

# *Una caracterización de carga contaminante a los acuíferos libres del Bajo Cauca Antioqueño*

Recibido para evaluación: 21 de Septiembre de 2005  
Aceptación: 24 de Noviembre de 2005  
Recibido versión final: 10 de Diciembre de 2005

Jorge Ignacio Gaviria S.<sup>1</sup>  
Teresita Betancur V.<sup>2</sup>

## RESUMEN

Las actividades de desarrollo urbano, producción agropecuaria, minería y accidentes ambientales estarían amenazando, con un índice de carga contaminante ICC elevado, la calidad de las aguas freáticas de las unidades hidrogeológicas U2 y U3 del Bajo Cauca.

Mediante este ejercicio académico se logró interpretar y aplicar por primera vez en el medio la metodología de evaluación de carga contaminante al subsuelo propuesta por Foster e Hirata en los años 1991 y 2002, quedando establecidas las condiciones para que, con un esfuerzo adicional, se lleguen a relacionar amenaza y vulnerabilidad para evaluar el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas en la región.

**PALABRAS CLAVE:** Carga Contaminante, Acuífero Libre, Bajo Cauca.

## ABSTRACT

The activities of developed urban, agriculture production, miner y environmental accidents, will be hazarding with pollution the groundwater in the freatic aquifers, in the Bajo Cauca Antioqueño.

The Foster and Hirata's methodology is used to evaluate the contamination in the Bajo Cauca Antioqueño's Aquifer system.

**KEY WORDS:** Contaminant Charge, Free Underwater, Bajo Cauca.

1. Ingeniero Sanitario. Grupo de Ingeniería y Gestión Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia.

2. MSc. Aprovechamiento de Recursos Hídricos. Aspirante a PhD. Grupo de Ingeniería y Gestión Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia.  
ptebv787@udea.edu.co

## 1. INTRODUCCIÓN

El Bajo Cauca Antioqueño ubicado al Norte del departamento de Antioquia, en las últimas estribaciones de la Cordillera Central, se ha caracterizado por el desarrollo de actividades económicas que han traído drásticas consecuencias sobre el medio ambiente.

En esta subregión se presenta alta contaminación de las corrientes superficiales debido al intenso uso de productos químicos para la agricultura y la minería y a las descargas de aguas residuales domésticas. Las características hidrogeológicas de la región ofrecen reservas considerables de recurso hídrico subterráneo almacenadas en dos acuíferos libres y en uno confinado, razón por la cual es común encontrar pozos o aljibes en casi todas las viviendas urbanas y rurales, industrias, locales comerciales, haciendas y centros educativos, dándose así la explotación de agua subterránea de manera no planificada, sin las medidas necesarias que garanticen su conservación.

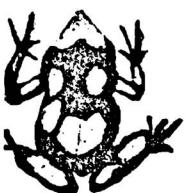
Las aguas subterráneas se originan principalmente por exceso de precipitación que se infiltra directa o indirectamente a través de la superficie del suelo. Como consecuencia, las mismas actividades humanas que deterioran el recurso hídrico superficial, pueden constituir una amenaza a la calidad del agua subterránea (Foster e Hirata, 2002).

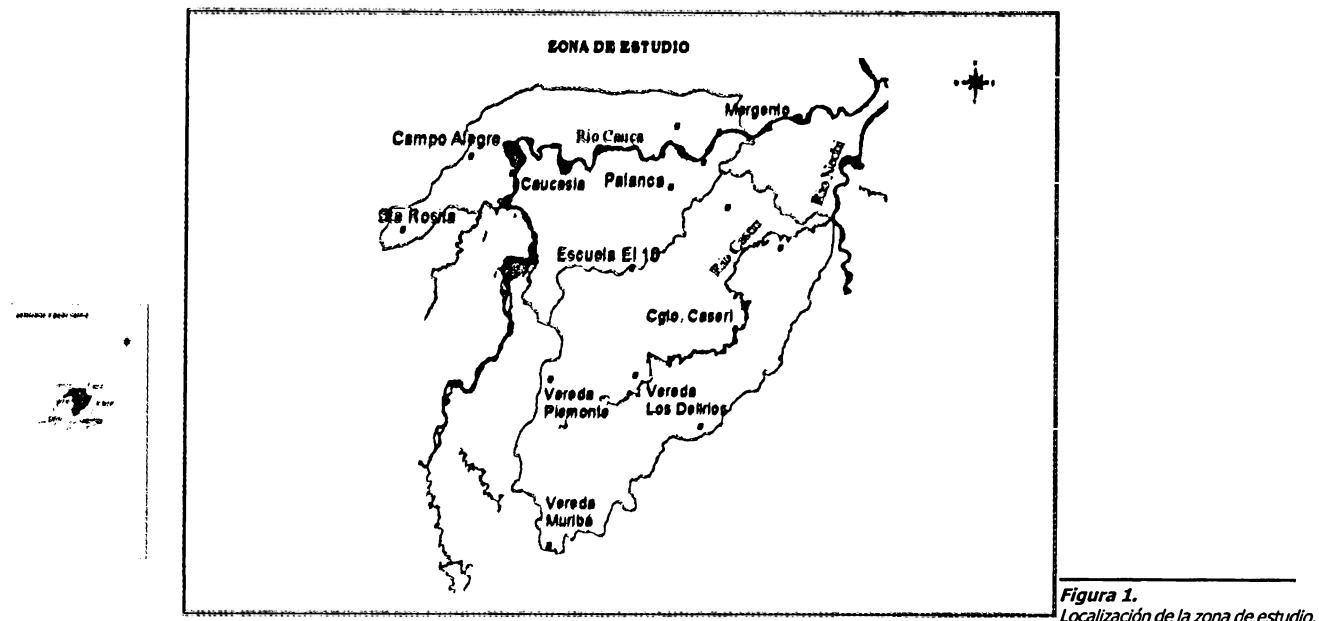
La contaminación de los acuíferos ocurre cuando la carga de contaminantes sobre el subsuelo generada por descargas o lixiviados de actividades urbanas, industriales, agropecuarias o mineras no es controlada adecuadamente, y en ciertos componentes la carga excede la capacidad natural de atenuación del subsuelo y estratos suprayacentes. Cuando el recurso hídrico subterráneo llega a ser contaminado no puede depurarse por sí mismo en escalas de tiempo humano, debido a que las corrientes de las aguas freáticas son lentas y no turbulentas, y los contaminantes no se diluyen ni se dispersan de manera efectiva. Esto implica que para que las aguas subterráneas contaminadas puedan liberarse naturalmente de los desechos contaminantes pueden ser necesarios a veces cientos de miles de años.

La evaluación del peligro de contaminación del recurso hídrico subterráneo exige la identificación de dos variables: la vulnerabilidad y la amenaza, la primera asociada a las características naturales de los estratos que lo separan de la superficie del suelo y la otra relacionada con la carga contaminante aplicada y que pueda alcanzar el medio subterráneo.

La Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia, CORANTIOQUIA, viene adelantando estudios, en El Bajo Cauca Antioqueño desde el año 2001, relacionados con el recurso hídrico subterráneo, recurso estratégico social y ambientalmente por la importancia que tiene para satisfacer la demanda de la población y por estar relacionadas directamente con las corrientes superficiales manteniendo su caudal de base y contribuyendo a la preservación del equilibrio ecológico de zonas como humedales, ciénagas, ríos y quebradas. Los proyectos realizados entre 2003 y 2005 con la Universidad de Antioquia proporcionan una aproximación al modelo conceptual del sistema acuífero del Bajo Cauca Antioqueño, sin llegar en ninguno de ellos a realizarse una caracterización de carga contaminante, ya que los objetivos estaban enfocados hacia la evaluación hidrogeológica básica, la cual, dentro de sus alcances, llega a lo sumo a la evaluación de la vulnerabilidad sin trascender hacia la amenaza, el peligro y el riesgo.

Este artículo presenta los resultados de la investigación "Identificación y clasificación de fuentes potenciales de contaminación del acuífero libre del Bajo Cauca Antioqueño" realizado por Gaviria (2005) como trabajo de grado del programa Ingeniería Sanitaria en la Universidad de Antioquia y el cual cumplió con el objetivo de realizar una caracterización preliminar de las principales fuentes potenciales de contaminación que puedan impactar los acuíferos libres del Bajo Cauca Antioqueño en un área de 1700 km<sup>2</sup>, al norte del municipio de Caucasia y en la cuenca del río Caserí, con el fin de aportar en la prevención, control y protección de la contaminación al recurso hídrico subterráneo (Figura 1).





## **2. METODOLOGÍA**

El término contaminación de un recurso hídrico se refiere a la incorporación de sustancias que provocan un cambio en la calidad del agua, afectando la salud del hombre, la calidad de vida o el funcionamiento natural del ecosistema.

El peligro de contaminación del agua subterránea puede definirse como la probabilidad que un acuífero experimente impactos negativos a partir de una actividad antrópica dada hasta un nivel tal que el agua subterránea se torne inaceptable para el consumo humano. Este peligro puede ser determinado, considerando la interacción entre la carga contaminante sub-superficial que es, será o podría ser aplicada en el subsuelo como resultado de las actividades humanas y la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación (Foster e Hirata, 2002).

La preocupación por la contaminación de las aguas subterráneas se relaciona principalmente a los acuíferos no confinados o libres, sobre todo en lugares donde la zona no saturada es delgada y el nivel freático poco profundo.

Aunque el tipo de contaminante determina en cierta medida las características de la contaminación, las condiciones del flujo subterráneo, especialmente en los medios porosos, confieren a la contaminación de las aguas subterráneas ciertos rasgos que la diferencian de la de las aguas superficiales.

Según su distribución espacial, las fuentes contaminantes se clasifican en difusas, puntuales y lineales. Las difusas no generan plumas de contaminación claramente definidas, sino que normalmente impactan en un área (por lo tanto un volumen) mucho mayor del acuífero; las fuentes puntuales normalmente producen plumas claramente definidas y más concentradas, las cuales facilitan su identificación (y en algunos casos el control); sin embargo cuando estas actividades que producen fuentes de contaminación puntual, son pequeñas y múltiples, terminan por equivaler a una fuente esencialmente difusa en lo que respecta a su identificación y control. Por último las fuentes de contaminación lineal hacen referencia a corrientes de agua superficial y a sistemas de alcantarillado con fugas.

Otra consideración necesaria sobre la carga contaminante hace referencia a la existencia de fuentes pasadas o heredadas de contaminación donde los procesos contaminantes o la actividad



completa cesó algún tiempo, pero aún existe el peligro de generación de carga contaminante al subsuelo por el lixiviado de los terrenos contaminados.

Foster e Hirata agrupan las potenciales actividades contaminantes en los tipos desarrollo urbano, industria, agricultura y actividad minera, tal como se indica en la Tabla 1.

Foster e Hirata en 1991 y luego en 2002 han planteado y propuesto ideas y metodologías referentes a los procesos y determinaciones de riesgo y peligro de contaminación de las aguas subterráneas y así mismo a la caracterización de la carga contaminante.

Desde un punto de vista metodológico, la carga contaminante al subsuelo generada por una actividad antrópica dada tiene cuatro características cuya magnitud se califica de 0 a 1. Son ellas la clase de contaminante, el modo de disposición, la intensidad y la duración. La interacción entre estas características permite caracterizar la carga contaminante como se explica aquí.

La clase de contaminante involucrado (Figura 2) esta definida por su tendencia hacia la degradación o transformación in-situ (como resultado de la actividad bacteriológica o reacción química en el ambiente subterráneo) y por su coeficiente de retardo (relacionado con el flujo de aguas subterráneas y los procesos como intercambio de cationes, sorción, etc). Mientras más lenta sea la degradación y más insignificante el retardo, el contaminante será más peligroso y en un intervalo de 0 a 1 será el mayor valor, es decir 1. Entre mas móvil y menos persistente sea el contaminante, su peligrosidad es menor.

La intensidad de la contaminación (Figura 3) esta definida por la concentración probable del contaminante en el efluente o lixiviado, en relación con los valores guía recomendados por la Organización Mundial de la Salud OMS para la calidad de agua potable y por la proporción de la recarga del acuífero involucrada en el proceso de contaminación. Su mayor calificación estará en condiciones de concentración relativa entre 106 y 109, para una proporción de la recarga afectada mayor del 10%.

El modo en que el contaminante es descargado al subsuelo (Figura 4) esta definido por la carga hidráulica (incremento sobre la tasa de recarga natural o sobre recarga hidráulica) asociada con la descarga de contaminante y la profundidad debajo de la superficie del terreno, en la cual el efluente o lixiviado contaminado que ingresa es descargado o generado. Cuando el contaminante es descargado en la superficie entra a jugar un papel importante la carga hidráulica asociada a la descarga del contaminante, pero cuando la descarga del contaminante se hace directamente al nivel freático tiene mayor efecto sobre la calidad del recurso y por tal razón su valor relativo es de 1 para esta condición.

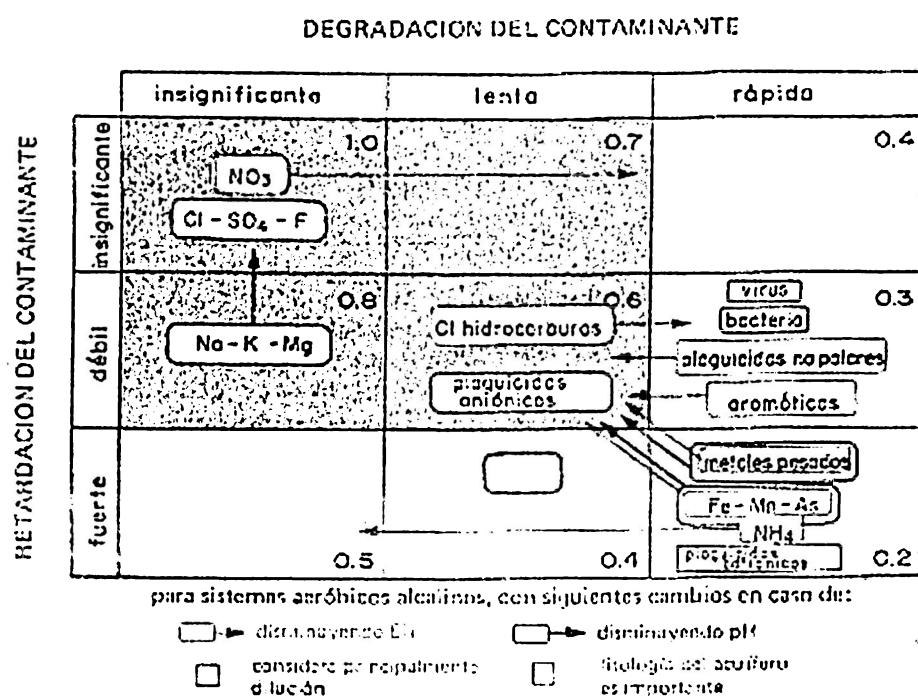
La duración de la aplicación de la carga contaminante (Figura 5) esta definida por la probabilidad de descarga del contaminante al subsuelo y por el período durante el cual la carga contaminante es aplicada. Para este caso el período de aplicación de la carga contaminante durante décadas, asociada con una probabilidad de descarga cerca al 100 % es la situación mas crítica, es decir su valor relativo será 1. Los accidentes ambientales con poca probabilidad y tiempo de ocurrencia horas tendrán la mínima calificación.

TIPO DE ACTIVIDAD	Categoría de distribución	CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA CONTAMINANTE		
		Principales tipos de contaminante	Sobrecarga hidráulica	Aplicada debajo de la capa de suelo
<b>DESARROLLO URBANO</b>				
Saneamiento sin alcantarillado	u / r P - D	n f o t	*	*
Sistemas con fugas	u P - L	o f n t	*	
lagunas de oxidación de aguas residuales	u / r P	o f n t	**	*
Descarga de agua residuales al suelo	u / r P - D	n s o f t	*	
Descarga de aguas residuales al río	u / r P - L	n o f t	**	**
Lixiviación de rellenos/botaderos	u / r P	o s h t		*
almacenamiento de combustible	u / r P - D	t		
Sumideros de drenaje de las carreteras	u / r P - D	e t	*	**
<b>INDUSTRIAL</b>				
tanque/tubería con fugas	u P - D	t h		
Derrames accidentales	u P - D	t h	*	
lagunas de efluentes	u P	t o h s	**	*
Descarga de efluentes al suelo	u P - D	t o h s	*	
Descarga efluentes al río	u P - L	t o h s	**	**
Lixiviación de residuos	u / r P	o h s t		
Sumideros de drenaje	u / r P	t h	**	**
precipitaciones aéreas de sustancias	u / r D	e t		
<b>AGRICOLA (c)</b>				
a) cultivo del suelo				
con agroquímicos	r D	n t		
con irrigación	r D	n t s	*	
con lodos proveniente de agua residual	r D	n t s o		
Bajo riego con aguas residuales	r D	n t o f	*	
b) cría de ganado/procesos de cosecha				
lagunas de efluentes	r P	f o n t	**	*
Descarga de efluentes en el suelo	r P - D	n s o f t		
Descarga hacia ríos influentes	r P - L	o n f t	**	**
<b>EXTRACCION MINERA</b>				
Alteración del régimen hidráulico	u / r P - D	s h		
Descarga de aguas de drenaje	u / r P - D	h s	**	**
Aguas de proceso/ lagunas de lodos	u / r P	h s	*	*
Residuos con lixiviación	u / r P	s h		
u / r Urbano/rural		o Carga orgánica general		
P/L/D Puntual/lineal/difusa		a Salinidad		
* Incrementa la importancia		h Metales pesados		
n nutrientes		t Microorganismos tóxicos		
f Patógenos fecales				

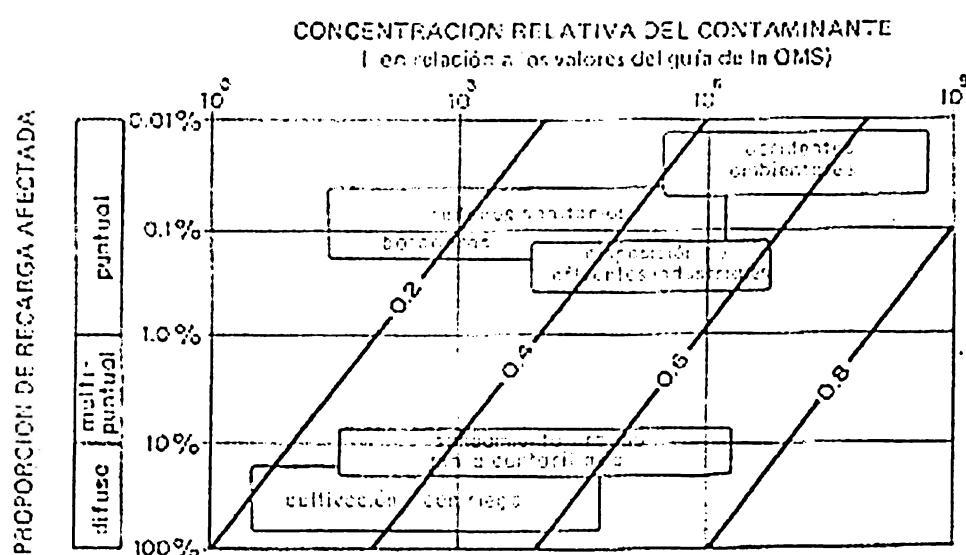
Tabla 1.

Actividades potencialmente generadoras de carga contaminante al subsuelo.  
(tomada de Foster e Hirata, 1991)

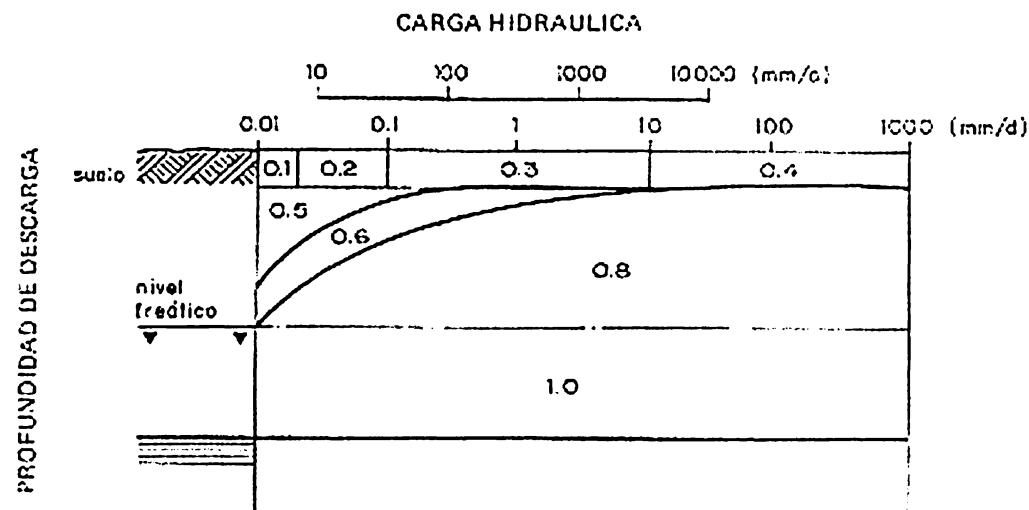




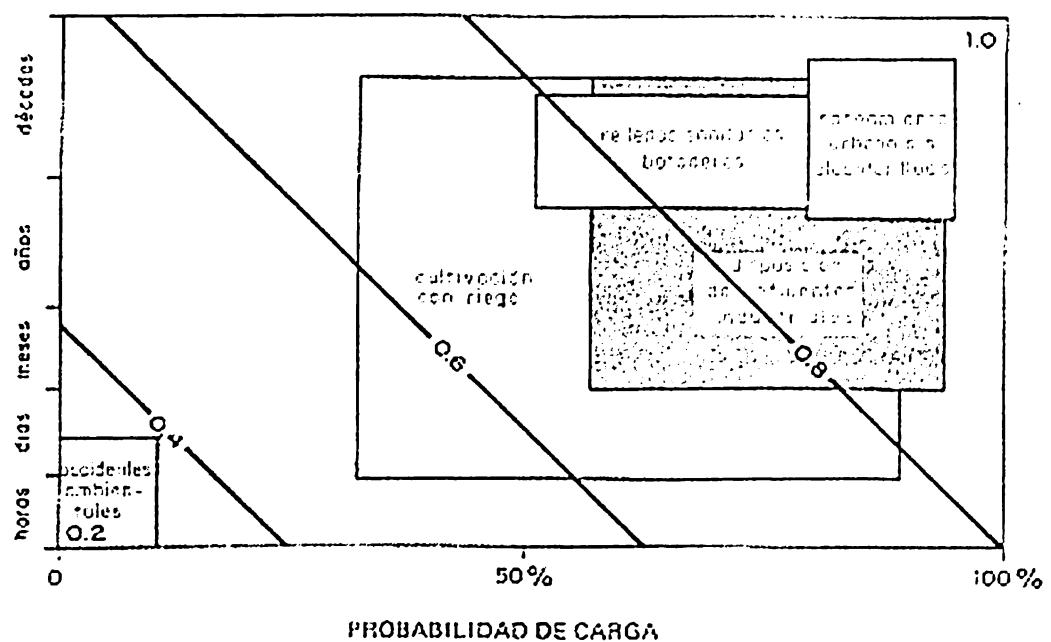
**Figura 2.**  
Clase de contaminante (Tomada de Foster e Hirata 1991)



**Figura 3.**  
Intensidad de la contaminación (Tomada de Foster e Hirata 1991)



**Figura 4.**  
Modo de aplicación del contaminante (Tomada de Foster e Hirata 1991)



**Figura 5.**  
Duración de la aplicación (Tomada de Foster e Hirata 1991)

La caracterización de la carga contaminante a los acuíferos libres del Bajo Cauca al norte de Caucasia y en la cuenca del río Caserí, se realizó guiados por la metodología propuesta por Foster e Hirata, tal como se ha descrito aquí y para ello se efectuó un inventario de cargas contaminantes en campo y una posterior clasificación y mapificación de la misma.

El inventario comprendió la identificación, localización espacial y toma de información acerca de las potenciales fuentes de contaminación.

Esta actividad se realizó, entre los años 2004 y 2005, haciendo un recorrido en la zona de estudio predio a predio, de manera tal que se tuviera una entrevista con un informante y una visualización directa de las fuentes potenciales de contaminación. El análisis de la información consignada en cada formato permitió completar y confrontar los datos suministrados en las entrevistas de campo. De esta manera se logró una identificación y clasificación preliminar de las posibles fuentes potenciales de contaminación que pueden estar afectando los acuíferos libres del Bajo Cauca Antioqueño en la zona de estudio: desarrollo urbano, actividad agrícola, actividad pecuaria, actividad minera y accidentes ambientales. La actividad industrial no es relevante en la región. Cada actividad principal se subdividió en otra serie de acciones que generaron finalmente un amplio abanico de categorías de actividad contaminante, tal como se muestra en la Tabla 2. A cada categoría se le asignó un código formado por las dos letras iniciales de la actividad principal y por dos dígitos consecutivos.

El desarrollo urbano, DU, registra actividades contaminantes, subclase 1, asociadas a saneamiento básico, almacenamiento de combustibles, y cementerios. A su vez el saneamiento básico puede registrar efectos asociados a la manera de disposición y tratamiento de aguas residuales y desechos sólidos, los que a su vez registran diferentes variantes que finalmente permitirán contar con una serie de categorías de actividad contaminante.

Para la actividad industrial, AI, se registraron en la subclase 1 las posibilidades de vertimiento de aguas residuales industriales al alcantarillado, la existencia de sistemas de recolección de aguas residuales, la ocurrencia derrames accidentales, la disposición de residuos sólidos y la precipitación aérea de sustancias. De nuevo cada opción despliega un abanico de nuevas posibilidades para obtener luego las categorías y códigos correspondientes a la actividad industrial.

La producción agrícola, PA, tiene que ver con los cultivos y la manera como se presentan en la zona de estudio. En la subclase 1 se diferenciaron cultivos que se dan en forma extensiva o de pancoger. Para estas dos formas de cultivo se definió la subclase 2 asociada a la utilización de plaguicidas, fertilizantes y el riego con aguas residuales domésticas y la subclase 3 se relacionó con el modo como ellos son aplicados, por aspersión o irrigación.



El análisis de la producción pecuaria, PP, considera para la subclase 1 la actividad ganadera, la actividad avícola, la actividad porcícola y la actividad piscícola. La subclase 2 para la actividad ganadera tiene que ver con la forma como ésta se presenta de manera extensiva o con pocas cabezas de ganado asociadas al predio y también si es utilizado el excremento de estos animales como abono. Para la subclase 3 son considerados los lugares de descarga de los efluentes generados en esta actividad, los cuales pueden ser a lagunas, al suelo o a corrientes superficiales. Para las restantes subclases 1, se asocia el tipo de producción que se da de ellas, es decir, de forma industrial o casera y también se tiene en cuenta si el excremento producido en cada una de estas actividades es utilizado como abono. Estas últimas consideraciones pertenecen a la subclase 2.

La extracción minera, EM, contempla en la subclase 1 las opciones de minería de metales, cantera, carbón o petróleo, y a la vez la minería de metales reconoce en la subclase 2 las posibilidades de actividades a cielo abierto o subterránea. La categoría está definida por las iniciales EM y los dígitos ordinales del 01 al 05.

Los accidentes ambientales, AA, consideran los derrames, la presencia de animales o de materiales extraños como componentes de la subclase 1. Por su parte los derrames se pueden producir en lagunas, directamente en el suelo o en corrientes superficiales y la presencia de animales puede corresponder a seres vivos o muertos. Estas últimas consideraciones hacen parte de la subclase 2.

Para la zona de estudio se reconocieron 32 de las 80 categorías definidas.

Aunque en la realidad cada fuente potencial de contaminación genere diferentes tipos de contaminantes, para los fines de una caracterización preliminar de los índices de generación de carga contaminante al acuífero libre del Bajo Cauca Antioqueño en la zona de estudio, se seleccionó

**Investigación**

Clase	Subclase 1	Subclase 2	Subclase 3	Subclase 4	Subcla	Categor
DU Desarrollo Urbano	Saneamiento	Aguas residuales	Zona Urbana	Alcantarillad	DU1	
				Lagunas de Oxidación	DU2	
				Plantas de tratamiento	Corrient	DU3
			Descarga de AR	Terreno	DU4	
				Corrient	DU5	
		Zona Rural	Terreno	DU6		
			Laguna	DU7		
		Residuos sólidos	Zona Urbano/Rural	Alcantarillad	DU8	
				Lagunas de Oxidación	DU9	
				Plantas de tratamiento	Corrient	DU10
	Descarga de AR		Terreno	DU11		
			Corrient	DU12		
	Zona Urbana	Pozo séptico	DU13			
		Letrina	DU14			
	Almacenamiento de Combustibles Sumideros de carretera Cementerios	En superficie	Zanja	DU15		
			Relleno Sanitario	DU16		
			Botadero a cielo abierto	DU17		
		Enterrados	Excavación	DU18		
			Corriente superficial	DU19		
Aljibes			DU20			
			DU21			
			DU22			
			DU23			
			DU24			
			DU25			
			DU26			
AI Actividad Industrial	Vertimiento al Alcantarillado	Tratamiento	Descarga a	AI1		
			Descarga al	AI2		
		Sin tratamiento	Descarga a	AI3		
			Descarga a	AI4		
			Descarga el	AI5		
	Sistema de recolección de A.R	Descarga a	AI6			
			AI7			
			AI8			
	Derrames accidentales	Con fugas	AI9			
		Sin fugas	AI10			
		Derrame a corriente	AI11			
	Disposición de residuos	Derrame al terreno	AI12			
		Derrame a laguna	AI13			
		Relleno Sanitario	AI14			
	Precipitación aérea de	Botadero a cielo	AI15			
Corriente Superficial						
PA Producción Agrícola	Cultivo Extensivo	Plaguicida	Aspersión	PA 1		
		Fertilizantes	Irrigación	PA 2		
		Agua residuales	Aspersión	PA 3		
	Irrigación		PA 4			
	Plaguicida		Aspersión	PA 5		
		Irrigación	PA 6			
		Cultivo de Pan Coger	Aspersión	PA 7		
	Irrigación		PA 8			
	Aguas Residuales		Aspersión	PA 9		
		Irrigación	PA 10			
			Aspersión	PA 11		
		Irrigación	PA 12			
PP Producción Pecuaria	A_ Ganadera	Extensiva	Efluentes a	PP 1		
			Efluentes al	PP 2		
		Pocas Cabezas	Efluentes a	PP 3		
			Efluentes a	PP 4		
			Efluentes al	PP 5		
	A _ avicola	Excremento como	Efluentes a	PP 6		
				PP 7		
		Industrial	Industrial	PP 8		
			Casera	PP 9		
			A_ Porcicola	Excremento como	PP 10	
	Industrial	PP 11				
	Casera	PP 12				
	A _ piscicola	Excremento como	PP 13			
		Industrial	PP 14			
		Casera	PP 15			
	Excremento como	PP 16				

**Tabla 2.**

*Clases y categorías de actividades potencialmente generadoras de carga contaminante*

el tipo de contaminante de cada categoría que pudiera tener más importancia en términos del impacto que su presencia genere en el recurso hídrico subterráneo y sobre la comunidad que se abastece de él.

Finalmente cada categoría fue ubicada en cada una de las cuatro gráficas que, de acuerdo con la metodología de análisis propuesta por Foster e Hirata, permitieron caracterizar o calificar la carga contaminante. Según la posición asignada a cada categoría en los gráficos de clase, intensidad, modo y duración, fueron obtenidos los valores relativos para cada una de las características de la carga contaminante, los cuales relacionados matemáticamente, expresión 1, arrojaron un valor de índice potencial de generación de carga contaminante, ICC, (Rueda y Angel, 2004).

$$\text{ICC} = \text{CIFC}^* \text{VRC} + \text{CIFI}^* \text{VRI} + \text{CIFM}^* \text{VRM} + \text{CIFT}^* \text{VRT} \quad (1)$$

Donde:

VRC, VRI, VRM y VRT: Valores relativos asignados a la clase, intensidad, modo y duración del contaminante.

CIFC, CIFI, CIFM Y CIFT : Coeficientes de importancia de los factores clase, intensidad, modo y duración del contaminante.

Los coeficientes de importancia son: 0.31 para la clase de contaminante, 0.25 para la intensidad, 0.23 para el tiempo de aplicación y 0.21 para el modo de disposición.

El ICC con valores entre 0 y 1 será calificado como elevado en el intervalo 0.61-1.0, moderado entre 0.31 y 0.6 y reducido desde 0 hasta 0.3

La georeferenciación que se hizo de cada uno de los sitios visitados y encuestados, la posterior tabulación y procesamiento de la información, la definición de categorías para cada fuente potencial de contaminación, la definición del principal contaminante asociado a cada una de estas categorías y su consecuente clasificación en términos de clase, intensidad, modo y duración que permitieron obtener en cada caso el ICC, forman en conjunto la serie de elementos con los cuales se configuró una base de datos espacial que, mediante las potencialidades de mapificación de los Sistemas de Información Geográfica, SIG, se pudieron representar y así visualizar las condiciones de amenaza a que está sometido el recurso hídrico subterráneo al norte de Caucasia y en la cuenca del río Caserí.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN



La localización de cada categoría de actividad contaminante en las graficas de clase de contaminante y modo de disposición, una vez identificada la principal sustancia contaminante, es relativamente sencilla, lo mismo que la asignación en ellas de un valor relativo o calificación ya que el cuadrante completo tiene una única calificación. En los casos correspondientes a intensidad y duración el valor relativo se debe calcular mediante interpolación lineal.

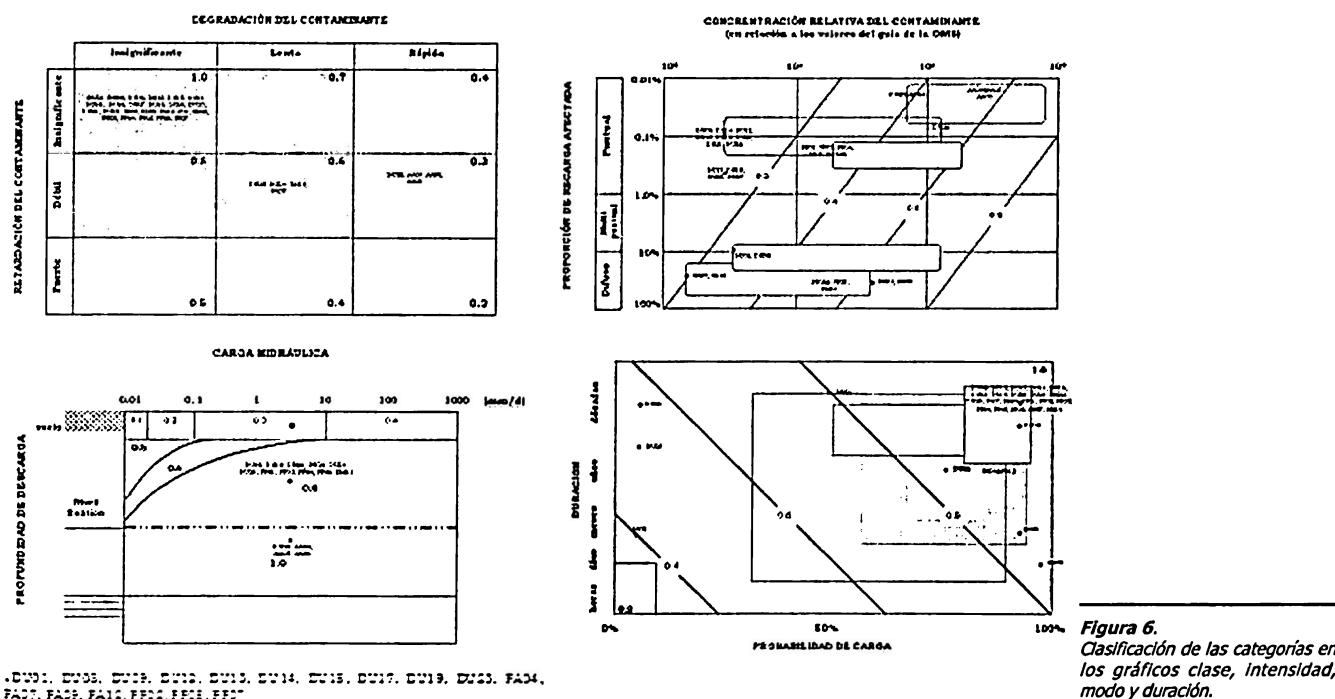
Para el Bajo Cauca y acorde con la información presentada en la Tabla 1, las potenciales fuentes de contaminación son: los compuestos de nutrientes, los patógenos fecales, la carga orgánica general, la salinidad, los metales pesados, los plaguicidas y los microorganismos tóxicos.

En la Figura 6 se observa la clasificación de las categorías de actividades contaminantes en los gráficos clase, intensidad, modo y duración y en la Tabla 3 se sintetiza el ICC encontrado para cada una.

La mapificación de los resultados obtenidos en relación con la caracterización de la carga contaminante para cada categoría considerada permite visualizar la gran magnitud de la amenaza a la que están sometidas las aguas almacenadas en las unidades hidrogeológicas clasificadas

como acuíferos libres.

El desarrollo urbano (Figura 7) presenta en varios sitios la coincidencia de varias categorías que pueden influenciar de manera negativa la calidad del recurso hídrico subterráneo. Las descargas de agua residual doméstica, la disposición de residuos sólidos de manera que pudieran afectar el acuífero coincidieron en 209 puntos, representando esto un 44% del total de puntos inventariados.



La actividad agrícola (Figura 8) presentó un índice de generación de carga contaminante elevado para tres de las cuatro categorías asignadas a esta actividad. La única que obtuvo el valor de moderada fue la utilización de plaguicidas con el método de aplicación por aspersión en los cultivos de pan coger (PA07).

Todas las categorías asociadas a la actividad pecuaria (Figura 9) arrojaron un ICC elevado por encima de 0.69, obteniéndose el mayor valor para la categoría en la cual los excrementos del ganado son utilizados como abono (PP07).

La minería (Figura 10) sigue siendo activa en algunas partes del Bajo Cauca Antioqueño, impactando de esta manera con un índice de carga contaminante elevado (0.72) las aguas freáticas de la región. Es importante tener en cuenta que esta actividad ha sido ejercida por muchos años, lo cual asocia a ella una fuente potencial de contaminación heredada.

Los accidentes ambientales (Figura 11) sobre todo los relacionados con la presencia de animales muertos, ya en estado de descomposición, en aguas utilizadas para abastecimiento humano generan un gran riesgo en la salud de aquellas personas que dependen de este valioso recurso. Los índices de generación de carga contaminante determinados para esta actividad fueron elevados para las categorías de animales vivos y muertos al interior de la captación y moderado para la presencia de materiales extraños en las mismas.

**Tabla 3.**  
*Caracterización de actividades contaminantes por categoría en la zona de estudio*

<b>Tipo de actividad</b>	<b>Categoría</b>	<b>Valor ICC</b>	<b>Clasificación</b>
<b>Desarrollo Urbano</b>	DU01	0.69	Elevado
	DU08	0.69	Elevado
	DU09	0.74	Elevado
	DU12	0.70	Elevado
	DU13	0.64	Elevado
	DU14	0.74	Elevado
	DU15	0.70	Elevado
	DU16	0.75	Elevado
	DU17	0.64	Elevado
	DU18	0.74	Elevado
	DU19	0.64	Elevado
	DU20	0.74	Elevado
	DU21	0.74	Elevado
	DU22	0.78	Elevado
<b>Producción Agrícola</b>	DU23	0.46	Moderado
	DU24	0.58	Moderado
	DU26	0.62	Elevado
	PA04	0.74	Elevado
<b>Actividad Pecuaria</b>	PA07	0.53	Moderado
	PA09	0.77	Elevado
	PA12	0.66	Elevado
	PP01	0.80	Elevado
<b>Extracción Minera</b>	PP02	0.69	Elevado
	PP03	0.75	Elevado
	PP04	0.80	Elevado
	PP05	0.69	Elevado
	PP06	0.80	Elevado
	PP07	0.85	Elevado
	EM01	0.72	Elevado
<b>Accidentes Ambientales</b>	AA04	0.65	Elevado
	AA05	0.68	Elevado
	AA06	0.50	Moderado

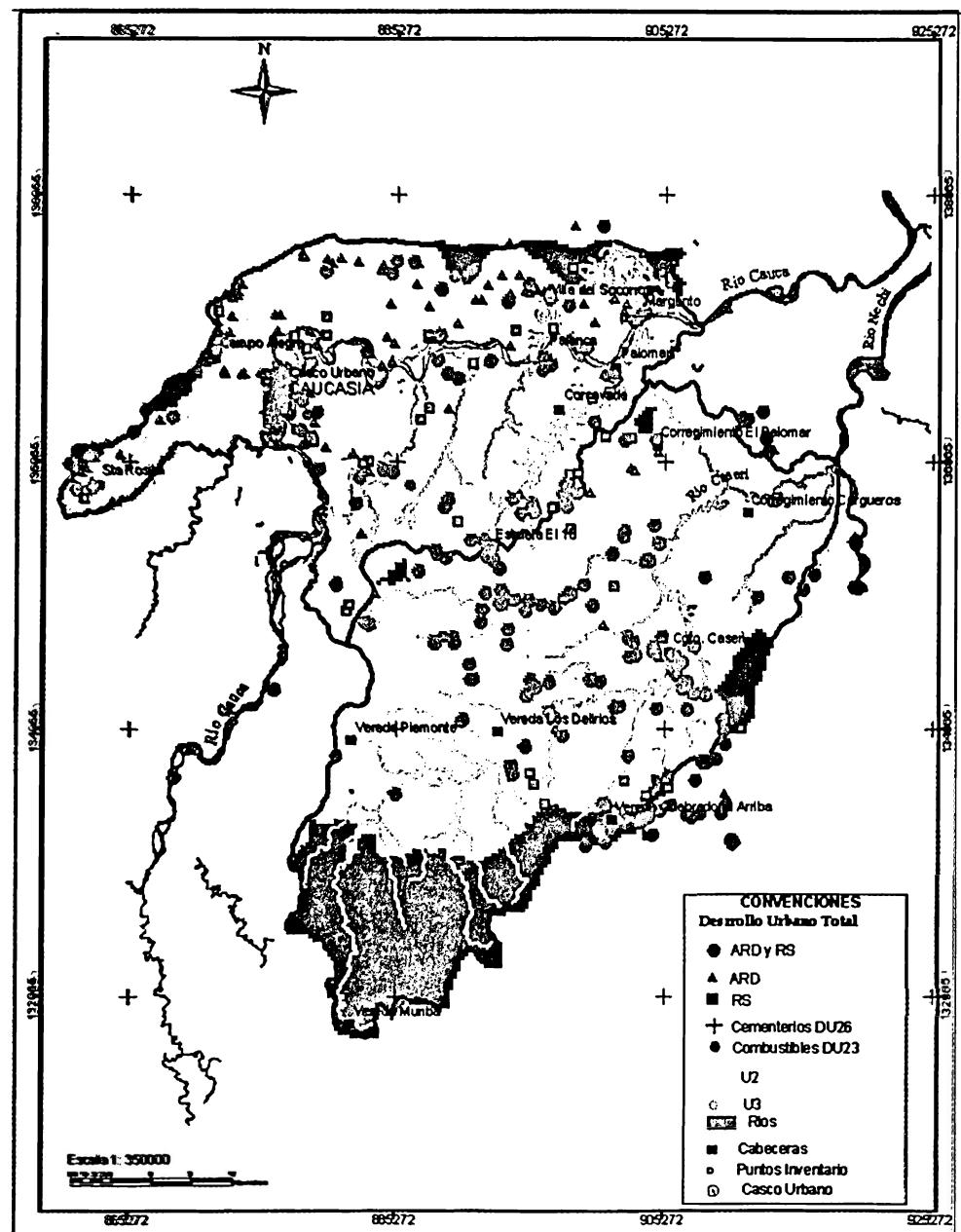
#### 4. CONCLUSIONES

Mediante la realización del estudio "Identificación y clasificación de fuentes potenciales de contaminación del acuífero libre del Bajo Cauca Antioqueño", se logró realizar una caracterización preliminar de las principales fuentes potenciales de contaminación que puedan impactar el acuífero libre del Bajo Cauca Antioqueño al norte del municipio de Caucasia y en la cuenca del río Caserí, utilizando la metodología propuesta por Foster e Hirata en 1991 y ajustada y replanteada por los mismos autores en 2002. Esta metodología nunca antes había sido interpretada y aplicada en el medio para tal f... Solo una breve aproximación al respecto es reportada por Rueda y Angel en HidroRed durante el IV Seminario-Taller. Protección de acuíferos frente a la contaminación: protección de la calidad del agua llevado a cabo en Lima, Perú en abril de 2004.

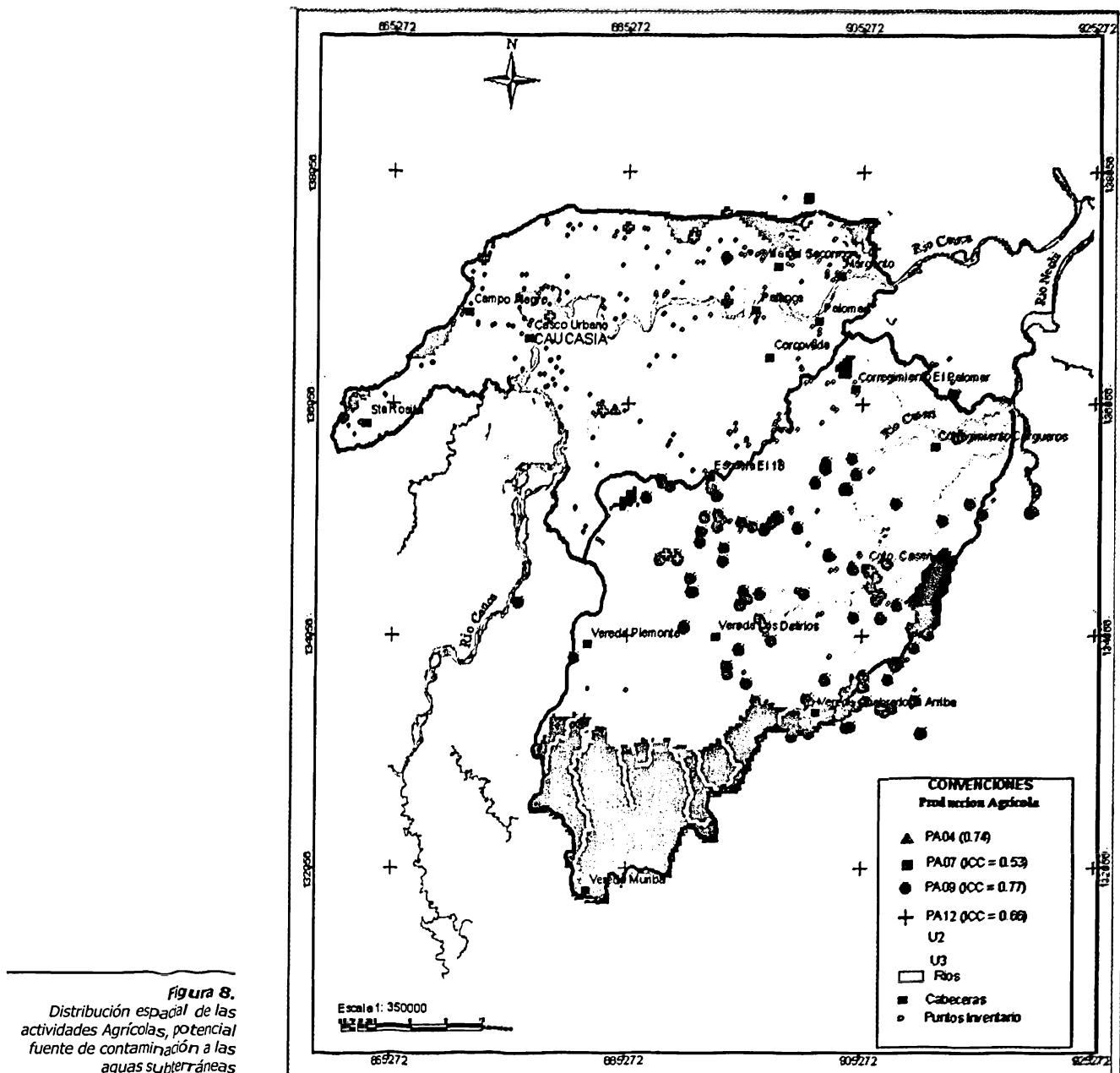
Para la zona de estudio se identificaron cinco actividades contaminantes principales, asociadas ellas a desarrollo urbano, producción agrícola, producción pecuaria, actividad minera y accidentes ambientales.

Las categorías de actividad consideradas fueron caracterizadas calculando el Índice de Generación de Carga Contaminante ICC.

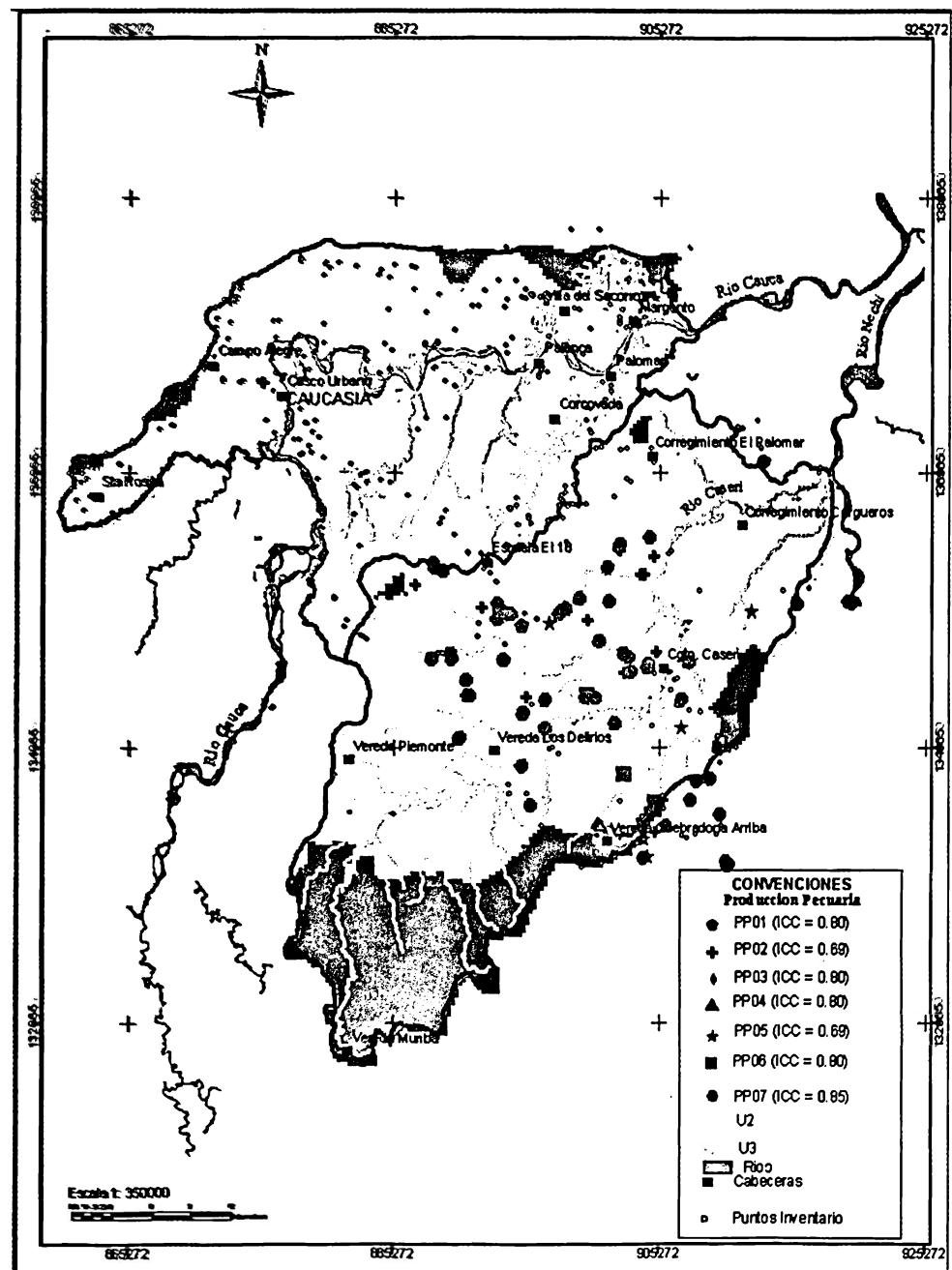
Con un esfuerzo mínimo será posible relacionar los resultados obtenidos en este estudio con los mapas de vulnerabilidad obtenidos durante las evaluaciones hidrogeológicas ya realizadas y obtener una calificación de riesgo de contaminación de las aguas subterráneas de los acuíferos libres en la zona de estudio.



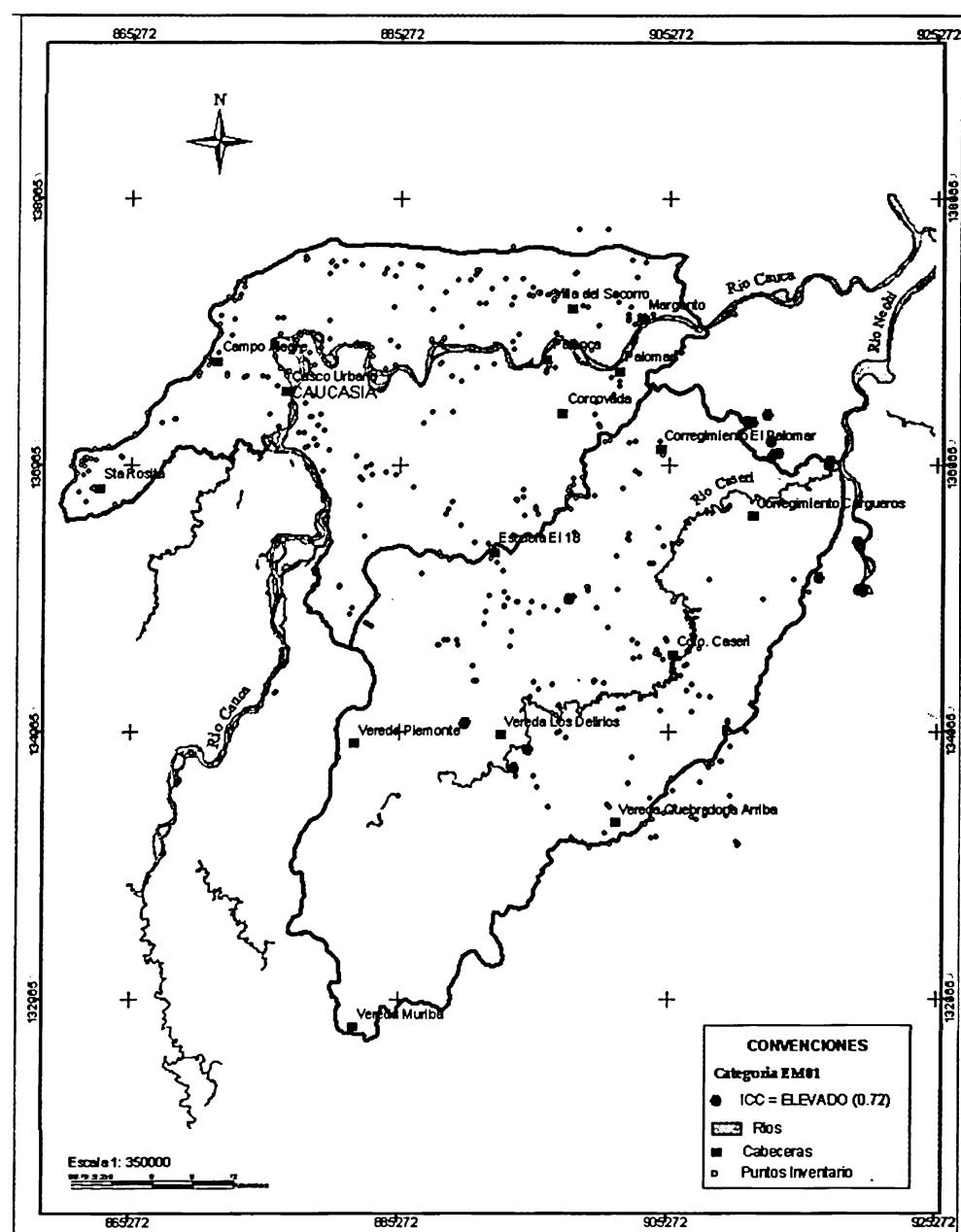
**Figura 7.**  
Distribución espacial de las actividades de Desarrollo Urbano, potencial fuente de contaminación a las aguas subterráneas



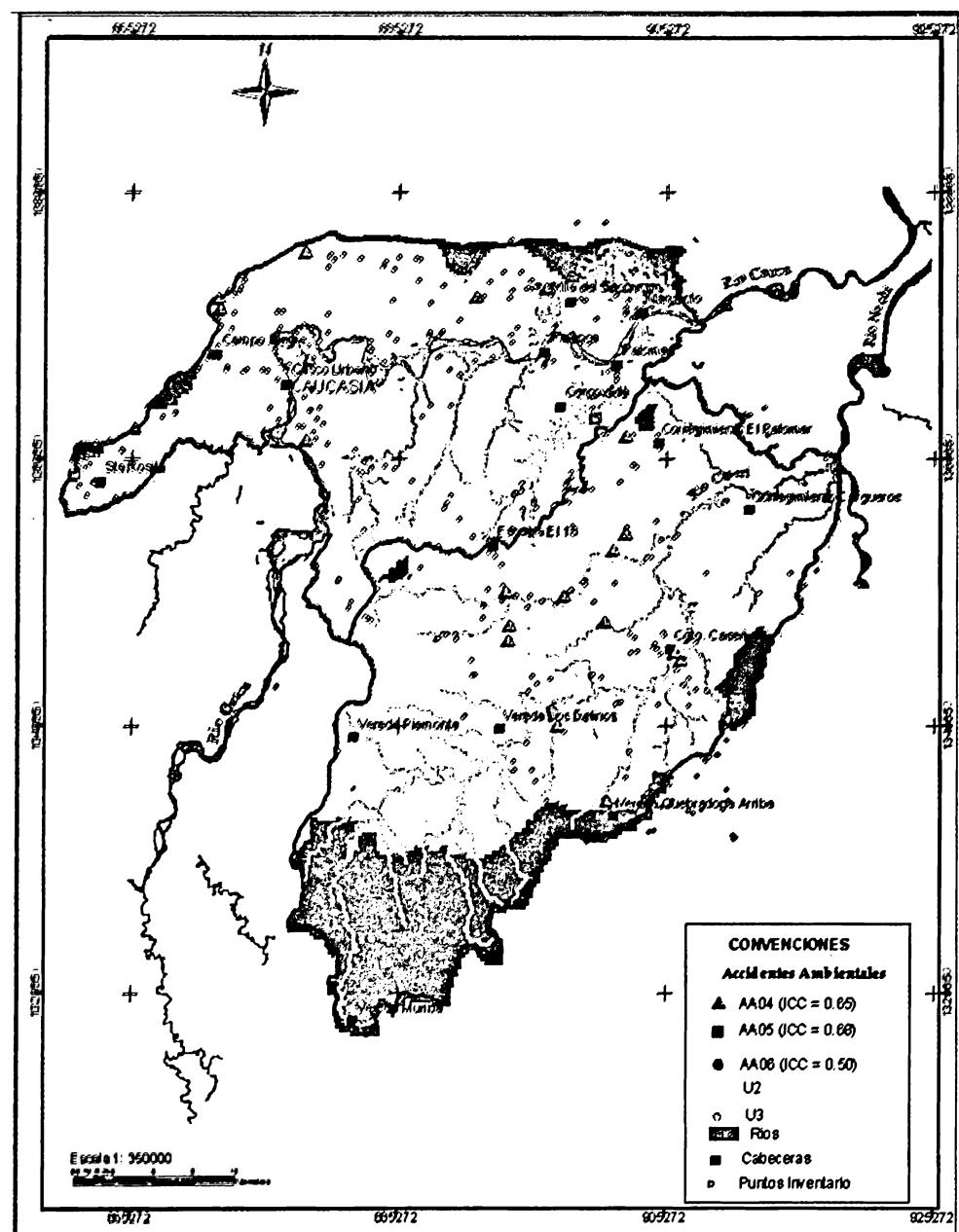
**Figura 8.**  
*Distribución espacial de las actividades Agrícolas, potencial fuente de contaminación a las aguas subterráneas*



**Figura 9.**  
Distribución espacial de las actividades Pecuarias, potencial fuente de contaminación a las aguas subterráneas



**Figura 10.**  
Distribución espacial de las actividades Mineras, potencial fuente de contaminación a las aguas subterráneas



---

**Figura 11.**  
*Distribución espacial de los accidentes ambientales, potencial fuente de contaminación a las aguas subterráneas.*

## 5. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus más sinceros agradecimientos a CORANTIOQUIA y a la comunidad del Bajo Cauca Antioqueño.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- CORANTIOQUIA - Universidad de Antioquia, 2003. Evaluación hidrogeológica entre los municipios de Caucasia y Cáceres.
- CORANTIOQUIA - Universidad de Antioquia, 2004. Evaluación hidrogeológica y vulnerabilidad de acuíferos al norte del municipio de Caucasia.
- CORANTIOQUIA - Universidad de Antioquia, 2005. Evaluación hidrogeológica y vulnerabilidad de acuíferos en la cuenca del Río Caserí.
- Foster, S. e Hirata, R., 1991. Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- Foster, S. e Hirata, R., 2003. Protección de la calidad del agua subterránea: Guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales. Mundi-prensa, Banco Mundial.
- Gaviria, J. I., 2005. Identificación y clasificación de fuentes potenciales de contaminación del acuífero libre del Bajo Cauca Antioqueño. Trabajo de grado Ingeniería Sanitaria, Universidad de Antioquia.
- Rueda, M. y Angel, J., 2004. Propuesta metodológica preliminar para calificar la carga contaminante al suelo en un acuífero libre. IV Seminario-Taller. Protección de acuíferos frente a la contaminación: protección de la calidad del agua. Lima, Perú.

