

La clasificación sapróbica del ENA

INTRODUCCION

Dentro de las múltiples actividades adelantadas, durante la realización del ESTUDIO NACIONAL DE AGUAS (ENA), por Mejía Millán y Perry Ltda., se encuentra la de la formulación de un modelo de clasificación sapróbica simplificada para los cursos de agua del país.

En este artículo se presenta un resumen de dicho trabajo, tratando de satisfacer los intereses de especialistas y neófitos en

el tema a la vez, divulgando los elementos esenciales del modelo de calidad de agua formulado.

El modelo, descrito como el modelo sapróbico del ENA, fué formulado como una herramienta de ayuda para las EMAR, Entidades de Manejo del Recurso, en la formulación y adopción de las políticas de administración del agua y control de vertimiento de residuos líquidos.

EL SISTEMA SAPROBICO

Generalmente se reconoce que en un cuerpo de agua, normalmente saludable, existe un ciclo biodinámico que da como resultado un equilibrio de la vida animal y vegetal. En términos muy simples, el efecto de la polución consiste en alterar dicho ciclo y desordenar los componentes ambientales del mismo. Teniendo en cuenta que los componentes físicos, químicos, biológicos y ambientales del medio hídrico son tan variables, se han desarrollado y formulado diferentes metodologías para detectar, diagnosticar y cuantificar la polución del agua.

A principios del siglo, Kolkwitz y Marsson (2) (3), establecieron las bases de un método ecológico para detectar y diagnosticar la polución del agua (4). Su método, conocido como sistema sapróbico o sistema de medida de la materia orgánica biodegradable, se basó en la distribución zonal de organismos indicadores de polución con aguas residuales domésticas, en ríos lentos con flujo uniforme. De acuerdo con las especies de organismos presentes, en diferentes puntos a lo largo del curso del río, el método permite identificar las zonas de polución orgánica.

Dichas zonas fueron identificadas, en orden de mayor grado de mineralización, como zonas polisapróbica, mesosapróbica fuerte, mesosapróbica débil y oligosapróbica.

Nemerow (1) resume las característi-

cas del sistema sapróbico de Kolkwitz y Marsson indicando que cuando un río recibe una carga orgánica fuerte, los procesos normales de autopurificación darían como resultado una serie de zonas sucesivas de condiciones cada vez mejores, caracterizadas cada una por contener animales y plantas características:

Zona 1 - Polisapróbica: zona de polución fuerte con materia orgánica de masa molecular alta; contenido de oxígeno disuelto bajo o nulo; formación de sulfuros; bacterias en abundancia y presencia de pocas especies de animales.

Zona 2 - Mesosapróbica: Zona con contenido de compuestos orgánicos más simples; concentración de oxígeno disuelto en aumento permanente; la parte superior de la zona contiene muchas bacterias y hongos, mayor número de especies de animales, pero pocas algas; la parte inferior de la zona presenta mayor mineralización con presencia de algas y algunas plantas.

Zona 3 - Oligosapróbica: Zona donde la mineralización y conversión de materia orgánica en inorgánica es completa, la concentración de oxígeno disuelto vuelve a ser normal y presenta una amplia variedad de plantas y animales.

El sistema sápróbico original de Kolwitz y Marsson fué aplicado inicialmente por Liebmann en 1951 y en los años posteriores criticado y modificado por muchos autores y ecólogos de los Estados Unidos, Canadá y Europa, con el objeto de ampliar su aplicación para incluir no solo la polución causada por aguas residuales domésticas si no, también, los problemas producidos por descargas de aguas residuales industriales, residuos tóxicos, materiales inertes, calor y diferentes combinaciones de agentes poluidores.

En 1965 Sládecek (5) presentó su versión del sistema sápróbico original dividiendo las aguas en cuatro grupos principales: Cataróbicas, limnosápróbicas, eusa-

próbicas y transápróbicas, con trece zonas o grados de clasificación para las aguas y aguas residuales o residuos. De las trece zonas una corresponde a las aguas no sápróbicas, cinco a las sápróbicas, cuatro a las aguas residuales sápróbicas y tres a las aguas residuales y residuos no sápróbicos. El sistema de clasificación propuesto por Sládecek, así como los criterios biológicos, químicos y ambientales básicos para hacer la clasificación de las aguas y aguas residuales dentro de dichos grupos o zonas se presentan en la figura 1 y en los cuadros 1 y 2. Los valores del índice sápróbico, S, corresponden al índice propuesto por Pantle y Buck en 1955, ampliado por Sládecek en 1969 (6).

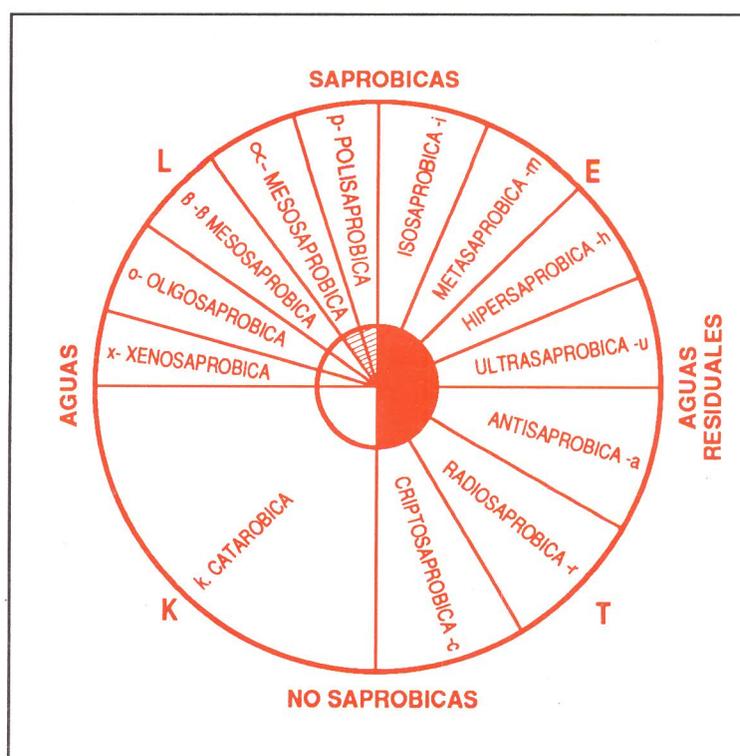


FIGURA 1.
EL SISTEMA SAPROBICO

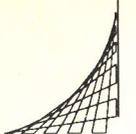
Todas las aguas se pueden incluir dentro del círculo. Las aguas se dividen en cuatro grupos principales:

K- Cataróbicas, **L-** Limnosápróbicas, **E-** Eusápróbicas, **T-** Transápróbicas.

El Semicírculo izquierdo incluye las "Aguas", el Semicírculo derecho incluye las "Aguas Residuales". El Semicírculo superior incluye las Aguas Sapróbicas, el Semicírculo inferior incluye las Aguas no Sapróbicas.

El valor de la **DBO** aumenta de **X** hacia **U**. La Autopurificación procede desde **U** hacia la izquierda.

En el círculo pequeño la porción blanca indica aguas claras, la porción rayada aguas poluídas y la porción negra aguas residuales (1) (6).



CUADRO 1.
SISTEMA DE CLASIFICACION SAPROBICA SEGUN SLADECEK (1) (6)

GRUPO	SIMBOLO	ZONA	SIMBOLO	DESCRIPCION
CATAROBICO	K	CATAROBICA	k	Aguas subterráneas puras y aguas purificadas para consumo humano.
LIMNOSAPROBICO	L	XENOSAPROBICA	x	Aguas limpias de manantiales y torrentes.
		OLIGOSAPROBICA	o	Aguas de torrentes y arroyos, lagos limpios y lagunas con pocos peces, excelentes para recreación.
		β -MESOSAPROBICA	β	Aguas de calidad media, ríos, lagunas y lagos con peces, crecimientos acuáticos y dificultades de purificación, admisibles para recreación.
		α -MESOSAPROBICA	α	Aguas poluidas no adecuadas para recreación.
		POLISAPROBICA	p	Aguas fuertemente poluidas con condiciones microaeróbicas.
EUSAPROBICO	E	ISOSAPROBICA	i	Aguas residuales municipales.
		METASAPROBICA	m	Aguas residuales sépticas con formación de ácido sulfídrico.
		HIPERSAPROBICA	h	Aguas residuales con fermentación de metano.
		ULTRASAPROBICA	u	Aguas residuales industriales fuertes sin vida vegetativa pero con presencia de esporas y quistes.
TRANSSAPROBICO	T	ANTISAPROBICA	a	Aguas residuales tóxicas.
		RADIOSAPROBICA	r	Aguas residuales con contaminantes radioactivos.
		CRIPTOSAPROBICA	c	Aguas residuales especiales con contaminación térmica, sustancias inorgánicas y otros tipos de factores de contaminación.

CUADRO 2.
CRITERIOS ESPECIFICOS PARA SEPARACION DE LAS ZONAS
DE CLASIFICACION SAPROBICA SEGUN SLADECEK (1) (6)

ZONA SAPROBICA	SIMBOLO	INDICE SAPROBICO S	CONTEO DE BACTERIAS PSICROF. EN PLACA DE AGAR COLONIAS POR MILILITRO	COLIFORMES No. /100 ml	OXIGENO DISUELTTO		DBO mg/L	H ₂ S mg/L	SUSTANCIAS ESPECIFICAS
					mg/L	% SAT			
Xenosapróbica	k	<0.5	<500	<2	VARIOS	VARIOS	0	0	Cloro residual
Oligosapróbica	x	<0.5	<10 ³	<10 ³	>8	>60	<1	0	
β-Mesosapróbica	o	<1.5	<10 ⁴	<5X10 ³	>6	>50	<2.5	0	
α-Mesosapróbica	β	<2.5	<5X10 ⁴	<10 ⁴	>4	>40	<5	0	
Polisapróbica	α	<3.5	<2.5X10 ⁵	<10 ⁵	>2	>20	<10	0	
Isosapróbica	p	<4.5	<2X10 ⁶	<3X10 ⁶	>0.5	>10	<50	TRAZAS	POR > + 200 mV
Metasapróbica	i	<5.5	<10 ⁷	<3X10 ⁸	TRAZAS	0	<400	<1	POR = +50-200 mV
Hipersapróbica	m	<6.5	<10 ⁸	<10 ⁹	0	0	<700	<100	POR < + 50 mV
Ultrasapróbica	h	<7.5	<10 ⁹	<10 ⁵	0	0	<2000	<10	Ptomainas presentes
Antisapróbica	u	<8.5	<10	0	0	0	<120000	0	
Radiosapróbica	a	-	0	0	VARIOS	VARIOS	0	0	Comp. Tóxicos
Criptosapróbica	r	-	VARIOS	VARIOS	VARIOS	VARIOS	VARIOS	VARIOS	Isót. Radiact.
	c	-	VARIOS	VARIOS	VARIOS	VARIOS	VARIOS	VARIOS	Sust. Inorgáni.

POR = Potencial de oxidación-reducción



CLASIFICACION SAPROBICA DE CALIDAD DEL AGUA

Con base en la clasificación sapróbica previamente descrita, en los criterios de calidad correspondientes a los diferentes grados de polución del agua y en la necesidad de adoptar una escala de calificación de calidad que permita discriminar las aguas según sus condiciones, se adopta el índice sapróbico de Pantle y Buck con los criterios de Sládecek (6).

La escala de calificación adoptada en función de las clases sapróbicas se muestra en el **cuadro 3**.

El índice sapróbico, S, se calcula por la fórmula de Pantle y Buck (6,7,8).

$$S = \frac{\sum h s}{\sum h}$$

Donde s = Índice sapróbico individual de cada especie presente, el cual puede obtenerse de las listas o tablas de Liebmann, Breitig o Sládecek.

h = Abundancia o frecuencia relativa, de cada especie.

La abundancia o frecuencia relativa, h, de cada especie se califica así (7):

Muy rara	1
Rara	2
Moderada	3

Frecuente	5
Muy frecuente	7
Abundante	9

Como es evidente, el sistema de clasificación anterior requiere el conocimiento de la estructura de la comunidad sapróbica para cuantificar el índice sapróbico, S, y asignar la clase sapróbica correspondiente. Por otra parte, una evaluación más certera de las propiedades de un agua debe siempre incluir la combinación de análisis biológicos, físicos, químicos y bioquímicos reconociéndose que toda metodología de medida de calidad de agua adolece de deficiencias y no existe una alternativa única que se considere la óptima para toda condición. Aunque las relaciones entre los múltiples parámetros de calidad de agua usados no son claramente conocidas, se formulan además del índice sapróbico, otros criterios de calificación que permitan, alternativamente, hacer la clasificación propuesta. Finalmente, se anota que el concepto de calidad, como una dimensión del agua sujeta a una descripción numérica, no reemplaza el juicio global autorizado del evaluador y constituye simplemente una herramienta de ayuda en la toma de decisiones por parte de los administradores y usuarios del curso.

INDICE DE CALIDAD DEL AGUA

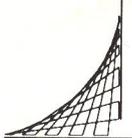
Con base en la clasificación sapróbica descrita se establece un índice global de calidad del agua, IGC, según las clases sapróbicas, con valores entre cero y cien. El valor cero corresponde a las condiciones de máxima contaminación, mínima calidad; el valor cien a las condiciones de agua excelente, máxima calidad, y los valores intermedios a las clases sapróbicas representativas de los demás 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 la expresión siguiente:

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

- Donde: IGC = Índice global de calidad
 C_j = Índice de calidad del agua para el parámetro j
 P_j = Factor de importancia relativa del parámetro j
 j = 1, N
 N = Número de parámetros de calidad del agua.

Los parámetros de calidad considerados en la determinación del índice global de calidad son: el índice sapróbico, S, el conteo en placa de bacterias psicrófilas, CP, el número más probable de coliformes, CO, la demanda bioquímica de oxígeno, DBO, y el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, POD. La escala de evaluación de cada parámetro se incluye en el **cuadro 4**.



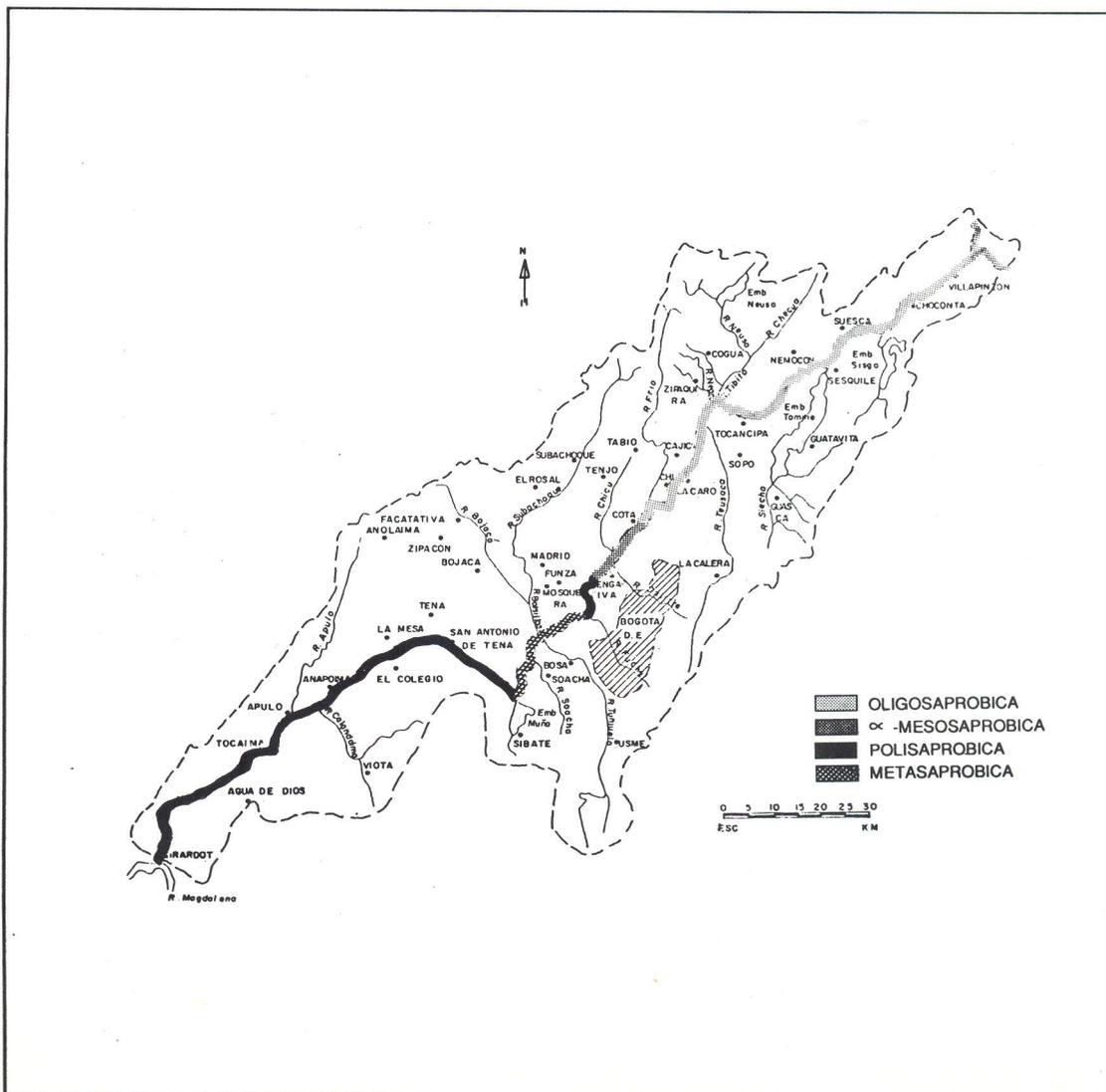
Los valores de importancia relativa, P_j asignados a cada parámetro son:

PARAMETRO	FACTOR DE IMPORTANCIA RELATIVA, P_j
Indice Sapróbico	0.50
Bacterias Psicrófilas	0.10
Coliformes	0.10
DBO	0.20
Porcentaje de saturación de OD	0.10

EJEMPLOS DE CLASIFICACION SAPROBICA

Para determinar los índices de calidad de agua para cada parámetro, C_p , de acuerdo con la escala de calificación conforme a su concentración, se desarrollaron las ecuaciones que se muestran en el cuadro 5.

El mapa siguiente muestra los resultados de la clasificación Sapróbica efectuada en el río Bogotá con el modelo del ENA.



CUADRO 3.
ESCALA DE CLASIFICACION SAPROBICA DE AGUAS

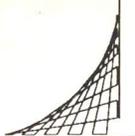
CLASE SAPROBICA	SIMBOLO	CRITERIO GENERAL	INDICE SAPROBICO	CALIDAD CUALITATIVA
Cataróbica	k	Aguas excelentes	<0	Excelente
Xenosapróbica	xs	Aguas muy limpias	0-0.5	Muy buena
Oligosapróbica	o	Aguas limpias	0.51-1.5	Buena
β -Mesosapróbica	β	Aguas de calidad media	1.51-2.5	Aceptable
α -Mesosapróbica	α	Aguas poluidas	2.51-3.5	Poluida
Polisapróbica	p	Aguas fuertemente poluidas	3.51-4.5	Muy poluida
Isosapróbica	i	Aguas residuales municipales	4.51-5.5	Inaceptable
Metasapróbica	m	Aguas residuales sépticas	5.51-6.5	Inaceptable
Hipersapróbica	h	Aguas residuales Industriales	6.51-7.5	Inaceptable
Ultrasapróbica	u	Aguas residuales industriales fuertes.	7.51-8.5	Inaceptable

CUADRO 4.
PARAMETROS Y CRITERIOS PARA EL SISTEMA
DE CLASIFICACION SAPROBICO

ZONA SAPROBICA	SIMBOLO	IGC	S	CONTEO EN PLACA DE BACTERIAS PSICRO- FILAS, COLONIAS/mL	COLIFORMES NMP/100 mL	POD %	DBO mg/L
Cataróbica	k	90-100	-1.5- (-0.5)	0-500	0-2	96-100	0
Xenosapróbica	x	80-89.9	-0.49- 0.5	501-1000	3-800	81-95	0.1-1
Oligosapróbica	o	70-79.9	0.51- 1.5	1001-10000	801-3500	65-80	1.1-2.5
β-Mesosapróbica	β	60-69.9	1.51- 2.5	10001-50000	3501-20000	45-64	2.6-5
α -Mesosapróbica	α	50-59.9	2.51- 3.5	50001-250000	20001-150000	21-44	5.1-10
Polisapróbica	p	40-49.9	3.51- 4.5	250001-2x10 ⁶	150001-2x10 ⁶	11-20	11-50
Isosapróbica	i	30-39.9	4.51- 5.5	2000001- 10 ⁷	2000001-5x10 ⁷	1-10	51-400
Metasapróbica	m	20-29.9	5.51- 6.5	10000001- 10 ⁸	50000001-5x10 ⁹	0	401-700
Hipersapróbica	h	10-19.9	6.51- 7.5	100000001- 10 ⁹	NO APLICABLE	0	701-2000
Ultrasapróbica	u	0-9.9	7.51- 8.5	NO APLICABLE	NO APLICABLE	0	>2000

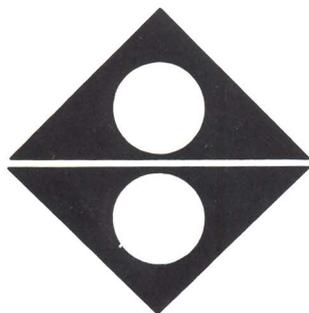
CUADRO 5.
 ECUACIONES PARA DETERMINAR LOS INDICES INDIVIDUALES DE CALIDAD DEL AGUA, C.

PARAMETRO	SIMBOLO	J	ECUACION	INTERVALO
INDICE SAPROBICO	S	1	$C_1 = 85 - 10S$	$-1.5 \leq S \leq 8.5$
BACTERIAS PSICROFILAS COLONIAS/mL	CP	2	$C_2 = 100 - 0.02 CP$	$0 \leq CP \leq 1000$
			$C_2 = 116.06 - 5.21 \ln CP$	$CP > 1000$
COLIFORMES NMP/100 mL	CO	3	$C_3 = 100 - 5 CO$	$0 \leq CO \leq 2$
			$C_3 = 90 - 0.0125 CO$	$2 < CO \leq 800$
			$C_3 = 144.18 CO^{-0.0885}$	$CO > 800$
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO, mg/L-O ₂	DBO	4	$C_4 = 100e^{-1.0536 DBO}$	$0 \leq DBO \leq 0.1$
			$C_4 = 88.16e^{-0.0885 DBO}$	$0.1 < DBO \leq 5$
			$C_4 = 70.13 DBO^{-0.137}$	$5 < DBO \leq 50$
			$C_4 = 69.27 DBO^{-0.1397}$	$50 < DBO \leq 400$
			$C_4 = 1756 DBO^{-0.68}$	$DBO > 400$
PORCENTAJE DE SATURACION DE OXIGENO DISUELTTO, %	POD	5	$C_5 = 30 POD$	$0 \leq POD \leq 1$
			$C_5 = 30 + POD$	$1 < POD \leq 20$
			$C_5 = 43e^{0.0077 POD}$	$20 < POD \leq 100$



JAIRO A. ROMERO ROJAS es Ingeniero Civil de la Universidad Nacional de Colombia, Master de Ingeniería en Ingeniería Ambiental de Rensselaer Polytechnic Institute, Profesor de la Universidad Nacional de Colombia y de la Escuela Colombiana de Ingeniería, consultor en Ingeniería Ambiental y autor de más de quince publicaciones.

1. Nemerow, N.J. "Scientific Stream Pollution Analysis", Mc Graw-Hill Book Co., 1974.
2. Kolwitz, R., Marsson, M., "Ökologia der Pflanzlichen Saprobien", Ber dt. Botan Ges 26A, 505, 1908.
3. Kolwitz, R., y Marsson, M., "Ökologia der Tierischen Saprobica", Internat. Rev. ges Hydrobiol. Hydrol., 2, 126, 1900.
4. Bartsch, A.F., "Water Pollution - An Ecological Perspective", J. WPCF., Vol. 42, 819, 1970.
5. Sládeček, V., "The future of the Saprobity System", Hydrobiologia, 25, W. Junk Publishers, The Hague, 1965.
6. Sládeček, V., "Continental Systems for the Assessment of River Water Quality", capítulo 3, Biological Indicators of Water Quality, John Wiley & Sons, 1979.
7. Uhlmann, D., "Hydrobiology", John Wiley & Sons, 1979.
8. Schwoerbel, J., "Métodos de Hidrobiología", ediciones H. Blume, 1975.
9. Gaviria S., Rodríguez C., "Estudio de la calidad del agua del Río Bogotá, Aguas arriba de Tibitó", EAAB, Revista Acodal, Enero-Abril de 1983.
10. Mejía, Millán y Perry Ltda., "Estudio Nacional de Aguas", Volumen III, Cap. 7, Noviembre de 1984, Departamento Nacional de Planeación.



ACERIAS
PAZ DEL RIO, S.A.
patrimonio de los colombianos.

Alambre brillante
Alambre negro recocido
Alambre galvanizado
Alambre de púas
Alambres trefilables
Barras de alta resistencia
Rollos para refuerzo de concreto
Laminados en caliente:
– Desbaste en rollo
– Lámina gruesa

Cemento Portland
Cemento Siderúrgico

Abono Paz del Río
Alquitrán
Sulfato de amonio
Oxígeno y Nitrógeno