



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA HIDROMETEOROLÓGICA



ASESORIA Y SERVICIO A LA SECCIÓN DE REHABILITACIÓN AMBIENTAL PARA
EVALUAR LOS INDICADORES DE GESTIÓN AMBIENTAL Y MEJORAR EL
SISTEMA DE INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA.

INFORME FINAL

**Los Pijiguaos, Edo. Bolívar
Febrero-2001**



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA HIDROMETEOROLÓGICA



[Handwritten signature]

**ASESORIA Y SERVICIO A LA SECCIÓN DE REHABILITACIÓN AMBIENTAL PARA
EVALUAR LOS INDICADORES DE GESTION AMBIENTAL Y MEJORAR EL
SISTEMA DE INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA.**

INFORME FINAL

**Los Pijiguaos, Edo. Bolívar
Febrero-2001**

Contenido

INTRODUCCIÓN	1
I.- LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA	3
II.- ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN BÁSICA EXISTENTE	5
II.1 ESTUDIOS BÁSICOS	5
II.2 AFOROS	5
II.3 CALIDAD DE AGUAS	6
III.- MEDIDAS ACTUALES PARA LA MITIGACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL	13
III.1 LAGUNAS PARA ATRAPE DE SEDIMENTOS	13
III.2 REFORESTACIÓN DE ZONAS EXPLOTADAS	16
III.3 METODO DEL NUMERO DE CURVA (CN) PARA EL CALCULO DE LA ESCORRENTIA	18
III.4 DISEÑO ESTRUCTURAL	26
IV.- ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECABADA	28
IV.1 RESULTADOS GENERALES DE HIDROMETRÍA Y SEDIMENTOLOGÍA	28
IV.2 GRANULOMETRIA DEL SEDIMENTO SUSPENDIDO - CAÑO LA BATEA	30
IV.3 ANÁLISIS DE CALIDAD DE LAS AGUAS.....	34
IV.3.1 <i>ESTACIONES DE MUESTREO EN LAGUNAS DE RETENCIÓN</i>	34
V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	41
V.1 MEDIDAS ALTERNATIVAS DE CONTROL	41
V.1.1 <i>HIDROMETRÍA Y SEDIMENTOLOGÍA</i>	41
V.1.2 <i>CALIDAD DE AGUAS</i>	42
V.2 PLAN DE MEDICIONES	44
V.3 PLAN DE INVERSIONES	46
V.3.1 <i>ENTRENAMIENTO DE PERSONAL</i>	46
V.3.2 <i>ASESORÍAS</i>	47
V.3.3 <i>COMPRA E INSTALACIÓN DE EQUIPOS</i>	47
VI.- RESUMEN GENERAL DE RECOMENDACIONES	49
BIBLIOGRAFÍA	51
ANEXOS.....	52

INTRODUCCIÓN

En este informe se presentan las conclusiones de la asesoría contratada por la empresa BAUXILUM ante la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela, a fin de evaluar:

- la información básica recabada por dicha empresa (estudios, mediciones, bibliografía);
- las medidas que han sido diseñadas por la empresa para mitigar el impacto ambiental que la explotación de Bauxita genera en el sector objeto de la concesión minera, y
- los indicadores de gestión ambiental desarrollados como mecanismos de seguimiento y control a las medidas.

Luego de ello, se incluyen las siguientes propuestas:

- medidas alternativas de control al impacto ambiental, que complementan las ya existentes;
- un plan de mediciones que permitirá configurar nuevos indicadores de gestión ambiental a fin de evaluar las medidas diseñadas, y en caso de que se requiera, tomar los correctivos necesarios, de manera oportuna, y
- un plan de inversiones sobre entrenamiento del personal, asesorías, compra e instalación de equipos y diseño de obras de infraestructura, como complemento al plan de mediciones.

Todas las propuestas se realizan bajo la óptica del uso de nuevas tecnologías. Esto implica la utilización de sistemas computarizados, modelos matemáticos y tecnología de la información, que redundará en el aumento de la eficiencia en cuanto a la generación y manejo de la información ambiental que permita la reducción de los costos y el diseño de obras correctivas más eficientes. Las conclusiones, recomendaciones y propuestas surgen de:

- el análisis de la información básica recabada por la empresa: mapas de la zona a escala 1/100.000; 1/25.000; 1/10.000;
- antecedentes sobre mediciones de caudal realizadas en la zona de explotación por BAUXILUM;
- muestreo y análisis de calidad de agua realizados por la Fundación La Salle y el Instituto de Zoología Tropical de la Universidad Central de Venezuela;
- estudio de impacto ambiental realizado por la empresa CTI;
- estudios hidrológicos del río Suapure realizados por las empresas EDELCA y CGR;
- la visita a los sitios de explotación seleccionados y al laboratorio de la planta de tratamiento;
- los aforos de caudal realizados en puntos de control y muestreo el para análisis de sedimentos, a objeto de determinar el caudal sólido arrastrado en los cauces de la zona;
- la captación de muestras de agua tomadas en las lagunas de retención y en algunos cursos de agua, a fin de analizar en laboratorio e *in situ* (en algunos puntos seleccionados) sus parámetros de calidad, contenido de metales, etc.

Todos los puntos mostrados arriba son tratados con amplitud y detalle en el informe que se presenta a continuación, en el cual se cubren secuencialmente los siguientes puntos:

I.- Localización y características generales del área.

II.- Análisis de la información básica existente: estudios básicos, aforos y de calidad de agua.

III.- Evaluación de las medidas actuales para la mitigación del impacto ambiental.

IV.- Análisis e interpretación de la información recabada durante la etapa de inspección de campo: mediciones hidrológicas, sedimentos, muestreos para definir la calidad de las aguas; actividades estas realizadas durante el mes de junio de 2000.

V.- Conclusiones y recomendaciones.

VI.- Resumen general de recomendaciones de la asesoría.

I.- LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA

El área bajo explotación actual de Bauxita comprende parte de la concesión de BAUXILUM C.A. y abarca un reducido sector de la Serranía de los Pijiguaos, encerrada entre el Río del mismo nombre y un conjunto de cauces, que contribuyen al Río Suapure por su margen izquierda, entre los cuales se encuentran: La Batea, El Chorro y El Secreto, entre otros (ver el mapa en la figura A). Estos actúan como recolectores del drenaje superficial de las áreas sometidas a explotación. Los frentes de desarrollo comprenden una serie de bloques discontinuos, en los cuales el drenaje ha sido perturbado como consecuencia de las labores de explotación y el desarrollo de la vialidad utilizada para el transporte del material explotado.

El laboreo se realiza a cielo abierto, removiéndose previamente la capa vegetal y procediendo posteriormente al corte, excavándose el mineral mediante terraceo con maquinarias pesadas. El transporte se realiza con camiones volteo de gran capacidad, lo que ha originado se desarrollen vías cada vez mas extensas al separarse los frentes y aumentar las distancias entre estos y las zonas de almacenaje y disposición. El material finalmente llega hasta el Puerto El Jobal, sobre el Río Orinoco, desde donde es enviado hasta Puerto Ordaz.

En estas etapas los suelos superficiales son intervenidos y expuestos a la erosión hídrica, tanto por el efecto directo de la precipitación como por acción de la escorrentía. El último actúa eficazmente al alterar las pendientes, crear áreas de almacenamiento superficial, y dirigir el drenaje hacia sectores que originalmente no estaban desprovistos de la vegetación y además no concentraban la escorrentía superficial. Por otra parte, las vías carecen de controles definidos contra la erosión y la regulación del drenaje, originando dos tipos fundamentales de aportes hacia los canales naturales.

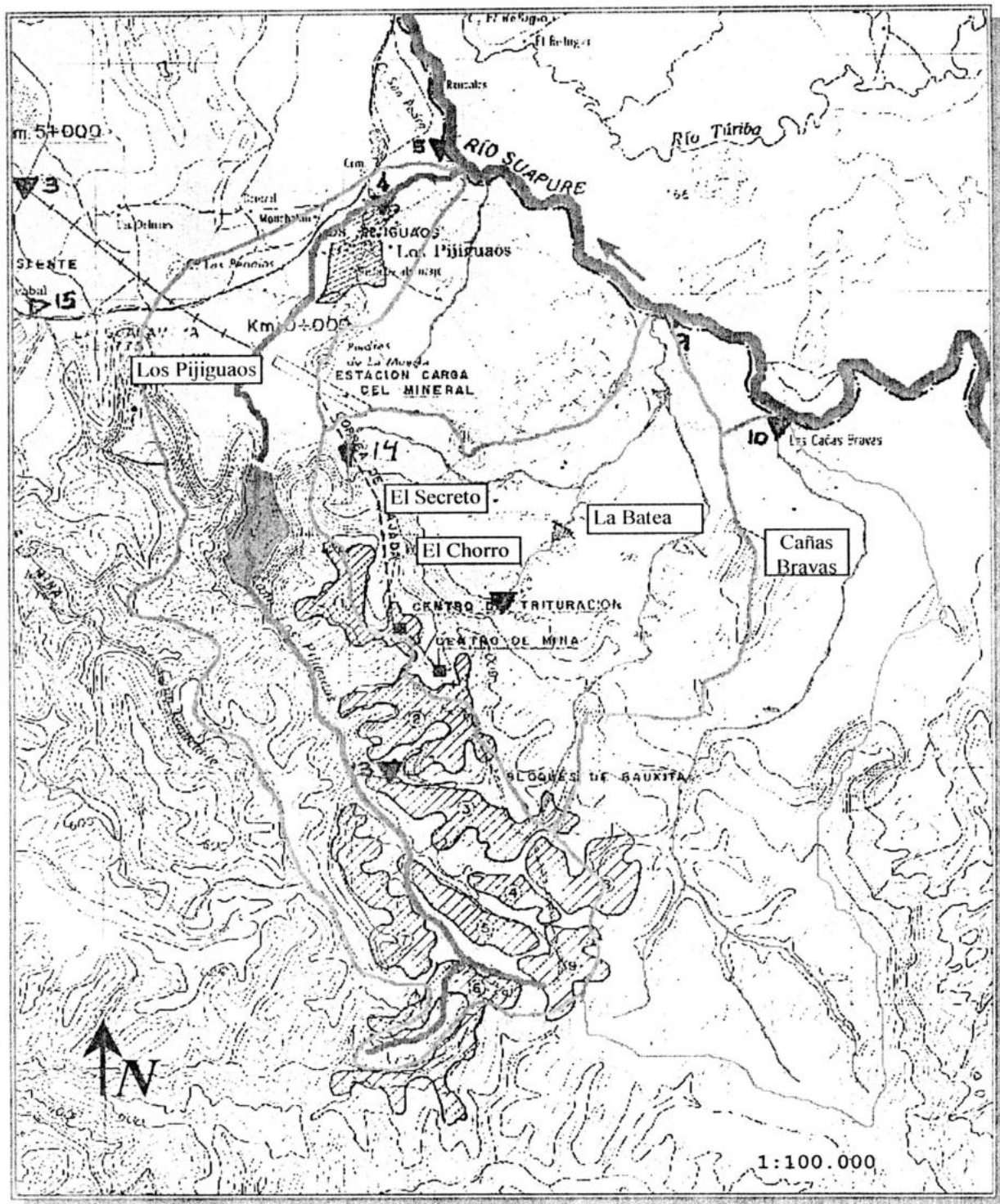
Mientras el arrastre de los sedimentos proviene de suelos de carácter limo-arcillosos, el efecto inmediato es el suministro de materiales finos los cuales son muy difíciles de mantener retenidos y controlar durante el período lluvioso, contribuyendo al incremento de la turbiedad de las aguas, lo que representa el mayor impacto ecológico tanto sobre la calidad de las aguas, como por los efectos asociados al equilibrio y conservación de los ecosistemas acuáticos, al inhibirse la capacidad de penetración de la luz solar, reduciendo la productividad de biomasa.

Para tratar de disminuir estos efectos, la Unidad de Gerencia Ambiental de BAUXILUM, mantiene programas continuos de conservación de suelos y de regulación del escurrimiento superficial, dentro de las áreas de explotación.

Tabla 1: Características principales de las cuencas

Cuenca	Tributarios	Área (km ²)	Longitud del cauce principal (km)	Pendiente media del cauce principal
Los Pijiguaos		46,4	17,5	0,031
La Batea	- El Secreto - El Chorro	30,6	9,9	0,027
Cañas Bravas		38,9	9,8	0,039

Figura A: Mapa de las cuencas de principal interés en la zona de explotación



II.- ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN BÁSICA EXISTENTE

II.1 ESTUDIOS BÁSICOS

Los estudios básicos previos realizados en el área de estudio son los siguientes:

- 1.- "Estudio hidrológico de crecientes en el río Suapure"; realizado por la empresa EDELCA en 1981.
- 2.- "Estudio preliminar del río Suapure en el sitio Chivapure" por la empresa CGR Ingeniería en 1989.
- 3.- "Estudio hidrológico del río Suapure - Análisis de gastos mensuales" por CGR Ingeniería, 1990.

Cabe destacar que dichos estudios fueron realizados con fines de aprovechamiento hidroeléctrico, por lo que las estrategias y criterios a la hora de establecer los puntos de interés para las mediciones, etc., pueden diferir de los utilizados en este proyecto.

Sin embargo, existe en esos trabajos una cantidad de información referente a caudales líquidos y sólidos que puede aprovecharse como base para una variedad de estudios de la zona.

II.2 AFOROS

La empresa BAUXILUM ha realizado una gran cantidad de aforos en una serie de puntos, acorde a las áreas de explotación, los cuales están numerados en el mapa suministrado por la empresa que puede verse en el anexo 3 de este informe.

Estas mediciones fueron realizadas fundamentalmente por personal de la empresa EDELCA hasta que BAUXILUM adquirió un equipo tipo Price Gurley 625, entrenó a su personal con un curso dictado por el Departamento de Ingeniería Hidrometeorológica de la U.C.V., y comenzó a realizar sus propias mediciones a partir del año 1999.

Al respecto de estas mediciones se puede observar que:

- 1.- La técnica de medición utilizada es correcta y los aforos no presentan errores considerables que afecten los resultados.
- 2.- En los sitios de medición no existe infraestructura para medir en aguas altas ni tampoco existen estructuras o aparatos para medir o registrar niveles.
- 3.- En la mayoría de los sitios no es posible ubicar un área de explotación concreta.
- 4.- No existen aforos de crecientes (por la dificultad planteada en el punto 2).
- 5.- No se han realizado mediciones de sedimentos ni de calidad aguas en conjunto con los aforos

[REDACTED]

Se puede concluir que si bien estas mediciones pueden indicarnos someramente el volumen de escurrimiento de las cuencas y subcuencas, es necesario realizar un plan de instalaciones y mediciones que permitan un seguimiento de los caudales líquidos, caudales sólidos y calidad de agua, identificados éstos con sus correspondientes áreas de explotación y a diferentes niveles de escurrimiento, para asociarlos como indicadores de las medidas de mitigación del impacto de la explotación de bauxita.

II.3 CALIDAD DE AGUAS

Las tablas de las páginas siguientes resumen los resultados de los análisis de calidad de aguas realizados en años anteriores por la Fundación La Salle y el Instituto de Zoología Tropical de la U.C.V.

Tabla 2: Análisis previos de calidad de las aguas en el río Los Pijiguaos

PARÁMETRO (unidades)	Río - Estación:											
	PIJIGUAOS (7)	PIJIGUAOS (7)	PIJIGUAOS (Nac.)	PIJIGUAOS (Pobl.)	PIJIGUAOS (Bloque II)	PIJIGUAOS (Bloque II)	PIJIGUAOS (Bloque II)	PIJIGUAOS (El Caserío)	PIJIGUAOS (El Caserío)	PIJIGUAOS (El Caserío)	PIJIGUAOS (El Caserío)	Gaceta Oficial # 5.021
Conductividad (µmhos/cm)	17	10	190	20	12	13	12	12	10	9	N.R.	N.I.
Color Real (U.Pt.Co)	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	12	N.R.	12	210	83	45	340	< 50
STD (mg/L)	19	16	35	68	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	7	5	5	1.500
Turbiedad (mg SiO ₂ /L) o (NTU)	21	25	28	31	12	75	12	160	128	30	> 700	< 25
PH	3.5	4.0	4.3	3.9	4.5	7.2	4.5	5.8	6.7	6.6	7	6,0-8,55
OD (mg/L)	6.4	9.0	7.0	8.2	6.2	6.2	6.2	7.6	6.4	7	6.7	> 4
DBO _{5,20} (mg/L)	6	10	7	5	1	2	1	N.R.	2	7	< 2	N.I.
DQO (mg/L)	4	32	56	60	14	48	14	11	55	N.R.	< 5	N.I.
Aluminio * (mg/L)	0.4	0.48	0.38	0.13	< 0.01	0.23	< 0.01	0.145	0.1	0.11	0.065	0.2
Hierro * (mg/L)	0.8	0.30	0.51	0.56	0.015	0.82	0.015	0.3	0.19	0.07	N.R.	1
FECHA	- /08/96	- /03/97	- /07/97	- /07/97	21/11/97	21/04/98	21/11/97	21/11/97	21/04/98	12/11/98	23/09/99	18/12/95

N.R.: No reportado

N.I.: No indicado

STD: Sólidos Totales Disueltos

OD: Oxígeno Disuelto

DBO_{5,20}: Demanda Bioquímica de Oxígeno

DQO: Demanda Química de Oxígeno

(*): Total

Tabla 3: Análisis previos de calidad de las aguas en el río Suapure

PARÁMETRO (unidades)	Río - Estación:										Gaceta Oficial # 5.021
	SUAPURE A (12)	SUAPURE B (13)	SUAPURE A (12)	SUAPURE B (13)	SUAPURE A (12)	SUAPURE B (13)	SUAPURE A (12)	SUAPURE B (13)	SUAPURE Las Bateas	SUAPURE Balneario	
Conductividad (µmhos/cm)	17	19	18	19	12	14	14	14	14	10	N.I.
Color Real (U.Pt.Co)	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	83	< 50
STD (mg/L)	43	40	13	37	20	23	23	34	7	1.500	
Turbiedad (mg SiO ₂ /L) o (NTU)	20	23	22	20	22	23	26	26	26	26	< 25
PH	4,7	4,6	6,4	6,4	5,4	5,3	4,0	4,0	4,0	4,0	6,0-8,55
OD (mg/L)	7,4	7,4	7,2	7	6,4	7	8,2	8,4	8,4	8,4	> 4
DBO _{5,20} (mg/L)	69	12	6	12	9	9	2	2	2	2	N.I.
DQO (mg/L)	47	8	4	8	16	8	40	40	52	52	N.I.
Aluminio * (mg/L)	1,8	0,5	0,90	0,30	0,70	0,51	0,32	0,32	0,31	0,31	0,2
Hierro * (mg/L)	0,6	0,5	0,2	0,20	0,30	0,40	0,29	0,29	0,31	0,31	1
FECHA	-/08/96	-/08/96	-/11/96	-/11/96	-/03/97	-/03/97	-/07/97	-/07/97	-/07/98	-/07/98	18/12/95

N.R.: No reportado

N.I.: No indicado

STD: Sólidos Totales Disueltos

OD: Oxígeno Disuelto

DBO_{5,20}: Demanda Bioquímica de Oxígeno

DQO: Demanda Química de Oxígeno

(*): Total

Tabla 4: Análisis previos de calidad de las aguas en el caño Cañas Bravas

PARÁMETRO / (unidades)	Río - Estación:								Gaceta Oficial # 5.021
	CAÑAS BRAVAS (II)	CAÑAS BRAVAS (II)	CAÑAS BRAVAS	CAÑAS BRAVAS	CAÑAS BRAVAS	CAÑAS BRAVAS	CAÑAS BRAVAS	CAÑAS BRAVAS	
Conductividad (µmhos/cm)	22	18	8	20	15	10			N.I.
Color Real (U.Pt.Co)	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	33	33			< 50
STD (mg/L)	24	20	16	35	N.R.	6			1.500
Turbiedad (mg SiO ₂ /L) o (NTU)	22	24	23	29	6	4			< 25
PH	5	4.5	5.0	4	5.6	6.6			6.0-8.55
OD (mg/L)	6.4	6.8	6	8	8	4.5			> 4
DBO _{5,20} (mg/L)	6	23	13	1	N.R.	2			N.I.
DQO (mg/L)	4	15	16	32	11	42			N.I.
Aluminio * (mg/L)	0.7	0.72	0.6	0.51	< 0.01	0.01			0.2
Hierro * (mg/L)	0.4	0.2	0.3	0.34	0.05	0.26			1
FECHA	-/08/96	-/11/96	-/03/97	-/07/97	-/11/97	19/04/98			18/12/95

N.R.: No reportado

N.I.: No indicado

STD: Sólidos Totales Disueltos

OD: Oxígeno Disuelto

DBO_{5,20}: Demanda Bioquímica de Oxígeno

DQO: Demanda Química de Oxígeno

(*): Total

Tabla 5: Análisis previos de calidad de las aguas en el caño El Secreto

PARÁMETRO / (unidades)	Río - Estación:										Gaceta Oficial # 5.021
	EL SECRETO (8)	EL SECRETO (8)	EL SECRETO (8)	EL SECRETO NAC.	EL SECRETO PTE. 4	EL SECRETO PTE. 4	EL SECRETO PTE. 4	EL SECRETO PTE. 4	EL SECRETO P.MINA.		
Conductividad (µmhos/cm)	20	18	6	190	10	11	17	N.R.	N.R.	N.I.	
Color Real (U.Pt.Co)	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	45	12	N.R.	N.R.	10	< 50	
STD (mg/L)	22	16	16	59	N.R.	7	8	5	5	1.500	
Turbiedad (mg SiO ₂ /L) o (NTU)	18	19	16	24	156	130	10	> 700	> 700	< 25	
pH	3,9	6,4	4,5	4,2	5,3	6,5	6,2	8,5	8,5	6,0-8,55	
OD (mg/L)	6,8	6	8,2	7	10	6	8,1	N.R.	N.R.	> 4	
DBO _{5,20} (mg/L)	12	28	19	8	N.R.	4	N.R.	< 2	< 2	N.I.	
DQO (mg/L)	8	19	16	44	4	27	N.R.	< 5	< 5	N.I.	
Aluminio * (mg/L)	< 0,1	0,09	0,03	0,12	0,07	0,02	0,01	0,12	0,12	0,2	
Hierro * (mg/L)	1,2	1,01	1,0	0,68	< 0,025	0,61	0,38	N.R.	N.R.	1	
FECHA	- /08/96	- /11/96	- /03/97	- /07/97	- /11/97	20/04/98	13 /11/98	23/09/99	18/12/95		

N.R.: No reportado

N.I.: No indicado

STD: Sólidos Totales Disueltos

OD: Oxígeno Disuelto

DBO_{5,20}: Demanda Bioquímica de Oxígeno

DQO: Demanda Química de Oxígeno

(*): Total

Tabla 6: Análisis previos de calidad de las aguas en el caño Trapichote

PARÁMETRO (unidades)	Río - Estación:										Gaceta Oficial # 5.021	
	TRAPICHOTE JOB.	TRAPICHOTE N.	TRAPICHOTE JOB.	TRAPICHOTE N.	TRAPICHOTE JOB.	TRAPICHOTE N.	TRAPICHOTE Aguas Arriba del Embalse	TRAPICHOTE Aguas Arriba del Embalse	TRAPICHOTE Aguas Arriba del Embalse	TRAPICHOTE Aguas Arriba del Embalse		
Conductividad (µmhos/cm)	21	21	22	20	22	180	11	14	8	8	N.R.	N.I.
Color Real (U.Pt.Co)	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	23	33	<12	<12	10	<50
STD (mg/L)	N.R.	NR	37	16	46	25	N.R.	9	7	7	8	1.500
Turbiedad (mg SiO ₂ /L) o (NTU)	N.R.	N.R.	37	39	36	38	5	28	12	12	27	<25
pH	4,6	4,6	5,5	5,4	4,5	4,0	4,5	7,1	6,5	6,5	6,9	6,0-8,55
OD (mg/L)	6,4	5,6	5,9	7,2	6,4	7,2	8,4	5,6	9,1	9,1	8,0	>4
DBO _{5,20} (mg/L)	20	18	24	6	2	2	1	2	<2	<2	<2	N.I.
DQO (mg/L)	40	40	16	4	48	32	14	24	<5	<5	<5	N.I.
Aluminio * (mg/L)	<0,1	<0,1	0,1	0,08	0,09	0,09	0,095	0,12	0,025	0,025	0,2	0,2
Hierro * (mg/L)	0,8	0,4	0,5	0,6	0,71	0,60	0,12	0,2	0,23	0,23	N.R.	1
FECHA	-/08/96	-/08/96	-/11/96	-/11/96	-/07/97	-/07/97	21/11/97	20/04/98	12/11/98	12/11/98	23/11/99	18/12/95

Tabla 7: Análisis previos de calidad de las aguas en el caño El Chorro

PARÁMETRO (unidades)	Río - Estación:										Gaceta Oficial # 5.021
	EL CHORRO	EL CHORRO	EL CHORRO	EL CHORRO	EL CHORRO	EL CHORRO	EL CHORRO	EL CHORRO	EL CHORRO	EL CHORRO	
Conductividad (µmhos/cm)	N.R.	22	11	30	20	22	24	N.R.	N.R.	N.I.	
Color Real (U.Pt.Co)	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	33	< 12	N.R.	30	< 50		
STD (mg/L)	36	26	24	67	N.R.	13	12	12	1.500		
Turbiedad (mg SiO ₂ /L) o (NTU)	31	38	35	39	5520	15	10	> 700	< 25		
pH	5.2	6.3	5.4	4.9	5.5	7.4	6.4	7.1	6.0-8.55		
OD (mg/L)	6.0	6.9	6.2	7.6	10.8	6.3	7.9	N.R.	> 4		
DBO _{5,20} (mg/L)	81	11	23	8	3	2	N.R.	< 2	N.I.		
DQO (mg/L)	55	8	16	12	11	29	N.R.	< 5	N.I.		
Aluminio* (mg/L)	1.2	1.0	0.8	0.58	0.095	0.02	0.035	0.7	0.2		
Hierro* (mg/L)	0.8	0.6	0.4	0.58	< 0.025	0.17	0.23	N.R.	1		
FECHA	-/08/96	-/11/96	-/03/97	-/07/97	21/11/97	19/04/98	12/11/98	23/09/99	18/12/95		

III.- MEDIDAS ACTUALES PARA LA MITIGACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

III.1 LAGUNAS PARA ATRAPE DE SEDIMENTOS

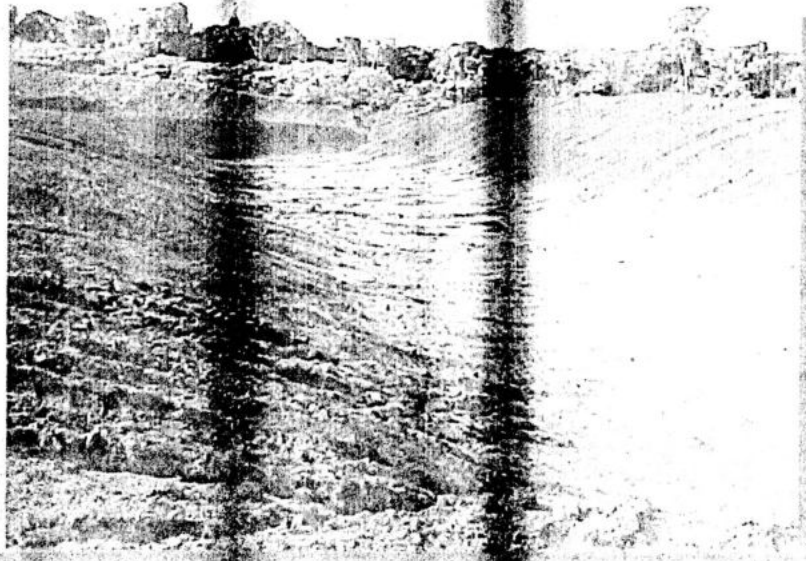
Una de las medidas correctivas para controlar la escorrentía superficial y por ende la erosión de los suelos en las áreas explotadas, consiste en la construcción de pequeñas lagunas hacia la periferia de las zonas explotadas donde se almacena el agua que drena y lava los suelos desnudos y de fácil erodabilidad. El propósito fundamental de estas obras es retener el sedimento fino, de modo que no sea transportado fuera de las zonas intervenidas.

Las lagunas se construyen excavando fosas longitudinales con tractores y se va disponiendo el material hacia un borde que coincide con el borde del terreno, compactándose con la misma maquinaria, procurando darles más estabilidad. Ver fotografías 1 y 2.

Fotografía 1: Laguna para atrape de sedimentos más antigua de las construidas

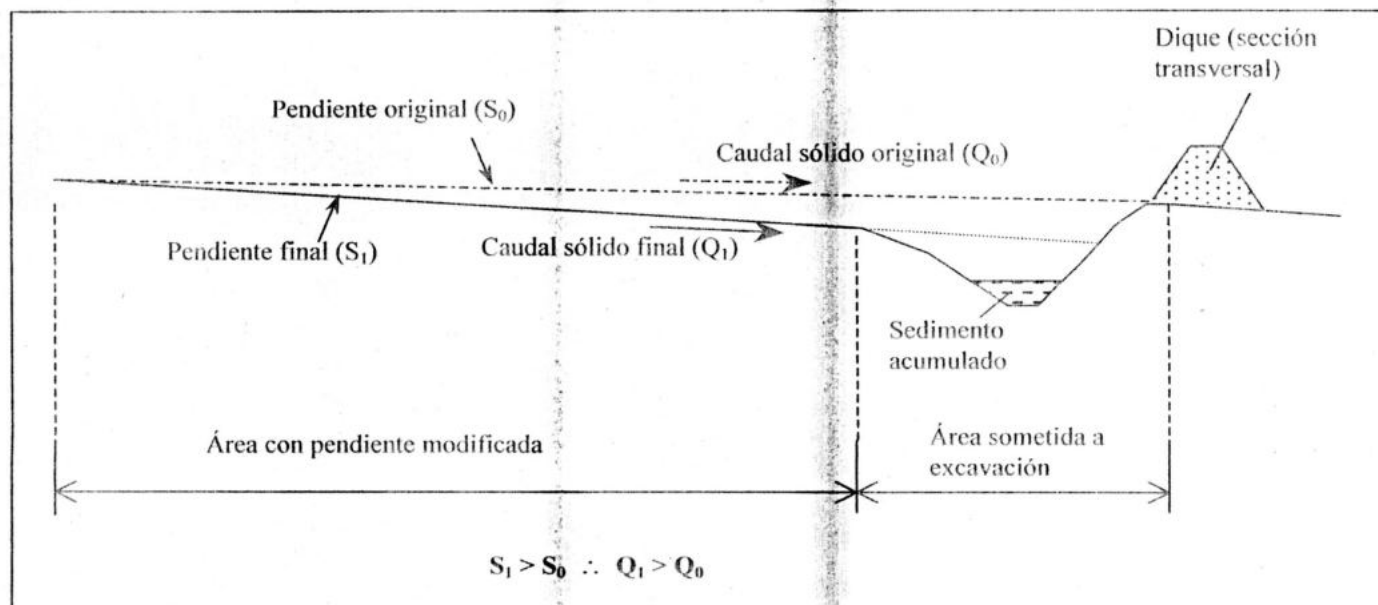


Fotografía 2: Laguna para atrape de sedimentos más reciente de las construidas

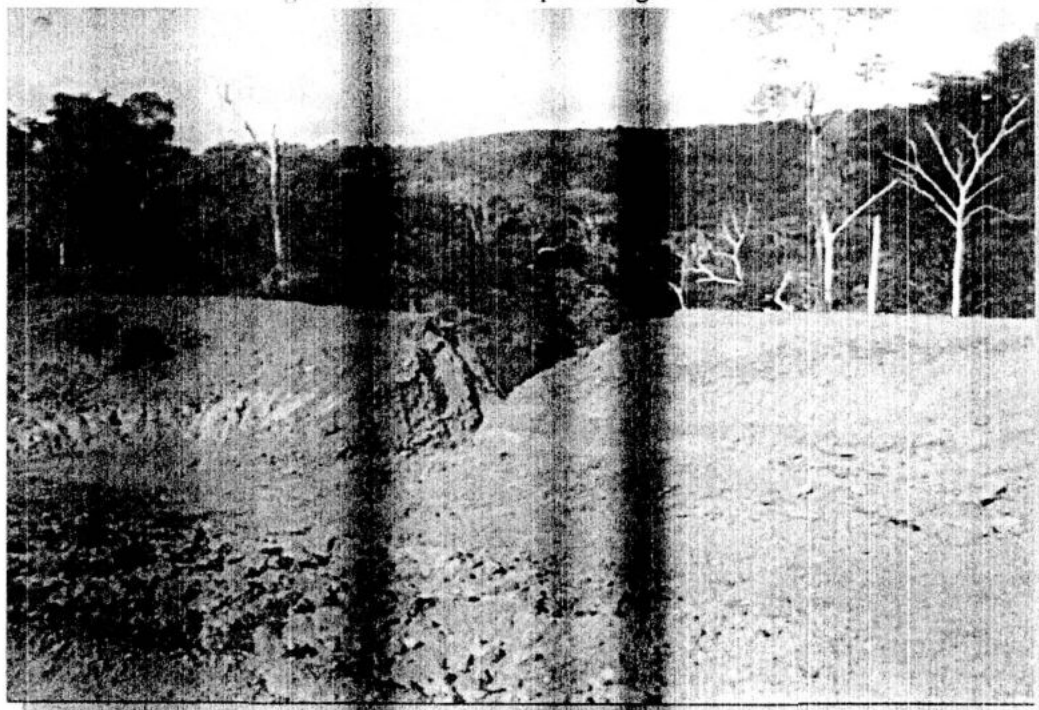


Las dimensiones de las lagunas son variables y, por lo tanto, los costos de excavación difieren de uno a otro sector o bloque. Las visitadas en los bloques 3, 4 y 5 tienen capacidades que no superan los 20.000 m³. Estos sistemas presentan algunas desventajas, sin embargo, no significa que las mismas, especialmente aquellas bien ubicadas y con bajos costos en término de las horas de maquinaria para su construcción, deban descartarse si se complementan con otras medidas. La excavación de zanjas (fig. B) produce hacia las zonas deprimidas donde se construyen las lagunas un incremento de la pendiente, lo que origina un más eficiente aporte de sólidos hacia las partes deprimidas, lo que se acompaña de una mayor disección del suelo que se hace máximo durante la época lluviosa.

Figura B: Modificación de las pendientes en el terreno debida a la excavación de los suelos superficiales



Fotografía 3: Rotura de dique en laguna de retención



Finalmente, las lagunas se han construido sin fundamentarse en criterios hidrológicos rigurosos, los cuales deben tomar en consideración aspectos tales como: áreas de captación, lluvia efectiva, capacidad de infiltración de los suelos, pendientes, entre otros. Esta situación podría justificarse sólo en etapas previas de explotación y en la medida en que los frentes de explotación minera no sean tan extensos.

Esto debe considerarse en el futuro como vía de hacer más estables las obras y controlar eficientemente su operación. Por ejemplo, en la medida que se hacen más amplias las zonas de desarrollo, sería conveniente adoptar medidas complementarias de protección de los suelos o de reforzamiento como son las de practicar terraceo, disponer de ductos de descarga de fondo en los diques, distribuir los flujos de escorrentía superficial con drenes, siembra de vegetación de bajo porte y con raíces que permitan la adherencia del suelo (fajines).

III.2 REFORESTACIÓN DE ZONAS EXPLOTADAS

Otra de las medidas correctivas para controlar la escorrentía superficial y por ende la erosión de los suelos en las áreas explotadas, consiste en la Reforestación de las zonas Explotadas.

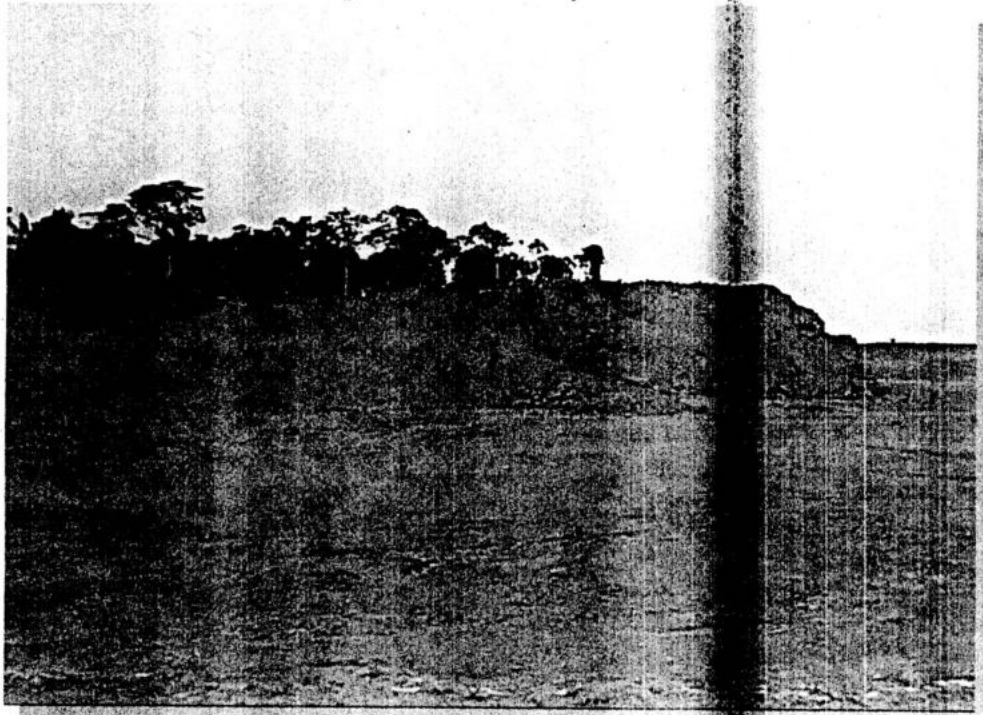
El procedimiento consiste en retirar la capa vegetal original y los suelos que cubren la zona a explotar, colocándola a un lado de la zona de explotación para ser utilizada de nuevo una vez finalizada la misma. Ver fotografía 4.

El proceso se refuerza aplicando fertilizantes, los cuales están propensos a ser transportados por la escorrentía superficial con el efecto subsiguiente de contaminación de los cuerpos de agua.

La Empresa ha realizado diversas investigaciones sobre las especies convenientes para una reforestación sustentable. Esta experiencia ha sido exitosa y bien documentada.

Esta medida debe tener un impacto muy positivo para evitar el deterioro de los suelos y del ecosistema, sin embargo, en la actualidad no se tienen indicadores cuantitativos que soporten el modelo seleccionado.

Fotografía 4: Zona de explotación



III.3 METODO DEL NUMERO DE CURVA (CN) PARA EL CALCULO DE LA ESCORRENTÍA

Este es un método sencillo para determinar la escorrentía en una cuenca hidrológica o parcela de suelo, sobre la cual se produce una precipitación. El procedimiento fue desarrollado por el Soil Conservation Service del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, con el fin de aplicarse a zonas y áreas sometidas a laboreo agrícola y posteriormente se ha utilizado ampliamente para diseño hidrológico en cuencas con ausencia de información hidrometeorológica o en la solución de problemas de drenaje.

El método se fundamenta en separar la precipitación en la escorrentía superficial y las componentes subsuperficiales, representadas en la infiltración y la humedad vinculada al complejo suelo - vegetación. Con este propósito se consideran las características del suelo, su manejo y el tipo de cobertura vegetal, definiéndose para tal fin, un tipo de curva (CN), característica que depende de los factores antes mencionados, de donde deriva el nombre del método. Estas curvas se dedujeron de un gran número de mediciones hidrológicas en cuencas y zonas de U.S.A.

En su aplicación es necesario definir los siguientes conceptos:

- INFILTRACIÓN POTENCIAL (S). Es la máxima cantidad de infiltración que puede ocurrir durante el proceso en que se produce escurrimiento superficial.
- INFILTRACION REAL (F). Es la cantidad de infiltración registrada durante el periodo de escurrimiento.
- ESCURRIMIENTO POTENCIAL (E). Es la cantidad máxima de escurrimiento que puede producirse durante el lapso de duración de la lluvia efectiva.
- ESCURRIMIENTO REAL (Q). Es el valor real del escurrimiento que se genera durante la lluvia efectiva.
- ABSTRACCION INICIAL (Ia). Representa las pérdidas (infiltración inicial, almacenaje en depresiones e intercepción) que se producen antes de iniciarse el escurrimiento.

La primera y fundamental premisa para desarrollar el método consiste en asumir que en el instante en que la intensidad de la lluvia excede a la capacidad de infiltración (inicio del escurrimiento) en el suelo, existe una relación de proporcionalidad inversa entre los términos de escurrimiento e infiltración antes definidos, que se expresa en la forma:

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{E} \dots\dots\dots (1)$$

Y admitiéndose que si se agrega la infiltración real (F) al escurrimiento real (Q), la máxima cantidad de escurrimiento producido por una tormenta, se puede expresar en la forma:

$$E = F + Q \quad \dots\dots\dots (2)$$

También es evidente que el máximo escurrimiento (E), se puede expresar en término de la precipitación total y la abstracción inicial (Ia), del modo siguiente:

$$E = P - I_a \quad \dots\dots\dots (3)$$

A través de numerosas mediciones en cuencas y parcelas experimentales, se ha comprobado que:

$$I_a \text{ (mm)} = 0,20 S \quad \dots\dots\dots (4)$$

Usando las expresiones (1), (2), (3) y (4) es fácil verificar que el escurrimiento real (Q), se puede expresar mediante la expresión:

$$Q \text{ (mm)} = \frac{(P - 0,20S)^2}{P + 0,80S} \quad \dots\dots\dots (5)$$

Que se aplica cuando la precipitación total excede a 0,20 S, siendo la mayor dificultad determinar S e I_a.

Sobre la base de mediciones de campo, se ha determinado S usando el criterio del número de curva (CN, curve number), con una expresión empírica de la forma:

$$S \text{ (mm)} = \frac{25400}{(CN)} - 254 \quad \dots\dots\dots (6)$$

Para determinar (CN) se procede en la forma siguiente:

1. Se define el tipo de uso de la tierra (use la tabla 8)
2. Se establece el tipo de tratamiento de la tierra y los hábitos de cultivo (tabla 8)
3. Según el grado de cobertura vegetal, se define la condición hidrológica de la cuenca, (use la tabla 10).
4. Se selecciona el grupo de suelo, según su capacidad de escorrentía, (use la tabla 11)
5. Aplique previamente para calcular (CN), la condición de humedad en el suelo tipo II (tabla 8).
6. El valor previo de (CN) puede modificarse según las condiciones antecedentes de humedad acumulada, atendiendo a la precipitación previa en 5 días a la tormenta (tabla 9).
7. Si es necesario modificar (CN) según la humedad antecedente, acuda a la tabla 12.
8. Definido el valor de (CN), se calcula la infiltración potencial S. Use la expresión (6).
9. Conocidas S y P, se procede a determinar I_a y Q. (ecuaciones (4) y (5))
10. La infiltración real (F) se calcula con la expresión:

$$F \text{ (mm)} = \frac{S \times (P - I_a)}{P - I_a + S} = \frac{S \times (P - 0,20S)}{P + 0,80S} \quad \dots\dots\dots (7)$$

En las áreas de la concesión sometidos a laboreo minero, el suelo es completamente desprovisto de su cobertura vegetal (menos de 50 %) y se trata de materiales del tipo D (tabla 11), las condiciones de humedad en los suelos se hacen críticas durante la época lluviosa, cuando tormentas sucesivas pueden ser registradas y la capacidad de generarse escurrimiento es alta.

Ejemplo ilustrativo

Considérese el hietograma de lluvia registrado en una estación específica:

Intervalo (hrs)	0-- 0,50	0,5-- 1,0	1,0-- 1,5	1,5-- 2,0	2,0-- 2,5	2,5-- 3,0	3,0-- 3,5	3,5-- 4,0	4,0-- 4,5	4,5-- 5,0
Precipitación (mm)	10	25	30	45	32	40	25	20	15	10

Determinación de las componentes de infiltración y escurrimiento

(1) TIEMPO (hrs)	(2) PREC. ACUM. (mm)	(3) ABSTRACCION (mm)	(4) INFILTRACION INICIAL(mm)	(5) ESCURRIMIENTO (mm)	
				REAL	HORARIO
0	0	0	0	0	
0,5	10	2,1	4,50	3,4	3,4
1,0	35	2,1	13,60	24,3	20,9
1,5	70	2,1	11,70	58,7	34,4
2,0	115	2,1	11,24	103,0	44,3
2,5	147	2,1	11,09	135,0	32,0
3,0	187	2,1	10,97	174,9	39,9
3,5	217	2,1	10,93	204,8	29,9
4,0	237	2,1	10,90	224,8	20,0
4,5	242	2,1	10,90	229,7	4,9
5,0	252	2,1	10,87	239,7	10,0
TOTAL	252			239,7	

Características Del Área:

- USO DE LA TIERRA: MINERIA INTENSIVA.
- TRATAMIENTO : REFORESTACION PROGRESIVA, DESARROLLO VEGETAL GRADUAL.
- CONDICION HIDROLÓGICA: MALA (COBERTURA VEGETAL < 50 %)
- GRUPO DE SUELO: (D) (VÉASE TABLA 4).
- NUMERO DE CURVA PARA CONDICIONES II (CN) = 89 (SIMILAR A CAMINOS DE TIERRA.) (tabla 8)
- CONDICIONES DE HUMEDAD ANTECEDENTE I (tabla 9. SE REGISTRARON 25 mm)
- NUMERO DE CURVA PARA LA CONDICION DADA (CN) = 96 (TABLA 12, CONDICION III)

$$\begin{aligned} \text{INFILTRACION POTENCIAL } S &= \frac{25400}{(\text{CN})} - 254 = \frac{25400}{96} - 254 = 10,6 \text{ mm} \\ \text{ABSTRACCION INICIAL } I_a &= 0,2S = 0,20 \times 10,6 = 2,1 \text{ mm} \\ \text{INFILTRACION REAL } F &= \frac{S \times (P - I_a)}{P - I_a + S} = \frac{10,6 \times (252 - 2,1)}{252 - 2,1 + 10,6} = 10,87 \text{ mm} \\ \text{ESCURRIMIENTO REAL } Q &= \frac{(P - 0,20 S)^2}{P + 0,8S} = \frac{(252 - 0,20 \times 10,6)^2}{252 + 0,8 \times 10,6} = 239,7 \text{ mm} \end{aligned}$$

Los resultados del ejemplo muestran que en consideración a los valores relativamente elevados de la precipitación y las condiciones asumidas para los suelos y su humedad antecedente, resulta una escorrentía notablemente alta comparada con la infiltración como es natural que ocurra en estos suelos arcillosos - lateríticos de Guayana.

Esta lámina de escurrimiento (239,7 mm) es necesario transformarla a volumen para establecer cual sería la magnitud de la excavación o cierre de una depresión que permita almacenarlo como un cuerpo de agua. Considerando la superficie drenada y admitiendo uniforme distribución de la lluvia, es sencillo el cálculo final. Por ej.: si se tiene una superficie contribuyente de 10 has. (10^{-2} km^2) el volumen disponible es de 239700 m^3 y ésta es la capacidad requerida por la laguna.

El método supone que no se producirán crecientes repetidas que contribuyan a exceder dicha capacidad. Esto no es lo usual en esa región durante la época lluviosa y además, no siempre es posible disponer de adecuadas condiciones en la topografía, como para ejecutar embalses de las dimensiones requeridas, por lo tanto es necesario por razones de seguridad de la obra y de tipo económico, disponer de variantes del diseño estructural, que permitan solventar la anterior incertidumbre. Esto se considera a continuación.

Tabla N° 8

Numero De Curvas De Escurrimiento
Para Diferentes Combinaciones Hidrológicas Suelo - Vegetación
(PARA CUENCAS EN CONDICIONES II, E $I_a = 0.2 \times S$)

Uso del suelo y Cobertura	Tratamiento o método	Condición para la infiltración	NUMERO DE CURVA			
			Grupo hidrológico del suelo			
			A	B	C	D
Rastrojos	Hileras rectas	-----	77	86	91	94
	Hileras rectas	Mala	72	81	88	91
Cultivos en hilera	Hileras rectas	Buena	67	78	85	89
	Curvas de nivel	Mala	70	79	84	88
	Curvas de nivel	Buena	65	75	82	86
	Curv. nivel y terrazas	Mala	66	74	80	82
	Curv. nivel y terrazas	Buena	62	71	78	81
Cultivos en hileras Estrechas	Hileras rectas	Mala	65	76	84	88
	Hileras rectas	Buena	63	75	83	87
	Curvas de nivel	Mala	63	74	82	85
	Curvas de nivel	Buena	61	73	81	84
	Curv. nivel y terrazas	Mala	61	72	79	82
Leguminosas en hileras estrechas o forrajes en Rotación	Curv. nivel y terrazas	Buena	59	70	78	82
	Hileras rectas	Mala	66	77	85	89
	Hileras rectas	Buena	58	72	81	85
	Curvas de nivel	Mala	64	75	83	85
	Curvas de nivel	Buena	55	69	78	83
Pastos de pastoreo	Curv. nivel y terrazas	Mala	63	73	80	83
	Curv. nivel y terrazas	Buena	51	67	76	80
	-----	Mala	68	79	86	89
	-----	Regular	49	69	79	84
	-----	Buena	39	61	74	80
Pasto de corte	Curvas de nivel	Mala	47	67	81	88
	Curvas de nivel	Regular	25	59	75	83
	Curvas de nivel	Buena	6	35	70	79
Bosques	-----	Buena	30	58	71	78
	-----	Mala	45	66	77	83
	-----	Regular	36	60	73	79
Pacios	-----	Buena	25	55	70	77
	-----	-----	59	74	82	86
Caminos de tierra	-----	-----	72	82	87	89
Pavimentos	-----	-----	74	84	90	92

Pastos: usar tabla 11, cond. suelo.
 1) Usar tabla 8
 2) se define Cond. Hum. antec. (tabla 9).
 3) se aplica la tabla 12!
 Se calcula (CS)

Tabla N° 9

**Condición De Humedad Antecedente En Función De La Precipitación
Acumulada Durante Los 5 Días Previos Al Evento En Consideración**

PRECIPITACION ACUMULADA DURANTE LOS 5 DIAS PREVIOS AL EVENTO A CONSIDERARA	CONDICION DE HUMEDAD ANTECEDENTE
DESDE 0 HASTA 35 mm	I
DESDE 35 HASTA 53 mm	II
MAYOR DE 53 mm	III

Tabla N° 10

Condición Hidrológica en Función del % de Cobertura Vegetal

% DE COBERTURA VEGETAL	CONDICION HIDROLOGICA
MAYOR DE 75 %	BUENA
DESDE 50% HASTA 75%	REGURAR
MENOR DE 50%	MALA

Tabla N° 11

Grupos De Suelos En Función Del Potencial De Escorrentía

GRUPO	POTENCIAL DE ESCORRENTIA	CARACTERÍSTICAS DEL SUELO
A	BAJO	<ul style="list-style-type: none"> - ALTA RATA DE INFILTRACION AUN CUANDO MUY HUMEDOS - CONFORMADOS POR ARENAS O GRAVAS PROFUNDAS, BIEN O EXCESIVAMENTE BIEN DRENADOS - ALTA RATA DE TRASMISION DE AGUA
B	MODERADAMENTE BAJO	<ul style="list-style-type: none"> - RATA DE INFILTRACION MODERADA CUANDO MUY HUMEDOS - TEXTURA MODERADAMENTE FINA HASTA MODERADAMENTE GRUESA - PERMEABILIDA MODERADAMENTE LENTA HACIA MODERADAMENTE RÁPIDA - RATA DE TRASMISION DE AGUA MODERADA
C	MODERADAMENTE ALTO	<ul style="list-style-type: none"> - INFILTRACION LENTA CUANDO MUY HUMEDOS - INFILTRACION LENTA DEBIDO A SALES Y ALKALI - TEXTURA MODERADAMENTE FINA HASTA FINA - ESTRATO QUE IMPIDE EL MOVIMIENTO DEL AGUA HACIA ABAJO, CON PERMEABILIDAD LENTA A MUY LENTA - POBREMENTE DRENADOS O MODERADAMENTE BIEN DRENADOS
D	ALTO	<ul style="list-style-type: none"> - INFILTRACION MUY LENTA CUANDO MUY HUMEDOS - INFILTRACION MUY LENTA DEBIDO A SALES Y ALKALI - ARCILLOSOS SUPERFICIAL CON ALTO POTENCIAL DE EXPANSION - NIVEL FREATICO ALTO Y PERMANENTE - SUELO POCO PROFUNDO SOBRE MATERIAL CASI IMPERMEABLE - RATA DE TRASMISION DE AGUA MUY LENTA

Tabla N° 12

Correcciones Por Condiciones Antecedentes De Humedad

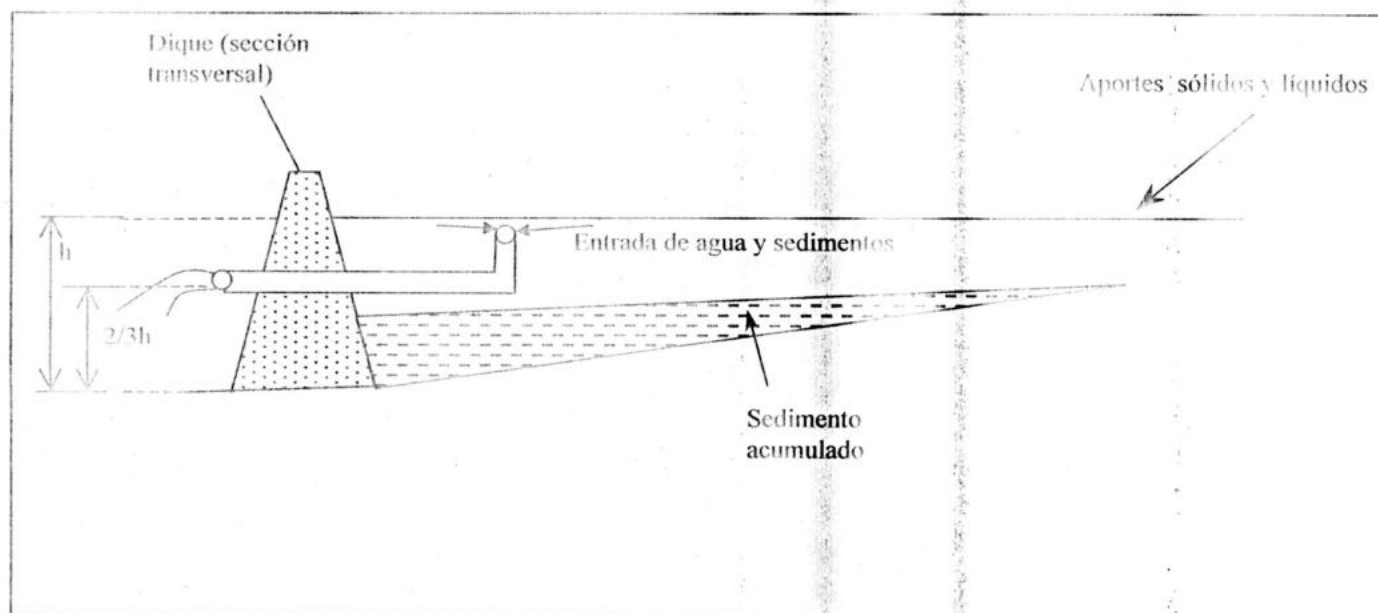
CN para Condición II	CN para Condiciones		CN para condición II	CN para Condiciones	
	I	y III		I	y III
100	100	100	60	40	78
99	97	100	59	39	77
98	94	99	58	38	76
97	91	99	57	37	75
96	89	99	56	36	75
95	87	98	55	35	74
94	85	98	54	34	73
93	83	98	53	33	72
92	81	97	52	32	71
91	80	97	51	31	70
90	78	96	50	31	70
89 →	76	96	49	30	69
87	75	95	48	29	68
86	73	95	47	28	67
85	72	94	46	27	66
84	70	94	45	26	65
83	68	93	44	25	64
82	67	93	43	25	63
81	66	92	42	24	62
80	64	92	41	23	61
79	63	91	40	22	60
78	62	91	39	21	59
77	60	90	38	21	58
76	59	89	37	20	57
75	58	89	36	19	56
74	57	88	35	18	55
73	55	88	34	18	54
72	54	87	33	17	53
71	53	86	32	16	52
70	52	86	31	16	51
69	51	85	30	15	50
68	50	84			
67	48	84	25	12	43
66	47	83	20	9	37
65	46	82	15	6	30
64	45	82	10	4	22
63	44	81	5	2	13
62	43	80	0	0	0
61	42	79			

III.4 CRITERIOS SUGERIDOS PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL

El diseño hidrológico debe complementarse con medidas apropiadas en el aspecto de la construcción de los diques de las lagunas, para hacer más eficiente su operación y mantenimiento, garantizar su mejor estabilidad y conservación, así como evitar las fallas que se han observado en algunas de las construidas con anterioridad. Una variante que se propone, consiste en incorporar (Figura C) al dique, un ducto en forma de L de 5-10 pulgadas de diámetro (debe establecerse según el tamaño del embalse y otros factores hidrológicos) que conecten el vaso con el área de descarga aguas abajo del mismo. El ducto con llave reguladora a la salida o con segmento enroscado en la sección interna a la laguna, estaría situado a $2/3$ de la altura del dique y permitirá evacuar el excedente de escorrentía almacenada en la laguna y parte del sedimento fino que sea arrastrado por las crecientes, aumentándose así la vida útil de las mismas y evitándose que el agua en las crecientes supere la altura del dique, produciendo erosión y su fallamiento. El tubo debe fijarse y ubicarse en un sector no sujeto a ser dañado por la excesiva afluencia de sólidos o material en suspensión y la rosca permitiría añadir secciones de mayor longitud, para regular la descarga o seguir operando, en caso de decidirse subir la altura del dique.

El flujo evacuado por el ducto debe perder energía por disipación en el aire o descargar en zonas protegidas con vegetación o en un lecho rocoso estable, para evitar remoción de materiales de su estructura o socavación del lecho, de manera que se garantice la estabilidad del dique. Estas medidas resultan más económicas que colocar un aliviadero con lo cual, el riesgo de erosión se mantiene en caso de evacuarse altos caudales en crecientes sucesivas del lapso lluvioso.

Figura C: Dispositivo de evacuación de aguas y sedimentos en las lagunas para extender su vida útil



Otro detalle observado en la ejecución de estos diques es su deficiente compactación, lo que se realiza con las mismas máquinas excavadoras y sin humedecimiento al compactar las capas. Esto contribuye a un bajo grado de resistencia del material ante la acción de los flujos o la erosión directa de la lluvia.

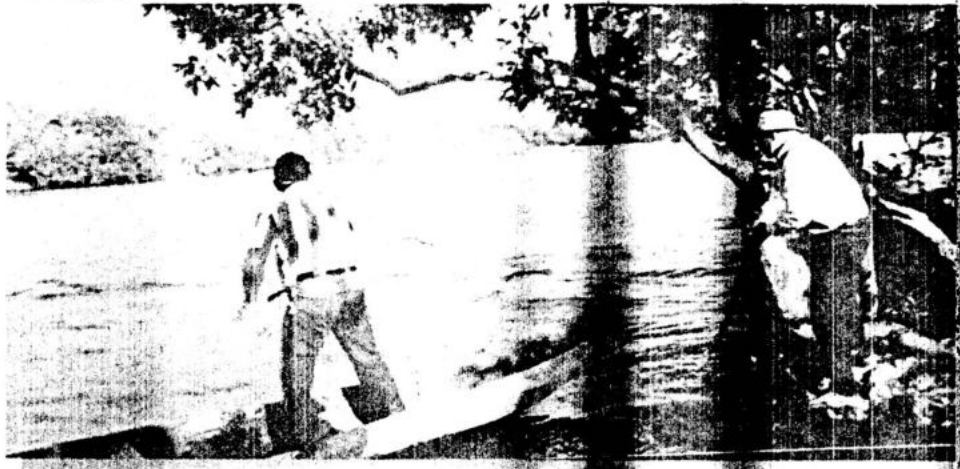
Finalmente, debe pensarse en la utilización o resguardo de las lagunas una vez sedimentadas. Una opción sería reforestar el depósito sólido, como se ha venido haciendo con las zonas intervenidas productoras de sedimentos, lo que sería adecuado en aquellas que no presentan vasos con suficiente volumen del reservorio, como para elevar adicionalmente los diques, de modo que se incremente de nuevo su capacidad y seguir las utilizando. Ambas soluciones sin embargo, dependen de la forma y estructura de cada laguna y del tiempo en el que se justifique adoptar dichas soluciones.

IV.- ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECARADA

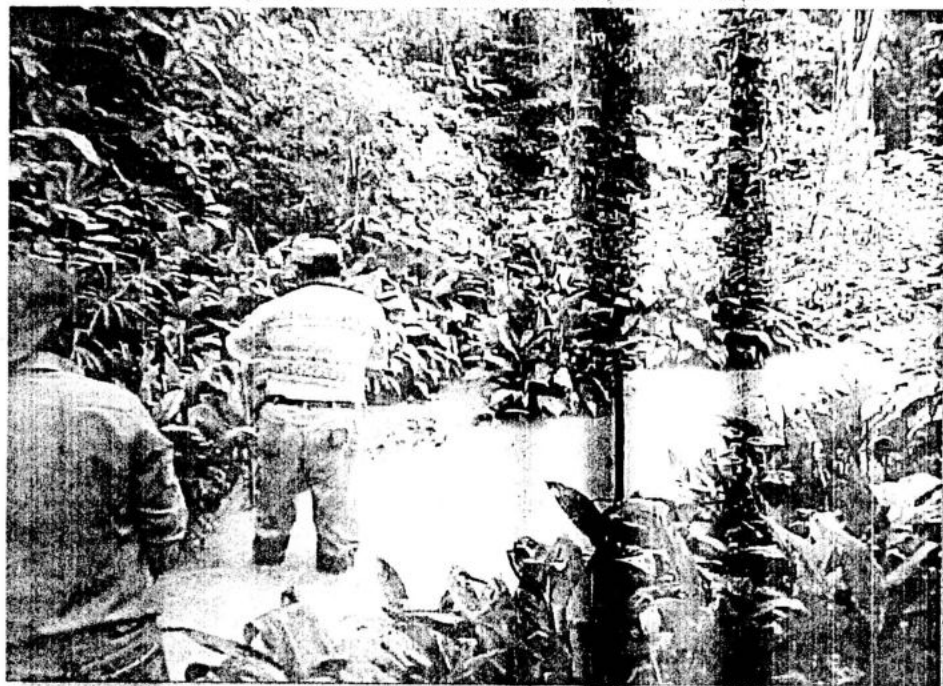
IV.1 RESULTADOS GENERALES DE HIDROMETRÍA Y SEDIMENTOLOGÍA

Durante el inicio de la época lluviosa del año 2000, se realizó una inspección de campo a la zona minera con el objeto de observar el comportamiento de las obras ejecutadas por la Gerencia de Rehabilitación Ambiental, y efectuar mediciones en algunos de los más importantes cauces que drenan el sector bajo laboreo. (Ver fotografías 5, 6 y 7).

Fotografía 5: Toma de muestras para análisis de calidad de aguas - río Suapure



Fotografía 6: Aforo realizado en el caño El Chorro



Fotografía 7: Aforo de vado en el río Los Pijiguaos y muestreo de sedimentos.



La tabla N° 13 muestra los resultados obtenidos en las estaciones seleccionadas en las que se practicó tanto la medición del caudal líquido, como sólido. Los caudales, así como las concentraciones determinadas, no fueron elevados dado que no se habían producido lluvias de significación. Resultados de los aforos realizados pueden consultarse en el anexo N°2.

Tabla N° 13: Mediciones de caudales sólidos y líquidos

Caudales del Sector Minero Los Pijiguaos - Junio 2000

(1) Cauce/ Estación	(2) Fecha	(3) Caudal (m ³ /s)	(4) Caudal (l/s)	(5) Peso de Sedim. (g)	(6) Volumen (cc)	(7) Conc. (mg/L)	(8) Gasto Sólido (Ton/día)
Pijiguaos / Caserío							
Fino	06-06-2000	0,960	960	0,0089	280	32	3,07
Arena				0,0045	940	5	0,42
Cañas Bravas	07-06-2000	0,677	677	0,0053	280	19	3,10
El Secreto	07-06-2000	-	-	0,0238	310	77	-
La Batea	07-06-2000	0,900	900	0,1039	327	318	80,8

Las concentraciones se determinaron en el laboratorio a través del método de evaporación a 102° C. Solamente en la Estación de los Pijiguaos en el Caserío se justificó separar la fracción de arena (5 mg/L) de los finos (32 mg/L), los que fueron dominantes en una relación

aproximada de 20 veces respecto a otras secciones muestreadas. Obtenida la concentración, se procedió a determinar el transporte en suspensión a través de la expresión:

$$Q_s = C \times Q \times 86.400 \text{ (Ton/d)} \dots\dots\dots(8)$$

Donde :

C = Concentración media (% peso)

Q = Caudal líquido en (m³/s)

Q_s = Caudal sólido en (Ton/ día)

Estas mediciones son las primeras que se realizan en forma simultánea y reflejan condiciones de bajos caudales, por lo tanto los resultados obtenidos presentan relativamente bajos transportes sólidos, los que deben variar al producirse aumento en las precipitaciones al intensificarse el período lluvioso.

Una de las Estaciones con valores significativos, especialmente en lo relativo al transporte de material fino, fue La Batea. Hasta este sitio el flujo es capaz de transportar la fracción fina del sedimento producido en las áreas sujetas al laboreo, y cuya concentración medida fue de 318 mg/L. El caudal se estimó en base a la geometría de la sección y la velocidad fue determinada con objetos flotantes.

La relación de las concentraciones obtenidas en La Batea, con respecto a la Estación de los Pijiguaos, varía en un orden de 20 veces, notándose que una apreciable cantidad de material asociado a fragmentos clásticos de Bauxita, se acumulan en los lechos en las zonas de transición de pendiente, lo que se favorece por la densa cubierta vegetal en las riberas.

Este material está disponible en una larga extensión de los canales y debe removilizarse al producirse incrementos de caudales, causando por lo tanto, un aumento de la turbiedad de las aguas en los ríos receptores principales como el Suapure y Pijiguaos, tal como ha acontecido en años previos, especialmente en el primero de estos dos ríos (ver fotografías 5, 6 y 7).

IV.2 GRANULOMETRIA DEL SEDIMENTO SUSPENDIDO - CAÑO LA BATEA

Se captó una muestra del sedimento suspendido en el caño La Batea en el cruce inmediato al Caserío Los Pijiguaos, a la cual se le practicó análisis para determinar la concentración y distribución de tamaños de las partículas. Este río recolecta aguas de diferentes tributarios provenientes de las áreas bajo explotación y para la fecha del muestreo contenía una alta concentración de sólidos suspendidos, tal como se evidencia en el valor de la turbiedad del agua.

El análisis se practicó en un medio acuoso natural empleando peróxido de hidrógeno (H₂O₂ al 1 %) como dispersante, y se utilizó el método de pipeteado. La tabla N°14 contiene los resultados obtenidos. Para hallar las velocidades de caída se ha usado la Ley de Stokes, empleándose una apropiada distribución de los tiempos de pipeteado y una profundidad de captación de 12 cm, en una probeta cilíndrica. Previamente se hizo necesario filtrar a través del tamiz de 62.5 micrones (0,0625 mm) la fracción de arena fina, que resultó ser de 76 %.

Tabla N° 14: Análisis del sedimento suspendido

Caño La Batea - 7/7/2000

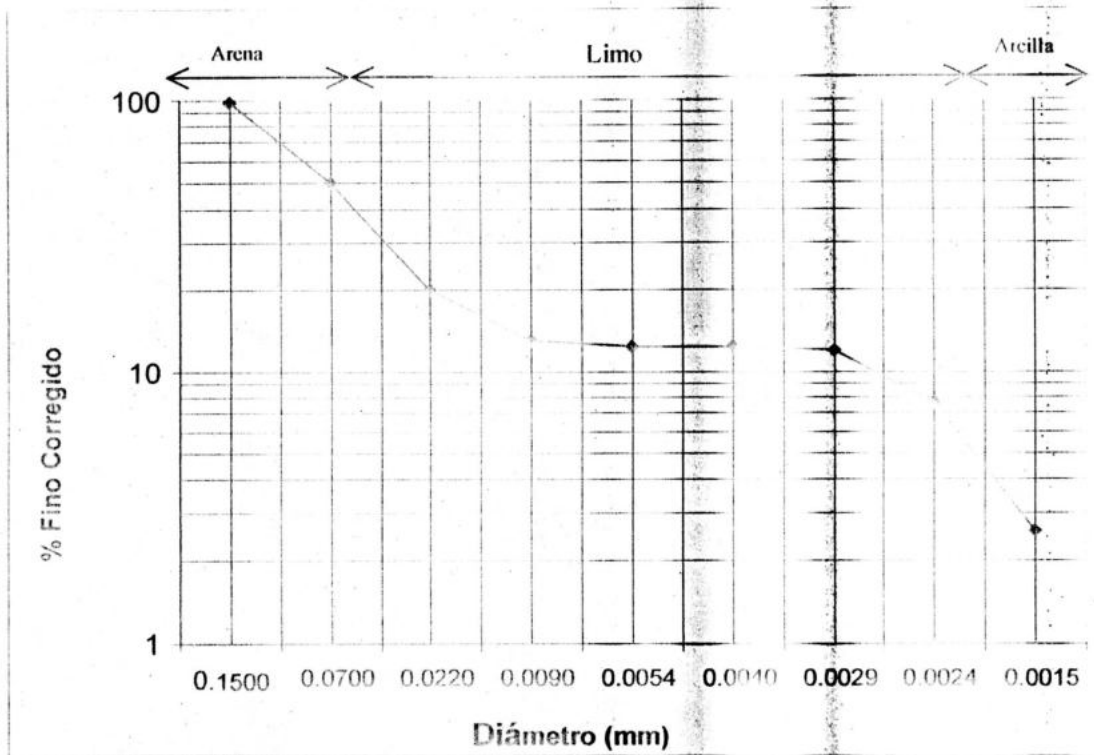
(1) Captación	(2) Vel. Caída (cm/s)	(3) Diam. (mm)	(4) Ws (g)	(5) % fino	(6) % fino Corr
1	0,040	0,022	0,0064	84	20.2
2	0,0067	0,009	0,0040	54	13
3	0,0022	0,0054	0,0039	52	12.5
4	0,0013	0,0040	0,0039	52	12.5
5	0,00067	0,0029	0,0038	50	12
6	0,00048	0,0024	0,0024	32	7.7
7	0,00014	0,0015	0,0009	11	2.6

$Z = 12 \text{ cm}$; $C = 0,0076 \text{ g/cc}$

Peso retenido en tamiz 63 micrones = 0,0245 g (75 % en peso)

El material es predominantemente areno-limoso con una composición de 65-75 % en peso de arena fina, el limo alcanza a 20 % y la arcilla se encuentra en un 5 % en peso. El diámetro medio del sedimento es de 0,070 mm. Debe señalarse que la fracción arcillosa se presenta en un alto porcentaje adherido por fuerzas de absorción a la superficie de las mayores partículas y no es completamente separada con las concentraciones empleadas del desfloculante. La curva granulométrica se ilustra en el gráfico N° 1:

Gráfico N° 1: Granulometría de sedimentos



Cauce: caño La Batea

Dto.-Zona: Bolívar

Muestreador: Superficial

Método: Superficial

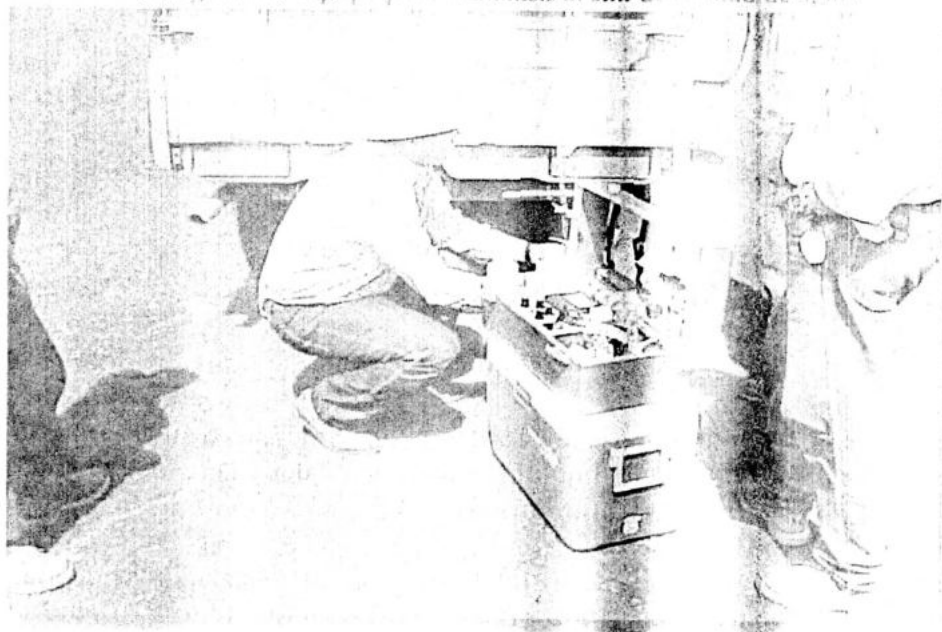
IV.3 ANÁLISIS DE CALIDAD DE LAS AGUAS

Los análisis químicos de las aguas realizados corresponden a la determinación de los parámetros de mayor importancia, considerando:

- La actividad que desarrolla la empresa **BAUXILUM**
- La geología de la cuenca del río *Suapure*, compuesta de rocas precámbricas intrusivas y extrusivas cubiertas por restos de sedimentitas de la *formación Roraima*.
- La localización de la mina de bauxita, en los niveles de los afloramientos de rocas ígneas precámbricas (Consultores Técnicos Integrales, 1988).

Por otra parte, es necesario destacar que estos análisis ofrecen información de una situación puntual, sin reflejar las condiciones existentes tiempo atrás, antes de la captación de las muestras. De esa manera, si los vertidos o situaciones de descargas incontroladas o accidentales no son considerables como para ser detectados en cualquier momento por los análisis, no serán percibidos, a no ser que coincida la descarga contaminante con el momento de captación de la muestra y las mediciones *in situ*.

Fotografía 8: Equipo para el análisis *in situ* de calidad de aguas



IV.3.1 Estaciones de muestra en lagunas de retención

Ambas lagunas (*Bloque 2-Sector 4; Bloque 3-Sector 5*), presentan un valor de pH ácido (4,8 y 5,5 respectivamente), por debajo del valor mínimo (6,0) indicado en la normativa legal vigente (*Venezuela, Gaceta Oficial # 5.021 Extraordinario, Aguas Tipo IA-IB*).

Las concentraciones detectadas de aluminio total (0,5 y 0,25 mg/L) se encuentran fuera del valor establecido (0,2 mg/l. *Aguas Tipo IA-IB*), apreciándose una mayor concentración de este catión en la Laguna de Retención del Bloque 2, laguna con mayor tiempo de operación.

En cuanto al resto de los parámetros físicos y químicos evaluados, la laguna del B2-S4 presenta valores dentro de la normativa indicada. Los resultados indican aguas con bajo contenido de material, disuelto o mineralizado, lo cual se refleja en los valores reportados de color real (8 U. Pt. Co), sólidos totales disueltos (6 mg/L) y conductividad (8 μ mhos/cm). Aunque el valor reportado para turbiedad (25 UNT) limita con el valor normativo (< 25 UNT) indicativo de la presencia de material en suspensión, se determinó que la concentración de materia orgánica oxidable químicamente (DQO < 5 mg/L) es baja, así como alto contenido de oxígeno disuelto (7,1 mg/L), superando inclusive el valor expresado en la normativa (> 4 mg/L).

Los valores obtenidos en la muestra captada en la laguna del B3-S5 para el color real (500 U.Pt.Co) y turbiedad (360 UNT), superan ampliamente lo exigido por la normativa, indicando la presencia significativa de material en suspensión y en solución que posiblemente podría facilitar la presencia en concentraciones apreciables de ciertos cationes polivalentes (manganeso, hierro y aluminio), encontrando que el manganeso (3,0 mg/L), hierro total (11,8 mg/L), aluminio (0,25 mg/L) y plomo (< 0,5 mg/L) no satisfacen los límites normativos.

Por otra parte, la demanda química de oxígeno es mayor en esta laguna (12 mg/l) en comparación con la laguna B2-S4, manteniéndose alta la concentración de oxígeno disuelto (6,9 mg/L).

En las tablas N° 15, 16, 17, 18, 19 y 20 pueden apreciarse los resultados obtenidos para aquellos parámetros más significativos que han sido anteriormente comentados.

Tabla N° 15: Resultados analíticos de calidad de agua
Lagunas de retención

Estación	Parámetro	Resultado	Ven C.O. # 5.021
Bloque 2 Sector 4	Color Real (U.Pt.Co)	8	< 50
	Conductividad (μ mhos/cm)	8	N.I.
	STD (mg/L)	6	1.500
	Turbiedad (UNT)	25	< 25
	pH	4,8	6,0 - 8,5
	Aluminio *(mg/L)	0,5	0,2
Bloque 3 Sector 5	Color Real (U.Pt.Co)	500	< 50
	Conductividad (μ mhos/cm)	40	N.I.
	STD (mg/L)	4	1.500
	Turbiedad (UNT)	360	< 25
	pH	5,5	6,0 - 8,5
	Manganeso (mg/L)	3,0	0,1
	Aluminio * (mg/L)	0,25	0,2
Hierro * (mg/L)	11,8	1	

N.I. : No indicada

STD: Sólidos Totales Disueltos

(*) : Total

4.3. Estaciones de muestreo en los cursos de agua

Caño El Secreto

La mayoría de los resultados analíticos correspondientes a este curso de agua satisfacen los valores indicados en la normativa legal venezolana, exceptuando la concentración obtenida para el aluminio total (0,52 mg/L vs 0,2 mg/L valor normativo). Asimismo, se encuentran aguas con bajo contenido de material en suspensión, disuelto o mineralizado, lo cual se evidencia en los valores reportados de color real (13 U.Pt.Co), sólidos totales disueltos (10 mg/L), conductividad (16 μmhos/cm) y turbiedad (15 UNT), desde el punto de vista de la dureza total, pueden ser consideradas aguas blandas (7 mg/L), así como de baja concentración de materia orgánica oxidable químicamente (DQO = 8 mg/L) y alto contenido de oxígeno disuelto (7.5 mg/L). La concentración de silicio (12 mg/L) se encuentra dentro de los valores comúnmente hallados en las aguas naturales.

Tabla N° 16: Resultados analíticos de calidad de agua
Caño El Secreto

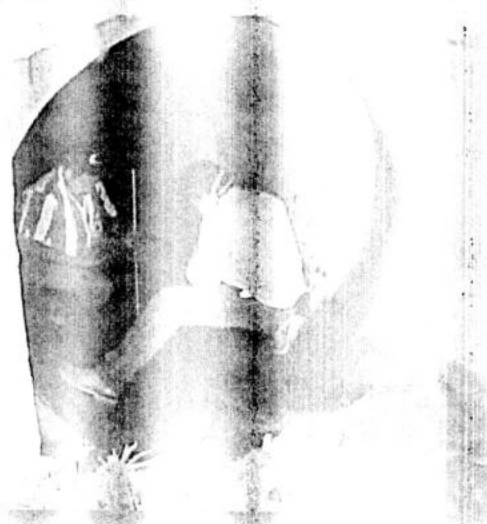
	Parámetro	Resultado	Ven (C.O. 8.5.07)
Caño El Secreto	Color Real (U.Pt.Co)	13	50
	Conductividad (μmhos/cm)	16	N.L.
	STD (mg/L)	10	1.500
	Turbiedad (UNT)	15	25
	pH	6,1	6,0 - 9,5
	Aluminio ³⁺ (mg/L)	0,52	0,2

N.L.: No indicada

STD: Sólidos Totales Disueltos

CO: Total

Fotografías 9 y 10: Muestras para análisis de calidad de aguas - Caño El Secreto



• Río Suapure

Este curso de agua en el punto de captación conocido como *Las Bateas*, presenta un pH ácido (5,3) que no satisface el valor mínimo indicado en la normativa (6,0). Es recomendable señalar que el rango de pH establecido en la normativa venezolana ha considerado entre otras razones, valores ubicados en el rango de 6,0 a 8,5 como adecuados para la supervivencia de la biota que habita en los cuerpos de agua, el valor obtenido de dureza total (5 mg/L CaCO₃), indica que pueden ser consideradas como aguas blandas.

En cuanto a la concentración de aluminio total (0,38 mg/L) esta superó al límite establecido en la normativa (0,2 mg/L), igualmente las concentraciones reportadas para cadmio y plomo (< 0,025 y < 0,5 mg/L respectivamente vs. 0,01 y 0,05 mg/L valores normativos). La concentración de sílice (16 mg/L) se encontró dentro de los valores comúnmente hallados en las aguas naturales. Los resultados derivados de las determinaciones del color real (25 U.Pt. Co), sólidos totales disueltos (6 mg/L), conductividad (10 µmhos/cm) y turbiedad (12 UNT) demuestran que estas aguas también presentan bajo contenido de material en suspensión, disuelto o mineralizado y dentro de los límites establecidos en la normativa.

Por otra parte, el valor reportado para la demanda química de oxígeno (12 mg/L) relacionada con la concentración de materia orgánica oxidable químicamente fue mayor en comparación a la obtenida en los caños El Secreto (8 mg/L), El Chorro (5 mg/L), Cañas Bravas (7 mg/L) y el río Los Pijiguas (5 mg/L), con relación al contenido de oxígeno disuelto (7,4 mg/L), en este río se registró una alta concentración de este importante gas. El resto de los resultados obtenidos para las determinaciones químicas satisfacen los valores indicados en la normativa venezolana.

Tabla N° 17: Resultados analíticos de calidad de agua
Río Suapure

	Parámetro	Resultado	Ven G.O. 05.021
Río Suapure	Color Real (U.Pt.Co)	25	50
	Conductividad (µmhos/cm)	10	25
	STD (mg/L)	6	1.000
	Turbiedad (UNT)	12	25
	pH	5,3	6,0 - 8,5
	Aluminio* (mg/L)	0,38	0,2
	Hierro* (mg/L)	0,7	1

N.I. : No indicada

STD: Sólidos Totales Disueltos

(*) : Total

Caño El Chorro

En comparación con el resto de las estaciones de muestreo evaluadas, en este caño en el punto de captación denominado **Los Conucos**, se encontraron los mayores valores de color real (160 U.Pt.Co) y turbiedad (120 UNT), valores que superan ampliamente a los señalados en la *Gaceta Oficial (G.O.)* # 5.021 (< 90 U.Pt.Co y < 25 UNT respectivamente), lo cual podría indicar en el caso del color, la presencia de cantidades significativas de material en solución o material de origen vegetal o extractos orgánicos que están en forma coloidal y en el caso de la turbiedad, la presencia de abundante material de carácter mineral u orgánico en suspensión.

El pH arrojó un valor de 5,7, inferior al mínimo indicado en la normativa. El catión manganeso presentó una concentración de 0,13 mg/L superior al valor límite, al igual que el aluminio total (1,55 mg/L) así como el hierro total (4,5 mg/L). Asimismo, las concentraciones reportadas para cadmio y plomo ($< 0,025$ y $< 0,5$ mg/L respectivamente) fueron superiores a los valores normativos (0,01 y 0,05 mg/L). La concentración de sílice (16 mg/L) es superior a los valores comúnmente hallados en las aguas naturales (1-30 mg/L) señalados en la bibliografía consultada. Nuevamente, el valor obtenido para la dureza total (15 mg/L como CaCO_3) indican que el agua puede ser clasificada como blanda. Los resultados arrojados por las determinaciones físicas y químicas restan insatisfechos los límites señalados en la normativa.

Tabla N° 18: Resultados analíticos de calidad de agua
Caño El Chorro

	Parámetro	Resultado	Ven. G.O. # 5.021
Caño El Chorro	Color Real (U.Pt.Co)	160	90
	Conductividad (µmhos/cm)	22	111
	STD (mg/L)	16	1.000
	Turbiedad (UNT)	120	25
	pH	5,7	6,0 - 7,5
	Manganeso (mg/L)	0,13	0,1
	Aluminio * (mg/L)	1,55	0,2
	Hierro * (mg/L)	4,5	1

NI : No indicada

STD: Sólidos Totales Disueltos

(*) : Total

- **Caño Cañas Bravas**

En cuanto a los parámetros físicos sólo el color real (55 U.Pt.Co) supera el límite indicado en la norma (< 50), esta situación es atribuible a la presencia de cantidades importantes de material en solución, a material de origen vegetal o extractos orgánicos que están en forma coloidal, ya que se obtuvo un valor bajo mediante la determinación de la turbiedad (6 UNT).

Como en los caños anteriores, la concentración de aluminio total (0,32 mg/L) y plomo total (< 0,5 mg/L) superan los límites expresados en la normativa (0,2 mg/L y 0,05 mg/L respectivamente). La concentración de sílice (18 mg/L) y de oxígeno disuelto (6,8 mg/L) son los comúnmente encontrados en muchos cuerpos de agua naturales. Con respecto a la demanda química de oxígeno el valor bajo de DQO (7 mg/L), al igual que en el Caño El Chorro (5 mg/L), indican poca presencia de materia orgánica oxidable químicamente. También estas aguas pueden ser clasificadas como blandas, considerando el valor de dureza total obtenido (2 mg/L CaCO₃). Los valores obtenidos de las determinaciones físicas y químicas restantes satisfacen los límites señalados en la Gaceta Oficial.

Tabla N° 19: Resultados analíticos de calidad de agua
Cursos de agua.

	Parámetro	Resultado	Ven G.O. # 5.021
Caño Cañas Bravas	Color Real (U.Pt.Co)	55	< 50
	Conductividad (µmhos/cm)	12	N.I.
	STD (mg/L)	9	1.500
	Turbiedad (UNT)	6	< 25
	pH	7,1	6,0 - 8,5
	Aluminio * (mg/L)	0,32	0,2

N.I. : No indicada

STD: Sólidos Totales Disueltos

(*) : Total

- **Río Los Pijiguaos**

Para el momento de la realización del muestreo, este curso de agua presentó aguas con un valor de turbiedad (52 UNT) que supera significativamente el valor límite indicado en la normativa venezolana (< 25 UNT); esta situación podría estar relacionada con la presencia de material en suspensión como arcillas, sedimentos, plancton u otros organismos microscópicos. El valor de pH (5,4) es inferior al límite mínimo normativo (6,0), por otra

parte la concentración de sílice encontrada (37 mg/L) es mayor a la concentración comúnmente reportada en la bibliografía para aguas naturales.

En este curso de agua, también los datos analíticos arrojaron concentraciones de aluminio total (1,32 mg/L), hierro total (2,0 mg/L), cadmio ($< 0,025$ mg/L) y plomo ($< 0,5$ mg/L) superiores a los valores límites indicados en la G.O. # 5.021. Con relación al oxígeno disuelto, este gas presentó una concentración significativamente elevada (9,3 mg/L) siendo el mayor valor registrado en el conjunto de los cursos de agua (caños y río) evaluados. Asimismo, se mantiene la característica de aguas blandas (dureza total = 2 mg/L como CaCO_3). El resto de los valores obtenidos de las determinaciones físicas y químicas satisfacen los límites de la normativa.

Tabla N° 20: Resultados analíticos de calidad de agua
Río Los Pijiguas

	Parámetro	Resultado	Ven G.O. # 5.021
Los Pijiguas	Color Real (U.Pt.Co)	32	50
	Conductividad ($\mu\text{mhos/cm}$)	14	N.I.
	STD (mg/L)	9	1.500
	Turbiedad (UNT)	52	25
	pH	5,4	6,0 - 8,5
	Aluminio * (mg/L)	1,32	0,2
	Hierro * (mg/L)	2	1

N.I. : No indicada

STD: Sólidos Totales Disueltos

(*) : Total

Es importante mencionar que en todos los casos estudiados, para la fecha del muestreo (Junio 2000), los resultados correspondientes a los parámetros específicos Cadmio y Plomo, arrojaron valores que implican superioridad considerable con relación al valor indicado en la normativa oficial vigente; asimismo es necesario acotar que estos valores han sido obtenidos mediante una metodología analítica cuya sensibilidad es limitada (partes por millón), por lo que se considerará conveniente seguir evaluando permanentemente dichos parámetros y analizar sus concentraciones mediante una metodología analítica que permita mayor sensibilidad, en el orden de partes por billón.

V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

V.1. MEDIDAS ALTERNATIVAS DE CONTROL

V.1.1 Hidrometría y sedimentología

1.- Las mediciones conjuntas de caudales sólidos y líquidos representan la forma más apropiada para estructurar un banco de datos que ayude a:

- Evaluar la eficiencia de los métodos de control y tratamiento de los suelos y áreas sometidas a explotación
- Tomar decisiones sobre las áreas más afectadas en términos de métodos de protección, tanto en los sectores sometidos al laboreo minero como en los ríos y quebradas no intervenidos, que han mostrado poseer bajos aportes de sedimentos. Estos bloques o frentes serán posteriormente objeto de explotación, y para poder hacer notorio el cambio que muy probablemente se suscitará en los indicadores, sería ventajoso disponer de información previa sobre caudales sólidos y líquidos, es decir, en su actual etapa sin explotación.

2.- La eficiencia de las lagunas en las áreas bajo explotación se puede mejorar mediante el uso de medidas complementarias para el control de la erosión, tales como el desarrollo de drenes superficiales, terraceo y la adecuación del drenaje superficial evitando la concentración excesiva del escurrimiento.

Para adoptar estas medidas es necesario conocer detalles topográficos más definidos de las áreas sujetas a explotación, lo que se hace más útil en la medida que las superficies de los frentes mineros, presenten mayores extensiones.

3.- Las mediciones recientes de transporte de material sólido en los diferentes cauces que drenan las áreas bajo explotación, muestran poseer distintos modos y magnitudes de acarreo. Los hay desde muy elevados como en el caño La Batea, que concentra aguas de diferentes tributarios que provienen de los frentes actuales bajo laboreo, hasta concentraciones relativamente bajas como es el caso del caño Cañas Bravas y Quebrada Cúcuta, en condiciones de baja productividad de sedimentos.

Estas condiciones pueden variar conforme progrese el tipo lluvioso o se produzcan suministros anormales, debido a las fallas en los diques (puercos) o se reincorporen nuevas áreas a la actividad minera.

4.- El problema más significativo, que crea el sedimento, es asociado al incremento de la turbiedad de las aguas que afecta los ecosistemas, especialmente a la biota acuática. El carácter fino de los materiales hace que este aspecto sea el más problemático, debido a la dificultad de controlar su movilidad y su alto grado de dispersión en los flujos, lo que determina que estos sean transportados eficazmente hasta los cauces principales, tales como los ríos Pijiguaos y Suapure.

5.- Un control definitivo del sedimento requiere del diseño y construcción de áreas con mayor capacidad para el almacenamiento de este tipo de material, con el objeto de acumular el material

lino y se evitar su movilización hacia el río Suapure. Se ha considerado preliminarmente, proponer la construcción de una presa en el cauce del río El Secreto, con una superficie de 36 Has., una altura del dique de 15 m (cotas 200-215), con una capacidad de 1 millón de m³, aproximadamente. La presa se ubicaría al pie de la serranía tal como se muestra en el mapa que aparece en el anexo 1.

6.- Dependiendo de la calidad de las aguas, la obra propuesta permitiría hacer uso complementario de las mismas, con diferentes propósitos: suministro de agua a la población, recreación y fomento de la piscicultura, lo cual daría a BARRIO ALUM un mayor participación en la solución de los problemas de la comunidad.

La propuesta concuerda con la idea sugerida por la empresa CTI de controlar y controlar el suministro de sedimentos mediante este tipo de obras, cuando las condiciones topográficas lo permitieran. En la fecha de elaboración de esta memoria de comprensión (1998) no existían mapas de detalle, y un refinamiento de los estudios para estos exige se practiquen levantamientos planimétricos del área con mayor detalle.

Las medidas correctivas complementarias a ser desarrolladas en las obras sonetidas a explotación de Bauxita tales como terrazas, drenes y colectores de agua superficial ameritan para su diseño en aspectos tales como ubicación, dimensiones, materiales de construcción, criterios de compactación y de colocación de los materiales, etc., de contarse con información planialtimétrica de más detalle que la existente en la actualidad. Las curvas de nivel deben estar indicadas con intervalos de 0,25 metros. Sería conveniente disponer de información geológica y de las características geotécnicas de los suelos que permitan practicar buenos diseños.

3.1.2 Calidad de aguas

3.1.2.1 Conclusiones

Los resultados analíticos provenientes de las determinaciones físicas y químicas realizadas a las muestras puntuales cantadas en las diversas estaciones de muestreo, arrojan las conclusiones señaladas a continuación:

1.- En ambas **Lagunas de Retención**, los valores de pH son buenos y cumplen con lo indicado en la normativa legal venezolana.

2.- En ambas **Lagunas de Retención** las concentraciones de aluminio total superan el límite normativo establecido.

3.- En la **Laguna de Retención del Bloque 3-Sector 5**, los valores encontrados para los parámetros: Color Real, Turbiedad, Manganeso, Hierro Total, Carbono Orgánico Total no cumplen con los límites señalados en la **Gaceta Oficial # 5.077 Extraordinaria**.

4.- En los puntos de muestreo seleccionados en las estaciones correspondientes a los caños: **El Secreto, El Chorro, Caña La Brava** y el río **Los Pijiguaos** así como al río **Suapure**, la concentración de aluminio total supera el límite indicado en la norma.

5.- En el caño *El Chorro* los resultados obtenidos en la determinación del Color Real, Turbiedad y Manganeso se encuentran fuera del límite normativo.

6.- En el caño *Cañas Bravas* la determinación del Color Real arrojó un resultado que se encuentra fuera del valor indicado en la normativa.

7.- En el río *Suapure*, así como en los caños anteriormente mencionados, incluyendo *Los Pijiguaos*, las concentraciones de Cadmio y Plomo superan las concentraciones límites normativas.

8.- En los caños *El Chorro* y el río *Los Pijiguaos*, así como en el río *Suapure*, los valores ácidos de pH se encuentran por debajo del valor límite inferior expresado en la normativa.

9.- Para el momento del muestreo, el conjunto restante de determinaciones físicas y químicas realizadas en todas las estaciones de muestreo, arrojaron resultados que satisfacen las concentraciones o valores indicados en la *Gaceta Oficial # 21 Ext. ordinaria*, para *Aguas Tipo IA y Tipos IA-IB*.

Recomendaciones

De acuerdo a lo concluido anteriormente, se hacen las siguientes recomendaciones:

1.- Establecer y delimitar definitivamente mediante **estaciones de muestreo sistemático para calidad de agua** los puntos de estación ubicados en los caños *El Secreto*, *El Chorro*, *Cañas Bravas*, y los ríos *Suapure* y *Los Pijiguaos*.

2.- Establecer y ejecutar de manera permanente en las estaciones seleccionadas, con una frecuencia no inferior a un (01) mes, un programa de muestreo para la evaluación de la calidad del agua, que incluya la **determinación sistemática de todos los parámetros físicos y químicos** presentados en este informe, así como aquellos parámetros microbiológicos más significativos. Es de particular importancia el seguimiento exhaustivo que se practique de los parámetros que han arrojado valores fuera de la normativa ambiental vigente.

3.- Realizar conjuntamente con la ejecución del programa de muestreo en la calidad de agua, las mediciones correspondientes a las características hidráulicas más relevantes (caudal, altura de mira, velocidad) de las corrientes o cursos naturales, así como las de los caños.

4.- Seleccionar **al menos un (01) punto o sitio geográfico** que actualmente no esté bajo la influencia de la explotación de la mina de bauxita y en el cual se basen se evalúen las características fisicoquímicas e hidráulicas antes citadas. Este punto geográfico correspondiente a una estación de muestreo para calidad de agua cuyo objetivo sea establecerlo como **línea base** de las características "naturales o no sujetas a intervención humana" de la hidrográfica vinculada con la actividad futura de la explotación.

5.- Realizar en las estaciones seleccionadas referidas en el punto anterior, evaluaciones periódicas relacionadas con la caracterización y cuantificación de la **línea base física**, ya que los parámetros acústicos son más sensibles al momento de detectar los impactos negativos

producidos por eventos contaminantes, puesto que continuamente se encuentran expuestos a los cambios que se producen en su medio. La información sistemáticamente generada permitiría establecer a futuro los *índices bióticos* respectivos y conocer los efectos producidos sobre las comunidades biológicas.

6.- Es recomendable que se unifiquen los procedimientos correspondientes a la captación, manejo, preservación y traslado de las muestras de agua (elaboración de manual de procedimiento). Asimismo, es necesario utilizar la metodología para los análisis físicos, químicos, microbiológicos y biológicos sugerida en la normativa legal venezolana: *Normas Venezolanas COVENIN* o en su defecto el manual "*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*", publicado por la American Public Health Association, American Water Works Association and Water Pollution Control Federation (1995) en su más reciente edición.

7.- Se recomienda iniciar los trámites correspondientes a la certificación del laboratorio analítico que posee la empresa, ante el *Registro de Laboratorios Ambientales* que lleva el *Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales*. En tal sentido, es pertinente la revisión de la página Web del mencionado ministerio.

PLAN DE MEDICIONES

En la tabla que sigue se resumen los criterios más relevantes del plan de mediciones que se propone implementar en la zona de la concesión:

Sitios de Medición	Parámetros	Frecuencia de las Mediciones	Infraestructura y Trabajos	Equipos	Observaciones
SUAPURE EN EL PUENTE	Niveles	Horario	Miras, limpieza de pozo	Fluviógrafo, correntímetro Suspensión con cable Muestreador de sedimentos con suspensión por cables Pesas	En este sitio existe una estación que ha sido operada por el MARNR y la estructura es fácil de poner operativa
	Aforos	Todo el año, diferentes niveles			
	Sedimentos	Con cada aforo			
	Calidad de Aguas				
PIJIGUAOS EN EL CASERÍO	Niveles	Horario	Miras, canastilla de aforo	Fluviógrafo, correntímetro con varilla muestreador de sedimentos con varilla	No existe ninguna infraestructura actual
	Aforos	Todo el año, diferentes niveles			
	Sedimentos	Con cada aforo			
	Calidad de Aguas				
LA BATEA EN LA BATEA	Niveles	Una vez al mes y con cada aforo	Miras	Correntímetro con varilla muestreador de sedimentos con varilla	No existe ninguna infraestructura actual
	Aforos	Una vez al mes			
	Sedimentos	Con cada aforo			
	Calidad De Aguas				
LAS CAÑAS	Niveles	Una vez al mes y con cada aforo		Fluviógrafo, correntímetro con varilla	No existe ninguna infraestructura actual, no está actualizada, está en abandono
	Calidad de aguas	Una vez al mes y con cada aforo			
TRAPICHEOTE	Niveles	Una vez al mes y con cada aforo	Miras	Fluviógrafo, correntímetro con varilla muestreador de sedimentos con varilla	No existe ninguna infraestructura actual, esta quebrada abastece a la población de Bauxilium
	Sedimentos	Una vez al mes			
	Calidad de aguas	Con cada aforo			

PLAN DE INVERSIONES

1.3.1 Entrenamiento de personal

Estas recomendaciones son las que fueron presentadas a BILUM en el segundo informe de avance de esta asesoría. Conciernen a la necesidad observar la suficiente preparación en las actividades de aforos en hidrométricas electrónicas y manejo de bases de datos. Las propuestas para conseguir dichos fines se resumen en la tabla siguiente:

Tabla N° 22: Propuesta para cursos de entrenamiento de personal

Curso	Número de Horas	Por hora	Total Costo
Aforo en Puente	16	1000	16000,000
Operación de Estaciones Hidrométricas Electrónicas	8	12500	100000
Entrenamiento sobre técnicas de campo y laboratorio en sedimento	40	25000	1000000
Muestreo y análisis de calidad de agua para personal de campo	16	15000	240000
Análisis de calidad de agua para técnicos de laboratorio (certificación MARN)	40	25000	1000000
Manejo de Bases de Datos	24	5000	120000
Concientización Ambiental para las comunidades	24	5000	120000
Para facilitadores Ambientales para los empleados de la empresa	24	5000	120000
Total Costo Cursos	192	1000	2600000

V.3.2 Asesorías

Tabla N° 23: Actividades Propuestas Asesoría

<i>Actividad</i>	<i>Número de Horas</i>
Evaluación de los indicadores ambientales desarrollados en esta asesoría	100
Evaluación de las obras de control de erosión en los frentes de explotación	100
Diseño e implementación de modelos de simulación de caudales y acarreos de sedimentos para la zona de explotación	200
Diseño e implementación de un programa de educación ambiental para los empleados de la empresa y las comunidades	70
Total Costo Asesorías:	Bs. 23.500.000,00
	470

V.3.3 Compra e instalación de equipos

A continuación se resumen las recomendaciones hechas en los informes de avance de esta asesoría, en cuanto a los equipos que se considera deben ser adquiridos por la empresa BAUXILUM.

La tabla N° 19 se refiere a las recomendaciones del primer informe de avance, donde se trataba la instalación de miras en los cauces de Los Pijiguaos, Quebrada 5, El Berreto, Chorro de Agua y Cañas Bravas. Además, se resume lo planteado en el tercer informe de avance en cuanto a los equipos que deben adquirirse para llevar a cabo las actividades planificadas para el año 2001:

El problema fundamental es el aumento de material sólido arrastrado por los cauces naturales y que perjudica la biota del ecosistema fluvial y perturba la actividad humana por afectar el uso de estas aguas. A continuación se presenta un cuadro que resume las conclusiones y recomendaciones resultantes del trabajo de asesoría realizado:

<p>Medida actual: CONSTRUCCION DE LAGUNAS</p> <p>Indicadores Observaciones</p> <ul style="list-style-type: none"> • Algunas lagunas han fallado, por razones de construcción. • No hay una metodología definida para la construcción y ubicación de éstas. • La lagunas han propiciado el aumento de la erosión del suelo. 	<p>Medida propuesta: MEJORA EN LA CONSTRUCCION DE LAS LAGUNAS.</p> <p>Indicadores Observaciones</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de sedimentos depositados en las lagunas entre el área explotada. • Toneladas de sedimentos por m³ de caudal en puntos de control. • La ubicación de las lagunas debe realizarse en función del drenaje natural del terreno y de la zonificación del mismo para su explotación. Para este fin deben realizarse levantamientos topográficos del terreno antes de comenzar y durante la explotación. • Se debe llevar una medición continua del material depositado en las lagunas, con levantamientos topográficos anuales. • El diseño de las lagunas debe ser acorde a cada zona de explotación, considerando: área de drenaje e intensidad de la lluvia,
<p>ZONAS YA EXPLOTADAS</p> <p>Indicadores Observaciones</p> <ul style="list-style-type: none"> • Crecimiento de la vegetación. • Ambos indicadores son adecuados desde el punto de vista de su costo y adaptabilidad a la región. 	<p>ESTABLECIDAS.</p> <p>Indicadores Observaciones</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toneladas de sedimentos por m³ de caudal. • Los registros de áreas recuperadas deben llevarse en conjunto con el registro de caudales, arastre de sedimento y calidad de agua.

Medida propuesta: CONSTRUCCION DE TERRAZAS

Indicadores

Observaciones

- Cantidad de sedimentos depositados en las terrazas • Las terrazas o camellones funcionarán de manera alternativa a las lagunas y en lugar entre el área explotada.
- Toneladas de sedimentos por m³ de caudal en puntos de control.

Medida propuesta: CONSTRUCCION DE UN EMBALSE DE MEDIANAS DIMENSIONES.

Indicadores

Observaciones

- **Cantidad de sedimentos depositados en el embalse.** • **La mayor parte del área de explotación drena hacia el río Fijiguanos, por lo que el mayor acarreo de sedimento fluye hacia él, por ello es conveniente recibir sistemáticamente la cantidad de sedimentos, y atraparlos mediante una estructura hidráulica que tendría además otros usos colaterales.**
- Toneladas de sedimentos por m³ de caudal en punto de control en la salida del embalse.
- Las dimensiones preliminares del embalse se muestran el mapa del anexo N°1.
- La eficiencia de este embalse se evaluaría en la Estación a colocarse en el sitio denominado el Caserío, aguas abajo de la Represa.

BIBLIOGRAFÍA

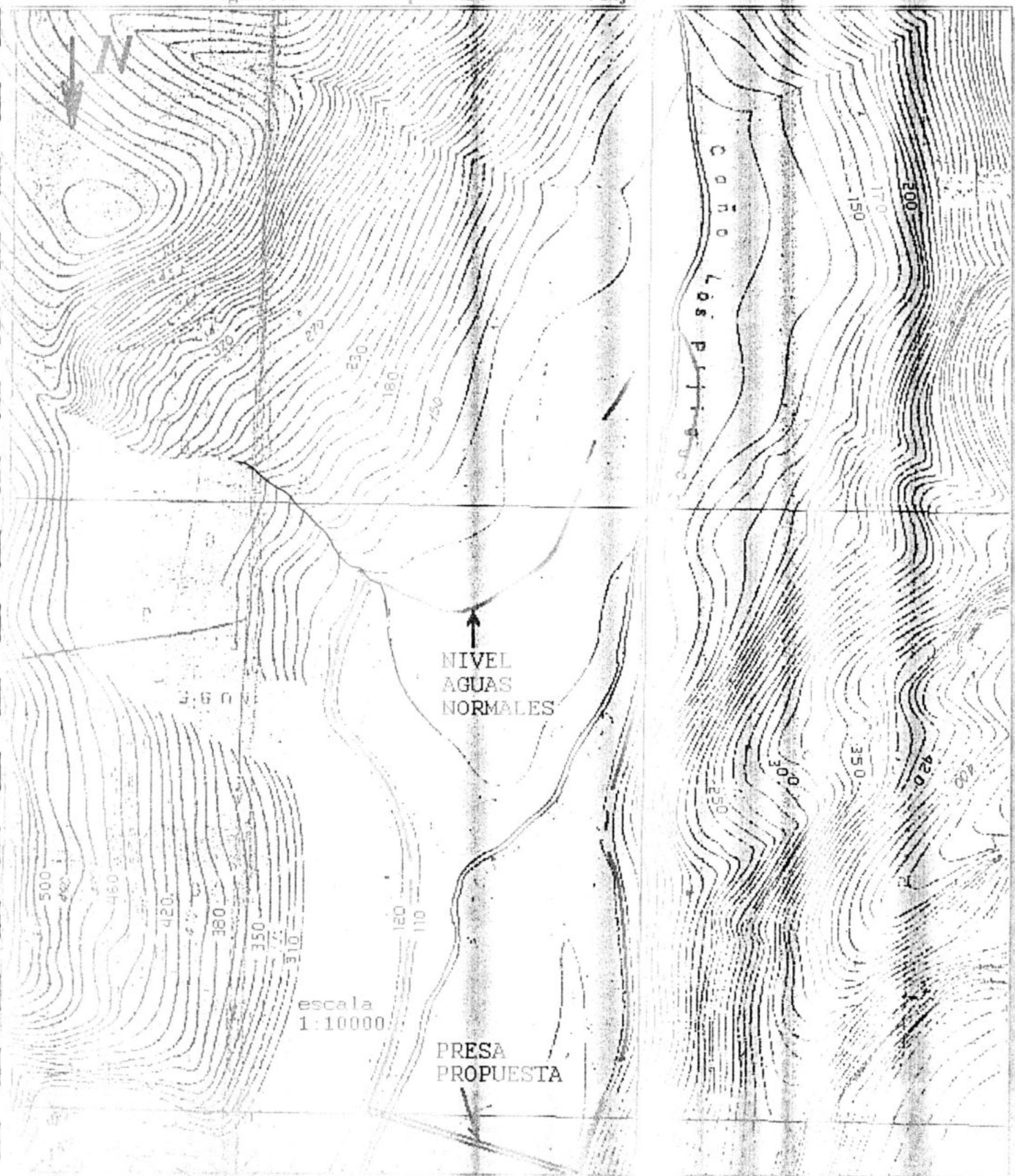
1. CARRILLO, G. ; L. MARCIALES (1998). *Análisis de aguas y líquidos residuales, y ensayos de laboratorio*. Editorial Innovación Tecnológica, Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela. Caracas. 158 pp.
2. CASADO G. M. (1999). "Hidrología en la Ingeniería" 2ª Edición. Escuela Colombiana de Ingeniería.
3. CGR- INGENIERIA. (1989). "Estudio Hidrológico preliminar del Río Suapure, en Chivapure". EDELCA.
4. "CONSULTORES TÉCNICOS INTEGRALES – CTEI (1988) " Impacto Ambiental del Proyecto Los Pijiguaos " Tomos I y II.
5. CUBILLOS, A. (1987). *Calidad de agua y control de la contaminación del agua*. CIDIAT. Mérida. 52 pp.
6. DISEÑO DE PEQUEÑAS PRESAS. (1981). U.S. Dept. Of the Interior Bureau of Reclamation. USA.
7. ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD (1985). *Guías para la calidad del agua potable*. Publicación científica N° 481. Vol. 1, 2 y 3. Washington.
8. PEREZ H. D. (1975) "Técnicas de Campo e instrumentación para la Captación de Sedimentos Fluviales". Div. de Hidrología. DGRH-MOP.
9. RANGEL J. (1981) "Estudio de crecientes del Río Suapure. Div. de Planificación. EDELCA.
10. REPÚBLICA DE VENEZUELA. GACETA OFICIAL N° 2021 EXTRAORDINARIO. (1995). *Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos*. 13 pp..
11. SAWYER, C. ; P. MCCARTY (1978). *Chemistry for environmental engineering*. McGraw-Hill. New York. 532 pp.
12. ZAMORA, C.; J. ALBA (1991). *Caracterización y calidad de las aguas del río Monachil (Sierra Nevada, Granada)*. Anel. Granada. 171 pp.

ANEXOS

ANEXO 1 Mapa de ubicación de la presa propuesta para el atrape de sedimentos, uso y manejo del agua con fines múltiples, en el caño "Los Gigantos"

ANEXO 2 Planillas de aforos realizados por Bauxilum en los cauces indicados.

ANEXO 1 Mapa de presa propuesta para el atrape de sedimentos, uso y manejo del agua con fines múltiples en el caño "Los Pijinos"



4.10.2 Planillas de aforos realizados por Bauxilum en cauces indicadores

REGISTRO DE AFORO

Método de sección promedio (con orillas)

Fecha: 07/06/2000

Punto: Caño Cañas Bravas

En:

Vertical	Dist. del punto aforado (m)	Coef. Angular	PROFUNDIDAD (m)		Nº de Revoluciones	Tiempo en segundos	VELOCIDAD (m/s)			Ancho Sección (m)	Prof. Sección (m)	Área Sección (m²)	Gasto Sección (m³/s)
			De la vertical	De la observación			En el punto	Media en la vertical	Media en la sección				
0	0,00	-	0,00	-	-	-	0,00	0,00	-	-	-	-	
1	0,30		0,35	0,21	0	40	0,00	0,00	0,00	0,30	0,18	0,053	0,000
2	0,17		0,45	0,27	16	44	0,11	0,11	0,05	0,17	0,40	0,068	0,004
3	1,15		0,53	0,11	40	40	0,30	0,35	0,23	0,88	0,49	0,431	0,100
4	2,70		0,58	0,12	28	42	0,20	0,29	0,32	1,35	0,56	0,749	0,240
				0,46	50	40	0,38						
5	1,35		0,47	0,28	40	40	0,30	0,30	0,29	0,65	0,53	0,341	0,100
6	1,08		0,30	0,18	16	40	0,12	0,12	0,21	0,33	0,39	0,127	0,027
				-	-	-	-	0,00	0,00				
Area total:											0,817		
Gasto total:											0,473		

Elaborado por: _____ de _____

Calculó: _____

Revisó: _____

REGISTRO DE AFORO
Método de sección promedio (con orillas)

Fecha 06/06/2000

Caudal Caño Pijiguaos

En: _____

Verti- cal	Coef. angular	PROFUNDIDAD (m)		Nº de Revolu- ciones	Tiempo en segun- dos	VELOCIDAD (m/s)			Ancho Sección (m)	Prof. Sección (m)	Área sección (m²)	Gasto Sección (m³/s)
		De la vertical	Desde observa- ción			En el punto	Media en la vertical	Media en la sección				
		0,30		-	-	0,00	0,00	-	-	-	-	-
1		0,35		3	40		0,03	0,02	0,60	0,33	1,195	0,003
2		0,37		6	40		0,07	0,05	0,60	0,36	1,216	0,011
3		0,45		11	42		0,33	0,20	0,60	0,41	1,246	0,049
4		0,50	0,10	50	40	0,38	0,39	0,36	0,60	0,48	1,285	0,102
			0,40	56	42	0,40						
5		0,54	0,11	64	40	0,48	0,55	0,47	0,60	0,52	1,312	0,146
			0,13	82	40	0,52						
6		0,58	0,12	48	40	0,36	0,44	0,49	0,60	0,56	1,336	0,165
			0,14	63	40	0,51						
7		0,62	0,12	44	40	0,33	0,47	0,45	0,60	0,60	1,360	0,162
			0,10	60	40	0,50						
8		0,60	0,12	44	40	0,38	0,56	0,51	0,60	0,61	1,366	0,187
			0,10	61	40	0,53						
9		0,55	0,11	36	40	0,27	0,29	0,42	0,60	0,58	1,345	0,145
			0,11	40	40	0,30						
		0,10		3		0,00	0,00	0,14	0,60	0,33	1,195	0,028
Área total:											1,856	
Gasto total:												0,997

Medido

de

Calculó

Revisó

REGISTRO DE AFIORO
 Método de sección promedio (con orillas)

Fecha 07/06/2000

Orilla de agua

En:

Profundidad	PROFUNDIDAD (m)		Nº de Revoluciones	Tiempo en segundos	VELOCIDAD (m/s)			Ancho Sección (m)	Prof. Sección (m)	Área Sección (m²)	Gasto Sección (m³/s)
	De la vertical	De la observación			Velocidad	Media en la vertical	Media en la sección				
	0,00	-	-	-	0,00	0,00	-	-	-	-	-
	0,33	0,20	46	42	0,02	0,32	0,16	0,60	0,17	0,099	0,016
	0,33	0,20	18	40	0,13	0,13	0,23	0,60	0,33	0,198	0,045
	0,30	0,18	10	40	0,07	0,07	0,10	0,30	0,32	0,095	0,009
	0,00	0,00			0,00	0,00	0,04	0,30	0,15	0,045	0,002
Area total:										0,437	
Gasto total (m³/s)											0,071

de

Calculó

Revisó



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA HIDROMETEOROLÓGICA
CENTRO DE ENSEÑANZA Y FORMACIÓN PROFESIONAL DE LA
ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL



Otorga al Sr: **Eduardo Canache**
el presente diploma por su asistencia al Taller

**INSTRUCCIÓN EN EL MANEJO DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS E HIDROLÓGICAS
AUTOMÁTICAS**

Realizado durante el periodo comprendido entre el 14 y el 15 de Diciembre del año 2000 (20 horas)

Caracas, Venezuela a los 15 días del mes de Diciembre de 2000

Prof.: **Rafael Roca Pérez**
Decano de la Facultad de Ingeniería UCV

Prof. **Abraham Salcedo**
Jefe del Departamento de Ingeniería Hidrometeorológica