujo superficial en el volumen de control
G	=	Flujo de aguas subterráneas
ET	=	Evapotranspiración
ΔS	=	Cambio en el almacenamiento de agua en el periodo de interés.

CUNDINAMARCA

Futuro en marcha

Es importante notar la diferencia que hay entre el flujo subterráneo: agua que percola a las capas profundas del suelo encargada de la recarga de acuíferos y el almacenamiento superficial del suelo, que es el agua que puede ser usada por las raíces de las plantas o se puede evaporar del suelo.

Según Brass (1991)¹, si se trabaja con cantidades anuales promedio, o sobre un periodo de tiempo suficientemente largo, el cambio en el almacenamiento superficial del suelo es cero ($\Delta S \rightarrow 0$). Luego la ecuación se transforma en:

$$P - ET = Q + G$$

A continuación se describen brevemente cada una de las variables que intervienen en el balance hídrico.

Precipitación (P): Se define precipitación al agregado de partículas acuosas, líquidas o sólidas, cristalizadas o amorfas, que caen de una nube o grupo de nubes y alcanzan el suelo. La precipitación es la variable climática con mayor variabilidad temporal, pues los registros de precipitación para un mismo mes en años diferentes puede presentar notables diferencias, por lo anterior es importante contar con registros de precipitación suficientemente largos para obtener un valor confiable de la media de esta.

Evapotranspiración (ET): La evapotranspiración, que incluye tanto el agua transpirada por las plantas como la evaporada del suelo, es un fenómeno de vital importancia si se tiene en cuenta que entre el 60% y el 100% de la precipitación que cae en una cuenca retorna a la atmósfera en forma de evapotranspiración. Para su evaluación se identifican en la literatura diferentes tendencias para determinarla, unas tienen en cuenta relaciones entre fenómenos de advección de gran escala y la evapotranspiración como las presentadas por Thornawite y Penman, otras son ecuaciones empíricas basadas en la radiación y temperatura, Jansen & Haise, Christiansen & Grassi, Hargreaves, y por último la más nueva aproximación que tiene en cuenta la relación complementaria entre la evapotranspiración potencial y la evapotranspiración real, Bouchet, 1963, Priestley & Taylor 1972 y Morton 1979. A continuación se muestra un resumen de cada una de estas aproximaciones.

Flujo superficial en el volumen de control (Q): Se denomina flujo superficial aquel que comprende el exceso de la precipitación que ocurre después de una lluvia intensa y se mueve libremente por la superficie del terreno, y la escorrentía de una corriente de agua, que puede ser alimentada tanto por el exceso de la precipitación como por las aguas subterráneas².

Para determinar las capacidades que tienen las corrientes superficiales para suministrar agua a los sistemas de acueducto y riego de las veredas que componen el municipio, se delimitan las vertientes de las quebradas principales o sea, aquellas que pueden ser utilizadas para estos fines. En cada cuenca se calculan los caudales medios anuales y los caudales mínimos mensuales con frecuencia de 5 años, mediante la aplicación de la ecuación de Balance Hídrico.

¹ Brass R. 1991. Hydrology. An Introduction to the Hydrologic Science. Addison Wesley Publishing Company.

² Monsalve Sáenz, Germán. 1995. Hidrología en la Ingeniería. Escuela Colombiana de Ingeniería.

CUNDINAMARCA

Futuro en marcha

Por medio del Balance Hídrico se estiman los caudales medios anuales y mínimos mensuales a lo largo de las corrientes naturales. Si de la ecuación de balance hídrico presentada anteriormente se despeja Q, es decir, el caudal, la ecuación tiene la siguiente forma:

$$Q = P - ET - G$$

El caudal puede ser calculado para periodos anuales, mensuales o diarios. A nivel municipal se propone el cálculo para periodos mensuales, razón por la cual para determinar el caudal de un mes determinado es necesario adicionar a la ecuación anterior el caudal o aporte que viene del mes anterior. La ecuación se transforma a la siguiente forma:

$$Q_i = P_i - Et_i - G_i + Q_{i-1}$$

Donde:

i : se refiere al mes del Balance,

Q_{i-1} se refiere al aporte que viene del mes anterior.

Flujo de aguas subterráneas (G): El aprovechamiento de los depósitos de agua subterránea se estudia con base en los procesos de infiltración y de movimiento del agua por el medio poroso que conforman los granos del suelo. Parte del agua que cae como precipitación sobre la tierra se infiltra y llena los poros y grietas del suelo hasta cierta profundidad limitada por las capas impermeables, dando origen a la superficie freática. El volumen de agua almacenada por debajo del nivel freático se denomina "agua subterránea" y constituye la fuente de formación de los manantiales y de alimentación de lagos y ríos.

1.2. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD

Se entiende por calidad natural del agua al conjunto de características físicas, químicas y bacteriológicas que presenta el agua en su estado natural en los ríos, lagos, manantiales, en el subsuelo o en el mar.

Es importante tener en cuenta que la calidad del agua no es un término absoluto y que por lo tanto su evaluación debe realizarse en función del uso o actividad a que se destina, es decir, si es para consumo humano, para riego, para actividades industriales, para actividades recreativas, etc. Por consiguiente, un agua que puede resultar contaminada para un cierto uso puede ser perfectamente aplicable a otro; de ahí que es indispensable que se fijen criterios de calidad del agua según los usos.

Normalmente en su estado natural contiene cierto número y cantidad de sustancias provenientes de diversas fuentes como son la precipitación, su propia acción erosiva, el viento, su contacto con la atmósfera. La presencia de estas sustancias trae como consecuencia que las aguas en su estado natural, es decir que no han recibido vertidos artificiales, contengan sólidos y coloides en suspensión (que afectan su transparencia), sólidos disueltos (que se reflejan en su alcalinidad, pH, dureza, conductividad, etc.), oxígeno disuelto (que influye en la vida acuática), entre otros de los parámetros que constituyen las características y cualidades del agua.

Para la evaluación de la calidad de agua con fines de ordenamiento ambiental territorial, se propone en esta investigación realizar la evaluación considerando los usos potenciales del recurso. Es decir, según la calidad del agua se pretende definir los posibles usos que se le puedan dar al recurso en las diferentes zonas del municipio.

Se propone enfocar el análisis de la calidad del recurso agua considerando como alternativas de aprovechamiento estratégico, el agua que se destina para el consumo humano y para el riego de cultivos. A pesar que el aprovechamiento del recurso agua en actividades industriales es también importante, su evaluación no se ha considerado por el hecho que se pretende desarrollar una metodología para abordar la evaluación de este recurso en municipios con un comportamiento eminentemente rural, en los que estas actividades no son relevantes.

Estos usos son definidos de acuerdo a las normas legales que sobre calidad están vigentes en el país y que básicamente están contenidas en los Decretos 1594 de 1984 y 475 de 1998, que regulan las exigencias de calidad para los diferentes usos del recurso agua. Esta reglamentación es complementada con algunas normas emitidas por las Corporaciones Autónomas Regionales que regulan el uso del recurso en su jurisdicción.

La evaluación de la calidad del recurso agua se realiza a partir de la consideración de parámetros físico-químicos que la afectan directamente. A pesar que son múltiples los parámetros que se pueden considerar para determinar la calidad, en esta investigación se han seleccionado aquellos que tienen una mayor influencia en la caracterización del estado de la calidad del agua para ser aprovechada en el consumo humano y para riego.

La determinación de la calidad se realiza a partir de la comparación de los valores obtenidos para cada uno de los parámetros con los valores exigidos por las normas vigentes. Esta comparación se puede realizar cotejando individualmente cada uno de los parámetros o a través de la aplicación de índices que permiten mediante la ponderación de la influencia de cada parámetro en la calidad y del valor obtenido para cada uno de ellos, determinar integralmente la calidad del agua según su uso potencial. Es así como en este trabajo se ha optado por aplicar índices para determinar la calidad del agua cruda para consumo humano y para riego.

1.2.1 Índice de calidad de agua cruda para consumo humano

Para realizar el análisis de la calidad del agua cruda para consumo humano, se propone la aplicación de un índice de calidad en el cual se tienen en cuenta aquellos parámetros físico-químicos que más influyen en los posibles tratamientos que se hacen al agua para hacerla apta para consumo humano y por ende factores económicos.

En base los decretos 1594/94 y 475/98 se establece un Índice Global de Calidad del agua, IGC, según los criterios y límites adoptados para los diferentes parámetros, con valores entre cero y cien. El valor cero corresponde a las condiciones de máxima contaminación, mínima calidad; el valor cien a las condiciones de un agua excelente, máxima calidad, y los valores intermedios a otros grados de polución.

El índice global de calidad del agua, IGC, se obtiene ponderando los índices individuales de calidad de cada parámetro de calificación, por medio de la expresión siguiente³:

$$IGC = \frac{\sum P_j C_j}{\sum P_j}$$

³ Modificado de "La clasificación sapróbica del ENA", por Jairo Romero Rojas, publicado en Revista Escuela Colombiana de Ingeniería, N°1 1990.

CUNDINAMARCA

Futuro en marcha

Donde:

IGC	=	Índice global de calidad
P _j	=	Factor de importancia relativa del parámetro j
C _j	=	Índice de calidad del agua para el parámetro j
j	=	Parámetros de 1 hasta n
n	=	Número de parámetros de calidad del agua

De la ecuación del Índice Global de Calidad se observa que para determinar la calidad del recurso agua cruda para consumo humano se debe tener en cuenta por un lado los parámetros seleccionados para el análisis, y por el otro, el factor de importancia o peso de cada uno de los factores y el índice de calidad de cada uno de los parámetros.

1.2.1.1. Parámetros seleccionados

Los parámetros de calidad propuestos para ser considerados en la determinación del índice global de calidad son: Coliformes totales, CO, cobre, Cu, turbiedad, T, color, Color, dureza, D, Alcalinidad, A, conductividad, COND, sulfatos, SO₄, fosfatos, PO₄ y acidez, Ac.

A continuación se realiza una breve descripción de los parámetros seleccionados y su importancia sanitaria:

Coliformes: El grupo coliforme incluye las bacterias de forma bacilar, aeróbicas y facultativas anaeróbicas, gram-negativas, no formadoras de esporas, las cuales fermentan la lactosa con formación de gas en un periodo de 48 horas a 35°C. Su presencia en el agua es considerada como un índice adecuado de la ocurrencia de contaminación fecal y por lo tanto de contaminación con organismos patógenos. Los coliformes no solamente provienen de los excrementos humanos sino también pueden originarse en animales de sangre caliente, animales de sangre fría y en el suelo. Por lo tanto, la presencia de coliformes en aguas superficiales indica contaminación proveniente de residuos humanos, animales o erosión del suelo separadamente, o una combinación de las tres fuentes⁴.

Cobre: Elemento que puede encontrarse en forma natural en las aguas pero muy rara vez en concentraciones superiores a 1.0 mg/L de cobre en aguas destinadas a consumo humano. Se considera un elemento benéfico para el metabolismo y su deficiencia es asociada con anemia nutricional de los niños. A este nivel de concentración no tiene efectos nocivos y en algunos sistemas se aplica el sulfato de cobre en dosis controladas que no exceden esta cifra, como mecanismo para el control de algas, la dificultad que puede traer es que favorezca a la corrosión del aluminio y el zinc y origina problemas de sabor. Su presencia en exceso obedece a descargas de aguas industriales a la corrosión de tubos y al tratamiento de algas con sales de cobre.

Turbiedad: Interferencia óptica producida por las partículas que se encuentran suspendidas en el agua e impide el paso de la luz a través de ella. Es causada por una gran variedad de materiales en suspensión las cuales varían desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas. La turbiedad se debe reducir por aspectos estéticos, para facilitar el proceso de la desinfección y para evaluar la efectividad de los procesos de tratamiento por tal razón se entiende que la turbiedad se

⁴ Romero, Rojas Jairo. Acuquímica para Ingenieros Civiles. Escuela Colombiana de Ingeniería, 1984.

limita por cuestiones ecológicas, para consumo y por economía a menor turbiedad menor costo del tratamiento⁵.

Color: Interferencia óptica dada por la presencia de sustancias que de alguna manera la pueden dar color al agua. Las causas más comunes de color en agua son la presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución, también lo aportes de color se dan por la presencia de materia orgánica proveniente de la descomposición vegetal afectando así la salud humana, la presencia de color puede indicar contaminación, el origen del color es heterogéneo. La remoción de color es una función del tratamiento del agua y se practica para hacer un agua adecuada para usos generales o industriales. La determinación del color es importante para evaluar las características del agua, la fuente de color y la eficiencia del proceso usado para su remoción. Cualquier grado de color es objetable por parte del consumidor y su remoción es por tanto objetivo esencial del tratamiento.

Dureza: Como “agua duras”, se consideran aquellas aguas que requieren cantidades considerables de jabón para producir espuma originando incrustaciones en las tuberías de agua caliente. La remoción de la dureza se efectúa por procesos de ablandamiento y varía en forma considerable de un sitio a otro. En general las aguas superficiales son más blandas que las aguas subterráneas. La dureza del agua refleja la naturaleza de las formaciones geológicas con las cuales ha estado en contacto. Desde el punto de vista sanitario, las aguas duras no son satisfactorias para consumo humano como las blandas. El valor de la dureza determina por lo tanto su conveniencia para uso doméstico e industrial y la necesidad de un proceso de ablandamiento. El tipo de ablandamiento a usar y su control depende de la adecuada determinación de la magnitud y clase de dureza.

Alcalinidad: La alcalinidad de un agua puede definirse como su capacidad para neutralizar ácidos, su capacidad para aceptar protones o como la medida de su contenido total de sustancias alcalinas (OH). La determinación de la alcalinidad total y de las distintas formas de alcalinidad es importante en los procesos de coagulación química, ablandamiento, control de corrosión. En aguas naturales le alcalinidad es debida generalmente a la presencia de tres tipos de compuestos: bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos.

Conductividad: La conductividad en el agua es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica, esta depende de la concentración total de sustancias disueltas inorgánicas en el agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación. Por ello el valor de la conductividad es muy usado en análisis de aguas para obtener un estimativo rápido del contenido de sales disueltas. La medida de la conductividad constituye un parámetro básico de evaluación de la aptitud del agua para riego.

Sulfatos: El ión sulfato es muy frecuente en aguas naturales. Es importante desde el punto de vista sanitario por tener efectos digestivos cuando está presente en cantidades elevadas. Asimismo tiene una importancia económica por su tendencia a formar costras duras en calderas e intercambiadores de calor. En aguas servidas, esta asociado a dos problemas serios olor y problemas de corrosión de cañerías.

Fosfatos: La importancia del fósforo como nutriente hace que su concentración gane importancia, puesto que el fósforo es con el nitrógeno un elemento de control de la productividad primaria de las aguas. Es importante puesto que en agua potable son usados para prevenir corrosión e

⁵ Sawyer, Clair N y otros. Chemistry for Environmental Engineering. Fourth Edition. McGraw Hill, 1994.

incrustaciones producidas por el calcio, en aguas industriales produce un incremento en la productividad por la no presencia de procesos de eutroficación.

Acidez: La acidez de un agua puede definirse como su capacidad para neutralizar bases, como su capacidad de ceder protones o como la medida de su contenido total de sustancias ácidas. Su determinación es importante debido a las características corrosivas de las aguas ácidas y al costo que supone la remoción y control de las sustancias que producen corrosión.

1.2.1.2. Factor de importancia relativa del parámetro

Para cada parámetro seleccionado se propone un factor o un peso que refleja su incidencia en la determinación del Índice Global de Calidad. El factor de importancia relativa de cada uno de estos parámetros se encuentra en la tabla N°1

1.2.1.3. Índice de calidad de cada parámetro.

Para determinar el índice global de calidad es necesario primero definir el índice de calidad de cada uno de los parámetros seleccionados. Estos índices se obtienen aplicando ecuaciones formuladas a partir de los valores de concentración exigidos por la normatividad vigente. Las ecuaciones están diseñadas de tal modo que los índices tienen valores de cero a uno, siendo cero el valor mínimo de calidad y uno el óptimo. En la tabla N° 2 se presenta para cada parámetro los intervalos de concentración y su respectiva ecuación.

<i>PJ</i>	<i>PARAMETRO</i>
20	Coliformes
10	Cobre
10	Turbiedad
10	Color
8	Dureza
7	Alcalinidad
10	Conductividad
10	Sulfatos
8	Fosfatos
7	Acidez

Tabla N° 1. Parámetros seleccionados para evaluar el IGC con su factor de importancia

1.2.1.4. Determinación de las concentraciones para cada parámetro

Como se mencionó anteriormente para hallar el índice de calidad de cada parámetro es necesario comparar los valores de concentración de cada uno de ellos con los valores exigidos por la normatividad vigente. Es decir, para determinar la calidad del agua es indispensable cuantificar las concentraciones de cada parámetro a través del análisis de muestras de agua tomadas directamente en las corrientes de agua a las cuales se desea determinar su calidad.

La recolección de estas muestras de agua requiere de un procedimiento que depende del objetivo y el alcance del estudio y de los recursos económicos disponibles. En este sentido, en el proceso de recolección de las muestras a analizar se deben cumplir como mínimo las siguientes recomendaciones:

CUNDINAMARCA

Futuro en marcha

Planear con tiempo el tipo de muestreo a realizar y el número de muestras necesarias para cumplir con el objetivo del estudio.

Contar con personal técnico especializado en la toma, manejo y conservación de las muestras durante el trabajo de campo.

Disponer con el equipo de campo necesario que garantice la adecuada recolección de las muestras.

Las muestras deben ser enviadas a laboratorios que cuenten con equipos y personal calificado.

Estas recomendaciones son importantes porque su consideración permite obtener resultados que garanticen la confiabilidad del estudio.

A nivel del ente municipal normalmente es muy poca la información existente sobre la calidad de las corrientes de agua que drenen su territorio; no obstante, es importante que antes de planear cualquier estudio se investigue sobre todo el tipo de información que exista en las diferentes entidades que tengan competencia con el tema.

PARAMETRO _j	SIMBOLO	UNIDAD	ECUACION	INTERVALO
Coliformes totales	CO	<u>NMP/100ML</u>	$C = 1 - 0.00002CO$ C=0	$0 \leq CO \leq 50.000$ $CO > 50.000$
Cobre	Cu	Mg Cu/L	C=1 $C = 1.031 - 0.103Cu$ C=0	$Cu < 0.3$ $0.3 \leq Cu \leq 10$ $Cu > 10$
Turbiedad	T	UNT	C=1 $C = 1.026 - 0.0051T$ C=0	$T < 5$ $5 \leq T \leq 200$ $T > 200$
Color	Color	U.Pt-Co	C=1 $C = 1.1 - 0.0074Color$ C=0	$Color < 15$ $15 \leq Color \leq 150$ $Color > 150$
Dureza	D	Mg CaCO ₃ /L	C=1 $C = 1.25 - 0.0016D$ C=0	$D < 160$ $160 \leq D \leq 800$ $D > 800$
Alcalinidad	A	Mg CaCO ₃ /L	C=1 $C = 1.25 - 0.0125A$ C=0	$A < 20$ $20 \leq A \leq 100$ $A > 100$
Conductividad	COND	µmho/cm	C=1 $C = 1.053 - 0.00105COND$ C=0	$COND < 50$ $50 \leq COND \leq 1000$ $COND > 1000$
Sulfatos	SO ₄	Mg SO ₄ /L	C=1 $C = 2.67 - 0.0067SO_4$ C=0	$SO_4 < 250$ $250 \leq SO_4 \leq 400$ $SO_4 > 400$
Fosfatos	PO ₄	Mg PO ₄ /L	C=1 $C = 1.02 - 0.102PO_4$ C=0	$PO_4 < 0.2$ $0.2 \leq PO_4 \leq 10$ $PO_4 > 10$
Acidez	Ac	Mg CaCO ₃ /L	C=1 $C = 2 - 0.02Ac$ C=0	$Ac < 50$ $50 \leq Ac \leq 100$ $Ac > 100$

Tabla N° 2. Ecuaciones para determinar los índices de calidad para el parámetro j

1.1.2.5. Determinación de la calidad

Una vez obtenidos los resultados de laboratorio y calculados los índices de calidad de cada uno de los parámetros, se procede a aplicar la ecuación de índice global para determinar la calidad del agua.

Con base en los valores de Índice Global se propone una clasificación de Calidad, definiendo cinco rangos de calidad y las características más importantes de cada uno de ellos, en términos de los tratamientos mínimos requeridos para ser consumida por los seres humanos. En la tabla N° 3, se muestran los rangos, la clasificación y las características de cada uno de ellos.

CLASIFICACION	IGC	CARACTERISTICAS
Excelente	$95 \leq IGC \leq 100$	Tratamiento de filtración y desinfección
Buena	$80 \leq IGC < 95$	Tratamiento convencional
Regular	$60 \leq IGC < 80$	Tratamiento convencional y tratamiento avanzado
Mala	$40 \leq IGC < 60$	Tratamiento avanzado
Muy Mala	$IGC \leq 40$	No recomendable

Tabla N° 3. Clasificación del agua cruda para consumo humano de acuerdo al índice global de calidad, IGC

Entendiéndose como tratamiento convencional, aquel que se lleva a cabo mediante las siguientes operaciones y procesos: coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. Los tratamientos avanzados pueden ser aireación, percloración, presedimentación, filtración por membranas, intercambio iónico, ósmosis inversa, adsorción y postcloración entre otros.

Una vez clasificada la fuente de agua se puede zonificar el territorio en términos de la delimitación de zonas en las que el agua tiene una calidad similar según los rangos establecidos y así hacer evidente la conveniencia de un determinado ordenamiento territorial.

1.2.2. Índice de calidad de agua para riego

La calidad del agua para riego está determinada por la concentración y composición de los constituyentes disueltos que contenga y que puedan afectar la fertilidad del suelo.

La determinación de la calidad del agua para riego es importante ya que en la actualidad se presentan problemas serios en lo que se refiere a la calidad misma de los cultivos y el efecto que esto ocasiona sobre la salud humana por la utilización de aguas contaminadas. Para enfrentar estos problemas es necesario disponer de información detallada respecto a la calidad del agua de riego y de experiencia suficiente relativa al efecto del agua de riego sobre el suelo y los cultivos, ya que existe la tendencia a emplear para riego toda agua disponible, tal como aguas de río no contaminada o flujos mezclados de mala calidad proveniente de las derivaciones de las corrientes superficiales.

En este proyecto se propone utilizar para determinar el potencial del agua para riego, la clasificación suministrada por el Manual N°60 del Departamento de Agricultura de los Estados

Unidos⁶. Esta clasificación considera la evaluación de las condiciones de salinidad o contenido de sodio intercambiable en cualquier zona de riego, como las variables básicas que se deben de considerar en una investigación que pretenda identificar la calidad de las aguas para el riego de cultivos.

Como indicadores para valorar las variables propuestas, este sistema de clasificación sugiere la utilización de la conductividad eléctrica y la relación de adsorción de sodio, RAS las cuales se describen en los siguientes apartes.

1.2.2.1. Conductividad eléctrica

La concentración total de sales solubles en las aguas de riego, para fines de diagnóstico y de clasificación, se puede expresar en términos de conductividad eléctrica, la cual se puede determinar en forma rápida y precisa.

Casi todas las aguas para riego tienen una conductividad eléctrica menor de 2250 micromhos/cm. Ocasionalmente se usan aguas de mayor conductividad, pero las cosechas obtenidas no han sido satisfactorias, excepto en raras ocasiones.

Desde la década de los años 40 el laboratorio de salinidad de Riverside Ca, estableció la clasificación que se presenta en la tabla N° 4

:

CLASIFICACION	CE $\mu\text{mho/cm}$
C.1. Agua de baja salinidad	0- 250
C.2. Agua de Salinidad Media	250- 750
C.3. Agua altamente salina	750- 2250
C.4. Agua muy altamente salina	2250 - 5000

Tabla N° 4. Clasificación de aguas para riego de acuerdo a la conductividad eléctrica

1.2.2.2. Relación de adsorción de sodio RAS

La clasificación de las aguas de riego con respecto a la RAS, se basa primordialmente en el efecto que tiene el sodio intercambiable sobre la condición física del suelo. No obstante, las plantas sensibles a este elemento pueden sufrir daños a consecuencia de la acumulación del sodio en sus tejidos cuando los valores del sodio intercambiable son más bajos que los necesarios para deteriorar la condición física del suelo.

Este índice expresa la posibilidad de que el agua de riego conduzca a la sodificación del suelo, lo cual depende de proporción de sodio con respecto al calcio y magnesio. El RAS se define por la siguiente ecuación:

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}}{((\text{Ca}+\text{Mg})/2)^{1/2}}$$

En la cual, Na⁺, Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺ representan las concentraciones en miliequivalentes por litro de los iones respectivos.

⁶ SECRETARIA DE AGRICULTURA Y GANADERIA, INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGRICOLAS. Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos. Mexico, 1965

Los valores de RAS que permiten clasificar el agua de riego se presentan en la tabla N°5.

CLASIFICACION	R A S (Meq/l)^{1/2}
S.1. Agua baja en sodio	0 –10
S.2. Agua media en sodio	10 – 18
S.3. Agua alta en sodio	18-26
S.4. Agua muy alta en sodio	> 26

Tabla N° 5. Valores de RAS para clasificación del agua

En la práctica, el valor de la RAS del agua aumenta en el suelo a consecuencia del aumento de la concentración de todas las sales y de la posible precipitación de las de Ca y Mg a medida que disminuye el contenido de humedad por la extracción que hacen las plantas y por la evaporación superficial. Por tal motivo se considera el RAS como en mejor índice de equilibrio con relación al agua para riego.

1.2.2.3. Clasificación de aguas para riego

Al clasificar las aguas para riego, se supone que estas van a usarse bajo condiciones medias con respecto a variables como la textura del suelo, la velocidad de infiltración, el drenaje, la cantidad de agua usada, el clima y la tolerancia del cultivo a las sales. Desviaciones considerables del valor medio de cualquiera de estas variables, puede hacer inseguro el uso de un agua que bajo condiciones medias sería de muy buena calidad o, al contrario, pueden inducir a considerar un agua como buena cuando bajo condiciones medias sería de dudosa calidad. Esto debe tenerse en cuenta cuando se trata de clasificar las aguas para riego.

Diagrama para la clasificación de aguas para riego. Para la determinación del índice de calidad de agua para riego se emplea el diagrama mostrado en la figura N° 1. Este diagrama relaciona la conductividad eléctrica en micromhos por centímetro y la relación de adsorción de sodio. Para usar el diagrama es necesario conocer la conductividad eléctrica y las concentraciones de sodio, calcio y magnesio. Con las concentraciones iónicas de sodio, calcio y magnesio expresadas en miliequivalentes por litro se procede al cálculo de la relación de adsorción de sodio, RAS, mediante la ecuación que define su valor. Luego usando los valores de RAS y CE como coordenadas, se busca el punto correspondiente en el diagrama cuya posición determina la clasificación de calidad del agua para riego.

El significado e interpretación de las clases por calidad, según el diagrama, se resumen a continuación, de acuerdo con su conductividad y RAS:

Conductividad

Agua de baja salinidad (C1): Puede usarse para riego de la mayor parte de los cultivos, en casi cualquier tipo de suelo con muy poca probabilidad de que se desarrolle salinidad. Se necesita algún lavado, pero éste se logra en condiciones normales de riego, excepto en suelos de muy baja permeabilidad.

Agua de salinidad media (C2): Puede usarse siempre y cuando haya un grado moderado de lavado. En casi todos los casos y sin necesidad de prácticas especiales de control de la salinidad, se pueden producir las plantas moderadamente tolerantes a las sales.

Agua altamente salina (C3): No puede usarse en suelos cuyo drenaje sea deficiente. Aún con drenaje adecuado se pueden necesitar prácticas especiales de control de la salinidad, debiendo, por lo tanto, seleccionar únicamente aquellas especies vegetales muy tolerantes a sales.

Agua muy altamente salina (C4): No es apropiada para riego bajo condiciones ordinarias, pero puede usarse ocasionalmente en circunstancias muy especiales. Los suelos deben ser permeables, el drenaje adecuado, debiendo aplicarse un exceso de agua para lograr un buen lavado; en este caso, se deben seleccionar cultivos altamente tolerantes a sales.

Sodio

La clasificación de las aguas de riego con respecto al RAS, se basa primordialmente en el efecto que tiene el sodio intercambiable sobre la condición física del suelo. No obstante, las plantas sensibles a este elemento pueden sufrir daños a consecuencia de la acumulación de sodio en sus tejidos cuando los valores del sodio intercambiable son más bajos que los necesarios para deteriorar la condición física del suelo.

Agua baja en sodio (S1): Puede usarse para el riego en la mayoría de los suelos con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable. No obstante, los cultivos sensibles, como algunos frutales y aguacates, pueden acumular cantidades perjudiciales de sodio.

Agua media en sodio (S2): En suelos de textura fina el sodio representa un peligro considerable, más aún si dichos suelos poseen una alta capacidad de intercambio de cationes, especialmente bajo condiciones de lavado deficiente, a menos que el suelo contenga yeso. Esta agua sólo pueden usarse en suelos de textura gruesa o en suelos orgánicos de buena permeabilidad.

Agua alta en sodio (S3): Puede producir niveles tóxicos de sodio intercambiable en la mayor parte de los suelos, por lo que éstos necesitarán prácticas especiales de manejo- buen drenaje, fácil lavado y adiciones de materia orgánica. Los suelos yesíferos pueden no desarrollar niveles perjudiciales de sodio intercambiable cuando se riegan con este tipo de aguas. Puede requerirse el uso de mejoradores químicos para sustituir al sodio intercambiable; sin embargo, tales mejoradores no serán económicos si se usan aguas de muy alta salinidad.

Agua muy alta en sodio (S4): Es inadecuada para riego, excepto cuando su salinidad es baja o media y cuando la disolución del calcio del suelo y/o la aplicación de yeso u otros mejoradores no hace antieconómico el empleo de esta clase de aguas.

Ocasionalmente, el agua de riego puede disolver un buen porcentaje de calcio en los suelos calcáreos, de tal manera que disminuye notablemente el peligro por sodio, condición que deberá tenerse muy en cuenta en caso de usar aguas de las clases C1-S3 y C1-S4. Tratándose de suelos calcáreos de pH alto o de suelos que no son calcáreos, el estado del sodio de las aguas C1-S3, C1-S4 y C2-S4 se pueden modificar ventajosamente agregando yeso al agua. De igual manera, es conveniente aplicar yeso al suelo periódicamente cuando éste vaya a regarse con aguas C2-S3 y C3-S2.

1.2.2.4. Determinación de la calidad

Para determinar la calidad de agua para riego, se emplea un índice cualitativo que se obtiene del diagrama de clasificación de aguas para riego (ver figura 1).

La implementación de este índice de agua para riego se realiza a partir de los valores de conductividad eléctrica, medida en la muestra, y del cálculo de la relación de adsorción de sodio, RAS. Una vez obtenidos los valores correspondientes se clasifica la muestra de agua a partir de los rangos establecidos anteriormente, con ayuda del diagrama de la figura 1.

En la tabla N°14 se presenta la síntesis de la clasificación para determinar el índice de calidad de agua para riego:

CONDUCTIVIDAD		RAS	
CLASE	INDICE	CLASE	INDICE
C1	Excelente	S1	Excelente
C2	Buena	S2	Buena
C3	Inapropiada	S3	Inapropiada
C4	Inaceptable	S4	Inaceptable

Tabla N° 6. Índice de calidad de agua para riego

De esta manera, se determinan aquellas zonas del territorio con iguales o diferentes características de calidad de agua para ser utilizada en el riego de cultivos. Esto permite identificar las zonas del territorio que pueden o no, utilizar el agua sin ningún tipo de restricción.

2

ANEXO 4

1. METODOLOGIA PROPUESTA PARA LA VALORACION DE LAS ZONAS CON POTENCIAL DE RECARGA DE ACUIFEROS.

Las características de la información disponible en cada municipio debe ayudar a definir los lineamientos para abordar el análisis del recurso hidrogeológico. Si el municipio cuenta con información referente a la distribución de acuíferos, de la cantidad de agua disponible en ellos y de su calidad, debe integrarla al proceso de ordenamiento, ya que el agua subterránea representa una alternativa importante para abastecer la demanda del recurso, sobre todo en aquellas zonas donde exista déficit en la disponibilidad del recurso hídrico superficial. Debido a que normalmente esta información es muy escasa y los estudios para elaborarla son muy costosos, se propone desarrollar una metodología para valorar las zonas con potencial de recarga de acuíferos.

Como factores básicos para la evaluación preliminar del potencial de recarga se han considerado las características de permeabilidad de las rocas asociada a su porosidad primaria, la porosidad secundaria relacionada al fracturamiento de esas unidades de roca y la porosidad del suelo.

La porosidad primaria (o permeabilidad) en términos cualitativos puede ser descrita como la facilidad con la cual puede moverse un flujo a través de una roca porosa. La permeabilidad depende de las características granulométricas de las rocas, razón por la cual existen clasificaciones que relacionan estas características con la capacidad de drenaje y la existencia de condiciones favorables para la existencia de acuíferos.

La porosidad secundaria se evalúa por medio del establecimiento de la longitud de las fracturas o el número de fracturas por unidad de área. Se determina para medir la facilidad con que un flujo puede moverse a través de las discontinuidades estructurales de una unidad litológica.

La porosidad del suelo en términos cualitativos puede ser descrita como la facilidad con la cual puede moverse un flujo a través de los horizontes del suelo.

A partir del análisis de cada uno de estos factores y de su evaluación, valoración y posterior superposición, se obtiene un mapa general a escala 1:25.000 que indica las áreas de terreno superficial con potencial de recarga.

La metodología propuesta presenta limitaciones definidas por la escasez de la información y la escala a la que se encuentre la existente, sin embargo es importante resaltar que el producto que se obtiene representa una primera aproximación para el conocimiento de la hidrogeología del municipio y en ningún momento reemplaza estudios hidrogeológicos más detallados que realizan el IDEAM, la CAR y el mismo INGEOMINAS. Su interés radica principalmente en la posibilidad de utilizarlo en un proceso general de ordenamiento ambiental.

Para determinar las zonas de recarga potencial, se debe asignar a cada uno de los factores un peso de acuerdo a la incidencia de cada uno de ellos en la alimentación de un acuífero. Para no restarle importancia a un factor con respecto al otro y no contar con los elementos de juicio para hacerlo, se propone asignar un peso similar a cada uno de ellos (0,33).

A su vez cada factor debe evaluarse de acuerdo a unos rangos determinados con base en unidades de medida características.

CUNDINAMARCA

Futuro en marcha

Para determinar la permeabilidad de las diferentes unidades de roca se propone utilizar la clasificación de Custodio & Llamas (1983), que relaciona las características granulométricas de las unidades de roca con su capacidad de drenaje y potencial para contener acuíferos. En la Tabla No 1, se presentan los rangos establecidos según las características granulométricas de las rocas, su capacidad de drenaje, su calificación en cuanto a la calidad de los acuíferos que pueden contener y los valores asignados.

TIPO MATERIAL	DE	Arcilla compacta, pizarra y granito	Limo arenoso, limo y arcilla limosa	Arena fina, arena limosa y caliza fracturada	Arena limpia, grava y arena, y arena fina	Grava limpia
CALIFICACION CUALITATIVA		Impermeable	Poco permeable	Algo permeable	Permeable	Muy permeable
CAPA		Acuícludo	Acuitardo	Acuífero pobre	Acuífero de regular a bueno	Acuífero excelente
VALORES ASIGNADOS		1	2	3	4	5

Tabla Nº 1. Rangos y valores asignados al factor de porosidad primaria (Según Custodio & Llamas, 1983)

Para evaluar la permeabilidad se debe recurrir al mapa geológico con el fin de identificar y separar las unidades de roca que por sus características pudieran incluirse en uno de los cinco rangos establecidos en la Tabla No 1. Posteriormente se debe proceder a asignar a cada una unidad su valor.

Para evaluar la porosidad secundaria se debe determinar la densidad de fracturamiento, la cual a su vez se puede obtener considerando el número de fracturas (fallas geológicas) por unidad de área, o determinando la longitud de las fallas por unidad de área. Para calcular esta porosidad (empleando cualquiera de los dos métodos), se recomienda dividir el territorio municipal en una cuadrícula (que puede ser de 0,5 km. de lado), y posteriormente se calcula la densidad de fracturamiento para cada cuadrado. De acuerdo a los valores obtenidos se pueden definir rangos de densidad de fracturamiento. En la Tabla No. 2 se muestra un ejemplo de los rangos que pueden establecerse y los valores que pueden asignarse a cada uno de ellos.

RANGOS (km/ km ²)	CALIFICACIÓN CUALITATIVA	VALOR ASIGNADO
0 - 0.3	MUY BAJO	1
0.31 - 0.6	BAJO	2
0.61 - 0.9	MEDIO	3
0.91 - 1.2	ALTO	4
> 1.2	MUY ALTO	5

Tabla Nº. 2. Rangos y valores de densidad de fracturamiento.

CUNDINAMARCA

Futuro en marcha

Para evaluar la porosidad de los suelos se propone utilizar un sistema que relaciona las características texturales de las unidades de suelo con su capacidad de drenaje. En la tabla N° 3 se presenta la clasificación y los valores que se asignan a cada textura en función de su posibilidad de permitir el tránsito de las aguas hacia zonas más profundas.

TEXTURA	CARACTERÍSTICAS	VALOR
Muy fina	Arcillosa y arcillo-limosa	1
Fina	Franco-arcillo-limosa, franco-arcillosa y franco-limosa.	2
Moderada	Franco-arcilloso-arenoso y Arenoso-franco	3
Gruesa	Franco-arenoso y areno-franco.	4
Muy gruesa	Arenoso	5

Tabla No. 3 Clasificación textural de los suelos.

Una vez evaluado cada uno de los factores y generado un mapa para cada uno de ellos, se procede a combinarlos utilizando los pesos asignados y los valores obtenidos. El mapa final permite identificar de una manera preliminar las zonas de recarga potencial en el municipio; define áreas superficiales con igual potencial y restricciones, si se considera la recarga potencial de un área como fuente de recurso, pero a su vez también como un área susceptible a la contaminación.

El potencial de recarga se logra mediante la combinación de los tres factores evaluados utilizando la siguiente expresión:

$$R_p = (0,33 \times P_p) + (0,33 \times P_{sec}) + (0,33 \times P_{su})$$

donde:

R_p = Áreas de recarga potencial
P_p = Valor por porosidad primaria
P_{sec} = Valor por porosidad secundaria
P_{su} = Valor por porosidad del suelo

El resultado final es un mapa que zonifica las unidades de roca y de suelo en función de su potencial de recarga de acuíferos. La combinación de los factores para determinar el potencial de recarga se puede hacer a través de la superposición manual de las tres capas de información o utilizando un sistema de información geográfico.

Cada unidad del mapa representa un valor de potencial de cero a cinco al que se relaciona una calificación cualitativa de la permeabilidad de los materiales geológicos. En la Tabla N° 4 se presenta la calificación de los materiales según la permeabilidad y se muestra una propuesta para denominar cada unidad en función de su grado de consolidación :Consolidado (A) y no consolidado (B).

Calificación Cualitativa.	Valor	Número de la zona.	Consolidado A.	No consolidado B.
Impermeables	0-1	I	I - A	I - B
Poco permeables	1-2	II	II - A	II - B
Algo permeables	2-3	III	III - A	III - B
Permeables	3-4	IV	IV - A	IV - B
Muy permeables	4-5	V	V - A	V - B

Tabla N° 4. Clasificación cualitativa del potencial de recarga en función del grado de permeabilidad de los materiales geológicos.

ANEXO Nº 5.

1. METODOLOGIA PROPUESTA PARA LA VALORACION DEL RECURSO MINERO

Para la valoración se utiliza una escala jerárquica similar para todos los componentes del potencial en sus diferentes niveles de desagregación, cuyos valores son de tipo cuantitativo de tal manera que puedan ser comparables entre sí, siendo el cero el valor mínimo y cinco el valor máximo. Además de este valor, a cada variable se le asigna un coeficiente de ponderación o peso que permite cuantificar su importancia relativa respecto a las demás variables. Dichos coeficientes son el resultado del consenso entre los profesionales que participan en el análisis, lo cual garantiza que el grado de subjetividad se minimice.

Para la valoración del recurso minero se propone utilizar cuatro variables principales: Características del recurso, explotabilidad del mineral, factibilidad del plan minero y las características de comercialización del mineral. Los pesos propuestos para las variables principales se presentan en la Tabla No. 1.

A su vez cada variable se desagrega en subvariables que permiten caracterizar las variables principales. Se propone utilizar las siguientes subvariables.

Recurso: definido por la cantidad, calidad, uniformidad litológica y continuidad de los yacimientos mineros.

Explotabilidad: valora la facilidad con que puede ser explotado en yacimiento en función de su profundidad o relación de descapote, la estabilidad, o nivel freático, y la pendiente del terreno.

Factibilidad del plan minero: se evalúa con base en la concentración de las áreas de explotación y en los conflictos que presente la actividad minera con otros usos posibles del territorio.

Comercialización : muestra la facilidad con que los materiales explotados pueden ser llevados al consumidor final, lo cual se mide con base a la infraestructura y a la distancia a los centros de consumo.

Para valorar el potencial mineral es indispensable evaluar inicialmente cada variable principal. Estas se evalúan a partir de las subvariables, utilizando pesos que jerarquicen la importancia de cada subvariable en la evaluación de la variable principal. En la Tabla No. 1, se muestran los pesos propuestos para cada subvariable.

Por último, el valor global es función de los valores de las variables que los constituyen, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$V = \sum SP_i$$

Donde : **V** : Valor global de componente
Vi : Valor de un componente constitutivo
Pi : Coeficiente de ponderación

Si desagregamos esta expresión, el valor del potencial mineral es:

$$V = 0.4R + 0.15EX + 0.23FP + 0.15C$$

CUNDINAMARCA

Futuro en marcha

Donde :

	V	=	Valor global de un componente	
	R	=	Valor variable Recurso,	$R=0.3CN + 0.3CLK + 0.2CC + 0.2UL$
	EX	=	Valor variable Explotabilidad	$EX = 0.2CE + 0.4NF + 0.3PN$
	FP	=	Valor variable Factibilidad del plan	$FP = 0.2CE + 0.8UT$
	C	=	Valor variable comercialización	$C = 0.3IN + 0.7UD$

El significado de cada código se encuentra en la Tabla No. 1.

Es importante tener en cuenta que esta expresión debe ser desarrollada para cada mineral que puede tener un potencial representativo dentro del territorio municipal.

VARIABLE	CÓDIGO VARIABLE	PESO VARIABLE	SUBVARIABLE	CÓDIGO SUBVARIABLE	PESO SUBVARIABLE
RECURSO	R	0.4	Cantidad	CI	0.3
			Calidad	CC	0.3
			Continuidad de Las Capas	UL	0.2
			Uniformidad Litológica	CN	0.2
EXPLOTABILIDAD	EX	0.15	Profundidad	PF	0.3
			Estabilidad	NF	0.4
			Pendiente Topográfica	PN	0.3
FACTIBILIDAD DEL PLAN	FP	0.3	Concentración de explotaciones	UT	0.2
			Conflictos de uso	UT	0.8
COMERCIALIZACIÓN	C	0.15	Infraestructura	IN	0.3
			Ubicación demanda	UD	0.7

Tabla 1. Variables, subvariables y pesos para la valoración del potencial minero

ANEXO 6

1. METODOLOGIA PROPUESTA PARA LA VALORACION DEL BIOPOTENCIAL

La valoración del biopotencial se determina en función de la evaluación del potencial en flora y fauna que se encuentren en los relictos de bosque, matorrales y rastrojos que existan en el municipio. Para la valoración se consideran tres variables: tamaño, estado de conservación e importancia estratégica. A cada variable se le debe asignar un coeficiente de ponderación o peso que permita cuantificar su importancia relativa respecto a las demás variables

Al tamaño (T), se propone asignar un peso del 15% y se plantea valorarlo en función de la extensión en hectáreas de las porciones del territorio que tengan relictos de bosque, matorrales o rastrojos.

A la variable de estado de conservación se sugiere asignar un peso del 35% y se plantea valorarlo en función de cuatro subvariables: biodiversidad (B), densidad de cobertura (Dc), endemismos (E), y estado evolutivo (Ev). A su vez para obtener el valor del estado de conservación se insinúa asignar un peso a cada subvariable en función de su importancia relativa respecto a las demás subvariables. Se propone asignar a la biodiversidad un peso del 35%, a la densidad de cobertura de 25%, al endemismo del 15 y al estado evolutivo del 25%.

Para cuantificar la biodiversidad, se sugiere aplicar el concepto de número de organismos de diferente especie por unidad de área. La densidad de cobertura se plantea valorar en función del número de organismos totales por unidad de área. Para los endemismos, se propone una calificación utilizando una escala discontinua entre 1 y 5, en la que 5 significa presencia de endemismos y 1 ausencia. Finalmente, para cuantificar el estado evolutivo se propone una calificación en función de la etapa serial.

A la importancia estratégica (**Ie**), se le asignó un porcentaje de 50%, debido a que se considera como una de las variables fundamentales que expresa el valor extrínseco de cada uno de los componentes. Se propone definirla a partir de cuatro subvariables: Mantenimiento de servicios ambientales (**Msa**), Prevención de riesgos ambientales (**Pra**), Producción de bienes ambientales (**Pba**), y Area de influencia (**Ai**).

El mantenimiento de servicios ambientales es entendido como la persistencia de las funciones de conservación de suelos, agua, y biodiversidad de cada uno de los componentes. La prevención de riesgos ambientales se define como la capacidad de la unidad para mitigar y prevenir fenómenos naturales tales como deslizamientos, avalanchas etc. De igual manera, la capacidad que tiene la unidad para proveer elementos indispensables para el mantenimiento de la vida se ha denominado Producción de bienes y servicios ambientales.

El área de influencia, se propone considerarla en cinco niveles espaciales: puntual, local, sectorial, regional y Nacional. Puntual, cuando los bienes y servicios ambientales que provee la unidad no trascienden el entorno de la vereda; sectorial cuando incluye más de una vereda; local cuando todo el Municipio se beneficia de los bienes y servicios ambientales; regional cuando no perturban la marcha de todo el país, pero sus servicios son importantes a escala departamental; y nacional cuando todo el país depende de los bienes y servicios ambientales. En la Tabla N° 1, se presenta un resumen de la metodología para valorar el potencial biótico.

CUNDINAMARCA

Futuro en marcha

Para obtener el valor total de cada unidad, se propone utilizar una ecuación que permite expresar matemáticamente el valor en cada una de las unidades cartografiadas.

COMPONENTE	VARIABLE	% VARIABLE	SUBVARIABLE	% SUBVARIABLE	INDICADOR	RANGO	VALOR	COEFICIENTE DE PONDERACION	
RELICTOS DE BOSQUE MATORRALES RASTROJOS	TAMAÑO	15%			Hectáreas	0 - 10	1	0.30	
						11 - 20	2		
						21-30	3		
						31-40	4		
						>40	5		
	ESTADO DE CONSERVACION	35%	BIODIVERSIDAD	35%	N° especies diferentes/Ha	0-500	1	0.35	
						501-1000	2		
						1001-1500	3		
						1501-2000	4		
						> 2000	5		
			DENSIDAD DE COBERTURA	25%	N° organismos/Ha	0.25	0-1000	1	0.25
							1001-2000	2	
							2001-3000	3	
							3001-4000	4	
							> 4000	5	
			ENDEMISMOS	15%	Presencia	0.15	Ausencia	1	0.15
							Presencia	5	
			ESTADO EVOLUTIVO	25%	Etapa serial	0.25	Inicial	1	0.25
							Media	3	
							Alta	5	
	MANTENIMIENTO DE SERVICIOS AMBIENTALES	30%	Conservación de Suelos, agua y biodiversidad	0.30	Baja	1	0.30		
					Media	3			
					Alta	5			
	IMPORTANCIA ESTRATEGICA	50%	PREVENCION DE RIESGOS AMBIENTALES	30%	Protección Zonas de alto Riesgo	Baja	1	0.30	
Media						3			
Alta						5			
PRODUCCION DE BIENES AMBIENTALES			25%	Disponibilidad de bienes ambientales	0.25	Baja	1	0.25	
						Media	3		
						Alta	5		
AREA DE INFLUENCIA			15%	Rango de influencia	0.15	Puntual	1	0.15	
						local	2		
						Sectorial	3		
	Regional	4							
					Nacional	5			

Tabla N° 1. Variables, porcentajes y criterios utilizados en la valoración del subsistema biótico.

La ecuación es la siguiente: $V_{bp} = \sum ViPi$.

Donde: V_{bp} = Valor del biopotencial
 V_i = Valor de cada variable
 P_i = Coeficiente de ponderación

Si se desagrega esta expresión tenemos que el valor del potencial biótico es:

$$V_{bp} = T*0.15 + Ec*0.35 + le*0.5$$

CUNDINAMARCA

Futuro en marcha

$$E_c = (BI * 0.35) + (DC * 0.25) + (E * 0.15) + (EEV * 0.25)$$

$$I_e = (Msa * 0.3) + (Pra * 0.3) + (Pba * 0.25) + (Ai * 0.15)$$

Dependiendo del valor de cada componente, se propone cuantificarlo como zona de potencial biótico muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto y diferenciarlo en el mapa con diferentes colores. La mapificación de este valor le permite a los responsables del ordenamiento determinar donde se concentra el patrimonio natural más importante del Municipio que debe ser conservado y orientar las actividades de mayor impacto hacia las zonas menos valiosas.

ANEXO 7..**1. METODOLOGIA PROPUESTA PARA LA VALORACION DEL POTENCIAL DEL SUBSISTEMA SOCIAL.**

El subsistema social es de difícil cuantificación ya que muchos de sus componentes se determinan mejor de forma cualitativa, sin embargo, en esta propuesta se realiza un ejercicio de aproximación numérica al estado potencial de la población municipal que en conjunto permite realizar actividades tendientes al desarrollo sostenible.

Con el fin de disminuir el grado de subjetividad en la valoración del subsistema social, cada uno de sus componentes se discrimina en variables y estas variables a su vez, se discriminan en subvariables, de esta forma, el valor del potencial del subsistema social se determina por medio de la sumatoria de cinco ecuaciones que corresponden al valor de sus cinco componentes: Manifestaciones Culturales (Mc), Demografía (De), Calidad de Vida (Cv), Actores Sociales (As), Institucionalidad Social (Is). A cada componente se le asigna un coeficiente de ponderación o peso que permita cuantificar su importancia relativa respecto a los demás componentes.

La aplicación de las ecuaciones de las variables, los componentes y el total del subsistema social se realiza en cada unidad antrópica (veredas y centros poblados), calificando en una escala de uno a cinco, para finalmente obtener un total general del subsistema social (VSs) expresado en la siguiente ecuación:

$$\mathbf{VSs = (W_{Mc} * Mc) + (W_{De} * De) + (W_{Cv} * Cv) + (W_{As} * As) + (W_{Is} * Is)}$$

En la Tabla N° 1 se presentan los pesos (W) propuestos para cada componente. A su vez, cada componente se desagrega en variables y subvariables que permiten caracterizarlo utilizando también pesos que son mostrados en la Tabla N° 1. A continuación se presentan las fórmulas para calcular el valor de cada componente.

Ecuación para estimar el valor del componente Manifestaciones Culturales:

$$\mathbf{V_{Mc} = (W_{Hm} * Hm) + (W_{Pc} * Pc)}$$

Esta ecuación de Manifestaciones Culturales (Mc), se determina por el valor de la sumatoria de la Historia Municipal (Hm) y de la ecuación de Patrimonio Cultural (Pc), que a su vez se logra calculando el grado de conservación de la cultura (Gc) y el grado de arraigo por el territorio (Ga). En la tabla N° 1 se muestra los valores propuestos para cada variable y subvariable, utilizando una escala de uno a cinco.

$$\mathbf{V_{Pc} = (W_{Gc} * Gc) + (W_{Ga} * Ga)}$$

Ecuación para estimar el valor del componente Demografía:

$$\mathbf{V_{De} = (W_{Es} * Es) + (W_{Din} * Din)}$$

Esta ecuación de Demografía (De), se determina por el valor de la sumatoria de las ecuaciones de Estructura Poblacional (Es) y Dinámica Poblacional (Din), que a su vez se obtienen calculando el valor de la densidad de población (Den), su distribución por área (Di), los procesos migratorios (Pm), la población proyectada (Pp) y las relaciones intramunicipales (Rm):

CUNDINAMARCA

Futuro en marcha

$$V_{Es} = (W_{Den} * Den) + (W_{Di} * Di)$$

$$V_{Din} = (W_{Pm} * Pm) + (W_{Pp} * Pp) + (W_{Rm} * Rm)$$

Ecuación para estimar el valor del componente Calidad de Vida:

$$V_{Cv} = (W_{Ss} * Ss) + (W_{Sp} * Sp) + (W_{Nv} * Nv)$$

Esta ecuación de Calidad de Vida (Cv), se determina por el valor de la sumatoria de las ecuaciones de Servicios Sociales Básicos (Ss), Seguridad Pública (Sp) y Nivel de Vida (Nv). La ecuación de Servicios sociales básicos se hace teniendo en cuenta índices de calidad (cobertura se califica en la valoración del subsistema artificial) en educación (E), salud (S), vivienda (V), recreación (R) y saneamiento básico (Sa).

Para determinar la seguridad pública se plantea utilizar indicadores como el número de homicidios por año (H) y número de ataques subversivos (A). Así mismo, para establecer el nivel de vida se hace uso de los indicadores más usuales como son el índice de Necesidades Básicas Insatisfechas (Nbi) y el índice de población en miseria (Pm).

$$V_{Ss} = (W_E * E) + (W_S * S) + (W_V * V) + (W_R * R) + (W_{Sa} * Sa)$$

$$V_{Sp} = (W_H * H) + (W_A * A)$$

$$V_{Nv} = (W_{Nbi} * Nbi) + (W_{Pm} * Pm)$$

Ecuación para estimar el valor del componente Calidad de Vida:

$$V_{As} = (W_{Os} * Os) + (W_{Ps} * Ps)$$

Esta ecuación de Actores Sociales (As), determina el grado de Organización Social (Os) y de Participación Social (Ps) de la población para lograr el desarrollo sostenible desde su territorio. Las ecuaciones se calculan utilizando indicadores como el liderazgo (L), la capacidad de gestión (C), el grado de concertación (G) y el nivel de participación (Np):

$$V_{Os} = (W_L * L) + (W_C * C)$$

$$V_{Ps} = (W_G * G) + (W_{Np} * Np)$$

5. Ecuación para estimar el valor del componente Institucionalidad Social:

$$V_{Is} = (W_{Cg} * Cg) + (W_{Gn} * Gn)$$

Esta ecuación de Institucionalidad Social (Is), muestra la Capacidad de Gobernabilidad (Cg), y el Grado de Adaptación de la Población a la Normatividad Vigente (Gn), que se vive en el territorio municipal.

En el cuadro N° 1 se aprecia la calificación dada a cada uno de los componentes del subsistema social, que en las ecuaciones es el valor del coeficiente W. Teniendo en cuenta los rangos del indicador se valoró cada subvariable para ser cuantificable según las características de cada componente, variable y subvariable.

CUNDINAMARCA
Futuro en marcha

COMPONENTE	%	VARIABLE	%	SUBVARIABLE	%	INDICADOR	RANGO DEL INDICADOR
MANIFESTACIONES CULTURALES	15	Historia Municipal	40			Divulgación	1 Muy Bajo 2 Bajo 3 Medio 4 Alto 5 Muy Alto
		Patrimonio Cultural	60	Grado de Conservación	60	Intangible	1 Muy Bajo 2 Bajo 3 Medio 4 Alto 5 Muy Alto
				Grado de Arraigo al territorio	40	Intangible	1 Muy Bajo 2 Bajo 3 Medio 4 Alto 5 Muy Alto
DEMOGRAFÍA	25	Estructura Poblacional	50	Densidad Poblacional	40	# de habitantes por km ²	1. 0-100 2. 101-300 3. 301-700 4. 701-1.000 5. > 1.000
				Distribución Poblacional por zona urbana	30	# de habitantes en zona urbana	1. < 1.000 2. 1.001-5.000 3. 5.001-10.000 4. 10.001-30.000 5. > 30.000
				Distribución Poblacional por zona rural	30	# de habitantes en zona rural	1. < 1.000 2. 1.001-5.000 3. 5.001-10.000 4. 10.001-30.000 5. > 30.000
		Dinámica Poblacional	50	Proceso Migratorio	20	Intangible	1 Nulo 3 Discontinuo 5 Continuo
				Proyección Poblacional	50	Tasa de crecimiento para el año 2010	1. < 0 2. 1-2 3. 2-3 4. 3-4 5. > 4
				Relaciones inter municipales	30	Intangible	1 No existen 3 Poco frecuente 5 Muy frecuente

CUNDINAMARCA

Futuro en marcha

COMPONENTE	%	VARIABLE	%	SUBVARIABLE	%	INDICADOR	RANGO DEL INDICADOR		
CALIDAD DE VIDA	25	Servicios Sociales Básicos	30	Educación	30	Calidad	1 Muy Bajo 2 Bajo 3 Medio 4 Alto 5 Muy Alto		
				Salud		30	Calidad	1 Muy Bajo 2 Bajo 3 Medio 4 Alto 5 Muy Alto	
				Vivienda		20	Calidad	1 Muy Bajo 2 Bajo 3 Medio 4 Alto 5 Muy Alto	
				Recreación y deporte		5	Calidad	1 Muy Bajo 2 Bajo 3 Medio 4 Alto 5 Muy Alto	
				Saneamiento		15	Calidad	1 Muy Bajo 2 Bajo 3 Medio 4 Alto 5 Muy Alto	
		Seguridad Pública		30		Homicidios por año	50	# de hechos por año	1. < 100 2. 101-300 3. 301-700 4. 701-1.000 5. > 1.000
						Ataque de grupos armados		50	# de hechos por año
		Nivel de Vida		40		Necesidades Básicas Insatisfechas	50	# de personas con N.B.I.	1. < 1.000 2. 1.001-5.000 3. 5.001-10.000 4. 10.001-30.000 5. > 30.000
						Estado de Pobreza y Miseria		50	# de personas en pobreza

CUNDINAMARCA

Futuro en marcha

COMPONENTE	%	VARIABLE	%	SUBVARIABLE	%	INDICADOR	RANGO DEL INDICADOR
ACTORES SOCIALES	20	Organización Social	50	Liderazgo	50	Nivel de liderazgo	1 Muy Bajo 2 Bajo 3 Medio 4 Alto 5 Muy Alto
				Capacidad de Gestión	50	Intangible	1 Muy Bajo 2 Bajo 3 Medio 4 Alto 5 Muy Alto
		Participación Social	50	Grado de Concertación	50	Intangible	1 Muy Bajo 2 Bajo 3 Medio 4 Alto 5 Muy Alto
				Nivel de Participación	50	Intangible	1 Muy Bajo 2 Bajo 3 Medio 4 Alto 5 Muy Alto
INSTITUCIONALIDAD SOCIAL	15	Capacidad de Gobernabilidad local	50			Intangible	1 Muy Bajo 2 Bajo 3 Medio 4 Alto 5 Muy Alto
		Grado de adaptación de la población a la normatividad vigente	50			Intangible	1 Muy Bajo 2 Bajo 3 Medio 4 Alto 5 Muy Alto

Tabla N° 1. Componentes, variables, subvariables e indicadores propuestos para la valoración del subsistema social

ANEXO N° 8.**1.METODOLOGIA PROPUESTA PARA LA VALORACION DEL POTENCIAL DEL SUBSISTEMA ECONOMICO.**

Por medio de la valoración del subsistema económico se puede determinar para cada unidad antrópica (vereda o centro poblado), la posibilidad individual o en conjunto de desarrollar su potencial productivo, transformado o comercial, representado respectivamente por los tres sectores de la economía: primario (Sp), secundario (Ss) y terciario (St). Adicionalmente se evalúa la capacidad administrativa y financiera del principal ente local: la alcaldía municipal (Ie).

Para valorar el potencial del subsistema económico se propone una ecuación general (Vse), compuesta por la sumatoria de cuatro ecuaciones específicas que corresponden a los cuatro componentes descritos en la metodología. Es así como el valor del subsistema económico se logra calculando la siguiente ecuación:

$$\mathbf{Vse = (WSpxSp) + (WSsxSs) + (WStxSt) + (WlexIe)}$$

El factor de ponderación (W) de los factores se indica en la Tabla N° 1. A continuación se presentan las ecuaciones para valorar cada uno de los componentes principales:

Ecuación para estimar el valor del componente Sector Primario (Sp): A través de este valor se determina la disponibilidad de terrenos para producir bienes y la posibilidad de que esos bienes generen ganancias a los productores. En la Tabla N° 1 se muestra los pesos sugeridos para las variables y subvariables de cada componente.

$$\mathbf{VSp= (WpreXpre) + (WproXpro) + (WrenXren),}$$

Donde: Sp: Sector primario de la economía, el cual está determinado por la sumatoria de las siguientes ecuaciones:

$$\mathbf{Vpre = (WtaXta) + (WteXte) + (WreXre),}$$

Donde: Pre-Factor predial

Ta: Tamaño de la propiedad

Te: Tipo de tenencia

Renta: Valor del predio o renta.

$$\mathbf{Vpro= (WaXa) + (Wpib1Xpib1),}$$

Donde: Pro: Producción

A: área destinada a la producción

Pib1: Producto interno bruto del sector primario

$$\mathbf{Vren= (WcaXca) + (WgaXga),}$$

Donde: Ren: Rentabilidad de la producción

Ca: Calidad de la producción

Ga: Ganancia de lo producido

CUNDINAMARCA

Futuro en marcha

Ecuación para estimar el valor del componente Sector Secundario: Con esta ecuación se establece el potencial industrial agroindustrial o microempresarial que tiene el municipio y la participación de las actividades transformadoras de bienes primarios en el Producto Interno Bruto de la economía municipal.

$$\mathbf{VSS= (WtiXti) + (WcoXco) + (Wpib2Xpib2),}$$

Donde: VSS: Sector secundario de la economía

Ti: Tipo de industria

Co: Continuidad de la producción

Pib2: Producto interno bruto del sector secundario

Ecuación para estimar el valor del componente Sector Terciario: A partir de esta valoración se establecen las posibilidades que tiene el municipio como centro de comercio y servicios para la región y para su propio territorio.

$$\mathbf{VST= (WccXcc) + (WsbXsb) + (WtgXtg),}$$

Donde: St: Sector terciario de la economía

Cc: Comercialización

Sb: Servicios bancarios

Tg: Tiendas grandes

Ecuación para estimar el valor del componente Institucionalidad Económica: En esta valoración se determina por una parte la autonomía financiera que tiene el municipio para llevar a cabo la realización de sus propios proyectos y por otra, la capacidad de la Alcaldía Municipal para liderar procesos internos y externos con alta eficiencia.

$$\mathbf{Vie= (WdpXdp) + (WefXef) + (WctXct),}$$

Donde: Ie: Institucionalidad económica

Dp: Grado de dependencia de recursos externos

Ef: Eficiencia administrativa y financiera

Ct: categoría territorial

En la siguiente Tabla N° 1 se sintetizan los componentes económicos con sus correspondientes variables e indicadores propuestos para la valoración del potencial económico municipal.

ANEXO 9.

1. METODOLOGIA PROPUESTA PARA LA VALORACION DEL POTENCIAL DEL SUBSISTEMA ARTIFICIAL

El objetivo fundamental de la valoración de este subsistema es verificar el grado de valor agregado que se le ha dado al entorno natural. Entendiendo valor agregado como el aumento y mejoramiento de los componentes de la superestructura urbana.

La forma de valorar los índices es en rangos de porcentaje convertidos en una escala de una a cinco (de menor a mayor calificación).

Para cuando el indicador es cobertura se toma por áreas cubiertas sobre áreas totales por cubrir así:

$$\frac{\text{Area}}{\text{Area total}} \rightarrow \text{Indice de cobertura}$$

Para cuando el indicador es población atendida se trabaja:

$$\frac{\text{Población servida}}{\text{Población total a servir}} \rightarrow \text{Indice de población atendida}$$

Para el indicador de área disponible se trabaja:

$$\frac{\text{Area Total} - \text{Area Utilizada}}{\text{Area Total}} \rightarrow \text{Indice de área disponible}$$

Para el indicador de área ocupada se trabaja:

$$\frac{\text{Area Total} - \text{Area ocupada}}{\text{Area Total}} \rightarrow \text{Indice de área ocupada}$$

Para la evaluación del subsistema artificial se propone utilizar cinco variables principales: Infraestructura de transportes, infraestructura de servicios públicos, infraestructura de equipamiento comunal, infraestructura de producción e infraestructura de residencia. A cada variable se le asigna un coeficiente de ponderación o peso que permita cuantificar su importancia relativa respecto a las demás variables. En el cuadro siguiente se muestran los pesos propuestos a cada una de las variables.

COMPONENTES	W
Infraestructura de transportes (IT)	0.2
Infraestructura de servicios públicos (ISPD)	0.2
Infraestructura de equipamiento comunal (IEC)	0.2
Infraestructura de producción (IP)	0.2
Infraestructura de residencia (IR)	0.2

CUNDINAMARCA

Futuro en marcha

El valor del subsistema artificial se puede expresar mediante una ecuación matemática que integra a su vez cinco ecuaciones que caracterizan cada una de las variables consideradas. La ecuación índice se expresa de la siguiente manera:

$$VSA = (W ITx VIT) + (WISPD x VISPD) + (WIEC x VIEC) + (WIP x VIP) + (WIR x VIR)$$

Donde

VSA = Valor del subsistema artificial
W = coeficiente de ponderación de cada variable
VIT = Valor infraestructura de tranportes
VISPD = Valor infraestructura de servicios públicos
VIEC = Valor infraestructura de equipamiento comunal
VIP = Valor Infraestructura de producción
VIR = Valor infraestructura de residencia.

A su vez cada una de las variables se categoriza en función de las siguientes ecuaciones:

1.1 INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTES.

$$VIT = (W vialx Via) + (Woleo x Oleo) + (WFI x FI) + (WAe x Ae)$$

Donde:

VARIABLE	SIGLA	W
Viaductos	Vía	0.5
Oleoductos	Oleo	0.25
Fluviales	FI	0.125
Aéreos	Ae	0.125

1.2. INFRAESTRUCTURA DE SERVICIOS PUBLICOS

$$VISPD = (WAs x As) + (WAc al x Acal) + (WE x E) + (WG x G) + (WTe l x Te l)$$

Donde:

VARIABLE	SIGLA	W
Aseo	As	0.2
Acueducto y alcantarillado	Acal	0.2
Energía	E	0.2
Gas	G	0.2
Teléfono	Tel	0.2

1.3 INFRAESTRUCTURA DE EQUIPAMIENTO COMUNAL

$$VIEC = (Wq ed x Eq ed) + (WEqs x Eq s) + (WEqi x Eq i) + (WAmu x Amu) + (WEsp x Esp) + \\ \dots\dots\dots + (WZcax Zca) + (W vrrx Zvrr) + (WZes x Zes) + (WZr x Zr)$$

Donde:

CUNDINAMARCA

Futuro en marcha

VARIABLE	SIGLA	W
Equipamiento educativo	Eqed	0.1
Equipamiento de salud	Eqs	0.1
Equipamiento institucional	Eqi	0.1
Amoblamiento urbano	Amu	0.1
Espacio público	Esp	0.1
Zonas de conservación arquitectónica	Zca	0.1
Zonas verdes, de reserva y áreas recreativas	Zvrr	0.1
Zonas de expansión y áreas suburbanas	Zes	0.1
Zonas de riesgo	Zr	0.1

1.4 INFRAESTRUCTURA DE PRODUCCION

$$VIP = (WAgRx Agr) + (WInd x Ind) + (WComs x Coms)$$

Donde:

VARIABLE	SIGLA	W
Agrícola	Agr	0.5
Industrial	Ind	0.3
Comercial y de servicios	Coms	0.2

1.5 INFRAESTRUCTURA DE RESIDENCIA

$$VIR = (WVu x Vu) + (WVm x Vm)$$

Donde:

VARIABLE	SIGLA	W
Vivienda unifamiliar	Vu	0.7
Vivienda multifamiliar	Vm	0.3