

**CARACTERIZACIÓN DE SEDIMENTOS Y AGUAS DE LA ZONA DE
INFLUENCIA DEL EMBALSE DE BOCAS DE LA CENTRAL
HIDROELÉCTRICA DE PALMAS OPERADO POR LA ELECTRIFICADORA
DE SANTANDER S.A.**

**CESAR RICARDO LAMUS BLANCO
GISZBERT ORLANDO SEGURA ROJAS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUÍMICA
BUCARAMANGA
2005**

**CARACTERIZACIÓN DE SEDIMENTOS Y AGUAS DE LA ZONA DE
INFLUENCIA DEL EMBALSE DE BOCAS DE LA CENTRAL
HIDROELÉCTRICA DE PALMAS OPERADO POR LA ELECTRIFICADORA
DE SANTANDER S.A.**

**CESAR RICARDO LAMUS BLANCO
GISZBERT ORLANDO SEGURA ROJAS**

**Tesis de grado para optar al título de
QUIMICO**

**Directora
LUZ YOLANDA VARGAS
Química Msc.**

**Codirector
JAIRO PUENTES BRUGES
Ingeniero Químico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUÍMICA
BUCARAMANGA
2005**

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a nuestros padres por creer en nosotros.

A la ELECTRIFICADORA DE SANTANDER S.A., por la financiación de este proyecto.

A la Doctora Alix Inés Martínez, Jefe de Gestión Ambiental de la ESSA, por la oportunidad y el apoyo prestado.

A los jurados por el tiempo dedicado a la evaluación de este proyecto.

A la profesora Luz Yolanda Vargas y al profesor Jairo Puentes por la dirección en este proyecto.

Al Laboratorio Químico de Consultas Industriales de la UIS y a las compañeras de laboratorio por su colaboración.

Y al grupo de amigos que nos acompañaron durante el transcurso de la carrera, apoyándonos en buenos y malos momentos.

DEDICATORIA

A Alicia y Ramiro, mis padres, a quienes amo con todo mi corazón, por su confianza, apoyo y amor y por darme la oportunidad estudiar.

A mis hermanos, Elkin y Yourley, por el cariño, paciencia, comprensión y apoyo, por las alegrías y tristezas compartidas, porque mas que hermanos hemos sido amigos y cómplices.

A mi tía Olga, y a mi familia por estar a mi lado y creer en mi brindándome siempre su apoyo.

A mi novia Darlyn, por su amor, comprensión y dedicación.

Cesar

DEDICATORIA

A Luz Marina y Tulio Orlando mis padres por toda su comprensión, apoyo, paciencia y amor que me han brindado durante toda mi vida y en especial durante la Universidad.

A mi hermana Mayita por toda la paciencia y amor que me ha brindado.

A mi familia por estar presentes durante los buenos y malos momentos de mi vida.

Giszbert

TITULO

CARACTERIZACIÓN DE SEDIMENTOS Y AGUAS DE LA ZONA DE INFLUENCIA DEL EMBALSE DE BOCAS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE PALMAS OPERADO POR LA ELECTRIFICADORA DE SANTANDER S.A.*

AUTORES

Cesar Ricardo Lamus Blanco y Giszbert Orlando Segura Rojas.**

PALABRAS CLAVES

Embalse, Sedimentos, Caracterización, Aplicaciones y Normatividad.

RESUMEN

La Electrificadora de Santander viene presentando procesos de colmatación y con ello la pérdida de la capacidad de generación. Hoy en día se está estudiando la posibilidad de remover estos sedimentos en grandes cantidades mediante procedimientos aprobados por la autoridad ambiental, en este caso, la Corporación para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB).

Con el fin de darle una buena disposición a los sedimentos del embalse, en este proyecto de grado se realizó la caracterización fisicoquímica a éstos, determinando contaminantes que pueden ser perjudiciales en las diferentes aplicaciones. Teniendo en cuenta que estos contaminantes son transportados por los ríos que llegan al embalse y además que se están concentrando en los sedimentos, también se realizó una caracterización fisicoquímica de las aguas de estos tributarios.

En las páginas siguientes se muestran los resultados obtenidos en la caracterización de aguas y sedimento los cuales se compararon con el decreto 1595/84 y el RAS 2000 en aguas con el fin de tener puntos de referencia al evaluar los posibles usos del recurso y con las normas EPA parte 503 para sedimentos considerando su posible uso como acondicionador de suelos poco fértiles o erosionados.

Los parámetros determinados en las aguas y sedimentos fueron : metales pesados (Aluminio, Cobre, Cadmio, Cinc, Plomo, Mercurio, Calcio, Magnesio, Manganeso, Potasio y Silicio), Nitrógeno, Oxígeno Disuelto, Turbiedad, pH, DBO, DQO, Sólidos Suspendidos, Salinidad, Conductividad, Sólidos Totales, Sólidos Sedimentables, Materia Orgánica, Fósforo total.

*Tesis

**Facultad de ciencias, Escuela de química, Luz Yolanda Vargas, Jairo Puentes Bruges

TITLE

CHARACTERIZATION OF SEDIMENTS AND WATERS OF THE ZONE OF INFLUENCE OF THE DAM OF BOCAS OF THE HYDROELECTRIC POWER STATION OF PALMAS OPERATED BY THE ELECTRIFICADORA DE SANTANDER S.A.. *

AUTHORS

Cesar Ricardo Lamus Blanco and Giszbert Orlando Segura Rojas. * *

KEY WORDS

Dam, Sediments, Physic-chemistry Characterization, Aplications and Normativity.

ABSTRACT

The Electrificadora de Santander comes presenting/displaying processes from colmatation and with it the lost of the generation capacity. Nowadays this studying the possibility of removing these sediments in great amounts by means of procedures approved by the environmental authority, in this case, the Corporación para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB).

With the purpose of giving a good disposition to sediments of the dam, in this project of work the physic-chemistry characterization to these, determining polluting was made that they can be detrimental in the different applications. Considering that these polluting agents are transported by the rivers that arrive at the dam and in addition which they are being concentrated in sediments, also a physic-chemistry characterization of waters of these tributary ones was made.

In the following pages are to the results obtained in the water characterization and sediment which were compared with the decree 1595/84 and RAS 2000 in waters with the purpose of having check points when evaluating the possible uses of the resource and with the norms EPA part 503 for sediments considering its possible use like conditioning of grounds little fertile or eroded.

The parameters determined in waters and sediments were: heavy metals (Aluminum, Copper, Cadmium, Zinc, Lead, Mercury, Calcium, Magnesium, Manganese, Potassium and Silicon), Nitrogen, Oxygenate Dissolved, Turbidity, pH, DBO, DQO, Suspended Solids, Salinity, Conductivity, Total Solid, Sediments Solids, Organic Matter, total Phosphorus.

*Tesis

**Facultad de ciencias, Escuela de química, Luz Yolanda Vargas, Jairo Puentes Bruges

TABLA DE CONTENIDO

	pág
INTRODUCCIÓN	25
1. OBJETIVOS	28
1.1 OBJETIVO GENERAL	28
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	28
2. GENERALIDADES	30
2.1 PLANTA PALMAS	30
2.1.1 Reseña Histórica	30
2.1.2 Localización Central Hidroeléctrica de Palmas	31
2.1.3 Localización Embalse de Bocas	31
2.1.4 Conformación Central Hidroeléctrica de Palmas	31
2.1.4.1 Represa	32
2.2 PRINCIPALES TRIBUTARIOS DEL EMBALSE	32
2.2.1 Río Lebrija	32
2.2.2 Río Negro	33
3. FUNDAMENTO TEÓRICO	34
3.1 EL AGUA	34
3.1.1 CONCEPTOS ASOCIADOS A LA CONDICIÓN DEL AGUA	35
3.1.1.1 Agua Cruda	35

3.1.1.2 Agua Tratada	35
3.1.1.3 Agua Potable	35
3.1.2 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS EVALUADOS EN EL AGUA	35
3.1.2.1 pH	36
3.1.2.2 Temperatura	36
3.1.2.3 Oxígeno Disuelto (OD)	36
3.1.2.4 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	36
3.1.2.5 Demanda Química de Oxígeno (DQO)	37
3.1.2.6 Sólidos Disueltos (SD)	37
3.1.2.7 Sólidos Suspendidos (SS)	37
3.1.2.8 Conductividad	38
3.1.2.9 Salinidad	38
3.1.10 Turbidez	38
3.2 SEDIMENTOS	39
3.2.1 Razones para el tratamiento de los sedimentos	39
3.3 METALES PESADOS	40
3.3.1 Aguas y Sedimentos	40
3.3.2 Fuentes contaminantes con metales pesados	40
3.3.3 TÉCNICA DE ANÁLISIS PARA METALES PESADOS	42
3.3.3.1 Espectrometría de Absorción Atómica	42
3.3.3.2 Generador de Hidruros	42

4. PARÁMETROS Y NORMATIVIDAD	44
4.1 NORMAS COLOMBIANAS PARA CALIDAD DEL AGUA	44
4.1.1 Decreto 1594 del 16 DE Junio de 1984	44
4.1.1.1 Capitulo III Artículo 29	44
4.1.1.2 Capitulo IV Artículo 38	44
4.1.1.3 Capitulo IV Artículo 40	45
4.1.1.4 Capitulo IV Artículo 41	45
4.1.1.5 Capitulo IV Artículo 47	46
4.1.1.6 Capitulo IV Artículo 48	46
4.1.2 Niveles de Calidad del Agua de acuerdo al grado de polución según el Ras 2000	46
4.2 NORMA PARA SEDIMENTOS SEGÚN EPA PARTE 503	47
5. METODOLOGÍA	48
5.1 GEOREFERENCIACIÓN DE PUNTOS DE MONITOREOS DE AGUAS	48
5.2 MONITOREO PARA AGUAS	52
5.2.1 Cadena de Custodia	53
5.2.1.1 Rótulos de muestras	54
5.2.1.2 Sellos de muestras	54
5.2.1.3 Libro de registro	54
5.2.1.4 Carta de custodia	55
5.2.1.5 Hoja de remisión de muestras	56
5.2.1.6 Transporte de la muestra al laboratorio	56

5.2.1.7 Recepción y registro de la muestra	57
5.2.1.8 Análisis de la muestra	57
5.3 GEOREFERENCIACIÓN DE PUNTOS DE MONITOREOS DE SEDIMENTOS	57
5.4 MONITOREO PARA SEDIMENTOS	60
5.5 SELECCIÓN DE PARÁMETROS A ANALIZAR EN AGUAS Y SEDIMENTOS	61
5.5.1 Parámetros fisicoquímicos analizados en aguas	62
5.5.2 Parámetros fisicoquímicos analizados en sedimentos	63
5.6 MONITOREO DE OXIGENO DISUELTO EN AGUAS	64
5.7 MONITOREO MICROBIOLÓGICO DE SEDIMENTOS	64
6. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	65
6.1 ANÁLISIS Y RESULTADOS DE AGUAS	65
6.2 ANÁLISIS Y RESULTADOS DE SEDIMENTOS EN EL EMBALSE DE BOCAS	97
6.3 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO	127
6.4 ANÁLISIS DE TEXTURA DE LOS SEDIMENTOS	129
7. CONCLUSIONES	130
RECOMENDACIONES	134
BIBLIOGRAFÍA	136
ANEXOS	137

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Fuentes de Contaminación con metales	41
Tabla 2. Parámetros de calidad del agua para uso humano y domestico.	45
Tabla 3. Parámetros de calidad del agua para uso agrícola.	45
Tabla 4. Parámetros de calidad del agua para uso pecuario.	46
Tabla 5. Nivel de Calidad del agua de acuerdo al grado de polución	47
Tabla 6. Limite de polución para sedimentos	47
Tabla 7. Parámetros Físicoquímicos para caracterización de aguas.	62
Tabla 8. Parámetros físicoquímicos para caracterización de sedimentos.	63

Tabla 9. Resultados del primer monitoreo promedio de aguas	66
Tabla 10. Resultados segundo monitoreo promedio de aguas.	67
Tabla 11. Resultados tercer monitoreo de aguas	68
Tabla 12. Resultados Cuarto monitoreo de aguas	69
Tabla 13. Resultados quinto monitoreo de aguas	70
Tabla 14. Resultados sexto monitoreo de aguas	71
Tabla 15. Porcentaje de Remoción en el Embalse de Bocas del monitoreo 1	72
Tabla 16. Porcentaje de Remoción en el Embalse de Bocas del monitoreo 2	72
Tabla 17. Porcentaje de Remoción en el Embalse de Bocas del monitoreo 3	73
Tabla 18. Porcentaje de Remoción en el Embalse de Bocas del monitoreo 4	73

Tabla 19. Porcentaje de Remoción en el Embalse de Bocas del monitoreo 5	74
Tabla 20. Porcentaje de Remoción en el Embalse de Bocas del monitoreo 6	74
Tabla 21. Oxígeno Disuelto en el Embalse de Bocas	83
Tabla 22. Resultados primer monitoreo de sedimentos	98
Tabla 23. Resultados segundo monitoreo de sedimentos	99
Tabla 24. Análisis microbiológico de microorganismos benéficos en sedimentos	128
Tabla 25. Análisis microbiológico de microorganismos patógenos en sedimentos	129
Tabla 26. Textura de sedimentos del embalse de Bocas	129

LISTA DE FIGURAS

	pág
Figura 1. Punto 1 Río de Oro	48
Figura 2. Punto 2 Río Suratá	49
Figura 3. Punto 3 Río Lebrija (unión del Río Surata y Oro)	49
Figura 4. Río Negro	50
Figura 5. Punto 5 Aguas abajo de la unión del Río Lebrija y Negro.	50
Figura 6. Embalse de Bocas	51
Figura 7. Punto 7 Remolinos (Aguas abajo del embalse)	51
Figura 8. Punto 8 Quebrada El Aburrido	52
Figura 9. Monitoreo de Aguas en el Río Suratá.	53

Figura 10. Área 1 Monitoreo de Sedimentos en el embalse de Bocas	58
Figura 11. Área 2 Monitoreo de Sedimentos en el embalse de Bocas	58
Figura 12. Área 3 Monitoreo de Sedimentos en el embalse de Bocas	59
Figura 13. Área 4 Monitoreo de Sedimentos en el embalse de Bocas	59
Figura 14. Área 5 Monitoreo de Sedimentos en el embalse de Bocas	60
Figura 15. Monitoreo de Sedimentos	61
Figura 16. Concentración de Sólidos Totales en las agua de la zona de influencia del Embalse de Bocas durante los seis monitoreos.	75
Figura 17. Concentración de Sólidos Suspendidos en las agua de la zona de influencia del Embalse de Bocas durante los seis monitoreos.	75
Figura 18. Concentración de Sólidos Disueltos en las agua de la zona de influencia del Embalse de Bocas durante los seis monitoreos.	76
Figura 19. Concentración de Sólidos Sedimentables en las aguas de la zona de influencia del Embalse de Bocas durante los seis monitoreos	76

Figura 20. Turbiedad en las aguas de la zona de influencia del Embalse de Bocas durante los seis monitoreos.	77
Figura 21. Salinidad en las aguas de la zona de influencia del Embalse de Bocas durante los seis monitoreos.	77
Figura 22. Conductividad en las aguas de la zona de influencia del Embalse de Bocas durante los seis monitoreos.	78
Figura 23. Valores de pH encontrados en las aguas de la zona de influencia del Embalse de Bocas durante los seis monitoreos.	78
Figura 24. Concentración de Demanda Bioquímica de Oxígeno en las aguas de la zona de influencia del Embalse de Bocas durante los seis monitoreos.	79
Figura 25. Concentración de Demanda Química de Oxígeno en las aguas de la zona de influencia del Embalse de Bocas durante los seis monitoreos.	79
Figura 26. Concentración de Aluminio en las aguas de la zona de influencia del Embalse de Bocas durante los seis monitoreos.	80
Figura 27. Concentración de Cobre en las aguas de la zona de influencia del Embalse de Bocas durante los seis monitoreos.	80
Figura 28. Concentración de Cinc en las aguas de la	

zona de influencia del Embalse de Bocas durante los seis monitoreos.	81
Figura 29. Concentración de Hierro en las aguas de la zona de influencia del Embalse de Bocas durante los seis monitoreos	81
Figura 30. Concentración de Mercurio en las aguas de la zona de influencia del Embalse de Bocas durante los seis monitoreos.	82
Figura 31. Concentración de Cianuro libre en las aguas de la zona de influencia del Embalse de Bocas durante los seis monitoreos.	82
Figura 32. Comportamiento de Oxígeno Disuelto en el Embalse durante un lapso de tiempo de 24 Horas	83
Figura 33. Concentración de Fósforo obtenida a tres profundidades en el primer monitoreo de sedimentos.	100
Figura 34. Concentración de Fósforo obtenida a tres profundidades en el segundo monitoreo de sedimentos.	100
Figura 35. Concentración de Fósforo (P_2O_5) obtenida a tres profundidades en el primer monitoreo de sedimentos.	101
Figura 36. Concentración de Fósforo (P_2O_5) obtenida a tres profundidades en el segundo monitoreo de sedimentos.	101

Figura 37. Porcentaje de materia orgánica obtenido a tres profundidades en el primer monitoreo de sedimentos.	102
Figura 38. Porcentaje de materia orgánica obtenido a tres profundidades en el segundo monitoreo de sedimentos.	102
Figura 39. Porcentaje de carbono obtenido a tres profundidades en el primer monitoreo de sedimentos.	103
Figura 40. Porcentaje de carbono obtenido a tres profundidades en el segundo monitoreo de sedimentos.	103
Figura 41. Porcentaje de Nitrógeno obtenido a tres profundidades en el primer monitoreo de sedimentos.	104
Figura 42. Porcentaje de Nitrógeno obtenido a tres profundidades en el segundo monitoreo de sedimentos.	104
Figura 43. Concentración de Aluminio total obtenida a tres profundidades en el primer monitoreo de sedimentos.	105
Figura 44. Concentración de Aluminio total obtenida a tres profundidades en el segundo monitoreo de sedimentos.	105
Figura 45. Concentración de Cobre total obtenida a tres profundidades en el primer monitoreo de sedimentos.	106
Figura 46. Concentración de Cobre total obtenida a tres profundidades en el segundo monitoreo de sedimentos.	106

Figura 47. Concentración de Cinc total obtenida a tres profundidades en el primer monitoreo de sedimentos.	107
Figura 48. Concentración de Cinc total obtenida a tres profundidades en el segundo monitoreo de sedimentos.	107
Figura 49. Concentración de cadmio total obtenida a tres profundidades en el primer monitoreo de sedimentos.	108
Figura 50. Concentración de cadmio total obtenida a tres profundidades en el segundo monitoreo de sedimentos.	108
Figura 51. Concentración de Hierro total obtenida a tres profundidades en el primer monitoreo de sedimentos.	109
Figura 52. Concentración de Hierro total obtenidos a tres profundidades en el segundo monitoreo de sedimentos.	109
Figura 53. Concentración de Níquel total obtenida a tres profundidades en el primer monitoreo de sedimentos.	110
Figura 54. Concentración de Níquel total obtenida a tres profundidades en el segundo monitoreo de sedimentos.	110
Figura 55. Concentración de Plomo total obtenida a tres profundidades en el primer monitoreo de sedimentos.	111
Figura 56. Concentración de Plomo total obtenida a tres profundidades en el segundo monitoreo de sedimentos.	111

Figura 57. Concentración de Potasio total obtenida a tres profundidades en el primer monitoreo de sedimentos.	112
Figura 58. Concentración de Potasio total obtenidos a tres profundidades en el segundo monitoreo de sedimentos.	112
Figura 59. Concentración de Magnesio total obtenida a tres profundidades en el primer monitoreo de sedimentos.	113
Figura 60. Concentración de Magnesio total obtenida a tres profundidades en el segundo monitoreo de sedimentos.	113
Figura 61. Concentración de Magnesio total obtenida a tres profundidades en el primer monitoreo de sedimentos.	114
Figura 62. Concentración de Magnesio total obtenida a tres profundidades en el segundo monitoreo de sedimentos.	114
Figura 63. Concentración de Calcio total obtenida a tres profundidades en el primer monitoreo de sedimentos.	115
Figura 64. Concentración de Calcio total obtenida a tres profundidades en el segundo monitoreo de sedimentos.	115
Figura 65. Concentración de Silicio total obtenida a tres profundidades en el primer monitoreo de sedimentos.	116
Figura 66. Concentración de Silicio obtenida a tres profundidades en el segundo monitoreo de sedimentos.	116

Figura 67. Concentración de mercurio a tres profundidades en el segundo monitoreo de sedimentos. 117

Figura 68. Concentración de Mercurio obtenida a tres profundidades en el segundo monitoreo de sedimentos. 117

INTRODUCCIÓN

La erosión que sufre la tierra cada año por efecto del escurrimiento y las tormentas, arrastra cantidades considerables de suelo y restos de rocas a las corrientes y otras masas acuáticas. A las suspensiones resultantes de suelo mineral y restos orgánicos, se agregan los desechos de los vecindarios e industrias, los cuales se transportan mediante sus sistemas colectores, derramados a través de los drenajes fluviales.

La industria utiliza grandes volúmenes de agua en sus procesos de manufactura y en las operaciones complementarias. De hecho, la producción de alimentos, metales, productos químicos y otros bienes básicos requieren de un tonelaje de agua que excede mucho el volumen combinado de otra materia prima. La operación de acabado generalmente consume cantidades apreciables de agua; la fabricación y ensamblado se satisface con cantidades relativamente pequeñas. El agua que entra a las plantas industriales, no mucha, se convierte realmente en un constituyente del producto manufacturado. Por otra parte, sólo se consume una pequeña fracción o se pierde por evaporación. La fracción mayor no se emplea para fines de consumo. Se convierte en agua residual y puede contener mucho

contaminantes. Las áreas urbanas, vecinas o circundantes convierten esta en agua residual doméstica.

Los desechos de las actividades humanas además de las partículas erosionadas son lo suficientemente pesados para sedimentarse cuando las aguas corrientes adquieren un estado de reposo. Con frecuencia son levantados nuevamente durante la creciente de los ríos, para ser depositados aguas abajo. Cuando las aguas de los ríos entran en reposo en los embalses, lagos y depósitos artificiales la gravitación arrastra hacia el fondo sólidos sedimentables, en donde se acumulan reduciendo la capacidad de almacenamiento de estos.

Dentro de este esquema y en vista de que en el embalse de Bocas de la Central Hidroeléctrica de Palmas viene presentando procesos de colmatación, y con ello la pérdida de la capacidad de generación debido a la sedimentación, la ELECTRIFICADORA DE SANTANDER S.A. (ESSA) realiza desembalses controlados. Como consecuencia de los problemas derivados de esta operación, se está estudiando la posibilidad de remover estos sedimentos en grandes cantidades por procedimientos autorizados por las autoridades competentes (para este caso CDMB). Para ello se hace necesario en primera instancia, un estudio de estos sedimentos, planteándose la ejecución del proyecto denominado

Caracterización de sedimentos y aguas de la zona de influencia del embalse de Bocas de la Central Hidroeléctrica de Palmas operado por la Electrificadora de Santander S.A.; con el fin de establecer posibles aprovechamientos de los materiales sedimentados, teniendo en cuenta las concentraciones de metales pesados totales de interés sanitario como mercurio, aluminio, cadmio, plomo, zinc y cobre en ellos. Por otra parte, determinar el aporte contaminante de cada uno de los afluentes que desembocan en el Río Lebrija (Río Suratá, Río de Oro y Río Negro), el Río Lebrija antes del embalse, y aguas abajo de éste.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar una caracterización de sedimentos y aguas en la zona de influencia del embalse de Bocas de la Central Hidroeléctrica de Palmas operado por la Electrificadora de Santander S.A.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la concentración de Mercurio, Aluminio, Cadmio, Plomo, Zinc y Cobre en los sedimentos del embalse de Bocas.

- Caracterizar las aguas provenientes de los ríos Oro, Suratá y Negro aguas arriba de la captación del embalse, en la unión del Río Suratá y Oro, en la unión del Río Negro con el Río Lebrija (Río Suratá y Río Oro), en el embalse de Bocas y aguas abajo de éste.

- Realizar un análisis microbiológico de sedimentos del embalse.

- Establecer el comportamiento del Oxígeno Disuelto (OD) en el embalse.

- Con base en los resultados evaluar los posibles usos de los sedimentos.

2. GENERALIDADES

2.1 PLANTA PALMAS

2.1.1 Reseña Histórica La Central Hidroeléctrica de Palmas comenzó operar en el año 1944, por iniciativa del Departamento de Empresas de servicios públicos del Ministerio de Obras, a instancias del Ingeniero Carlos Goot Liévano quien presentó un estudio del río Lebrija, proyectando la central para suministrar energía eléctrica a la ciudad de Bucaramanga y poblaciones vecinas. Posteriormente, el Ingeniero Carlos Boshell Manrique modificó el proyecto inicial, entregando el diseño para la construcción de la primera etapa con dos unidades de 4500 Kw., y desarrollado por la firma contratista Frederich Snare Corporation. El proyecto en su totalidad fue diseñado para un potencial total instalado de 18.000 Kw. dividido en un grupos de cuatro generadores de 4500 Kw. cada uno. Para lograr dicha potencia se dispuso de un ensamble para regulación horaria de una capacidad total 185.000 m³, con un volumen neto aprovechable de 140.000 m³ aproximadamente.

La primera etapa con sus dos grupos generadores fue puesta en funcionamiento en febrero de 1954 y dada al servicio a finales del mismo año. Dos años después, en marzo de 1956, el Ingeniero contratista Espíritu Santos Potess presentó a la empresa un recálculo de la segunda etapa de la central y con soluciones para

la recuperación del embalse por los sedimentos que ya en esa época se presentaban.

La segunda etapa de la central, con dos grupos iguales a la primera, fue puesta en funcionamiento en el año 1961 y montada por la firma Frederich Snare Corporation, estando actualmente en funcionamiento los cuatro grupos montados hasta la fecha.⁷

2.1.2 Localización Central Hidroeléctrica de Palmas Se encuentra ubicada en el departamento de Santander, cañón del río Lebrija, aguas abajo de la población de Bocas, al Noroccidente de la ciudad de Bucaramanga.⁷

2.1.3 Localización Embalse de Bocas Se localiza en el departamento de Santander, en el municipio de Rionegro, corregimiento de Bocas, en las coordenadas (1'100.850, 1'289.250) aproximadamente y a 525 msnm, con una capacidad de acumulación de 67.500 m³.⁷

2.1.4 Conformación Central Hidroeléctrica de Palmas Una central de tipo agua embalsada conformada por las siguientes partes:

- Represa
- Sistema de Conducción
- Túnel

- Pozo piezométrico o almenara
- Casa de Válvulas
- Tubería a Presión
- Casa de Máquinas
- Subestación

2.1.4.1 Represa Tiene como función represar el agua para aumentar su nivel obligándolo a entrar a un canal de desviación (túnel).

Es una presa de gravedad en concreto de eje recto del tipo vertedero. La represa tiene una altura de 15 metros con un nivel de agua a la cota de 515 metros y un área de 67.500 m².

La represa esta constituida por un dique transversal, un sistema de limpieza de agua útil y un sistema eléctrico.⁸

2.2 PRINCIPALES TRIBUTARIOS DEL EMBALSE

2.2.1 Río Lebrija Es una de las principales corrientes fluviales de la hidrografía del departamento de Santander; nace al Noroeste del municipio de Piedecuesta y desemboca en el Río Magdalena. En la zona alta de su nacimiento el río avanza en dirección noroeste regando con las aguas de sus afluentes el valle de Piedecuesta, para luego tomar hacia el norte pasando por la Meseta de

Bucaramanga, donde toma el nombre de río de Oro, recibiendo aportes contaminantes de Bucaramanga, Girón, Piedecuesta, Café Madrid y área agroindustriales. Su caudal diario es de 1.86 m³/s aproximadamente (equivalente al 31.2 % de su caudal promedio anual), al recibir las aguas de la subcuenca del Río Suratá, compuesta por los ríos Frío y Tona, en las depresiones finales de la Meseta de Bucaramanga. El río Suratá a través de su principal afluente el Vetás, le descarga aguas residuales y sedimentos con altos contenidos de mercurio, entre otros minerales pesados, generados en los distritos mineros de Vetás y California, a partir del beneficio del oro. A partir de la desembocadura del río Suratá se configura el río Lebrija propiamente dicho.

La cuenca del río Lebrija posee una extensión de 879.000 Has, de las cuales el 54% corresponde al departamento de Santander y el 46% restante al departamento del Cesar.¹⁰

2.2.2 Río Negro Este río es otro de los afluentes que confluyen al embalse de Bocas, con descargas contaminantes provenientes del municipio de Rionegro y de asentamientos ribereños.

3. FUNDAMENTO TEÓRICO

3.1 EL AGUA

Las aguas naturales nunca son completamente puras. Durante su precipitación y su paso sobre o a través del suelo, adquieren muchas clases de impurezas tanto disueltas como en suspensión. Las concentraciones de estas sustancias rara vez son altas en términos químicos; en muchos casos, su magnitud llega a ser de algunas milésimas o menores. Sin embargo, pueden modificar profundamente las propiedades químicas del agua y su utilidad. Con relación a lo anterior, el término “química del agua”, en el contexto del abastecimiento de agua potable y la remoción de aguas residuales, se refiere a las propiedades químicas de las soluciones acuosas que contienen alguna (o algunas) de la amplia variedad de sustancias: 1). Encontradas como impurezas en las aguas naturales; 2). Agregadas al agua durante el tratamiento; 3). Recogidas durante el flujo del agua a través de tubos u otros conductos, y 4). Impuestas al agua por los múltiples usos que la convierten en agua residual doméstica, municipal o industrial.

Las sustancias químicas que presentan interés desde el punto de vista de la ingeniería van desde los gases disueltos, sales y otros compuestos inorgánicos, hasta materiales orgánicos complejos, tanto naturales como

sintéticos, deslavados de los campos y bosques o contenidos en las aguas residuales municipales e industriales.³

3.1.1 CONCEPTOS ASOCIADOS A LA CONDICIÓN DEL AGUA

A continuación se definen los conceptos correspondientes a las condiciones en las cuales se encuentra el agua:

3.1.1.1 Agua Cruda Es aquella que no ha recibido tratamiento alguno, como el agua de los ríos, quebradas, manantiales o de acueductos donde no se ha realizado ningún procedimiento de potabilización.

3.1.1.2 Agua Tratada Es el agua sometida a un tratamiento después de ser captada. Este procedimiento realizado en la planta, altera el estado fisicoquímico y bacteriológico mediante la adición de coagulantes y/o desinfectantes para eliminar las impurezas y bacterias que contiene.

3.1.1.3 Agua Potable Es aquella que no implica ningún riesgo para la salud del consumidor y no produce daño en los bienes naturales.

3.1.2 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS EVALUADOS EN EL AGUA

Estos conceptos atañen a los parámetros utilizados para la evaluación de aguas.

3.1.2.1 pH La medida del pH es muy importante en la química del agua, siendo uno de los ensayos utilizados con mayor frecuencia. A una temperatura determinada la intensidad del carácter ácido o básico de una solución está indicada por el pH o por la actividad del ión hidrógeno o hidrónio.²

3.1.2.2 Temperatura El cambio de temperatura de un cuerpo de agua afecta directamente la solubilidad de los gases, como el oxígeno y el CO₂; la solubilidad de las sales y la conductividad eléctrica, el pH, entre otros parámetros.

3.1.2.3 Oxígeno Disuelto (OD) El nivel de oxígeno disuelto en aguas naturales y residuales depende de las actividades físicas, químicas y biológicas en el cuerpo de agua. El análisis de (OD) es clave tanto para determinar el nivel de contaminación de aguas (OD < 5 mg O₂/L) como para controlar procesos de tratamiento en aguas residuales.²

3.1.2.4 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) La demanda bioquímica de oxígeno molecular mide la cantidad de este gas consumido durante un periodo de incubación específico, para la degradación bioquímica de la materia orgánica y la oxidación del material inorgánico, compuesto por sulfuros y/o hierro ferroso. También permite determinar el oxígeno necesario para oxidar las formas reducidas del nitrógeno (demanda nitrogenada), al menos que esta reacción se prevenga con un inhibidor.²

3.1.2.5 Demanda Química de Oxígeno (DQO) La demanda química de oxígeno (DQO) se usa como una medida de este gas equivalente al contenido de materia orgánica de una muestra, que es susceptible a la oxidación por un oxidante químico fuerte. Para muestras de una fuente específica, el DQO puede relacionarse empíricamente con el DBO, el carbono orgánico o la materia orgánica. La prueba es útil para monitoreo y control, luego que se ha establecido la correlación.²

3.1.2.6 Sólidos Disueltos (SD) Los sólidos disueltos son aquellos que pasan a través de un filtro de tamaño de poro de 2.0 μm (micrómetros) bajo condiciones específicas de muestreo como: fraccionamiento de la muestra, temperatura de almacenamiento, temperatura de secado y homogenización, las cuales pueden producir variación en los resultados del análisis.²

3.1.2.7 Sólidos Suspendidos (SS) Los sólidos suspendidos son aquellos que se retienen en un filtro de tamaño de poro específico y medidos después de que han sido secados a una temperatura específica. El filtro más usado es el filtro Whatman, de fibra de vidrio que tiene un tamaño nominal de poro de aproximadamente de 1.58 μm (micrómetros).² Tanto los sólidos suspendidos como los disueltos, constituyen los sólidos totales, definidos como los residuos sólidos obtenidos por evaporación directa de la muestra de agua y su posterior secado a una determinada temperatura.²

3.1.2.8 Conductividad Es una expresión numérica de la habilidad del agua para transportar una corriente eléctrica. El grado de la misma depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación. Por lo tanto, cualquier cambio en la cantidad de sustancias disueltas, en la movilidad en los iones disueltos y en su valencia, implica un cambio en la conductividad. El valor de la conductividad es muy usado en análisis de aguas para obtener un estimativo rápido de contenido de sólidos disueltos.¹⁰

3.1.2.9 Salinidad Se define como los sólidos totales en el agua cuando todos los carbonatos han sido convertidos en óxidos, todos los bromuros y yoduros han sido reemplazados por una cantidad equivalente de cloruros y toda la materia orgánica ha sido oxidada. Numéricamente es menor que los sólidos disueltos y es un valor importante en agua de mar y ciertos residuos industriales.¹⁰

3.1.10 Turbidez Es una expresión de la propiedad o efecto óptico, causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua. En otras palabras, la turbiedad es la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea reemitida y no transmitida a través de la suspensión. La turbidez en un agua puede ser causada por una gran variedad de materiales en suspensión, que varían en tamaño desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otras, arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos, microorganismos, etc.¹⁰

3.2 SEDIMENTOS

Los sedimentos o lodos de las aguas negras son una mezcla de agua y sólidos sedimentables. Por su origen reciben su nombre de primarios, secundarios, exceso de lodos activados o lodos químicos. Por su estado o tratamiento dado, pueden denominarse crudos o frescos, digeridos, elutriados, húmedos o secos. Estos son los términos descriptivos más comunes y pueden usarse combinados.

Así como con la porción líquida, los sedimentos deben someterse, en general, a algún tratamiento que sea capaz de modificar sus características para que pueda disponerse de ellos sin poner en peligro la salud o causar molestias.⁴

3.2.1 Razones para el tratamiento de los sedimentos Los lodos o sedimentos se tratan para facilitar su disposición. Los diversos procesos de tratamientos tienen dos objetivos:

- Disminuir el volumen del material que va a ser manejado por la eliminación de parte o de toda la porción líquida.
- Descomponer la materia orgánica y putrescible a compuestos orgánicos e inorgánicos, relativamente estables o inertes, de los cuales puede separarse el agua con mayor facilidad. A esto se llama digestión, que además disminuye el total de sólidos.⁴

3.3 METALES PESADOS

3.3.1 Aguas y Sedimentos La presencia de metales es motivo de preocupación principalmente por sus efectos tóxicos y su bioacumulación en la cadena trófica. Algunos metales son esenciales para la vida (Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Mo, Ni, Co, Cu y Zn). El hierro forma parte de la hemoglobina de la sangre y el cobalto de la vitamina B-12, siendo también un activador de enzimas, al igual que el manganeso; el cobre y el cinc participan en la síntesis de enzimas y el molibdeno participa en los procesos de transferencia de electrones.

El resto de los metales pesados: mercurio, cadmio, níquel, cromo, etc. son metales no esenciales y tienen efectos tóxicos sobre el organismo. Incluso los metales esenciales, cuando sobrepasan las concentraciones requeridas por el organismo, pueden tener los mismos efectos.⁹

3.3.2 Fuentes contaminantes con metales pesados La Tabla 1 muestra las distintas fuentes de metales pesados que contaminan el agua y por ende los sedimentos.

Tabla 1. Fuentes de Contaminación con metales

Contaminante	Fuente de Contaminación
Cadmio	Aplicaciones industriales, operaciones de minería y fusión, electro deposición y producción de baterías, pigmentos y plásticos. ¹¹
Mercurio	Combustión de combustibles fósiles, incineración de productos que contienen mercurio, pasada utilización de pesticidas conteniendo mercurio, lixiviado de mercurio orgánico de pinturas antihongo. ¹¹ Minería, desechos de la producción electrolítica de NaOH. ¹²
Plomo	Desechos metalúrgicos, venenos industriales, corrosión de amalgamas como la soldadura y tuberías con plomo, aleaciones, bronce y latón. ^{11,12}
Cobre	Depósitos naturales e industriales, preservación de madera, fontanería (soldadura). ¹¹
Níquel	Aleaciones metálicas, electro deposición, baterías y productos químicos. ¹¹
Aluminio	Depósitos naturales e industriales, plantas de tratamiento de agua potable (uso de alumbre). ¹¹
Cinc	Operaciones mineras, metalúrgicas o de terminación de metales, corrosión de tuberías de acero galvanizado. ¹²
Hierro	Rocas ígneas y arcillosas, corrosión de sistemas de tuberías de acero. ¹²
Manganeso	Medio ambiente, baterías descargadas, producción de aleación de acero y productos para la agricultura. ¹¹
Calcio	Presente en muchos minerales, piedra caliza y en el yeso. ¹²
Magnesio	Se encuentran en minerales como la dolomita y magnesita. ¹²
Silicio	Presente en casi todos los minerales como SiO ₂ . ¹²
Fosfatos	Muchos de los minerales comunes, detergentes y fertilizantes. ¹²

3.3.3 TÉCNICA DE ANÁLISIS PARA METALES PESADOS

3.3.3.1 Espectrometría de Absorción Atómica Es una técnica parecida a la fotometría de emisión de llama, que consiste en que la muestra se aspira a la llama donde se atomiza. La diferencia es que en ésta la cantidad de luz emitida es moderada en comparación con la de la espectrometría de absorción atómica, que es ligera y se dirige a través de la llama en un monocromador y va hacia un detector que mide la cantidad de luz absorbida por el elemento atomizado en la llama. La sensibilidad de la técnica de absorción atómica es superior a la de emisión de llama en algunos metales, debido a que estos tienen su propia longitud de onda de absorción característica. Se usa una lámpara de la fuente compuesta de ese elemento; esto hace que el método sea relativamente libre de interferencias de la radiación. La cantidad de energía absorbida a la longitud de onda característica es proporcional a la concentración del elemento en la muestra en un rango limitado. ¹

3.3.3.2 Generador de Hidruros Esta técnica proporciona un método para introducir muestras que contienen arsénico, antimonio, estaño, selenio, bismuto, plomo y mercurio en un atomizador en forma de gas. Dicho procedimiento mejora los límites de detección de estos elementos de 10 a 100 veces. Debido a que varias de estas especies son altamente tóxicas es de considerable importancia su determinación a concentraciones bajas. Su toxicidad obliga también a que los

gases producidos en la atomización deban eliminarse de una manera segura y eficaz.⁶

4. PARÁMETROS Y NORMATIVIDAD

4.1 NORMAS COLOMBIANAS PARA CALIDAD DEL AGUA

4.1.1 Decreto 1594 del 16 DE Junio de 1984

4.1.1.1 Capítulo III Artículo 29 Para los efectos del presente decreto se tendrán en cuenta los siguientes usos del agua:¹³

1. Consumo humano y domestico
2. Preservación de flora y fauna
3. Agrícola
4. Pecuaria
5. Recreativo
6. Industrial
7. Transporte

4.1.1.2 Capítulo IV Artículo 38. Los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico son los que se relacionan a continuación, e indican que para su potabilización se requiere solamente tratamiento convencional¹³

Tabla 2. Parámetros de calidad del agua para uso humano y domestico.

REFERENCIA	EXPRESADO COMO	VALOR
Cadmio	mg Cd/L	0.01
Cianuro	MgCN/L	0.2
Cinc	MgZn/L	15.0
Cobre	MgCu/L	1.0
Mercurio	Mg./L	0.002
Plomo	MgPb/L	0.05
pH	Unidades de pH	5 - 9

4.1.1.3 Capitulo IV Artículo 40 Los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para uso agrícola son los siguientes¹³:

Tabla 3. Parámetros de calidad del agua para uso agrícola.

REFERENCIA	EXPRESADO COMO	VALOR
Aluminio	MgAl/L	5.0
Cadmio	MgCd/L	0.01
Cinc	MgZn/L	2.0
Cobre	MgCu/L	0.2
Hierro	MgFe/L	5.0
Níquel	MgNi/L	0.2
Plomo	MgPb/L	5.0
pH	Unidades de pH	4.5 - 9

4.1.1.4 Capítulo IV Artículo 41 Los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para uso pecuario, son los siguientes¹³

Tabla 4. Parámetros de calidad del agua para uso pecuario.

REFERENCIA	EXPRESADO COMO	VALOR
Aluminio	mgAl/L	5.0
Cadmio	MgCd/L	0.05
Cinc	MgZn/L	25.0
Cobre	MgCu/L	0.5
Mercurio	Mg./L	0.01
Plomo	MgPb/L	0.1

4.1.1.5 Capítulo IV Artículo 47 Para los usos referentes a transporte, dilución y asimilación no se establecen criterios de calidad, sin perjuicio del control de vertimientos correspondientes.¹³

4.1.1.6 Capítulo IV Artículo 48 Para el uso industrial no se establecen criterios de calidad, con excepción de las actividades relacionadas con explotación de cauces, playas y lechos, para las cuales se deberán tener en cuenta los criterios contemplados en el parágrafos 1 del artículo 42 y en el artículo 43 en lo referente a sustancias tóxicas o irritantes, pH, grasas y aceites flotantes, materiales flotantes provenientes de actividad humana y coliformes totales.¹³

4.1.2 Niveles de Calidad del Agua de acuerdo al grado de polución según el RAS 2000¹⁴

Tabla 5. Nivel de Calidad del agua de acuerdo al grado de polución.

PARÁMETROS	Fuente aceptable	Fuente regular	Fuente deficiente	Fuente muy deficiente
DBO ₅	1-3	3-4	4-6	>6
pH	6-8.5	5-9	3.8-10.5	
Turbiedad	<2	2-40	40-150	=150

4.2 NORMA PARA SEDIMENTOS SEGÚN EPA PARTE 503.¹⁵

Tabla 6. Limite de polución para sedimentos

CONTAMINANTE	CONCENTRACIÓN LÍMITE PARA BIOSÓLIDO APLICADO A TRAZAS (mg / Kg)
Cadmio	85
Cobre	4.300
Níquel	420
Mercurio	57
Cinc	7.500
Plomo	840

5. METODOLOGÍA

5.1 GEOREFERENCIACIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO DE AGUAS

Los puntos de monitoreo se georeferenciación en forma preliminar sobre la plancha N° 109-IV-C Carta General del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, escala 1:25.000, de la cual se anexa una reducción del sector de interés (**ANEXO A**). Posteriormente mediante el uso del GPS (Global Position System) se confirmaron la ubicación de cada uno de los puntos con más exactitud. Estos se ilustran a continuación.

- **PUNTO 1:** Se ubicó en el Río de Oro, en las coordenadas (1°103.100, 1°284.250) metros.

Figura 1. Punto 1 Río de Oro



- **PUNTO 2:** Se ubicó en el Río Suratá, en las coordenadas (1'103.200, 1'284.300) metros.

Figura 2. Punto 2 Río Suratá



- **PUNTO 3:** Se ubicó en el Río Lebrija (unión del Río Surata y Oro), en las coordenadas (1'101.700, 1'289.750) metros.

Figura 3. Punto 3 Río Lebrija (unión del Río Surata y Oro)



- **PUNTO 4:** Se ubicó en el Río Negro, en las coordenadas (1'101.700, 1'289.900) metros.

Figura 4. Río Negro



- **PUNTO 5:** Se ubicó en la unión del Río Lebrija y Negro, en las coordenadas (1'101.350, 1'289.850) metros.

Figura 5. Punto 5 Aguas abajo de la unión del Río Lebrija y Negro.



- **PUNTO N° 6:** Se ubicó en el embalse de Bocas, en las coordenadas (1'100.850, 1'289.250) metros.

Figura 6. Embalse de Bocas



- **PUNTO N° 7:** Se ubicó aguas abajo del embalse, en las coordenadas (1'099.900, 1'289.350) metros.

Figura 7. Punto 7 Remolinos (Aguas abajo del embalse)



- **PUNTO 8:** Se ubico en la quebrada El Aburrido 5 metros arriba de la unión de ésta con el río Lebrija

Figura 8. Punto 8 Quebrada El Aburrido



5.2 MONITOREO PARA AGUAS

Se tomaron muestras compuestas para cada punto georeferenciado (ocho puntos) en los seis monitoreos, las cuales estuvieron conformadas por la mezcla de cuatro muestras integrales tomadas durante un lapso de tiempo de 12 horas (una cada tres horas), para un total de 32 muestras integrales, con el objetivo de obtener ocho muestras representativas del agua a analizar, una para cada punto, siguiendo la Cadena de Custodia.

Figura 9. Monitoreo de Aguas en el Río Suratá



5.2.1 Cadena de Custodia Los procedimientos de la cadena fueron:

- Rótulos de muestras
- Sellos de muestras
- Libro de registro de muestras
- Registro de la carta de custodia
- Hoja de remisión de muestras
- Transporte de las muestras al laboratorio
- Recepción y registro de muestras

- Análisis de las muestras

5.2.1.1 Rótulos de muestras Deben usarse etiquetas para evitar la confusión de muestras.

La cinta de enmascarar es adecuada para este propósito. En la etiqueta debe incluirse la siguiente información:

- Número de la muestra
- Nombre del colector
- Fecha y Hora del muestreo

Los rótulos deben colocarse antes del período de muestreo. Deben escribirse con tinta indeleble a la hora del muestreo.

5.2.1.2 Sellos de muestras Deben sellarse las muestras para impedir pérdidas y evitar la falsificación. La cinta de enmascarar se puede utilizar para este propósito. Se pondrá la misma información del rótulo.

5.2.1.3 Libro de registro Toda la información pertinente al trabajo de campo o muestreo debe consignarse en un libro de registro.

Como mínimo debe incluir la siguiente información:

- Propósito del muestreo
- Localización del punto de muestreo
- Nombre y dirección del contacto en el campo
- Propietario de la muestra
- Tipo de muestra

Debe identificarse el proceso que produce el vertimiento. También proveerse la composición de la muestra, incluidas concentraciones, número y volúmenes de muestras tomadas, descripción del punto y método de muestreo, fecha y hora de la recolección, nombre del colector, número de identificación del colector, método de transporte, referencias -mapas o fotografías del sitio de muestreo-, observaciones y medidas de campo y firmas del personal responsable.

Debido a que las situaciones de muestreo varían ampliamente, en general no es necesario incluir toda esta información en el libro de registro. Es deseable anotar suficiente información que permita la reconstrucción del muestreo sin apelar a la memoria del responsable de la recolección. El libro de registro debe protegerse y mantenerse en sitio seguro.

5.2.1.4 Carta de custodia Su objetivo es determinar un punto del proceso en el que se pudo cometer un error. Debe llenarse la carta de custodia que acompaña a cada muestra o grupo de muestra. Esta incluye la siguiente información:

- Número de la muestra
- Nombre del responsable de la recolección
- Firma del responsable del muestreo
- Fecha, hora y dirección del sitio de muestreo
- Tipo de muestra
- Fecha de envío al laboratorio y recepción
- Forma de envío
- Firmas de las personas involucradas en el manejo de la muestra, incluida la fecha de su manipulación

5.2.1.5 Hoja de remisión de muestras La muestra se le asigna una hoja de remisión. La persona responsable del muestreo debe llenar su parte correspondiente. El personal de laboratorio completará la siguiente información:

- Nombre de la persona que recibe la muestra
- Número de la muestra
- Fecha de recibo de la muestra
- Ensayos por realiza

5.2.1.6 Transporte de la muestra al laboratorio La muestra debe ser transportada al laboratorio lo más pronto posible, acompañada con la carta de custodia y la hoja de remisión de la muestra.

5.2.1.7 Recepción y registro de la muestra En el laboratorio se recibe la muestra y debe inspeccionarse sus condiciones de seguridad, revisarse los sellos y rótulos y compararse con lo consignado en la carta de custodia. Posteriormente se le debe asignar un número interno, inscribiéndose en el libro de registro de muestras del laboratorio, y almacenándose en un lugar seguro.

5.2.1.8 Análisis de la muestra El supervisor del laboratorio debe asignar la muestra para su análisis. El supervisor o el analista son responsables por el cuidado y custodia de la muestra.

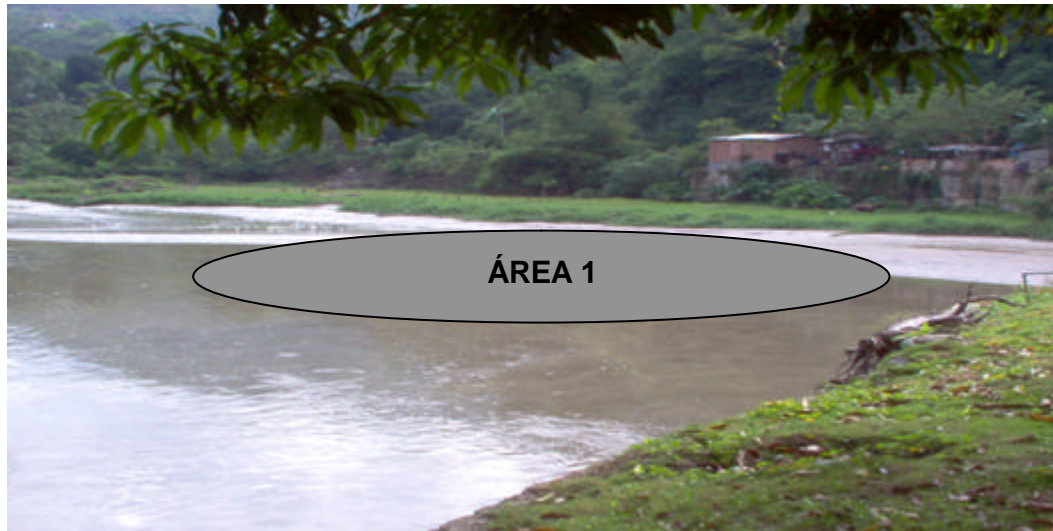
5.3 GEOREFERENCIACIÓN DE PUNTOS DE MONITOREOS DE SEDIMENTOS

El embalse esta ubicado en las coordenadas (1'100.850, 1'289.250) metros, aproximadamente.

Las áreas escogidas se determinaron en el sitio, previamente a la realización de los monitoreos basados en el plano con nombre Geología General del Embalse escala 1:750, Referencia 12-301 original de la Electrificadora de Santander S.A. Posteriormente con ubicación del Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

- **Área 1:** Se ubico a 50 m a la redonda sobre el punto con coordenadas (1'100.995 E, 1'289.225 N),

Figura 10. Área 1 Monitoreo de Sedimentos en el embalse de Bocas



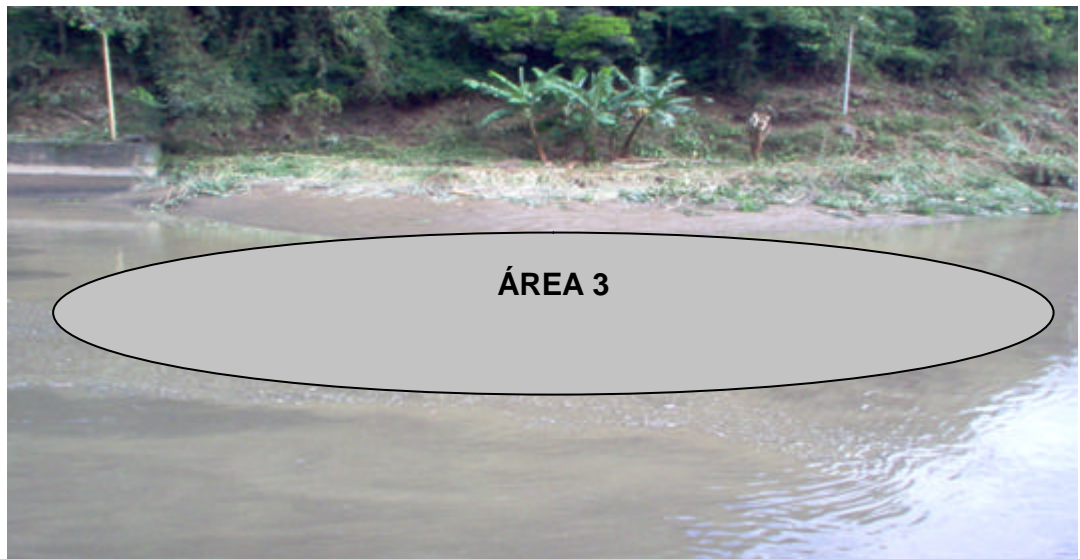
- **Área 2:** Se ubico a 50 m a la redonda sobre el punto con coordenadas (1'101.008 E, 1'289.275 N).

Figura 11. Área 2 Monitoreo de Sedimentos en el embalse de Bocas



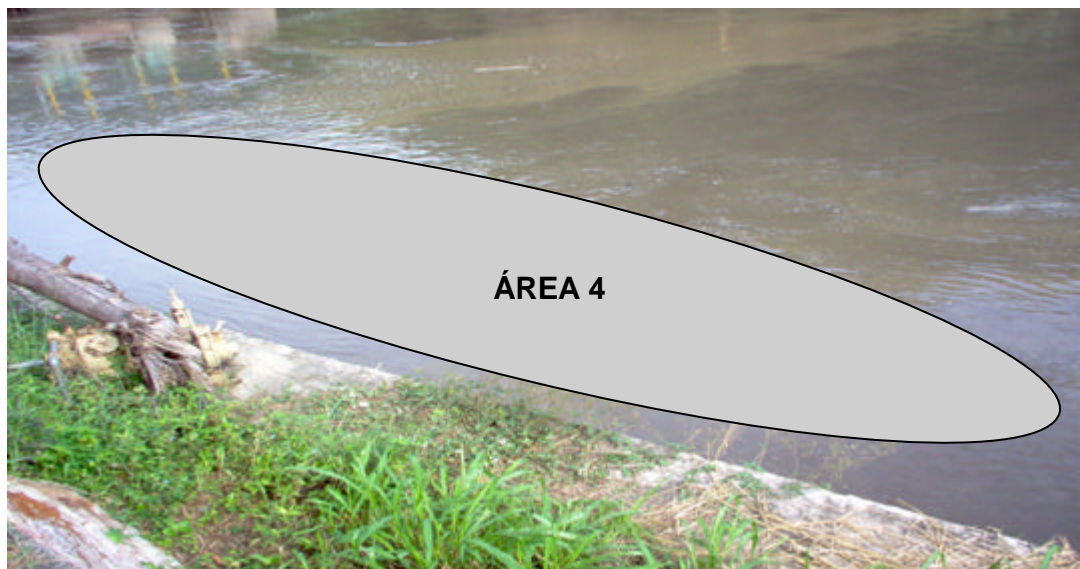
- **Área 3:** Se ubico a 30 m a la redonda sobre el punto con coordenadas (1'100.915 E, 1'289.228 N).

Figura 12. Área 3 Monitoreo de Sedimentos en el embalse de Bocas



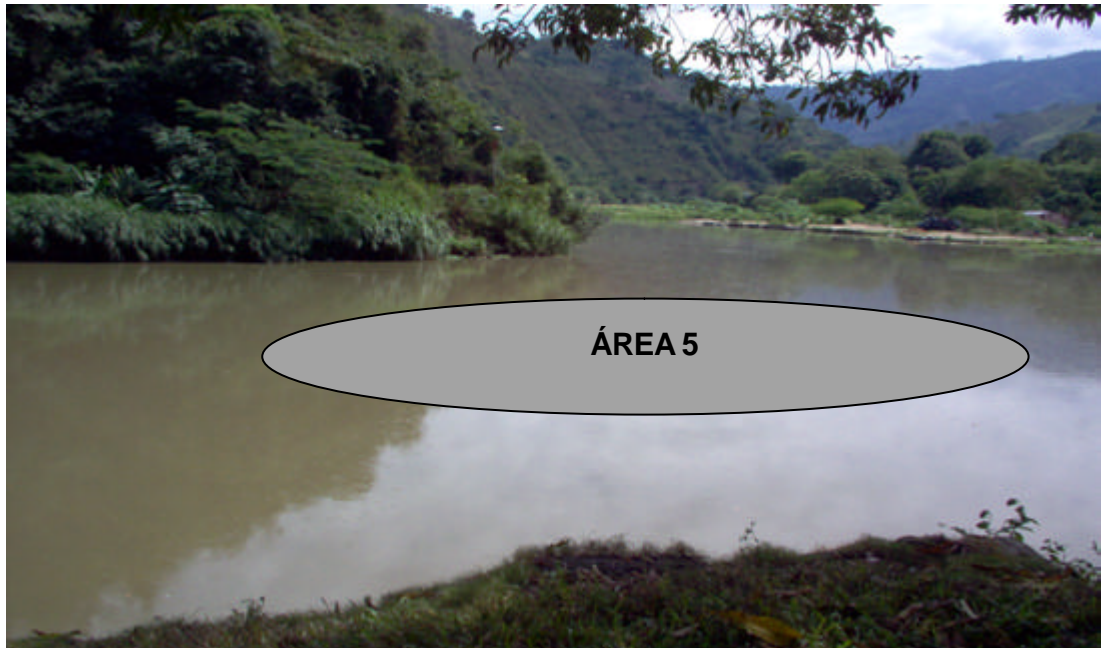
- **Área 4:** Se ubico a 25 m a la redonda sobre el punto con coordenadas (1'100.925 E, 1'289.200 N).

Figura 13. Área 4 Monitoreo de Sedimentos en el embalse de Bocas



- **Área 5:** Se ubico a 30 m a la redonda sobre el punto con coordenadas (1'100.953 E, 1'289.208 N).

Figura 14. Área 5 Monitoreo de Sedimentos en el embalse de Bocas



5.4 MONITOREO PARA SEDIMENTOS

Se realizaron dos monitoreos, en los cuales se tomaron cinco áreas imaginarias que son representativas del área actual total del embalse. Posteriormente se tomo una muestra integral compuesta para cada uno de los tres niveles de profundidad (0,1 y 2 m) en cada una de las áreas, para un total de quince muestras, por cada monitoreo.

Figura 15. Monitoreo de Sedimentos



5.5 SELECCIÓN DE PARÁMETROS A ANALIZAR EN AGUAS Y SEDIMENTOS

Recolectadas las muestras de acuerdo a las normas exigidas, fueron debidamente preservadas para su transporte y posterior análisis en el Laboratorio Químico de Consultas Industriales de la Universidad Industrial de Santander (Anexo B).

5.5.1 Parámetros fisicoquímicos analizados en aguas

Tabla 7. Parámetros Fisicoquímicos para caracterización de aguas.

PARÁMETRO	UNIDADES	TÉCNICA
pH	Unidades de pH	Potenciométrico
Temperatura	°C	Termométrico
Turbiedad	UNT	Turbidimétrico
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ / L	Tritrimétrico
DBO	mg O ₂ / L	Respirométrico
DQO	mg O ₂ / L	Microextracción-Espectrofotométrico
Sólidos Totales	mg / L	Gravimétrico
Sólidos Sedimentables	mL / L	Cono Imhoff
Mercurio	mg Hg/L	Absorción Atómica- Generador de Hidruros
Aluminio	mg Al / L	Absorción Atómica
Cobre	mg Cu / L	Absorción Atómica
Cadmio	mg Cd / L	Absorción Atómica
Zinc	mg Zn / L	Absorción Atómica
Plomo	mg Pb / L	Absorción Atómica
Conductividad	mg CaCO ₃ / L	Potenciométrico
Salinidad	μS / cm	Potenciométrico
Sólidos Suspendidos	mg / L	Gravimétrico

La determinación de cada uno de estos parámetros se realizó según las normas establecidas por el STANDARD METHODS For the Examination of Water and Wastewater. Edición 20th de 1998.

5.5.2 Parámetros fisicoquímicos analizados en sedimentos Se realizaron con el fin de determinar la contaminación y nutrientes benéficos de los sedimentos en el embalse.

Tabla 8. Parámetros fisicoquímicos para caracterización de sedimentos.

PARÁMETRO	UNIDADES	TÉCNICA
Fósforo	mg P / Kg	Ácido Vanadio Molibdo fosforico
Fósforo	mg P ₂ O ₅ / Kg	Ácido Vanadio Molibdo fosforico
Fósforo	mg PO ₄ ⁻³ / Kg	Ácido Vanadio Molibdo fosforico
Materia Orgánica	%	Reflujo con Dicromato
Carbono	%	Reflujo con Dicromato
Nitrógeno	%	Reflujo con Dicromato
Mercurio	mg Hg/L	Absorción Atómica- Generador de Hidruros
Aluminio	mg Al / L	Absorción Atómica
Cobre	mg Cu / L	Absorción Atómica
Cadmio	mg Cd / L	Absorción Atómica
Zinc	mg Zn / L	Absorción Atómica
Plomo	mg Pb / L	Absorción Atómica
Calcio	mg Ca / L	Absorción Atómica
Magnesio	mg Mg / L	Absorción Atómica
Manganeso	mg Mn / L	Absorción Atómica
Potasio	mg K / L	Absorción Atómica
Silicio	mg Si / L	Absorción Atómica

La digestión de los sedimentos se realizó por el método EPA 3050B ACID DIGESTION OF SEDIMENTS, SLUDGES AND SOILS.

5.6 MONITOREO DE OXIGENO DISUELTO EN AGUAS

El monitoreo de oxígeno disuelto se realizó en el embalse de Bocas durante un periodo de 24 horas, tomando muestras cada 2 horas, siguiendo las normas establecidas.

5.7 MONITOREO MICROBIOLÓGICO DE SEDIMENTOS

Se realizó en el embalse de Bocas, tomando una muestra compuesta de las distintas áreas imaginarias en que se dividió éste. La muestra se preservó y empacó según lo requerido por el Centro de Investigación en Microbiología Industrial CIMBIN, laboratorio de la Universidad industrial de Santander el cual desarrollo estos análisis.

6. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 ANÁLISIS Y RESULTADOS DE AGUAS

Los resultados obtenidos se determinaron con el fin de obtener patrones de comportamiento para los diferentes parámetros analizados y de esta manera determinar el aporte contaminante de cada uno de los afluentes del embalse de Bocas; luego se comparo con el decreto 1594 de 1984 el cual tiene toda la normatividad en cuanto al uso del agua y residuos líquidos.

Tabla 9. Resultados del primer monitoreo promedio de aguas

PARAMETRO	PUNTOS DE MUESTREO								Norma Dec1594/84	Límite Detección
	1	2	3	4	5	6	7	8		
Sólidos Totales (mg/L)	196.0	334.0	140.0	68.0	166.0	164.0	150.0	150.0		
Sólidos Suspendidos (mg/L)	36.0	256.0	28.0	4.0	2.0	2.0	2.0	2.0		
Sólidos Disueltos (mg/L)	160.0	78.0	112.0	64.0	164.0	162.0	148.0	148.0		
Sólidos Sedimentables (ml/L)	0.5	2.0	0.5	0.2	0.4	0.2	0.1	0.3		
Turbiedad (UNT)	17.0	22.0	22.0	4.0	15.0	11.0	10.0	3.0		
Salinidad (mg CaCO3/L)	0.08	0.07	0.07	0.02	0.06	0.06	0.06	0.05		
Conductividad (µS/cm)	181.5	161.0	168.0	77.0	141.0	142.6	151.5	132.5		
pH (Unidades de pH)	7.50	7.20	7.20	7.10	6.96	6.98	7.14	7.26	4.5 - 9	
DBO5 (mg O2/L)	20.0	15.0	10.0	2.0	10.0	10.0	15.0	10.0		
DQO (mgO2/L)	65.5	66.0	66.2	43.3	184.5	128.5	60.5	157.5		
Cianuro Libre (mg CN-/L)	N.D.	0.02	0.01	N.D.	0.01	0.01	N.D.	N.D.		
Cinc (mg Zn/L)	0.07	0.21	0.08	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03	2.0	< 0.002
Cadmio (mg Cd/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.01	< 0.0006
Mercurio (µg Hg/L)	0.33	0.19	0.30	0.21	0.32	0.27	0.35	0.22		< 0.5
Hierro (mg Fe/L)	1.05	5.85	1.27	0.54	1.12	0.69	0.57	0.40	5.0	< 0.005
Níquel (mg Ni/L)	0.03	0.03	0.03	N.D.	0.02	N.D.	0.03	N.D.	0.2	< 0.008
Plomo (mg Pb/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	5.0	< 0.002
Cobre (mg Cu/L)	N.D.	0.15	0.02	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.2	< 0.005
Aluminio (mg Al/L)	0.65	2.59	0.59	0.29	0.52	0.29	0.18	0.18	5.0	< 0.001

NOTA : Norma según Decreto 1594/84 en lo referente al uso del agua para riego

Lim.Detec. : Cantidad Mínima Detectable por el método utilizado

N. D.: No Detectable a la cantidad mínima detectable

Tabla 10. Resultados segundo monitoreo promedio de aguas

PARAMETRO	PUNTOS DE MUESTREO								Norma Dec1594/84	Límite Detección
	1	2	3	4	5	6	7	8		
Sólidos Totales (mg/L)	486.0	216.0	460.0	216.0	294.0	206.0	222.0	160.0		
Sólidos Suspendidos (mg/L)	122.0	36.0	252.0	94.0	78.0	56.0	58.0	6.0		
Sólidos Disueltos (mg/L)	364.0	180.0	208.0	122.0	216.0	150.0	164.0	154.0		
Sólidos Sedimentables (ml/L)	4.5	1.3	4.2	1.3	2.0	1.7	1.2	0.1		
Turbiedad (UNT)	48.0	38.0	34.0	11.0	29.0	22.0	21.0	6.0		
Salinidad (mg CaCO3/L)	0.08	0.07	0.07	0.02	0.06	0.06	0.06	0.05		
Conductividad (µS/cm)	189.8	119.7	153.8	66.8	120.4	132.1	145.2	118.9		
pH (Unidades de pH)	7.42	7.73	7.45	7.80	7.25	7.11	7.64	7.80	4.5 - 9	
DBO5 (mg O2/L)	25.0	10.0	20.0	5.0	20.0	15.0	15.0	10.0		
DQO (mgO2/L)	258.0	78.5	243.5	65.0	178.0	126.5	173.0	57.0		
Cianuro Libre (mg CN-/L)	N.D.	0.02	0.01	N.D.	0.01	0.02	0.01	N.D.		
Cinc (mg Zn/L)	0.19	0.21	0.19	0.05	0.14	0.09	0.10	0.08	2.0	< 0.002
Cadmio (mg Cd/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.01	< 0.0006
Mercurio (µg Hg/L)	0.16	0.10	0.10	N.D.	N.D.	0.16	N.D.	N.D.		< 0.5
Hierro (mg Fe/L)	3.81	3.87	4.50	2.11	1.82	1.42	1.16	0.43	5.0	< 0.005
Níquel (mg Ni/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.2	< 0.008
Plomo (mg Pb/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	5.0	< 0.002
Cobre (mg Cu/L)	N.D.	0.15	0.02	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.2	< 0.005
Aluminio (mg Al/L)	2.71	1.79	3.15	1.15	1.09	0.77	0.71	0.11	5.0	< 0.001

NOTA : Norma según Decreto 1594/84 en lo referente al uso del agua para riego

Lim.Detec. : Cantidad Mínima Detectable por el método utilizado

N. D.: No Detectable a la cantidad mínima detectable

Tabla 11. Resultados tercer monitoreo de aguas

PARAMETRO	PUNTOS DE MUESTREO								Norma Dec1594/84	Límite Detección
	1	2	3	4	5	6	7	8		
Sólidos Totales (mg/L)	190.0	238.0	371.0	150.0	392.0	722.0	706.0	324.0		
Sólidos Suspendidos (mg/L)	28.0	152.0	144.0	54.0	280.0	628.0	532.0	80.0		
Sólidos Disueltos (mg/L)	162.0	86.0	227.0	96.0	112.0	94.0	174.0	244.0		
Sólidos Sedimentables (ml/L)	0.3	0.8	1.6	0.2	1.5	5.0	3.1	0.4		
Turbiedad (UNT)	13.0	63.0	33.0	14.0	37.0	114.0	84.0	11.0		
Salinidad (mg CaCO3/L)	0.26	0.19	0.32	0.38	0.17	0.20	0.22	0.18		
Conductividad (µS/cm)	348.0	392.0	643.0	558.0	358.0	427.0	417.0	361.0		
pH (Unidades de pH)	7.65	7.78	7.84	7.69	7.84	7.82	7.79	7.91	4.5 - 9	
DBO5 (mg O2/L)	20.0	5.0	15.0	3.0	10.0	20.0	20.0	5.0		
DQO (mgO2/L)	48.9	56.2	49.3	22.7	54.5	104.6	52.5	59.6		
Cianuro Libre (mg CN-/L)	N.D.	0.02	0.01	N.D.	0.01	0.02	0.01	N.D.		
Cinc (mg Zn/L)	0.02	0.06	0.07	0.09	0.19	0.09	0.13	0.01	2.0	< 0.002
Cadmio (mg Cd/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.01	< 0.0006
Mercurio (µg Hg/L)	7.52	6.93	3.53	7.12	8.11	3.56	4.50	2.97		< 0.5
Hierro (mg Fe/L)	1.38	4.83	5.71	1.55	18.30	6.95	9.79	1.48	5.0	< 0.005
Níquel (mg Ni/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.2	< 0.008
Plomo (mg Pb/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	5.0	< 0.002
Cobre (mg Cu/L)	N.D.	0.04	0.06	0.09	0.01	0.04	0.06	N.D.	0.2	< 0.005
Aluminio (mg Al/L)	0.05	2.17	2.93	0.59	10.30	4.13	6.09	0.15	5.0	< 0.001

NOTA : Norma según Decreto 1594/84 en lo referente al uso del agua para riego

Lim.Detec. : Cantidad Mínima Detectable por el método utilizado

N. D.: No Detectable a la cantidad mínima detectable

Tabla 12. Resultados Cuarto monitoreo de aguas

PARAMETRO	PUNTOS DE MUESTREO								Norma Dec1594/84	Límite Detección
	1	2	3	4	5	6	7	8		
Sólidos Totales (mg/L)	344.0	230.0	100.0	106.0	240.0	220.0	196.0	160.0		
Sólidos Suspendidos (mg/L)	84.0	70.0	20.0	38.0	80.0	54.0	30.0	12.0		
Sólidos Disueltos (mg/L)	260.0	160.0	80.0	68.0	160.0	166.0	166.0	148.0		
Sólidos Sedimentables (ml/L)	0.5	0.3	0.4	0.2	0.6	0.4	0.2	0.1		
Turbiedad (UNT)	47.0	34.0	13.0	29.0	28.0	14.0	23.0	10.0		
Salinidad (mg CaCO3/L)	0.18	0.08	0.09	0.08	0.07	0.13	0.13	0.07		
Conductividad (µS/cm)	343.0	190.0	202.0	194.0	167.0	264.0	282.0	125.0		
pH (Unidades de pH)	6.98	7.42	7.24	7.22	7.12	7.29	7.32	7.50	4.5 - 9	
DBO5 (mg O2/L)	20.0	20.0	20.0	4.0	20.0	35.0	15.0	10.0		
DQO (mgO2/L)	191.0	40.0	67.0	30.5	63.0	78.0	75.0	65.0		
Cianuro Libre (mg CN-/L)	N.D.	0.02	0.01	N.D.	0.01	0.02	0.01	N.D.		
Cinc (mg Zn/L)	0.05	0.10	0.12	0.05	0.15	0.09	0.11	0.08	2.0	< 0.002
Cadmio (mg Cd/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.01	< 0.0006
Mercurio (µg Hg/L)	1.18	1.98	2.17	2.31	0.79	13.30	6.13	3.01		< 0.5
Hierro (mg Fe/L)	1.50	4.80	5.20	1.70	5.42	3.90	4.80	4.20	5.0	< 0.005
Níquel (mg Ni/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.2	< 0.008
Plomo (mg Pb/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	5.0	< 0.002
Cobre (mg Cu/L)	0.04	0.06	0.06	N.D.	0.01	0.01	0.02	N.D.	0.2	< 0.005
Aluminio (mg Al/L)	1.53	2.01	3.04	1.03	4.13	2.83	3.20	0.15	5.0	< 0.001

NOTA : Norma según Decreto 1594/84 en lo referente al uso del agua para riego

Lim.Detec. : Cantidad Mínima Detectable por el método utilizado

N. D.: No Detectable a la cantidad mínima detectable

Tabla 13. Resultados quinto monitoreo de aguas

PARAMETRO	PUNTOS DE MUESTREO								Norma Dec1594/84	Límite Detección
	1	2	3	4	5	6	7	8		
Sólidos Totales (mg/L)	170.0	136.0	118.0	58.0	132.0	55.0	122.0	80.0		
Sólidos Suspendidos (mg/L)	26.0	28.0	10.0	46.0	2.0	20.0	10.0	2.0		
Sólidos Disueltos (mg/L)	144.0	108.0	108.0	12.0	130.0	35.0	112.0	78.0		
Sólidos Sedimentables (ml/L)	0.1	0.5	0.4	0.3	0.4	0.3	0.4	0.2		
Turbiedad (UNT)	25.0	21.0	6.0	12.0	8.0	5.0	6.0	3.0		
Salinidad (mg CaCO3/L)	0.45	0.10	0.10	0.02	0.08	0.07	0.07	0.05		
Conductividad (µS/cm)	1092.0	216.0	228.0	72.0	191.0	168.0	170.0	140.0		
pH (Unidades de pH)	6.76	7.33	7.11	7.23	7.06	6.94	7.04	7.30	4.5 - 9	
DBO5 (mg O2/L)	25.0	5.0	5.0	2.0	10.0	10.0	10.0	10.0		
DQO (mgO2/L)	108.0	29.0	54.0	30.0	42.0	157.0	69.0	160.0		
Cianuro Libre (mg CN-/L)	N.D.	0.02	0.01	N.D.	0.01	0.02	0.01	N.D.		
Cinc (mg Zn/L)	0.09	0.03	0.12	0.09	0.09	0.08	0.06	0.07	2.0	< 0.002
Cadmio (mg Cd/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.01	< 0.0006
Mercurio (µg Hg/L)	3.96	3.96	2.57	1.58	10.90	6.33	2.77	2.85		< 0.5
Hierro (mg Fe/L)	1.50	6.30	1.80	1.50	1.20	1.10	1.00	0.60	5.0	< 0.005
Níquel (mg Ni/L)	0.04	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.05	N.D.	N.D.	0.2	< 0.008
Plomo (mg Pb/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	5.0	< 0.002
Cobre (mg Cu/L)	N.D.	0.12	0.08	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.2	< 0.005
Aluminio (mg Al/L)	0.78	3.20	1.01	0.52	1.23	0.52	0.13	0.09	5.0	< 0.001

NOTA : Norma según Decreto 1594/84 en lo referente al uso del agua para riego

Lim.Detec. : Cantidad Mínima Detectable por el método utilizado

N. D.: No Detectable a la cantidad mínima detectable

Tabla 14. Resultados sexto monitoreo de aguas

PARAMETRO	PUNTOS DE MUESTREO								Norma Dec1594/84	Límite Detección
	1	2	3	4	5	6	7	8		
Sólidos Totales (mg/L)	512.0	228.0	472.0	228.0	312.0	216.0	241.0	202.0		
Sólidos Suspendidos (mg/L)	234.0	43.0	263.0	98.0	81.0	58.0	61.0	10.0		
Sólidos Disueltos (mg/L)	278.0	185.0	209.0	130.0	231.0	158.0	180.0	192.0		
Sólidos Sedimentables (ml/L)	4.7	2.3	3.8	1.8	2.0	1.7	1.5	0.2		
Turbiedad (UNT)	53.0	49.0	36.0	15.0	35.0	31.0	28.0	10.0		
Salinidad (mg CaCO3/L)	0.09	0.70	0.08	0.02	0.07	0.08	0.07	0.06		
Conductividad (µS/cm)	190.0	120.4	150.6	70.2	128.9	130.7	170.2	130.9		
pH (Unidades de pH)	7.41	7.70	7.50	7.90	7.20	7.20	7.70	7.80	4.5 - 9	
DBO5 (mg O2/L)	30.0	10.0	10.0	2.0	15.0	15.0	15.0	10.0		
DQO (mgO2/L)	120.0	35.0	60.0	35.0	42.0	140.0	65.0	36.0		
Cianuro Libre (mg CN-/L)	N.D.	0.02	0.01	N.D.	0.01	0.02	0.01	N.D.		
Cinc (mg Zn/L)	0.10	0.20	0.12	0.01	0.09	0.06	0.05	0.05	2.0	< 0.002
Cadmio (mg Cd/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.01	< 0.0006
Mercurio (µg Hg/L)	2.19	2.23	2.25	1.89	1.52	7.28	5.32	3.05		< 0.5
Hierro (mg Fe/L)	2.05	6.02	1.57	0.94	1.32	0.75	0.68	0.50	5.0	< 0.005
Níquel (mg Ni/L)	0.04	0.04	0.03	N.D.	0.03	N.D.	N.D.	N.D.	0.2	< 0.008
Plomo (mg Pb/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	5.0	< 0.002
Cobre (mg Cu/L)	N.D.	0.20	0.05	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.2	< 0.005
Aluminio (mg Al/L)	0.70	3.21	0.62	0.50	0.72	0.50	0.30	0.30	5.0	< 0.001

NOTA : Norma según Decreto 1594/84 en lo referente al uso del agua para riego

Lim.Detec. : Cantidad Mínima Detectable por el método utilizado

N. D.: No Detectable a la cantidad mínima detectable

Tabla 15. Porcentaje de Remoción en el Embalse de Bocas del monitoreo 1

Parametros	Puntos de Muestreo			
	5	6	7	% Remocion
Sólidos Totales (mg/L)	166.0	164.0	150.0	9.64
Sólidos Suspendidos (mg/L)	2.0	2.0	2.0	0.00
Sólidos Disueltos (mg/L)	164.0	162.0	148.0	9.76
Sólidos Sedimentables (ml/L)	0.4	0.2	0.1	75.00
Turbiedad (UNT)	15.0	11.0	10.0	33.33
Salinidad (mg CaCO3/L)	0.06	0.06	0.06	0.00
Conductividad (uS/cm)	141.0	142.6	151.5	-7.45
pH (Unidades de pH)	6.96	6.98	7.14	-2.59
DBO5 (mg O2/L)	10.0	10.0	15.0	-50.00
DQO (mgO2/L)	184.5	128.5	60.5	67.21
Cianuro Libre (mg CN-/L)	0.01	0.01	N.D.	0.00
Cinc (mg Zn/L)	0.05	0.04	0.03	40.00
Cadmio (mg Cd/L)	N.D.	N.D.	N.D.	0.00
Mercurio (µg Hg/L)	0.32	0.27	0.35	-9.37
Hierro (mg Fe/L)	1.12	0.69	0.57	49.11
Níquel (mg Ni/L)	0.02	N.D.	0.03	-50.00
Plomo (mg Pb/L)	N.D.	N.D.	N.D.	0.00
Cobre (mg Cu/L)	N.D.	N.D.	N.D.	0.00
Aluminio (mg Al/L)	0.52	0.29	0.18	65.38

Tabla 16. Porcentaje de Remoción en el Embalse de Bocas del monitoreo 2

Parametros	Puntos de Muestreo			
	5	6	7	% Remocion
Sólidos Totales (mg/L)	294.0	206.0	222.0	24.49
Sólidos Suspendidos (mg/L)	78.0	56.0	58.0	25.64
Sólidos Disueltos (mg/L)	216.0	150.0	164.0	24.07
Sólidos Sedimentables (ml/L)	2.0	1.7	1.2	40.00
Turbiedad (UNT)	29.0	22.0	21.0	27.59
Salinidad (mg CaCO3/L)	0.06	0.06	0.06	0.00
Conductividad (µS/cm)	120.4	132.1	145.2	-20.60
pH (Unidades de pH)	7.25	7.11	7.64	-5.38
DBO5 (mg O2/L)	20.0	15.0	15.0	25.00
DQO (mgO2/L)	178.0	126.5	173.0	2.81
Cianuro Libre (mg CN-/L)	0.01	0.02	0.01	0.00
Cinc (mg Zn/L)	0.14	0.09	0.10	28.57
Cadmio (mg Cd/L)	N.D.	N.D.	N.D.	0.00
Mercurio (µg Hg/L)	N.D.	0.16	N.D.	0.00
Hierro (mg Fe/L)	1.82	1.42	1.16	36.26
Níquel (mg Ni/L)	N.D.	N.D.	N.D.	0.00
Plomo (mg Pb/L)	N.D.	N.D.	N.D.	0.00
Cobre (mg Cu/L)	N.D.	N.D.	N.D.	0.00
Aluminio (mg Al/L)	1.09	0.77	0.71	34.86

Tabla 17. Porcentaje de Remoción en el Embalse de Bocas del monitoreo 3

Parametros	Puntos de Muestreo			% Remocion
	5	6	7	
Sólidos Totales (mg/L)	392.0	722.0	706.0	-80.10
Sólidos Suspendidos (mg/L)	280.0	628.0	532.0	-90.00
Sólidos Disueltos (mg/L)	112.0	94.0	174.0	-55.36
Sólidos Sedimentables (ml/L)	1.5	5.0	3.1	-106.67
Turbiedad (UNT)	37.0	114.0	84.0	-127.03
Salinidad (mg CaCO3/L)	0.17	0.20	0.22	-29.41
Conductividad (µS/cm)	358.0	427.0	417.0	-16.48
pH (Unidades de pH)	7.84	7.82	7.79	0.64
DBO5 (mg O2/L)	10.0	20.0	20.0	-100.00
DQO (mgO2/L)	54.5	104.6	52.5	3.67
Cianuro Libre (mg CN-/L)	0.01	0.02	0.01	0.00
Cinc (mg Zn/L)	0.19	0.09	0.13	31.58
Cadmio (mg Cd/L)	N.D.	N.D.	N.D.	0.00
Mercurio (µg Hg/L)	8.11	3.56	4.50	44.51
Hierro (mg Fe/L)	18.30	6.95	9.79	46.50
Níquel (mg Ni/L)	N.D.	N.D.	N.D.	0.00
Plomo (mg Pb/L)	N.D.	N.D.	N.D.	0.00
Cobre (mg Cu/L)	0.01	0.04	0.06	0.00
Aluminio (mg Al/L)	10.30	4.13	6.09	40.87

Tabla 18. Porcentaje de Remoción en el Embalse de Bocas del monitoreo 4

Parametros	Puntos de Muestreo			% Remocion
	5	6	7	
Sólidos Totales (mg/L)	392.0	722.0	706.0	-80.10
Sólidos Suspendidos (mg/L)	280.0	628.0	532.0	-90.00
Sólidos Disueltos (mg/L)	112.0	94.0	174.0	-55.36
Sólidos Sedimentables (ml/L)	1.5	5.0	3.1	-106.67
Turbiedad (UNT)	37.0	114.0	84.0	-127.03
Salinidad (mg CaCO3/L)	0.17	0.20	0.22	-29.41
Conductividad (µS/cm)	358.0	427.0	417.0	-16.48
pH (Unidades de pH)	7.84	7.82	7.79	0.64
DBO5 (mg O2/L)	10.0	20.0	20.0	-100.00
DQO (mgO2/L)	54.5	104.6	52.5	3.67
Cianuro Libre (mg CN-/L)	0.01	0.02	0.01	0.00
Cinc (mg Zn/L)	0.19	0.09	0.13	31.58
Cadmio (mg Cd/L)	N.D.	N.D.	N.D.	0.00
Mercurio (µg Hg/L)	8.11	3.56	4.50	44.51
Hierro (mg Fe/L)	18.30	6.95	9.79	46.50
Níquel (mg Ni/L)	N.D.	N.D.	N.D.	0.00
Plomo (mg Pb/L)	N.D.	N.D.	N.D.	0.00
Cobre (mg Cu/L)	0.01	0.04	0.06	0.00
Aluminio (mg Al/L)	10.30	4.13	6.09	40.87

Tabla 19. Porcentaje de Remoción en el Embalse de Bocas del monitoreo 5

Parametros	Puntos de Muestreo			
	5	6	7	% Remocion
Sólidos Totales (mg/L)	132.0	55.0	122.0	7.58
Sólidos Suspendidos (mg/L)	2.0	20.0	10.0	-400.00
Sólidos Disueltos (mg/L)	130.0	35.0	112.0	13.85
Sólidos Sedimentables (ml/L)	0.4	0.3	0.4	0.00
Turbiedad (UNT)	8.0	5.0	6.0	25.00
Salinidad (mg CaCO3/L)	0.08	0.07	0.07	12.50
Conductividad (µS/cm)	191.0	168.0	170.0	10.99
pH (Unidades de pH)	7.06	6.94	7.04	0.28
DBO5 (mg O2/L)	10.0	10.0	10.0	0.00
DQO (mgO2/L)	42.0	157.0	69.0	-64.29
Cianuro Libre (mg CN-/L)	0.01	0.02	0.01	0.00
Cinc (mg Zn/L)	0.09	0.08	0.06	33.33
Cadmio (mg Cd/L)	N.D.	N.D.	N.D.	0.00
Mercurio (µg Hg/L)	10.90	6.33	2.77	74.59
Hierro (mg Fe/L)	1.20	1.10	1.00	16.67
Níquel (mg Ni/L)	N.D.	0.05	N.D.	0.00
Plomo (mg Pb/L)	N.D.	N.D.	N.D.	0.00
Cobre (mg Cu/L)	N.D.	N.D.	N.D.	0.00
Aluminio (mg Al/L)	1.23	0.52	0.13	89.43

Tabla 20. Porcentaje de Remoción en el Embalse de Bocas del monitoreo 6

Parametros	Puntos de Muestreo			
	5	6	7	% Remocion
Sólidos Totales (mg/L)	312.0	216.0	241.0	22.76
Sólidos Suspendidos (mg/L)	81.0	58.0	61.0	24.69
Sólidos Disueltos (mg/L)	231.0	158.0	180.0	22.08
Sólidos Sedimentables (ml/L)	2.0	1.7	1.5	25.00
Turbiedad (UNT)	35.0	31.0	28.0	20.00
Salinidad (mg CaCO3/L)	0.07	0.80	0.70	-900.00
Conductividad (µS/cm)	128.9	130.7	170.2	-32.04
pH (Unidades de pH)	7.20	7.20	7.70	-6.94
DBO5 (mg O2/L)	15.0	15.0	15.0	0.00
DQO (mgO2/L)	42.0	140.0	65.0	-54.76
Cianuro Libre (mg CN-/L)	0.01	0.02	0.01	0.00
Cinc (mg Zn/L)	0.09	0.06	0.50	-455.56
Cadmio (mg Cd/L)	N.D.	N.D.	N.D.	0.00
Mercurio (µg Hg/L)	1.52	7.28	5.32	-250.00
Hierro (mg Fe/L)	1.32	0.75	0.68	48.48
Níquel (mg Ni/L)	0.03	N.D.	N.D.	0.00
Plomo (mg Pb/L)	N.D.	N.D.	N.D.	0.00
Cobre (mg Cu/L)	N.D.	N.D.	N.D.	0.00
Aluminio (mg Al/L)	0.72	0.50	0.30	58.33

Figura 16. Concentración de Sólidos Totales en las agua de la zona de influencia del Embalse de Bocas durante los seis monitoreos.

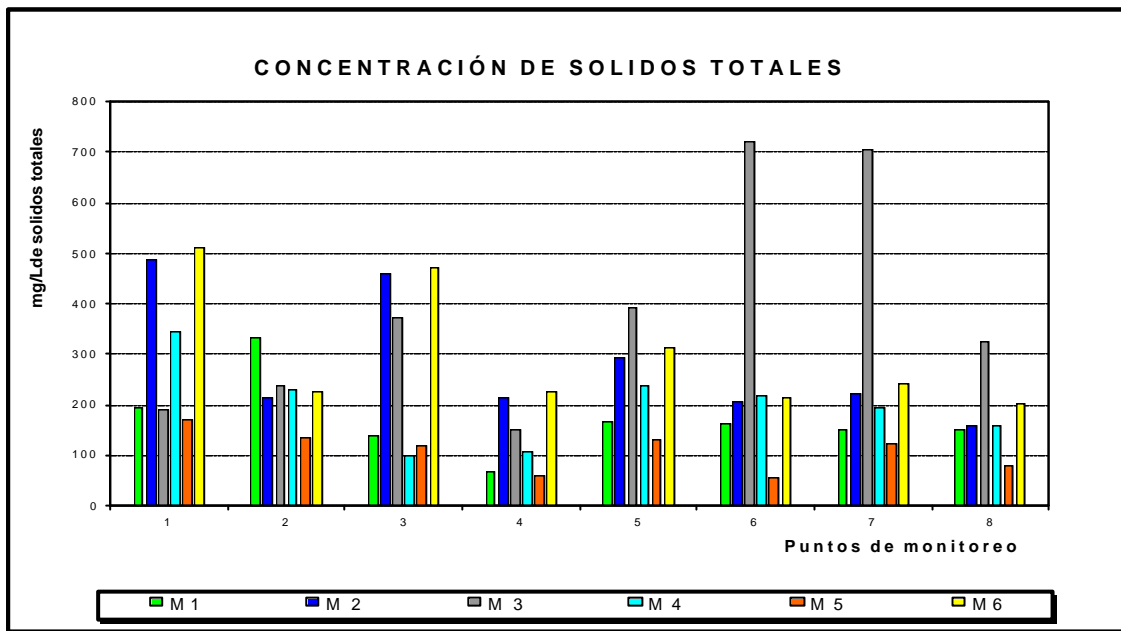


Figura 17. Concentración de Sólidos Suspendedos en las agua de la zona de influencia del Embalse de Bocas durante los seis monitoreos.

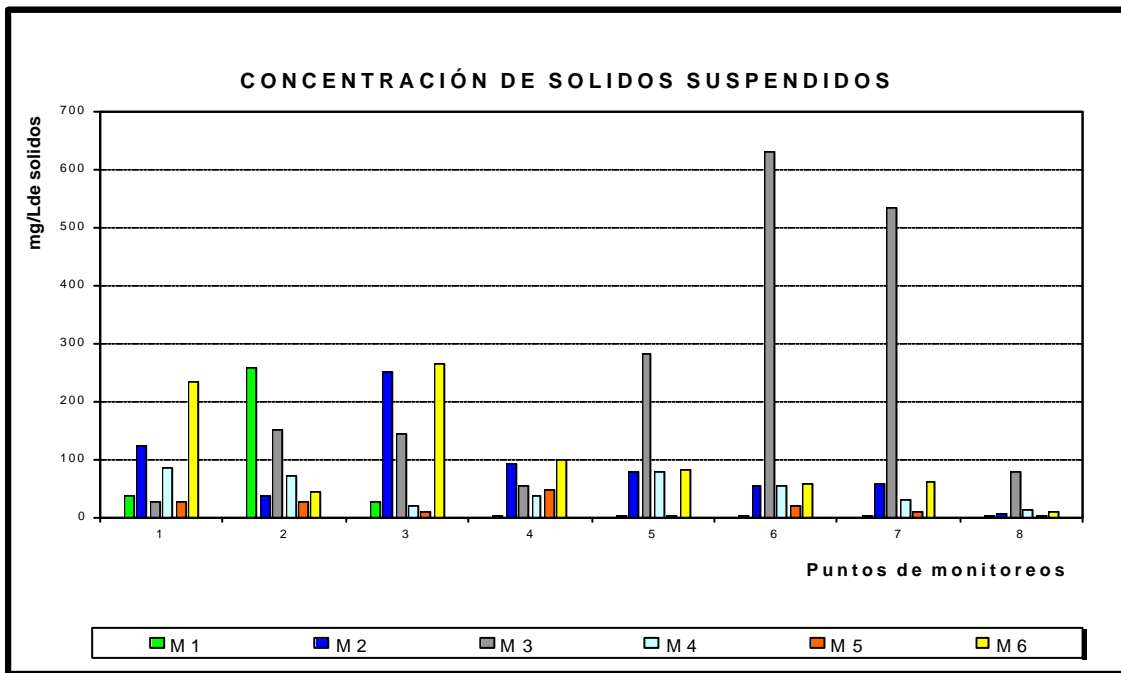


Figura 18. Concentración de Sólidos Disueltos en las agua de la zona de influencia del Embalse de Bocas durante los seis monitoreos.

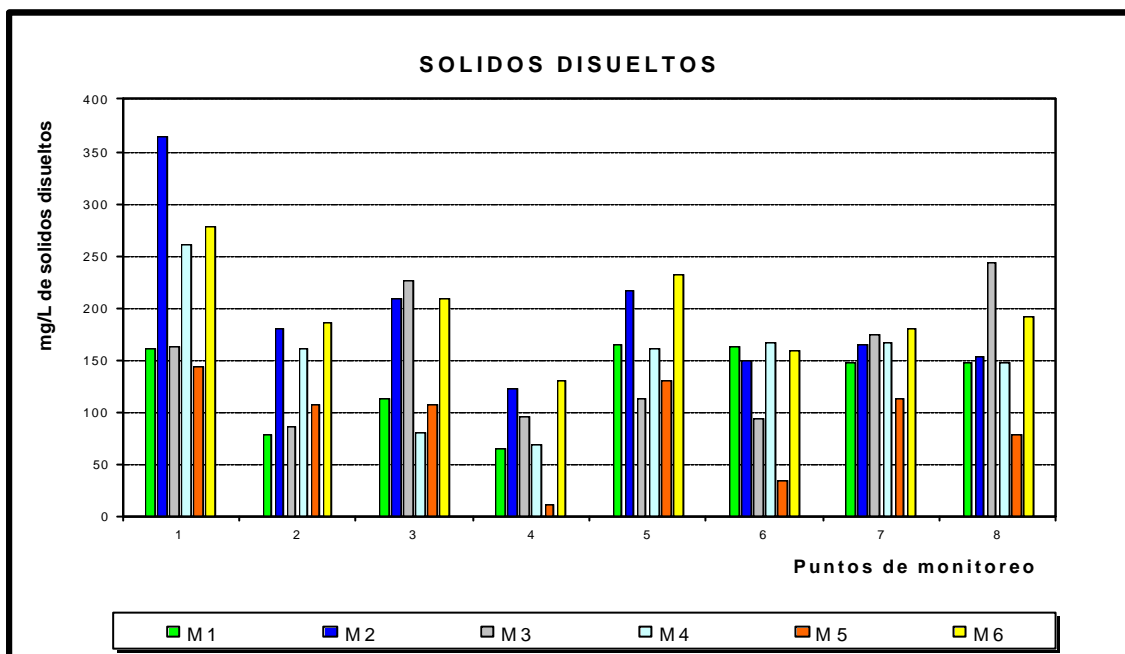


Figura 19. Concentración de Sólidos Sedimentables en las aguas de la zona de influencia del Embalse de Bocas durante los seis monitoreos.

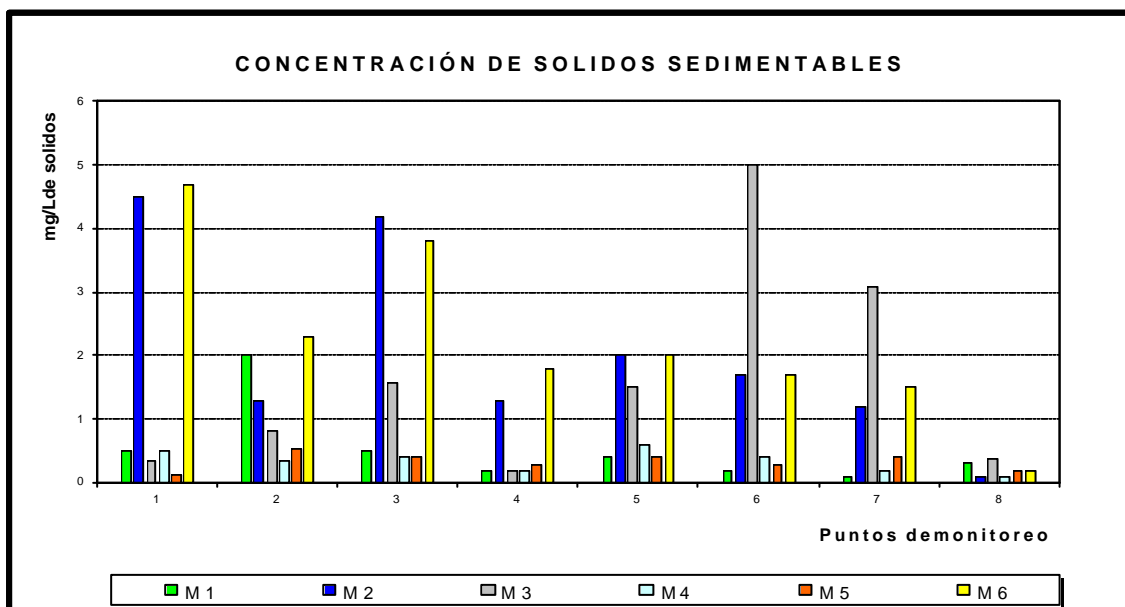


Figura 20. Turbiedad en las aguas de la zona de influencia del Embalse de Bocas durante los seis monitoreos.

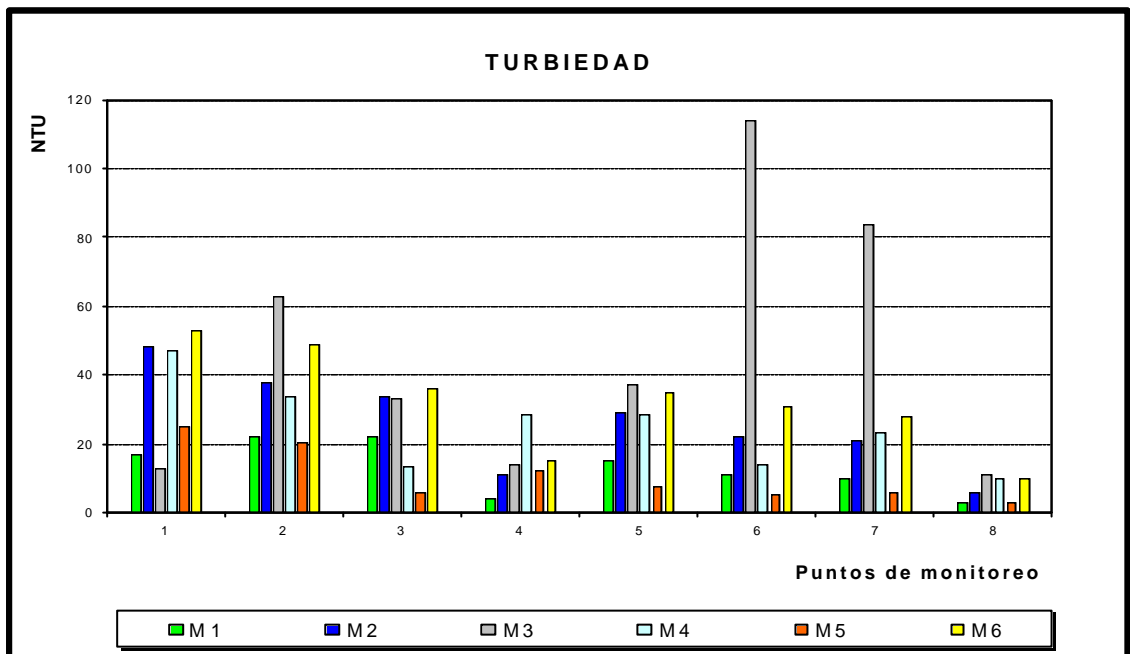


Figura 21. Salinidad en las aguas de la zona de influencia del Embalse de Bocas durante los seis monitoreos.

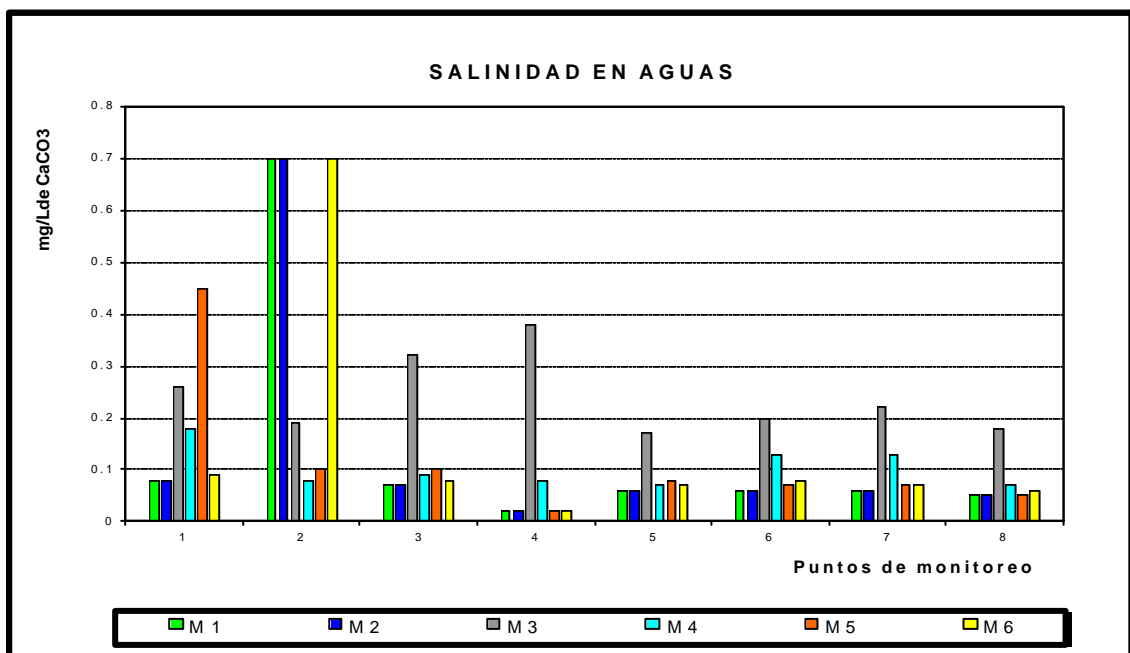


Figura 22. Conductividad en las aguas de la zona de influencia del Embalse de Bocas durante los seis monitoreos.

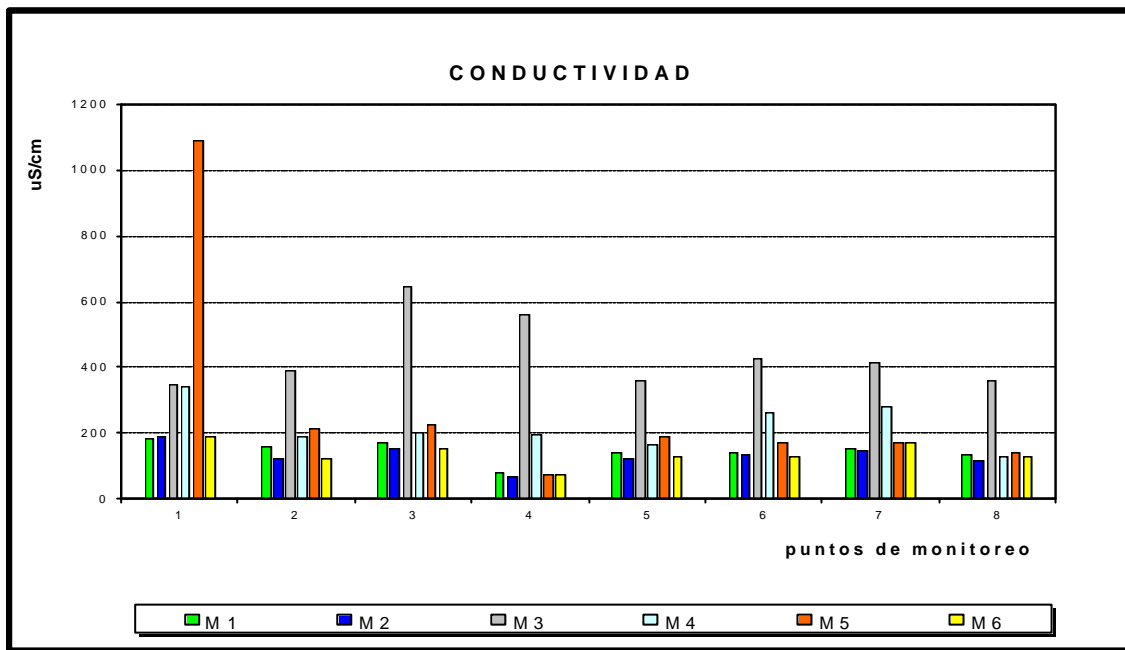


Figura 23. Valores de pH encontrados en las aguas de la zona de influencia del Embalse de Bocas durante los seis monitoreos.

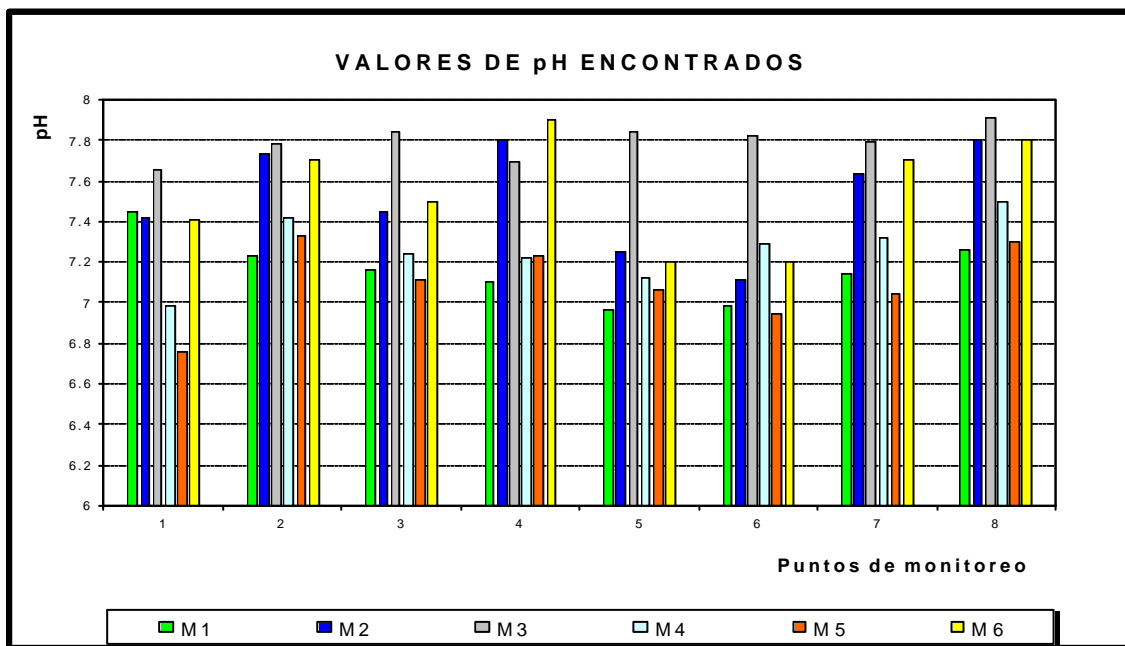


Figura 24. Concentración de Demanda Bioquímica de Oxígeno en las aguas de la zona de influencia del Embalse de Bocas durante los seis monitoreos.

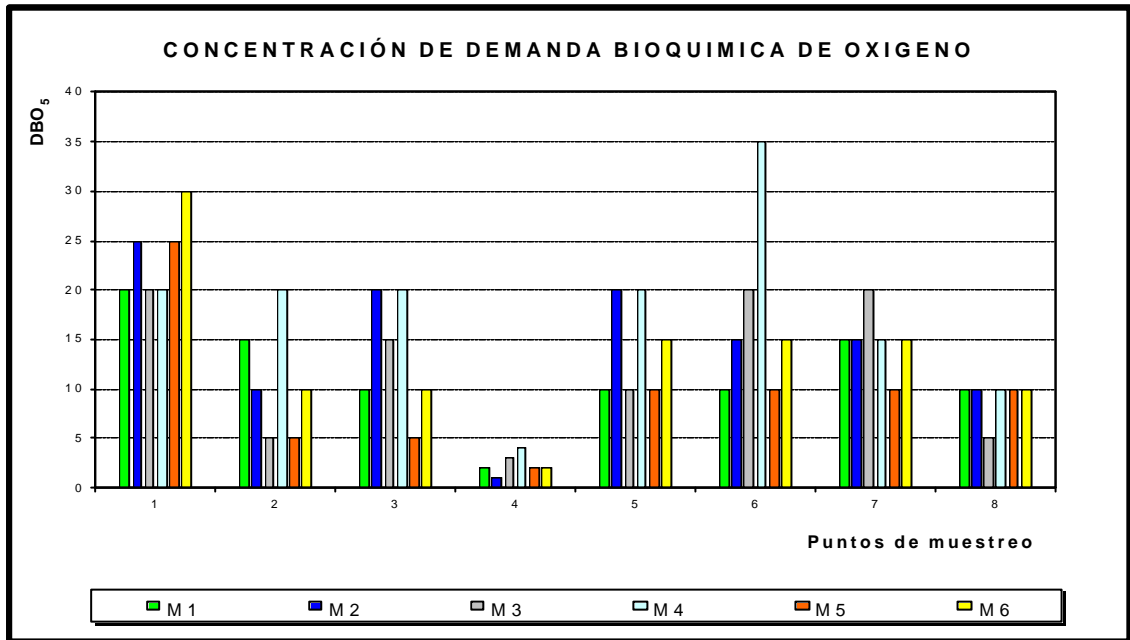


Figura 25. Concentración de Demanda Química de Oxígeno en las aguas de la zona de influencia del Embalse de Bocas durante los seis monitoreos.

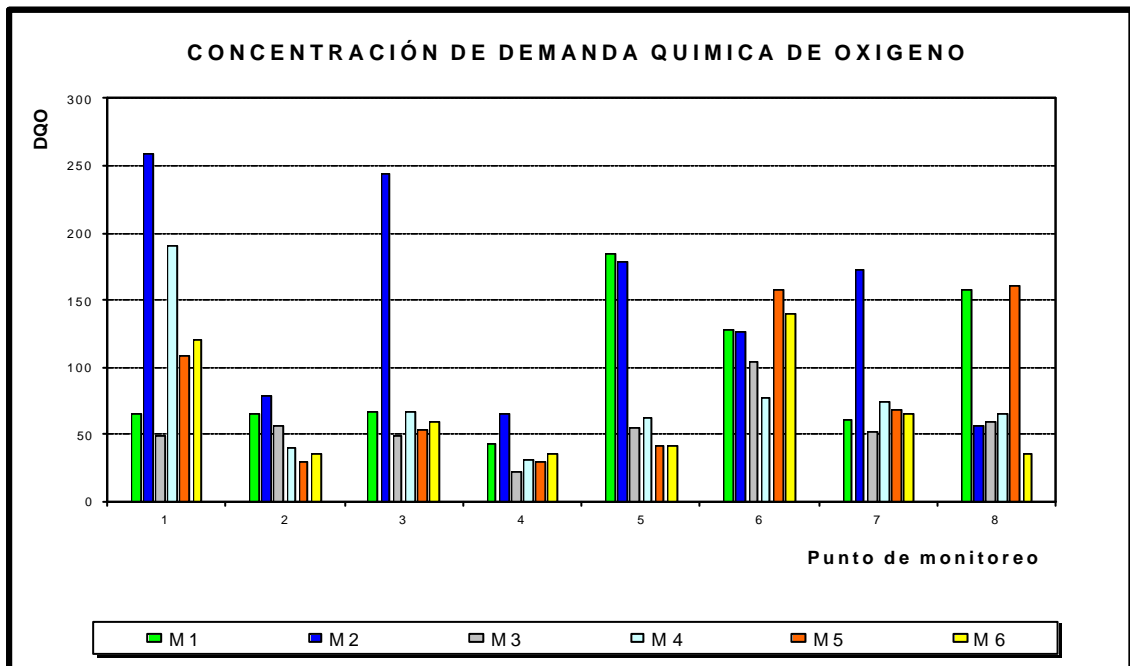


Figura 26. Concentración de Aluminio en las aguas de la zona de influencia del Embalse de Bocas durante los seis monitoreos.

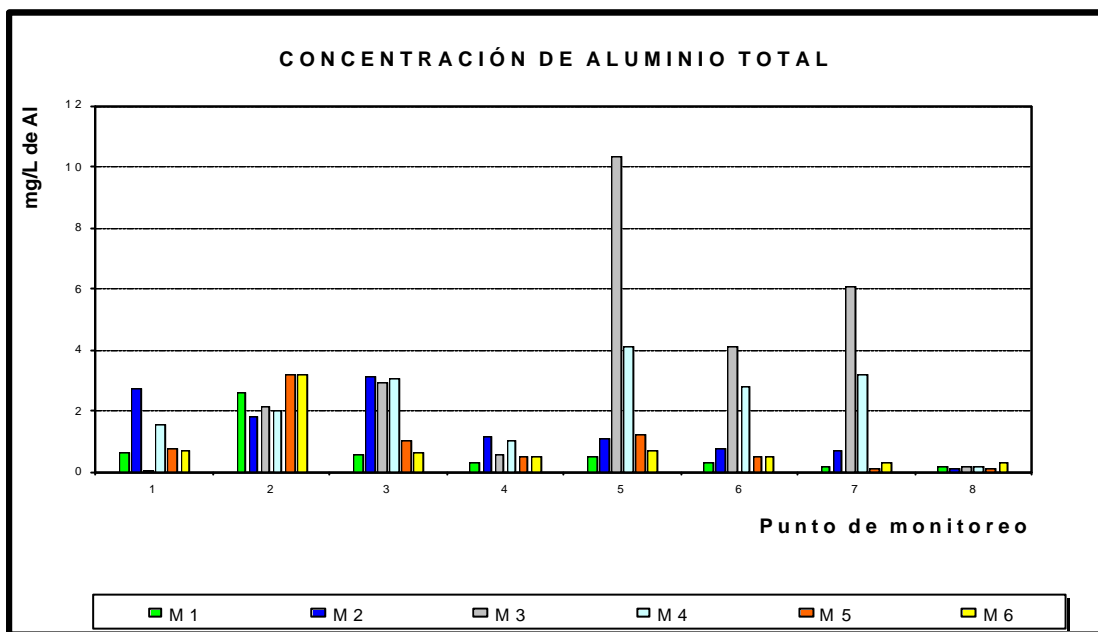


Figura 27. Concentración de Cobre en las aguas de la zona de influencia del Embalse de Bocas durante los seis monitoreos.

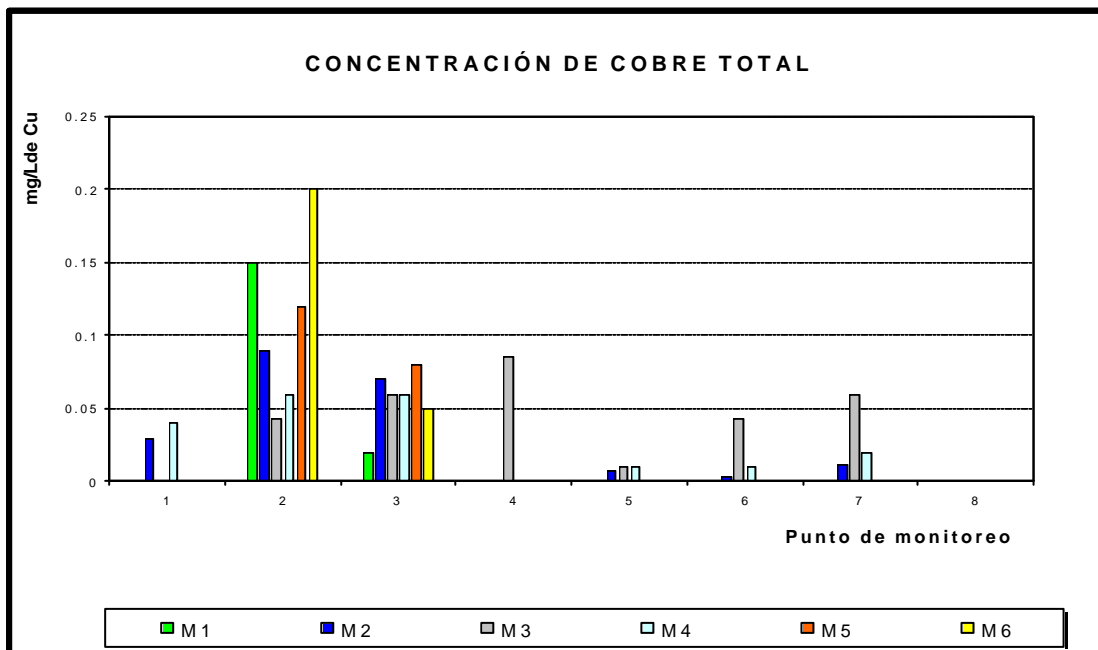


Figura 28. Concentración de Cinc en las aguas de la zona de influencia del Embalse de Bocas durante los seis monitoreos.

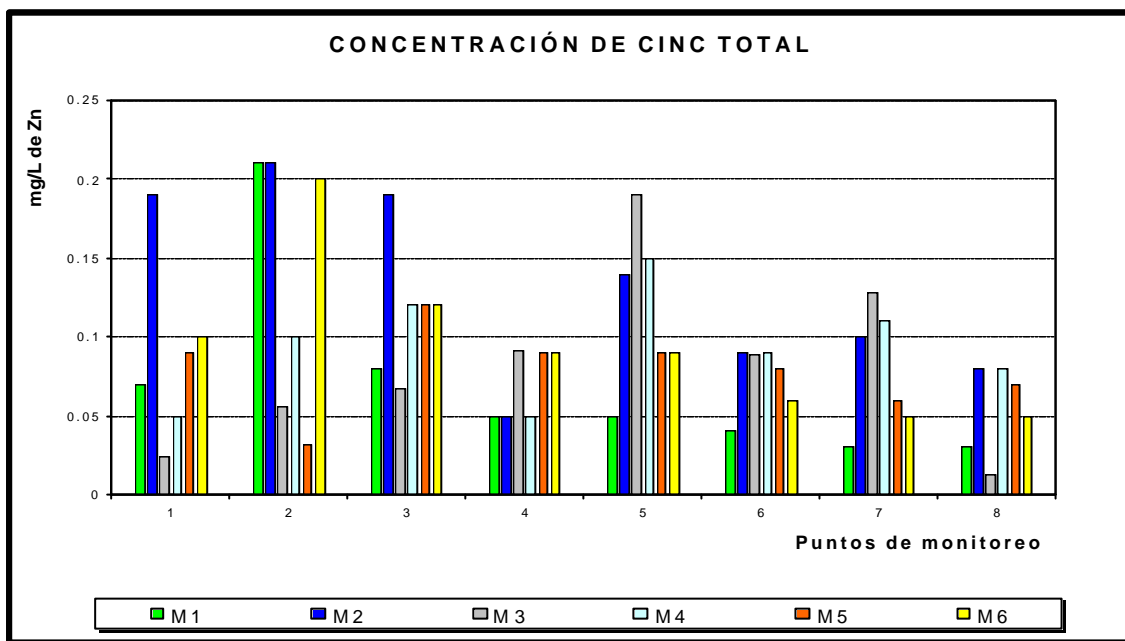


Figura 29. Concentración de Hierro en las aguas de la zona de influencia del Embalse de Bocas durante los seis monitoreos.

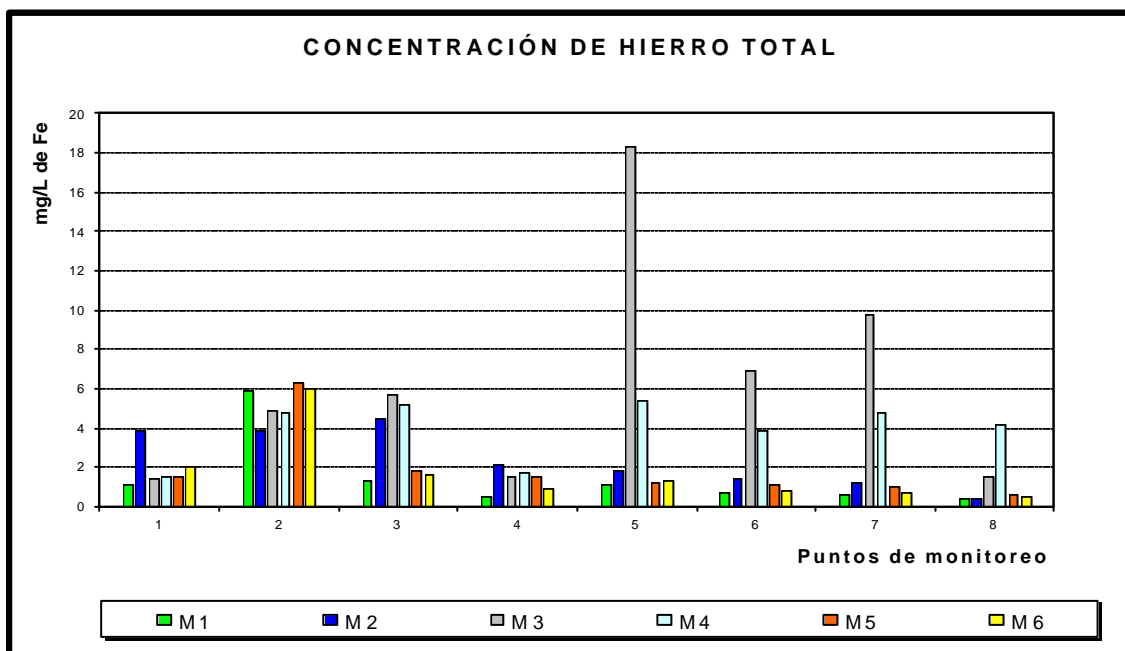


Figura 30. Concertación de Mercurio en las aguas de la zona de influencia del Embalse de Bocas durante los seis monitoreos.

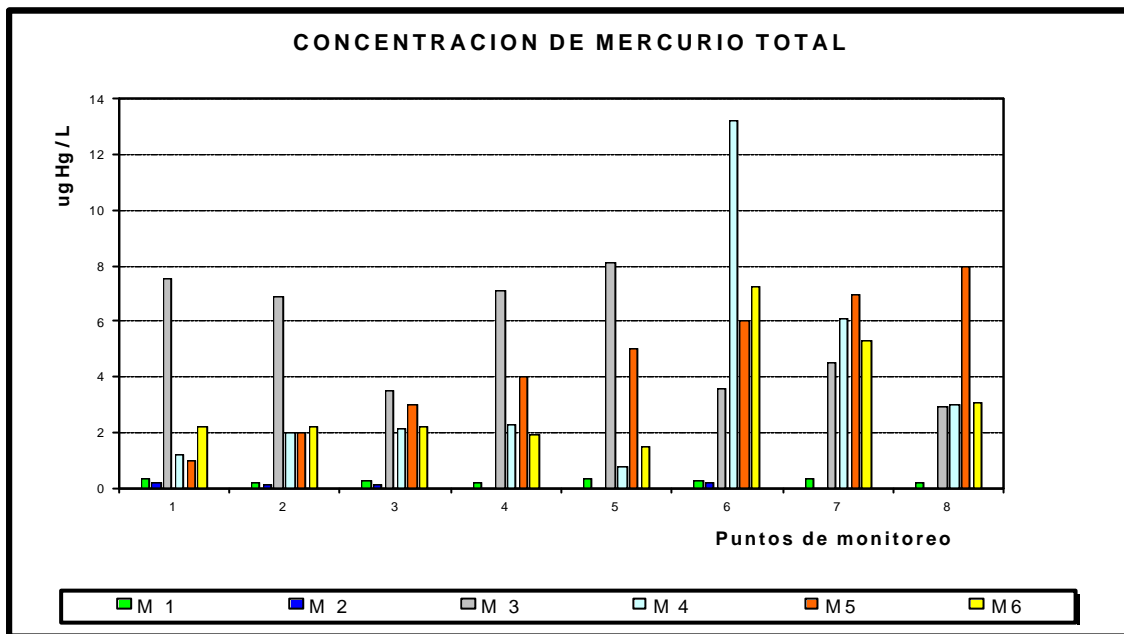


Figura 31. Concertación de Cianuro libre en las aguas de la zona de influencia del Embalse de Bocas durante los seis monitoreos.

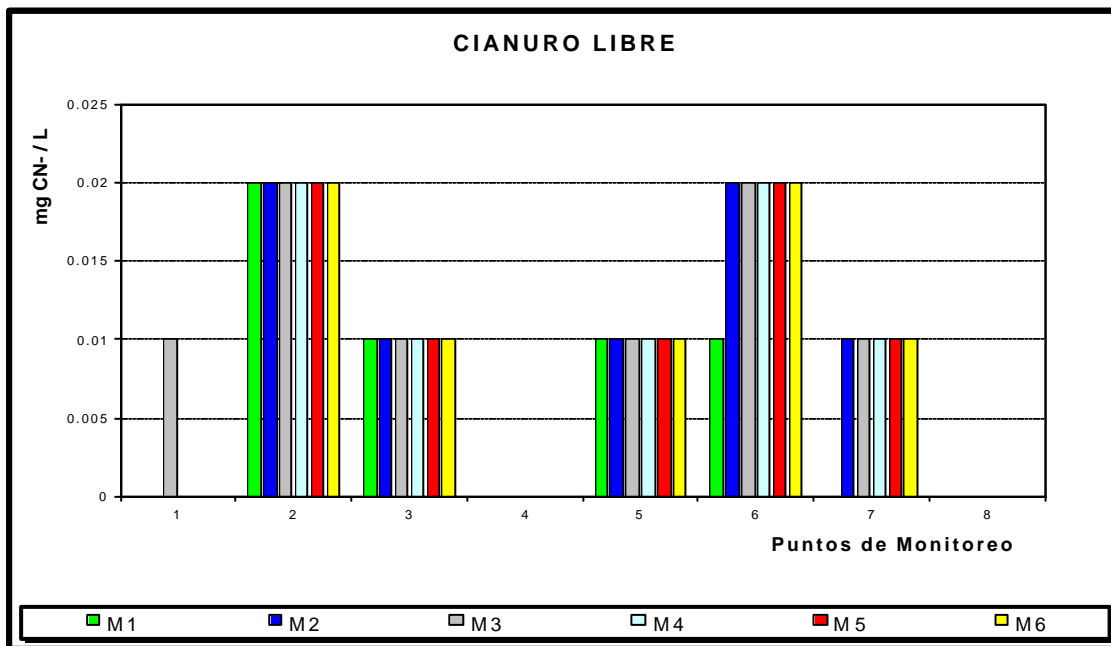
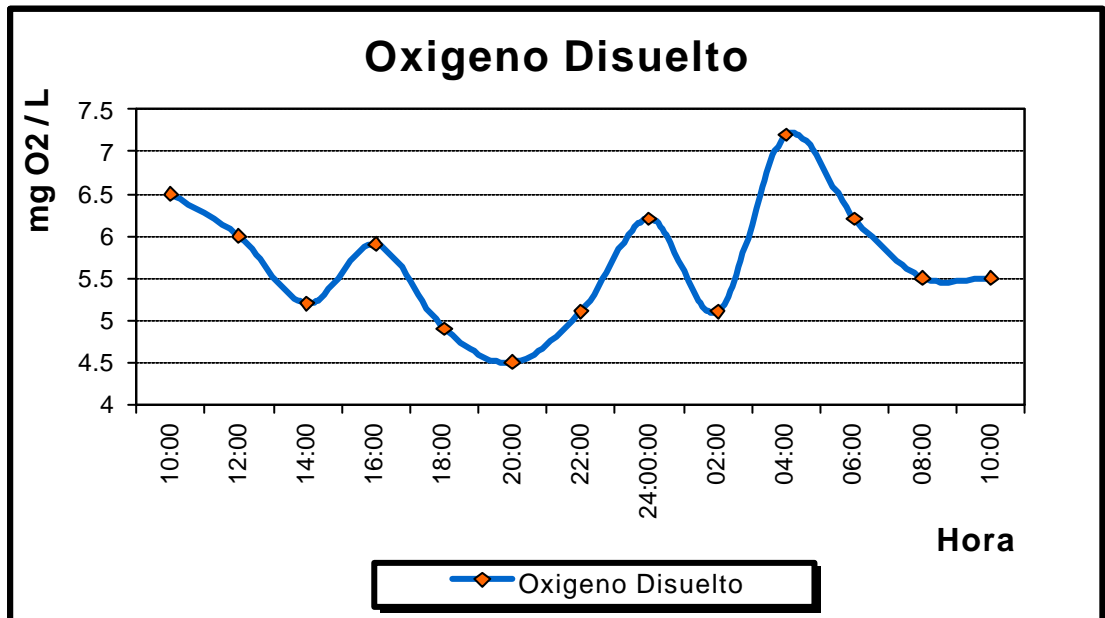


Tabla 21. Oxigeno Disuelto en el Embalse de Bocas

Oxigeno Disuelto	
Hora	mg O ₂ / L
10:00	6.5
12:00	6
14:00	5.2
16:00	5.9
18:00	4.9
20:00	4.5
22:00	5.1
24:00:00	6.2
02:00	5.1
04:00	7.2
06:00	6.2
08:00	5.5
10:00	5.5

Figura 32. Comportamiento de Oxigeno Disuelto en el Embalse durante un lapso de tiempo de 24 Horas



6.1.1 Sólidos Totales En las tablas 9, 10, 11, 12, 13 y 14, se encuentran los resultados de sólidos totales analizados para los distintos afluentes que aportan al embalse. Las concentraciones en los ocho puntos de muestreo durante los seis monitoreos dependen básicamente de las fluctuaciones de turbiedad del agua cruda.

Se puede observar en la figura 16 el comportamiento de los sólidos totales en los puntos de muestreo durante el desarrollo del estudio; este comportamiento es muy variable puesto que el clima de la región fue inestable, en los monitoreos 2 y 6 los cuales se realizaron en tiempo seco presentan una alta concentración de sólidos debido a lluvias el día anterior. También se observa una diferencia significativa en el tercer monitoreo de aguas en los puntos de muestreo 6 y 7, los cuales pertenecen al embalse de Bocas y Remolinos respectivamente; esto es debido a que en esta época la ESSA realizó su desembalse programado.

En promedio los puntos que más aportan sólidos totales en la zona de influencia del embalse según los reportes obtenidos son los puntos 1 y 2 pertenecientes al río de Oro y río Suratá. Esto se debe a que el río de Oro capta las aguas residuales, domésticas e industriales de la mayor parte del área metropolitana de Bucaramanga, arrastrando una cantidad considerable de residuos sólidos. El río Suratá, por su parte, presenta una mayor capacidad de arrastre de suelos, rocas ígneas y vegetación.

6.1.2 Sólidos Suspendidos En las tablas 9, 10, 11, 12, 13 y 14, se muestran los resultados para sólidos suspendidos. La concentración de sólidos suspendidos es muy fluctuante por argumentos expuestos.

En la figura 17 se observa que los puntos 1 y 2 son los ríos que más aportan sólidos suspendidos al río Lebrija, principal tributario del embalse. Es importante tener en cuenta que en los monitoreos 2 y 6 realizados en temporada seca presentaron un valor de concentración alto debido a precipitaciones el día anterior; en los punto 6 y 7 se observa un cambio drástico en los niveles de sólidos suspendidos en el tercer monitoreo debido al desembalse que se llevo a cabo en esta época. Esta excesiva cantidad de sólidos en suspensión puede incidir a cambios de naturaleza física en los cuerpos de aguas. Decece considerablemente la cantidad de luz que pasa a través de la capa superior de esta interfiriendo con el proceso fotosintético. La asfixia de los peces, por colmatación de las branquias, es a menudo la consecuencia de un contenido elevado de sólidos en suspensión. De igual manera inhiben el normal desarrollo de pequeños organismos de fitoplancton y altera la productividad de los peces que depende de este para su alimentación.

6.1.3 Sólidos Disueltos En las tablas 9, 10, 11, 12, 13 y 14, se encuentran los resultados de sólidos disueltos. La concentración de sólidos disueltos es muy fluctuante por los argumentos expuestos anteriormente.

En la figura 18 se observa que los puntos 1 y 2 presentan el mayor nivel de sólidos disueltos, reafirmando que son estos afluentes los mayores tributarios en cuanto a sólidos se refiere. Es importante denotar que el comportamiento que se viene presentando en el tercer monitoreo en los punto 6 y 7 no es relevante en comparación al comportamiento que presentaron los sólidos totales y suspendidos. Para los monitoreos 2 y 6 se presentó el mismo comportamiento de los sólidos analizados anteriormente, presentando una alta concentración en sólidos disueltos por precipitaciones.

6.1.4 Sólidos Sedimentables En las tablas 9, 10, 11, 12, 13 y 14, se relacionan los resultados de sólidos sedimentables. La concentración de sólidos sedimentables es muy fluctuante por lo expuesto anteriormente.

En la figura 19 se observa un comportamiento similar a los tipos de sólidos analizados anteriormente, en donde se refleja que el punto 2 y 5 en promedio proporciona mayor cantidad de sólidos sedimentables; en el punto 6 (embalse) cabe notar que en el monitoreo 3 se presenta un aumento considerable de estos sólidos ya que se realizó en temporada del desembalse programado. Los puntos 4 y 8 tienden a presentar el menor aporte de sólidos. En los monitoreo 2 y 6 el contenido de estos sólidos, de igual manera que los anteriores, es alto por las razones expuestas con anterioridad.

6.1.5 Turbiedad En las tablas 9, 10, 11, 12, 13 y 14, se muestran los resultados de turbiedad. En el agua puede ser causada por una gran variedad de materiales en suspensión y la concentración depende básicamente de los mismos.

En la figura 20 se observa que la turbiedad está relacionada con la concentración de sólidos, presentándose un comportamiento similar en cada punto, lo cual se aprecia en los puntos 6 y 7 del tercer monitoreo, con un aumento considerable debido al desembalse. Los punto 4 y 8 alcanzan valores menores con respecto a los otros puntos, y el comportamiento en los monitoreos 2 y 6, realizados en tiempo seco, indican niveles de turbiedad altos debido a las precipitaciones previas al día de monitoreo.

Según el grado de polución del RAS 2000 se pueden considerar estas aguas por sus valores promedio en cada punto como fuentes regulares por turbiedad, ya que se encuentran entre un rango de 2 a 40 NTU. (Ver tabla 5).

6.1.6 Salinidad En las tablas 9, 10, 11, 12, 13 y 14, se relacionan los resultados de salinidad para los ocho puntos de monitoreo sobre la zona de influencia del embalse de Bocas.

En la figura 21 se observa que en los monitoreos 1, 2 y 6 en el punto 2 tienen el mayor valor de salinidad en comparación con los restantes; el punto 4 en promedio es el que presenta menor salinidad; con respecto al punto 1 se dan

valores significativos en los monitoreos 3,4 y 5; para los demás puntos se presentan niveles similares de salinidad.

6.1.7 Conductividad En las tablas 9, 10, 11, 12, 13 y 14, se muestran los resultados de conductividad para los ocho puntos de monitoreo sobre la zona de influencia del embalse de Bocas.

En la figura 22 se puede observar que existe un aumento de la conductividad en los monitoreos realizados en tiempo húmedo (punto 3, 4 y 5), ya que hay una mayor presencia de iones debido a que el río arrastra sustancias iónicas presentes en el suelo.

6.1.8 pH Las tablas 9, 10, 11, 12, 13 y 14, contienen los resultados de pH para los ocho puntos de monitoreo sobre la zona de influencia del embalse de Bocas.

En la figura 23 se observa que en general todos los puntos se encuentran en un rango de pH entre 6.78 y 7.91, aceptable dentro de las normas de vertimientos, según el decreto 1594 de 1984, descritas en las tablas 2 y 3. Es importante recalcar que las aguas con un rango de pH como éste, según el grado de polución del RAS 2000, son consideradas como fuentes aceptables (ver tabla 5).

6.1.9 Demanda Bioquímica de Oxígeno En las tablas 9, 10, 11, 12, 13 y 14, se estipulan los resultados de la demanda bioquímica de oxígeno de los seis monitoreos de aguas.

En la figura 24 se observa que en promedio, el punto 1 es el contribuyente que presenta la concentración más elevada de DBO en comparación con los demás afluentes que aportan al embalse; esto es debido a la materia orgánica proveniente de aguas residuales de una gran parte de la zona metropolitana de Bucaramanga que el río de Oro recoge y transporta por su cauce. Le sigue el punto 8, el cual recoge desechos provenientes de mataderos de la región y el punto 2 que por su parte recibe y transporta las aguas residuales de los municipios de Vetás y California. Los puntos 5, 6 y 7 también muestran concentraciones apreciables de DBO ya que son el resultado de la suma de los afluentes 1, 2 y 4; además la sedimentación permite la formación de más algas y una mayor acumulación de lodos por su alto contenido de material orgánico, en especial en el punto 6. Es importante resaltar que el punto 4 es el afluente con menos concentración de DBO según muestran los análisis obtenidos en los seis monitoreos.

Para el grado de polución del RAS 2000 todos los puntos de monitoreo se consideran como afluentes muy deficientes por DBO, ya que la concentración en promedio de O_2 es mayor a 6 mg/L. (Ver tabla 5).

6.1.10 Demanda Química de Oxígeno En las tablas 9, 10, 11, 12, 13 y 14, se relacionan los resultados de la demanda química de oxígeno de los seis monitoreos de aguas.

En la figura 25 se evidencia que en promedio la concentración más alta de DBO se da en el embalse (Punto 6), debido a lo anteriormente descrito en el análisis de DBO. Al igual que en la DBO, también se observa que uno de los principales contribuyentes de DQO es el punto 1, además del gran aporte que realiza el punto 8 que refleja niveles de DQO altos para un caudal tan pequeño como lo es el de la Quebrada el Aburrido (Punto 8). El punto 4 contiene los niveles de DQO más bajos de todos los puntos analizados durante los monitoreos. Valores muy altos de DQO y muy bajos de DBO, son indicativos de la presencia de una pequeña cantidad de materia orgánica estable.

6.1.11 Cianuro Libre Las tablas 9, 10, 11, 12, 13 y 14, muestran los resultados de la concentración de cianuro libre en los ocho puntos analizados en los seis monitoreos de aguas.

Como puede observarse en la figura 31 sus valores oscilan entre 0.01 y 0.02, los cuales se mantuvieron constantes durante todos los monitoreos. Posiblemente por las fuertes corrientes de agua y además son niveles que están en el límite de detección del método empleado.

6.1.12 Cinc En las tablas 9, 10, 11, 12, 13 y 14, se relacionan los resultados de la concentración de cinc en los ocho puntos analizados en los seis monitoreos de aguas.

En la figura 28 se observa que el mayor aporte de cinc comparado con los demás sitios de muestreo proviene del punto 2, debido a la actividad minera de las regiones de Vetas y California; los puntos restantes presentan un comportamiento muy similar entre si. Es importante resaltar que las concentraciones de cinc en general son bajas, lo que le permite estar por debajo de la concentración mínima requerida para el cinc en el agua, según el decreto 1594 de 1984 en cuanto a lo referente a la destinación del recurso para uso pecuario, agrícola y consumo Humano (Ver tabla 2, 3 y 4)

6.1.13 Cadmio En las tablas 9, 10, 11, 12, 13 y 14, se observa que este metal no fue detectado a la mínima concentración posible por el método utilizado. (Concentración mínima detectable para este metal < 0.0006).

6.1.14 Mercurio En las tablas 9, 10, 11, 12, 13 y 14, se encuentran los resultados de la concentración de mercurio en los ocho puntos analizados para los seis monitoreos de aguas. Las concentraciones de este metal se encuentran por debajo del límite permitido de concentración de mercurio en agua según el decreto 1594 de 1984, en lo referente al uso de este recurso para fines de consumo humano y pecuario. (Ver tablas 2 y 4). La presencia de este metal en el río Suratá

(punto 2) es común debido a la explotación aurífera de los distritos mineros de Vetás y California (figura 30); sin embargo las concentraciones en este punto se han reducido gracias a procesos de mejoramiento en los procedimientos de extracción, reemplazando el uso del mercurio por el cianuro, además realizando capacitaciones a la población minera de la zona por medio de la CDMB y el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga. La presencia en otros puntos de monitoreo puede ser causada por el uso de pesticidas que contengan este metal y por descargas de desechos industriales.

La fracción de mercurio a lo largo del desplazamiento migratorio de la corriente constituye coloides causantes de turbidez, así como partículas de fácil sedimentación, de tal forma que el desplazamiento no resulta uniforme, sino por el contrario tiende a sedimentarse y estratificarse en el fondo y en las orillas del río. Al aumentar la turbulencia por acción de lluvias, el material sedimentado se suspende de nuevo y continúa su proceso migratorio en la corriente; esto se puede observar en la grafica 30, en los monitoreos 3, 4 y 5, donde debido a las fluctuaciones del caudal por causa de lluvias, aumenta la turbiedad y por consiguiente los niveles de mercurio en la corriente.

6.1.15 Hierro Las tablas 9, 10, 11, 12, 13 y 14, muestran los resultados de la concentración de hierro en los ocho puntos analizados para los seis monitoreos de aguas.

En la figura 29 se observa al punto 2 como el río que presenta la más alta concentración de hierro en promedio comparada con los demás puntos de muestreo. Comparando los resultados obtenidos con el decreto 1594 de 1984, el cual estipula la concentración mínima requerida del hierro en el agua para fines agrícolas, se observa a excepción del punto 2, que todos los sitios de muestreo en promedio cumplen con esta normatividad (tabla 3). El hierro no se considera como una sustancia de interés sanitario por lo tanto no está considerada en las normas de vertimientos. La presencia de este metal se puede atribuir al desplazamiento migratorio de la corriente, el cual conlleva al arrastre de rocas ígneas y arcillosas que son ricas en este metal; otras fuentes de contaminación pueden ser las industrias metalúrgicas y la corrosión de sistemas de tuberías de acero.

6.1.16 Níquel En las tablas 9, 10, 11, 12, 13 y 14, se observa que este metal no fue detectado a la mínima concentración posible por el método utilizado (concentración mínima detectable < 0.008).

6.1.17 Plomo En las tablas 9, 10, 11, 12, 13 y 14, se observa que el plomo no fue detectado a la mínima concentración permitida por el método utilizado. (concentración mínima detectable < 0.002).

6.1.18 Cobre En las tablas 9, 10, 11, 12, 13 y 14, se encuentran los resultados de la concentración de cobre en los ocho puntos de muestreo, para los seis monitoreos de aguas.

La figura 27 muestra que el punto 2 presenta en promedio los niveles más altos en concentración de cobre, comparado con los demás sitios de monitoreo, debido principalmente a la actividad minera presente en el río Suratá; además, a lo largo del curso del cauce hay problemas de erosión que contribuyen al arrastre de sedimentos que contienen este metal.

El cobre se considera como una sustancia de interés sanitario. Respecto al decreto 1594 de 1984 los valores de concentración no sobrepasan los niveles permitidos para uso humano, uso agrícola y pecuario. (Tabla 2, 3 y 4).

6.1.19 Aluminio En las tablas 9, 10, 11, 12, 13 y 14, están relacionados los resultados de la concentración de aluminio en los ocho puntos de muestreo, para los seis monitoreos de aguas.

Según la figura 26 se establece que el punto con más concentración de aluminio es el del río Suratá (punto 2), atribuido a la planta de tratamiento de agua del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga, por el uso de Sulfato de Aluminio (Alumbre), como coagulante en el proceso de potabilización del agua. En los demás puntos se muestra concentraciones promedio mas bajas con respecto al

punto 2, atribuibles a la presencia de este metal en fuentes naturales o industriales. Las concentraciones obtenidas de aluminio en los sitios de monitoreo, se encuentran por debajo de la norma de vertimiento en el decreto 1594 de 1984, con relación al uso de este recurso para fines agrícolas y pecuarios.

6.1.20 Porcentaje de Remoción en el embalse de Bocas En las tablas 15, 16, 17, 18, 19 y 20 se establecen los porcentajes de remoción entre la entrada y salida del embalse (puntos 5 y 7), para cada uno de los parámetros analizados en el agua durante los seis monitoreos.

El porcentaje de remoción se ve afectado básicamente por la variación del clima en la zona, perturbando el caudal del río en temporada húmeda de una forma considerable, además teniendo en cuenta que las características del agua en una muestra de río en un punto y momento dado no son iguales a las tomadas pasado un instante, y a que es difícil calcular con exactitud el tiempo que tarda el agua en el recorrido del punto de entrada al punto de salida del embalse; se observan fluctuaciones y porcentajes de remoción negativos para algunos de los parámetros analizados comparando los resultados de un monitoreo con otro.

6.1.21 Oxígeno Disuelto en el embalse de Bocas En la tabla 21 se observan los resultados obtenidos para el oxígeno disuelto en el punto 6 (Embalse de Bocas) durante un monitoreo realizado en un periodo de 24 horas.

Se puede observar en la figura 32 que la concentración de oxígeno disuelto disminuye durante el transcurso del día, siendo el punto más crítico las 10 de la noche con un valor de 4.5 mg / L, debido a: 1) La oxidación bacteriana de la materia orgánica suspendida y disuelta procedente de afluentes que aportan al embalse como lo son los ríos; Oro, Suratá, Negro y Quebrada El Aburrido, 2) Por la demanda de oxígeno de los fangos y depósitos de Bentos los cuales se forman por materia demasiado pesada para mantenerse en suspensión. Aunque la mayoría del fango sufre una descomposición anaerobia, lo cual es un proceso relativamente lento, la descomposición aerobia puede tener lugar en la interfase entre el fango y el agua que fluye, 3) La falta de energía solar, la cual permite que la vida vegetal dentro del embalse no genere oxígeno mediante fotosíntesis.

También se presenta un aumento gradual de oxígeno disuelto en las primeras horas del día debido a que la actividad biológica aumenta gracias a la acción de la energía solar, después de las 10 de la mañana se nota una disminución gradual ya que la actividad humana afecta en una gran parte la turbiedad, lo que conlleva a que estas partículas en suspensión no permitan el paso de los rayos solares y así disminuya la actividad fotosintética.

6.2 ANÁLISIS Y RESULTADOS DE SEDIMENTOS EN EL EMBALSE DE BOCAS

Los resultados obtenidos se determinaron con el fin de obtener patrones de comportamiento para los diferentes parámetros analizados a tres profundidades (0, 1 y 2 metros) en las cinco áreas en que fue dividido el embalse de Bocas; además se analizaron los posibles usos con base en estos resultados, en los parámetros planteados al iniciar el proyecto y teniendo en cuenta la procedencia de estos sedimentos los cuales tienen concentraciones de elementos que actúan como nutrientes en los suelos. Para tal fin los resultados se compararon con las normas EPA parte 503, las cuales hacen referencia al nivel máximo permitido de polución para aplicaciones de los sedimentos en los suelos.

Tabla 22. Resultados primer monitoreo de sedimentos

PARAMETRO	PUNTO DE MUESTREO														
	1			2			3			4			5		
	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
PROFUNDIDAD(m)															
Fósforo (mg P/Kg)	92.0	128.2	51.6	74.1	103.6	45.1	111.3	162.9	94.7	171.3	135.1	160.9	130.6	112.0	98.6
Fósforo (mg P ₂ O ₅ /Kg)	210.7	293.6	118.2	169.7	137.2	217.8	254.8	373.0	216.9	392.4	209.5	368.6	237.2	256.6	225.6
Materia Orgánica (%)	7.7	7.6	3.4	7.8	11.0	11.0	4.4	8.3	9.7	8.9	6.0	10.9	2.4	8.1	12.3
Carbono (%)	4.5	4.4	2.0	5.5	6.4	6.4	2.5	4.8	5.6	5.2	3.5	6.3	1.4	4.7	7.1
Nitrógeno (%)	0.4	0.4	0.2	0.6	0.6	0.6	0.3	0.4	0.5	0.4	0.3	0.5	0.1	0.4	0.6
Potasio (mg K/Kg)	32.0	29.5	39.4	29.9	29.0	24.9	27.4	28.3	23.8	28.3	29.0	19.6	34.4	32.7	26.2
Calcio (mg Ca/Kg)	121.3	187.8	563.5	421.0	424.1	212.1	212.1	341.5	236.3	290.8	272.7	48.5	303.0	290.8	375.7
Magnesio (mg Mg/Kg)	85.8	115.1	277.9	93.6	97.5	49.7	143.4	92.6	40.2	92.6	108.2	32.2	209.7	158.0	87.8
Aluminio (mg Al/Kg)	460.0	250.2	397.1	281.7	250.2	113.8	460.0	313.1	187.9	281.7	376.1	250.2	491.5	407.6	334.1
Cobre (mg Cu/Kg)	3.3	3.3	2.3	2.3	2.3	2.3	3.3	1.9	1.4	4.4	2.3	1.9	2.3	1.3	2.3
Cinc (mg Zn/Kg)	12.9	9.9	11.0	16.7	16.0	16.3	12.1	15.9	13.3	19.0	15.7	16.7	13.3	14.6	20.9
Cadmio (mg Cd/Kg)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2
Mercurio (µg Hg/Kg)	7.0	3.2	2.6	0.5	2.0	2.4	1.2	2.3	0.2	0.2	1.3	1.2	2.0	0.2	0.8
Hierro (mg Fe/Kg)	1185.2	766.3	1253.3	929.6	844.4	708.2	1304.4	1048.9	810.4	1117.0	1031.8	878.5	1185.2	1202.2	1065.9
Níquel (mg Ni/Kg)	1.4	0.8	1.4	0.9	0.8	0.5	1.2	1.0	0.8	1.1	1.1	1.0	1.2	1.1	1.1
Plomo (mg Pb/Kg)	2.8	2.1	2.1	1.3	1.7	2.3	2.1	1.9	3.4	2.8	2.5	2.3	2.6	2.3	2.8
Manganeso (mg Mn/Kg)	29.9	28.2	40.5	41.7	28.8	20.0	41.7	41.1	27.0	37.6	33.5	18.8	39.3	34.6	31.7
Silicio (mg Si/Kg)	854.7	1059.0	520.4	1263.3	1597.6	1114.7	2377.7	1950.5	1541.9	2080.5	1690.1	1746.2	2117.6	1244.8	2154.8

Tabla 23. Resultados segundo monitoreo de sedimentos

PARAMETRO	PUNTO DE MUESTREO														
	1			2			3			4			5		
	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
PROFUNDIDAD(m)															
Fósforo (mg P/Kg)	98.3	130.5	50.6	80.3	105.7	50.2	130.5	160.6	91.7	198.3	138.3	160.1	110.6	112.8	99.7
Fósforo (mg P2O5/Kg)	224.8	295.6	118.2	180.7	238.2	218.2	258.3	374.0	217.3	394.8	310.5	369.0	257.9	257.3	226.1
Materia Orgánica (%)	7.9	7.8	3.6	8.0	11.6	11.3	5.4	9.1	9.8	9.6	6.6	11.1	3.5	9.1	13.5
Carbono (%)	4.6	4.5	2.1	4.7	6.7	6.6	3.1	5.3	5.7	5.5	3.8	3.4	2.0	5.3	7.8
Nitrógeno (%)	0.4	0.4	0.2	0.4	0.6	0.6	0.3	0.5	0.5	0.5	0.3	0.6	0.2	0.5	0.7
Potasio (mg K/Kg)	32.9	29.9	40.0	30.2	29.4	25.1	29.4	29.0	24.0	32.9	33.0	22.9	36.4	34.8	28.3
Calcio (mg Ca/Kg)	130.2	188.4	563.5	415.3	424.7	215.1	215.1	263.4	267.6	294.8	277.7	49.8	315.0	294.8	381.6
Magnesio (mg Mg/Kg)	90.2	116.2	278.6	95.0	98.0	49.9	153.4	93.0	73.8	95.3	110.4	36.4	210.8	160.3	89.3
Aluminio (mg Al/Kg)	465.5	252.2	403.1	286.5	252.2	117.1	465.5	318.4	199.5	286.8	382.1	256.9	496.7	413.7	339.2
Cobre (mg Cu/Kg)	3.5	3.5	2.6	2.6	2.6	2.6	3.5	1.9	1.5	4.8	2.6	2.1	2.6	1.3	2.6
Cinc (mg Zn/Kg)	15.0	11.4	13.0	18.1	18.0	18.8	14.5	17.7	15.2	21.4	17.6	18.2	15.2	17.0	22.5
Cadmio (mg Cd/Kg)	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2
Mercurio (µg Hg/Kg)	6.1	3.3	3.2	1.0	1.9	2.7	1.3	3.0	0.2	0.2	1.9	1.6	2.0	0.3	0.9
Hierro (mg Fe/Kg)	1275.2	867.3	1435.3	1030.6	1044.4	908.2	1504.4	1284.0	1010.7	1371.0	1131.4	1087.2	1258.5	1420.8	1256.1
Níquel (mg Ni/Kg)	1.5	1.0	1.6	1.0	1.0	0.7	1.4	1.2	1.0	1.3	1.3	1.3	1.4	1.3	1.3
Plomo (mg Pb/Kg)	2.9	2.1	2.1	1.4	2.0	2.3	2.1	2.0	3.4	2.8	2.5	2.3	2.7	2.3	2.9
Manganeso (mg Mn/Kg)	32.4	28.9	40.9	43.7	29.2	20.1	47.4	41.9	27.9	39.7	37.5	20.8	42.3	38.6	35.8
Silicio (mg Si/Kg)	910.7	1060.2	521.3	1531.8	1610.3	1120.5	2420.0	1983.7	1598.9	2180.5	1710.1	1864.3	2271.7	1345.6	2245.3

Figura 33. Concentración de Fósforo obtenida a tres profundidades en el primer monitoreo de sedimentos.

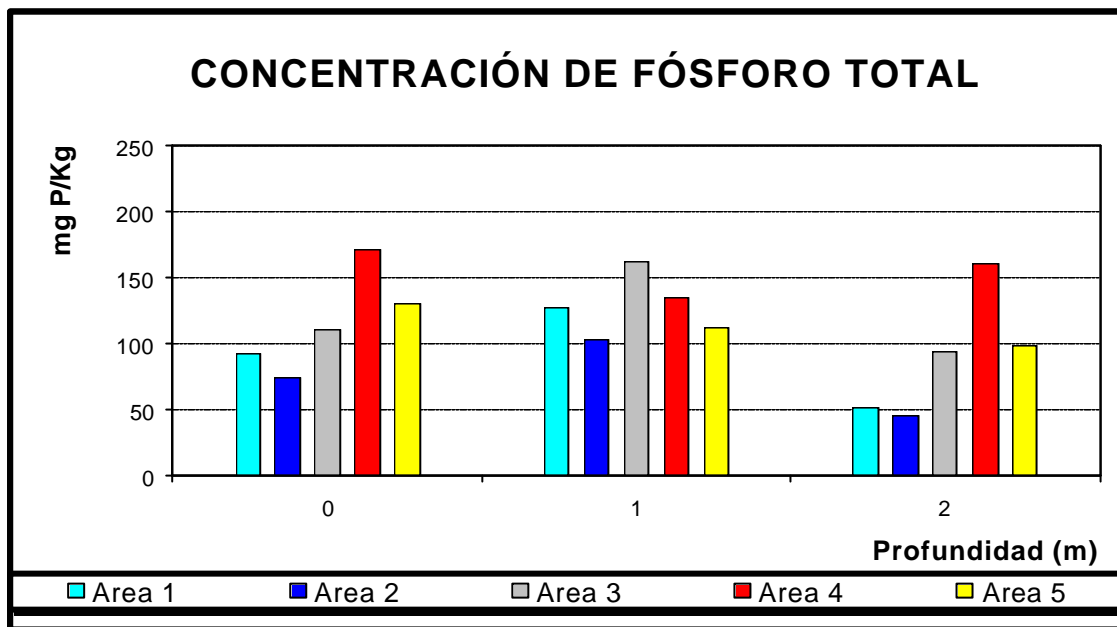


Figura 34. Concentración de Fósforo obtenida a tres profundidades en el segundo monitoreo de sedimentos.

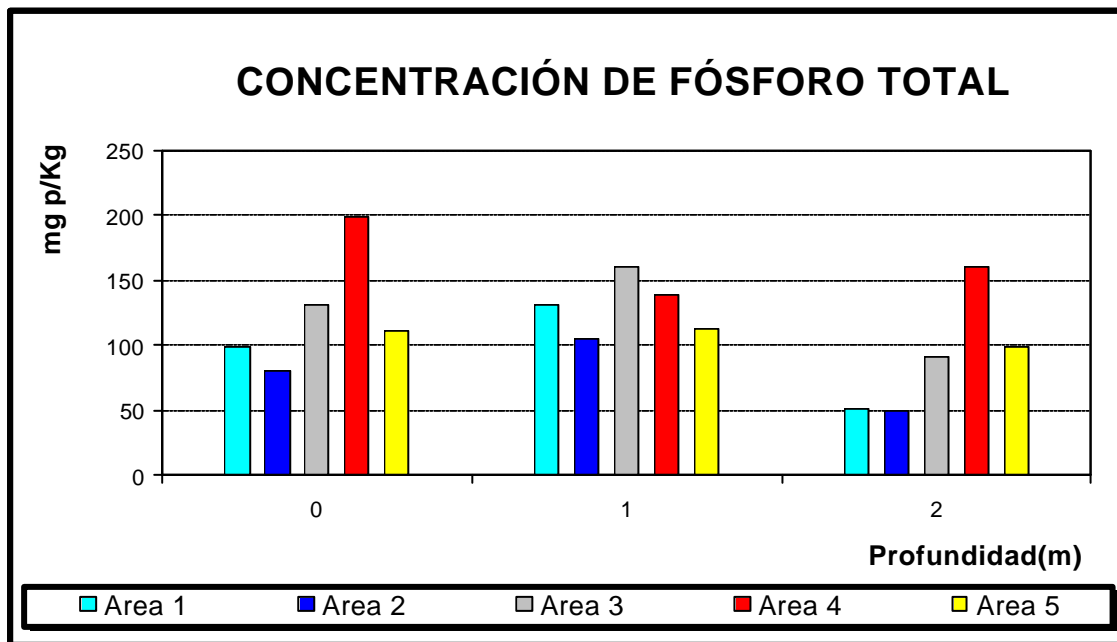


Figura 35. Concentración de Fósforo (P_2O_5) obtenida a tres profundidades en el primer monitoreo de sedimentos.

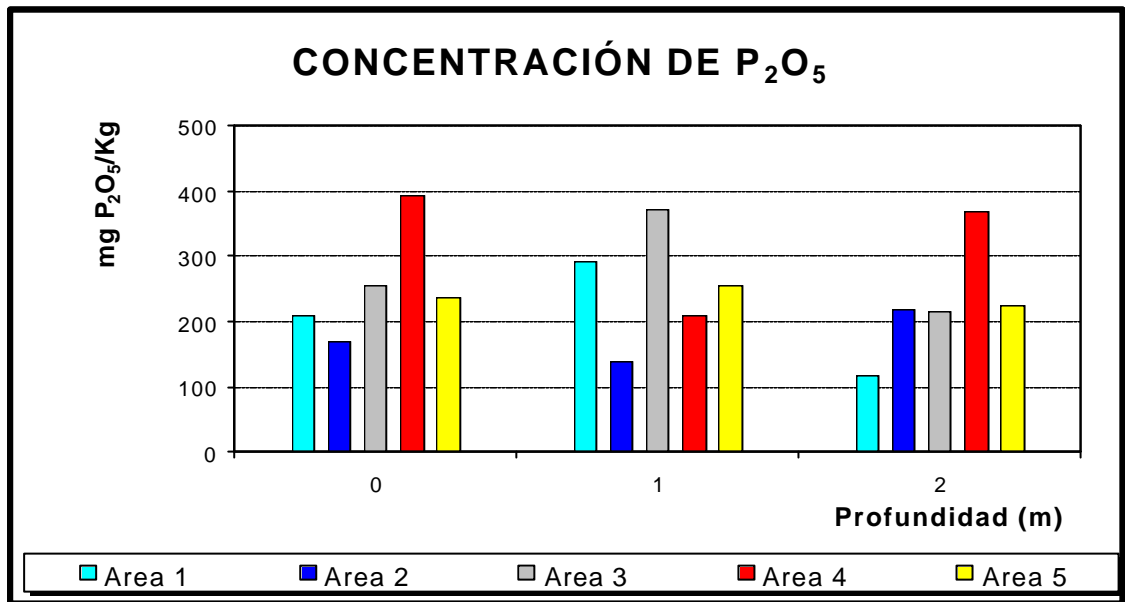


Figura 36. Concentración de Fósforo (P_2O_5) obtenida a tres profundidades en el segundo monitoreo de sedimentos.

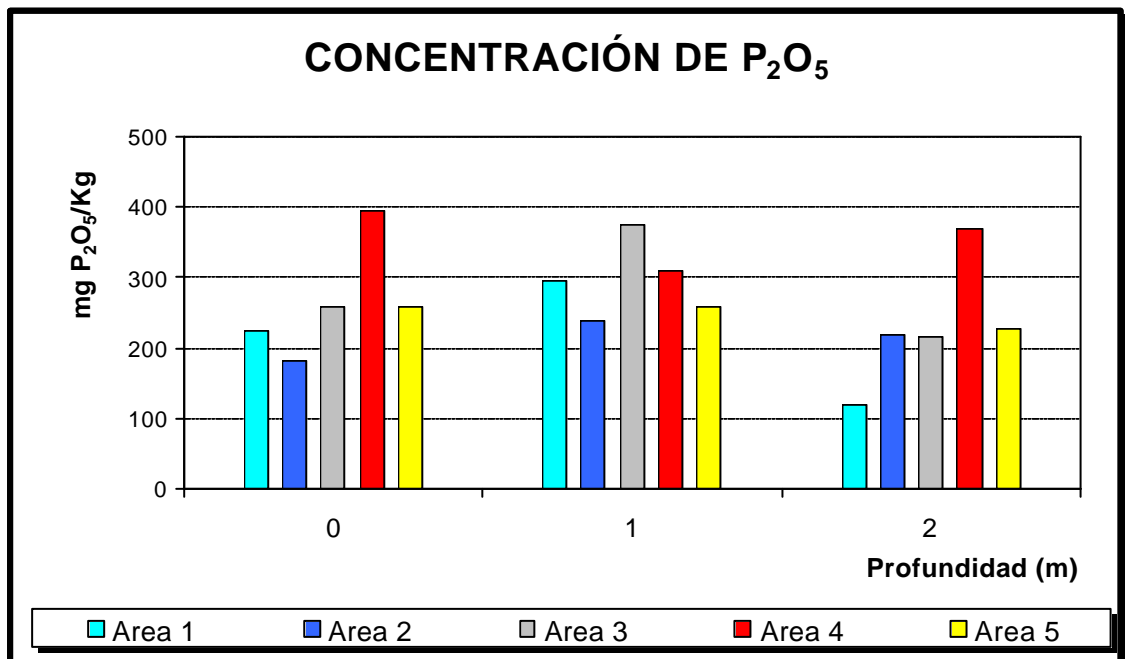


Figura 37. Porcentaje de materia orgánica obtenido a tres profundidades en el primer monitoreo de sedimentos.

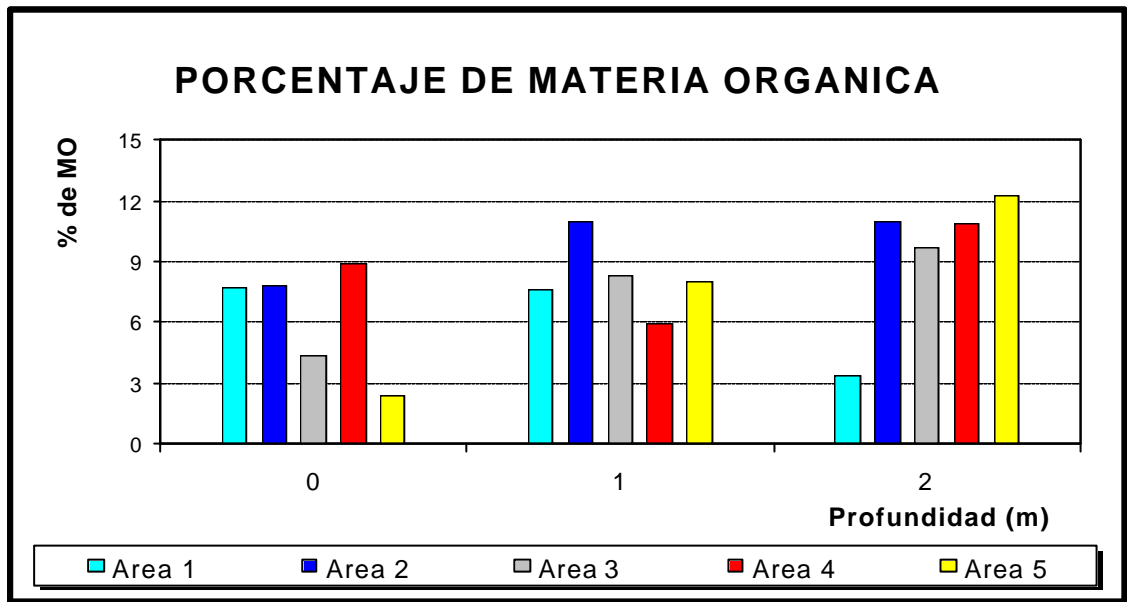


Figura 38. Porcentaje de materia orgánica obtenido a tres profundidades en el segundo monitoreo de sedimentos.

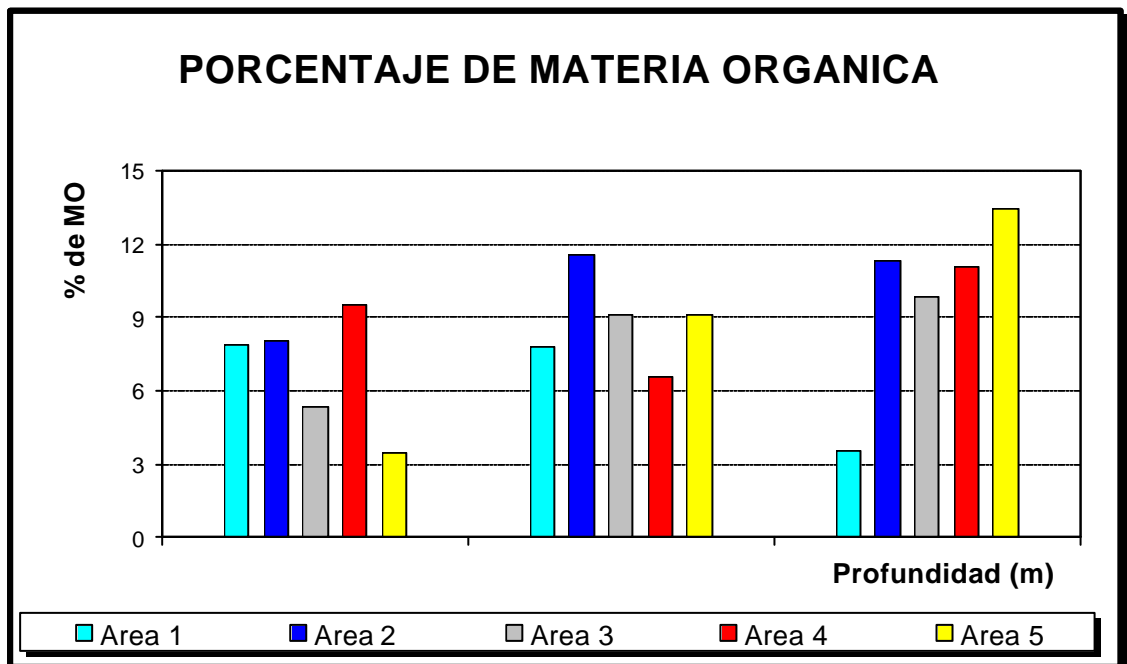


Figura 39. Porcentaje de carbono obtenido a tres profundidades en el primer monitoreo de sedimentos.

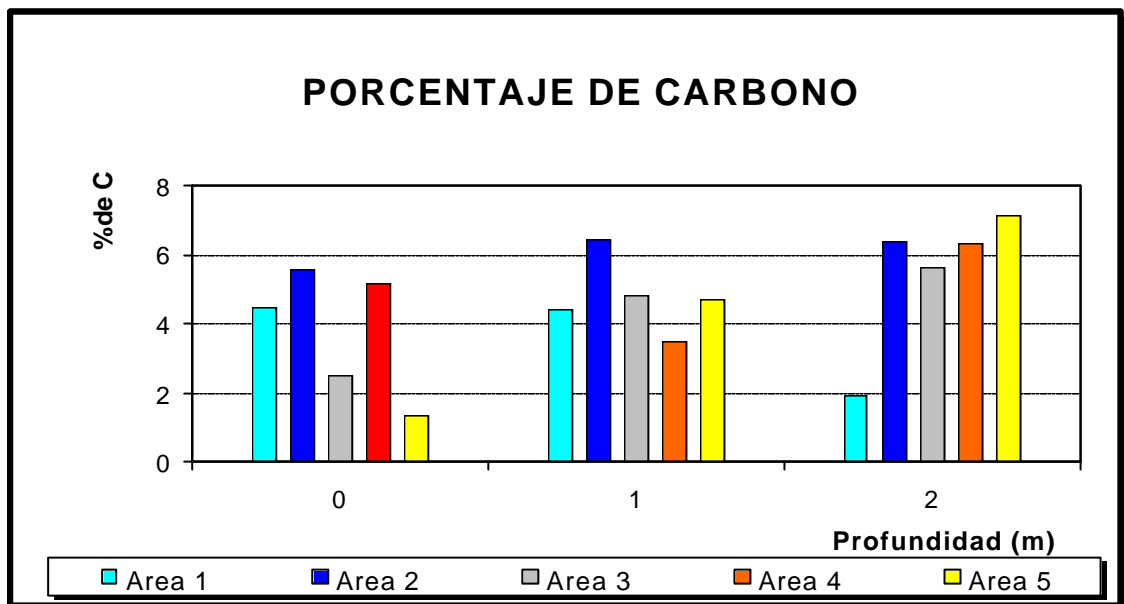


Figura 40. Porcentaje de carbono obtenido a tres profundidades en el segundo monitoreo de sedimentos.

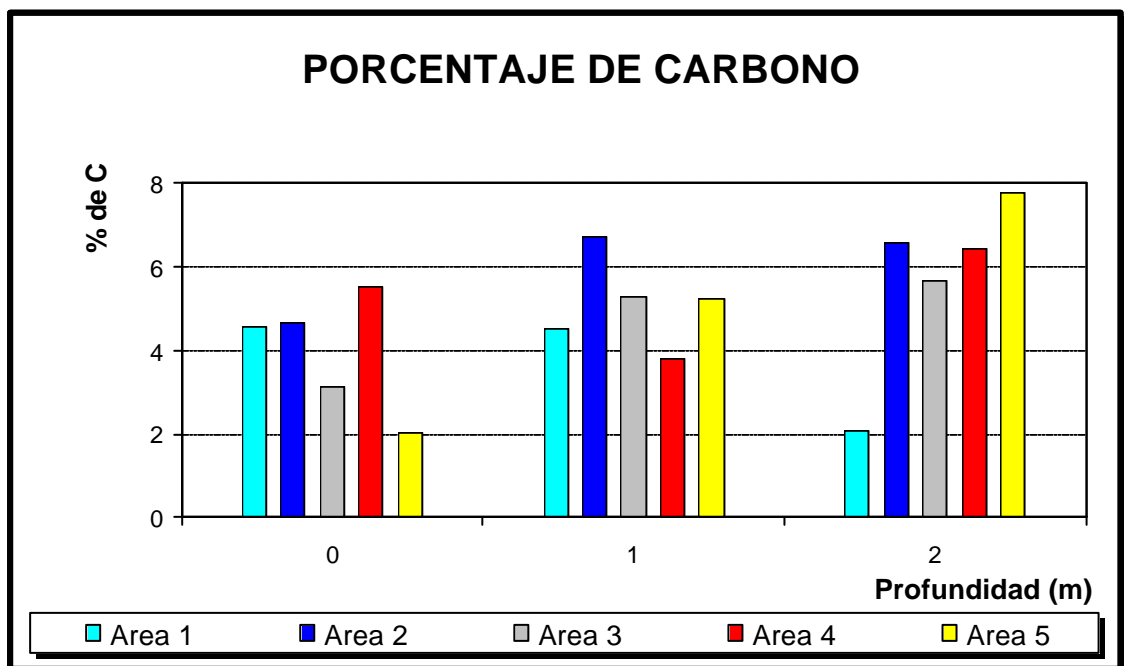


Figura 41. Porcentaje de Nitrógeno obtenido a tres profundidades en el primer monitoreo de sedimentos.

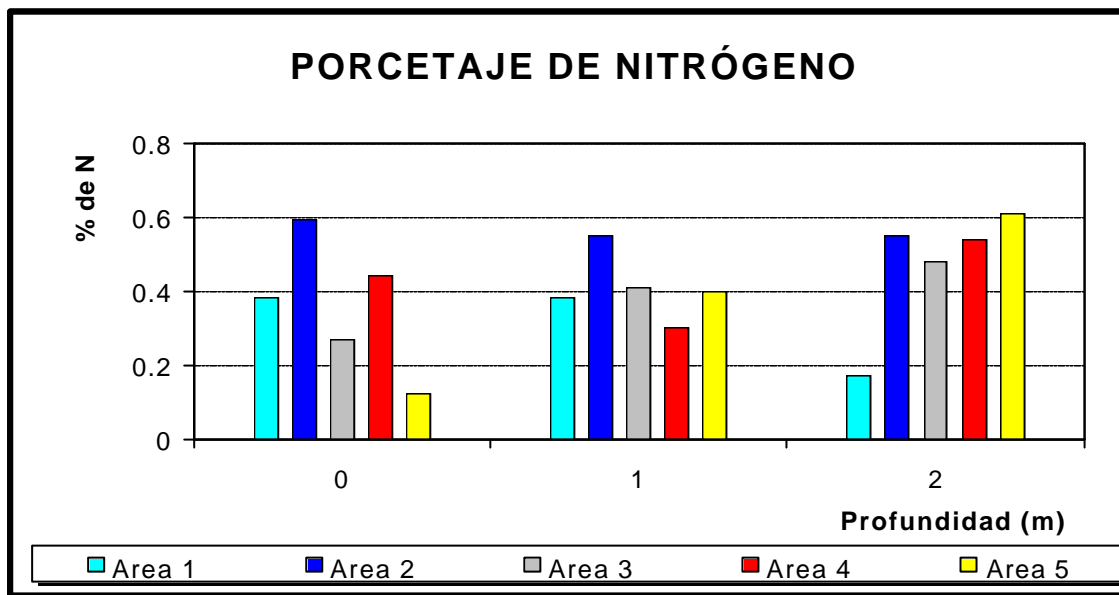


Figura 42. Porcentaje de Nitrógeno obtenido a tres profundidades en el segundo monitoreo de sedimentos.

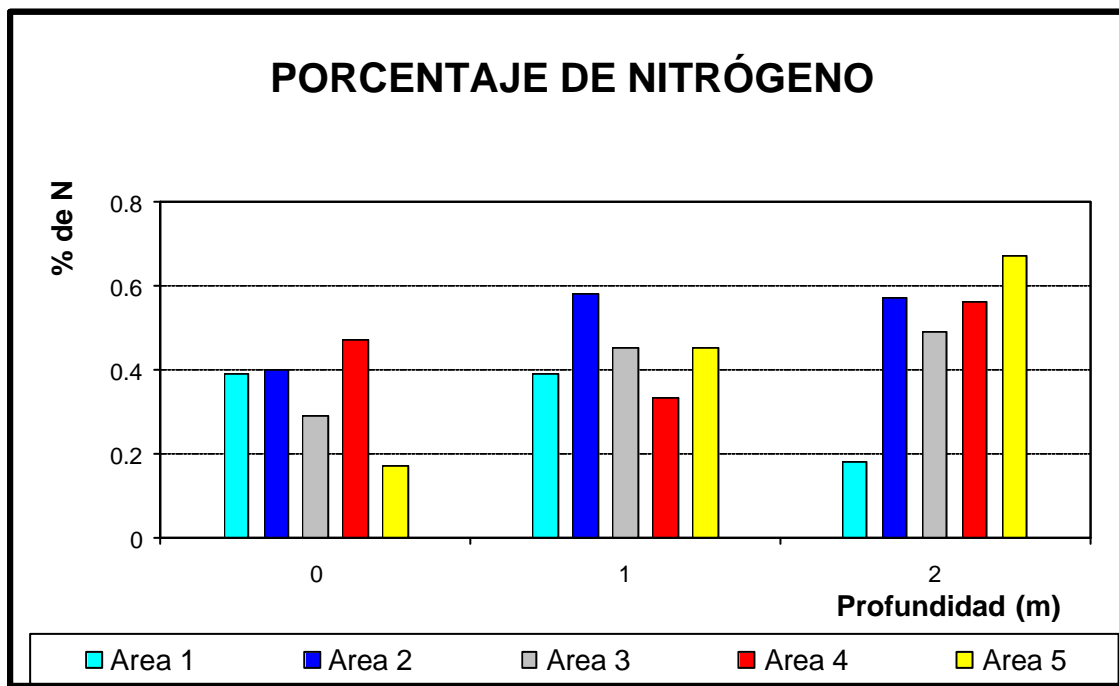


Figura 43. Concentración de Aluminio total obtenida a tres profundidades en el primer monitoreo de sedimentos.

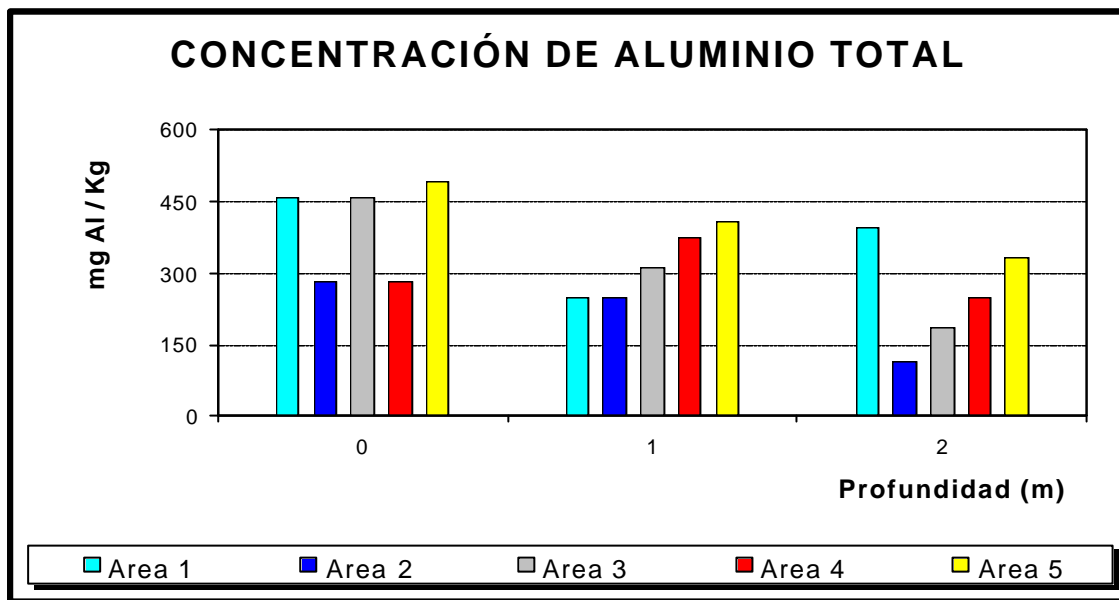


Figura 44. Concentración de Aluminio total obtenida a tres profundidades en el segundo monitoreo de sedimentos.

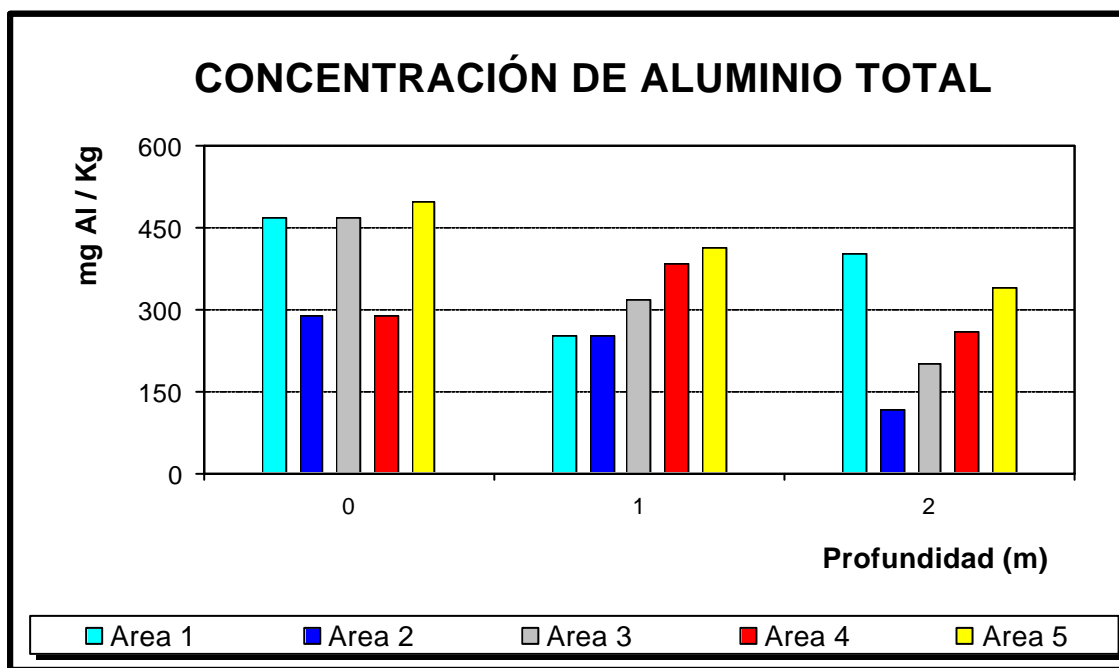


Figura 45. Concentración de Cobre total obtenida a tres profundidades en el primer monitoreo de sedimentos.

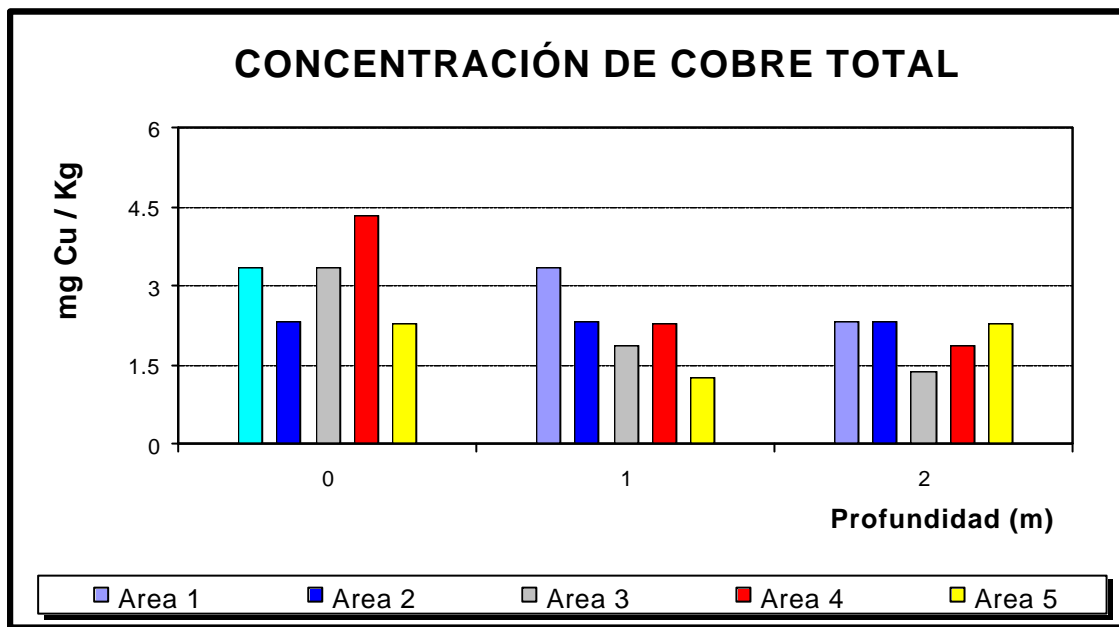


Figura 46. Concentración de Cobre total obtenida a tres profundidades en el segundo monitoreo de sedimentos.

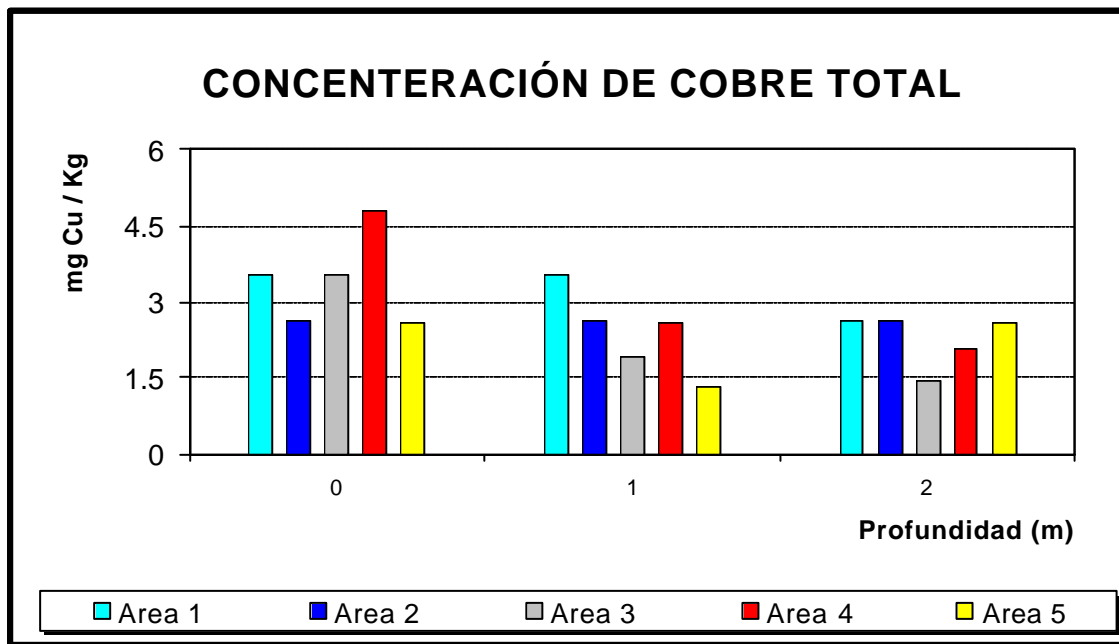


Figura 47. Concentración de Cinc total obtenida a tres profundidades en el primer monitoreo de sedimentos.

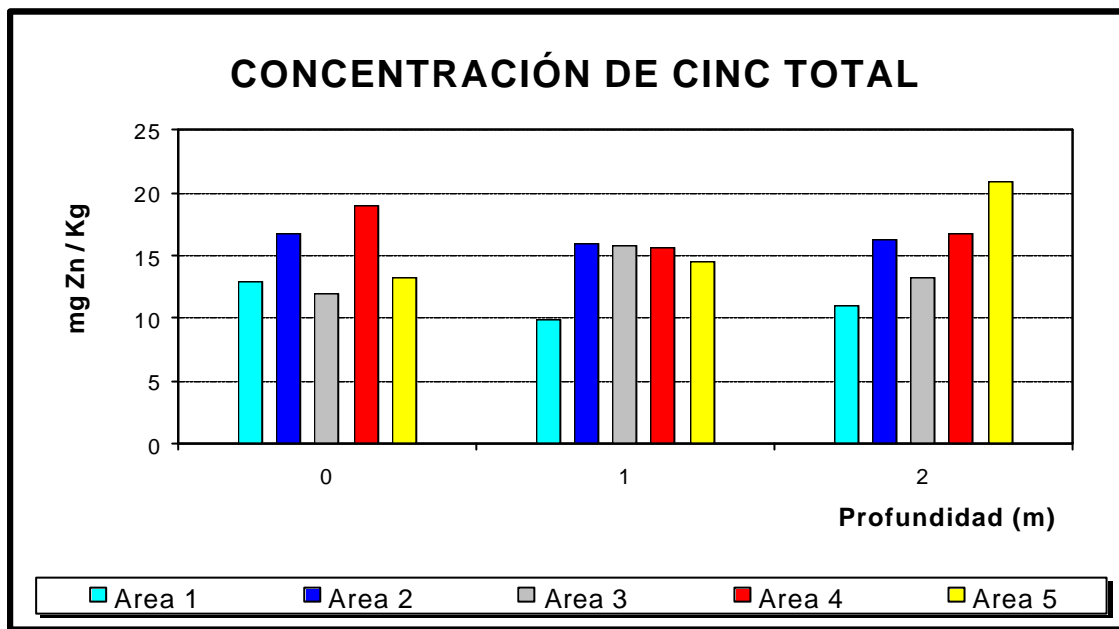


Figura 48. Concentración de Cinc total obtenida a tres profundidades en el segundo monitoreo de sedimentos.

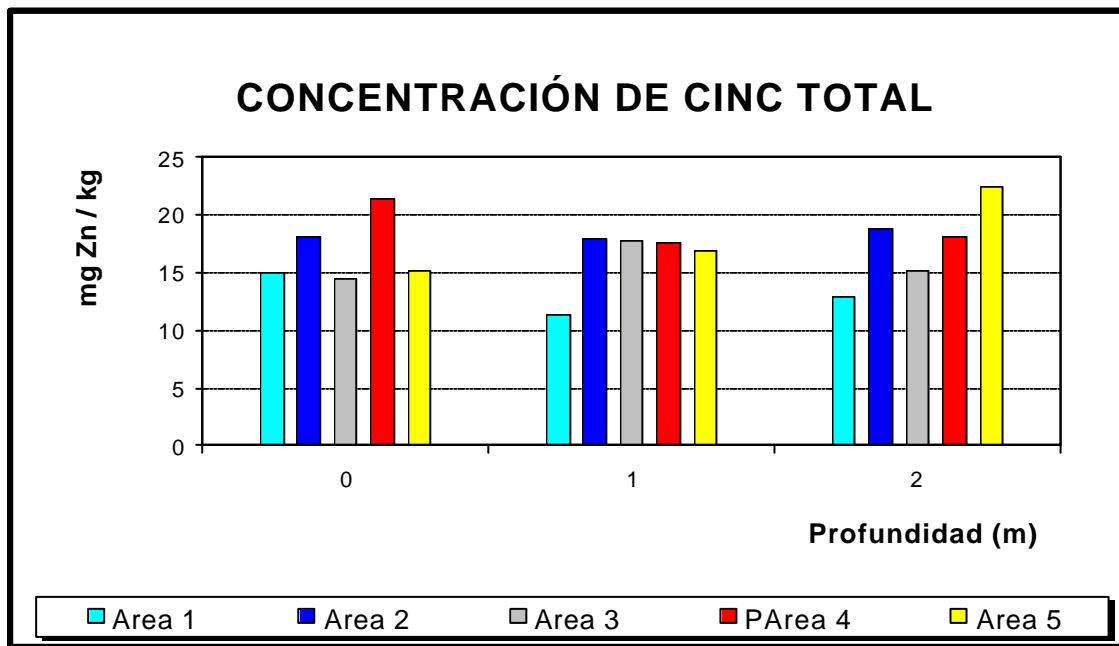


Figura 49. Concentración de cadmio total obtenida a tres profundidades en el primer monitoreo de sedimentos.

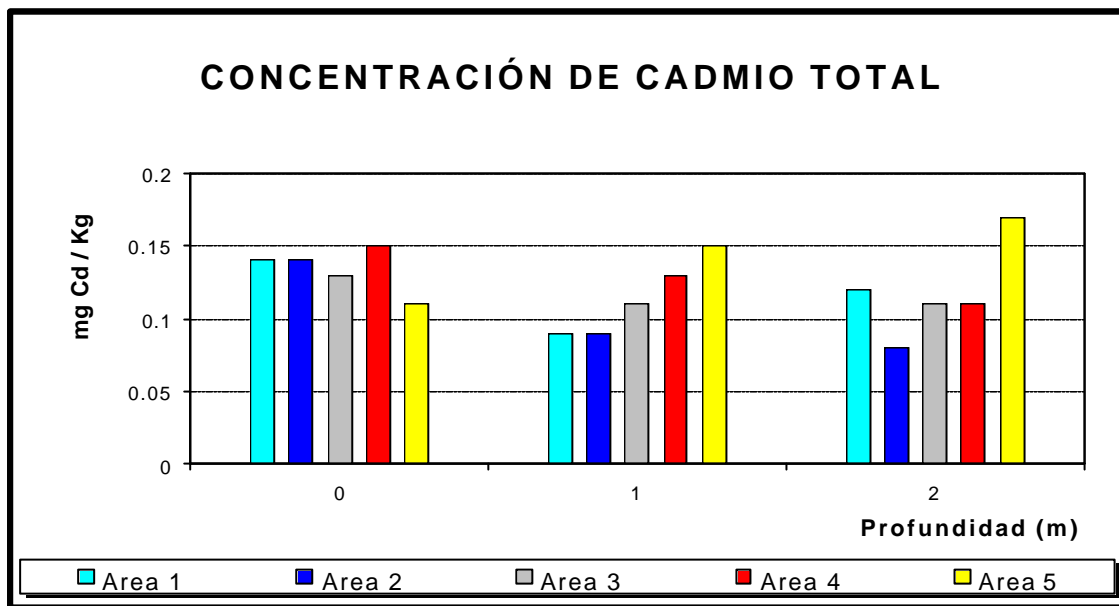


Figura 50. Concentración de cadmio total obtenida a tres profundidades en el segundo monitoreo de sedimentos.

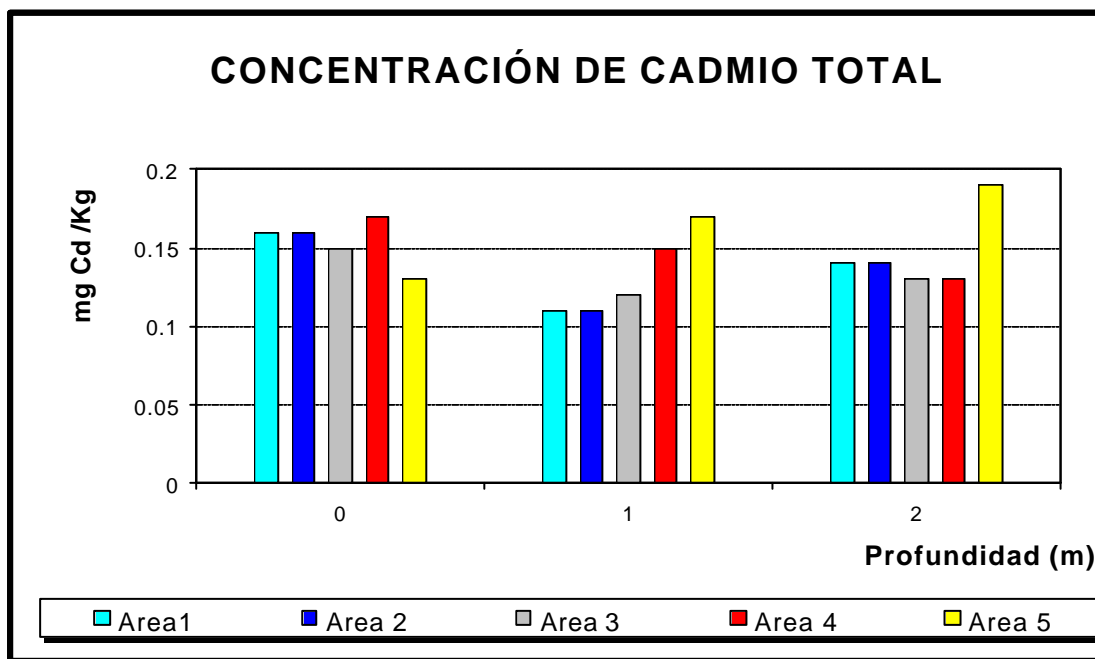


Figura 51 Concentración de Hierro total obtenida a tres profundidades en el primer monitoreo de sedimentos.

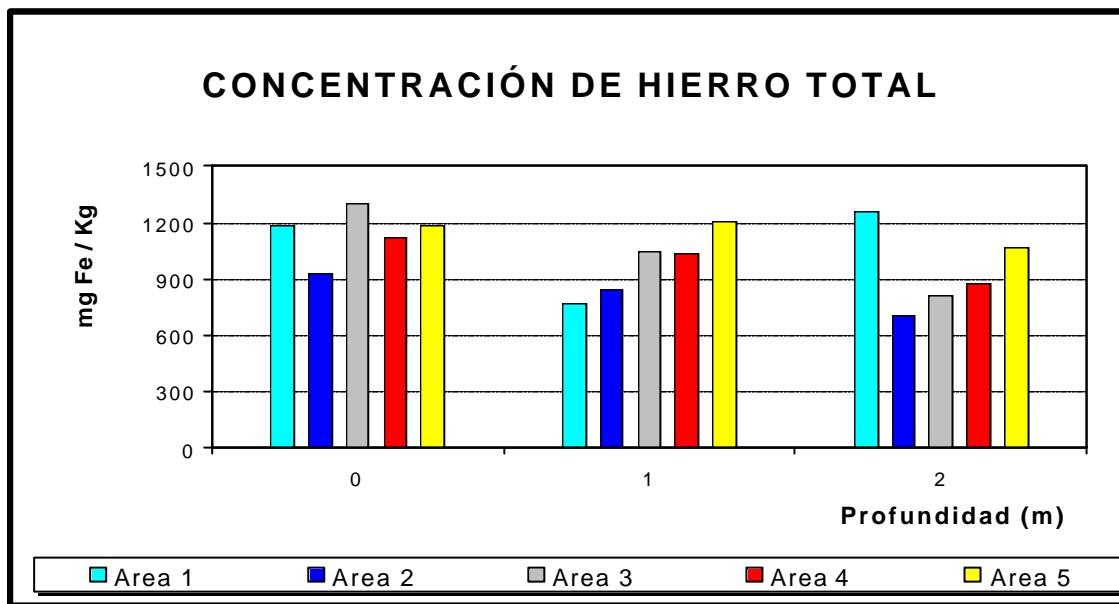


Figura 52. Concentración de Hierro tota obtenidos a tres profundidades en el segundo monitoreo de sedimentos.

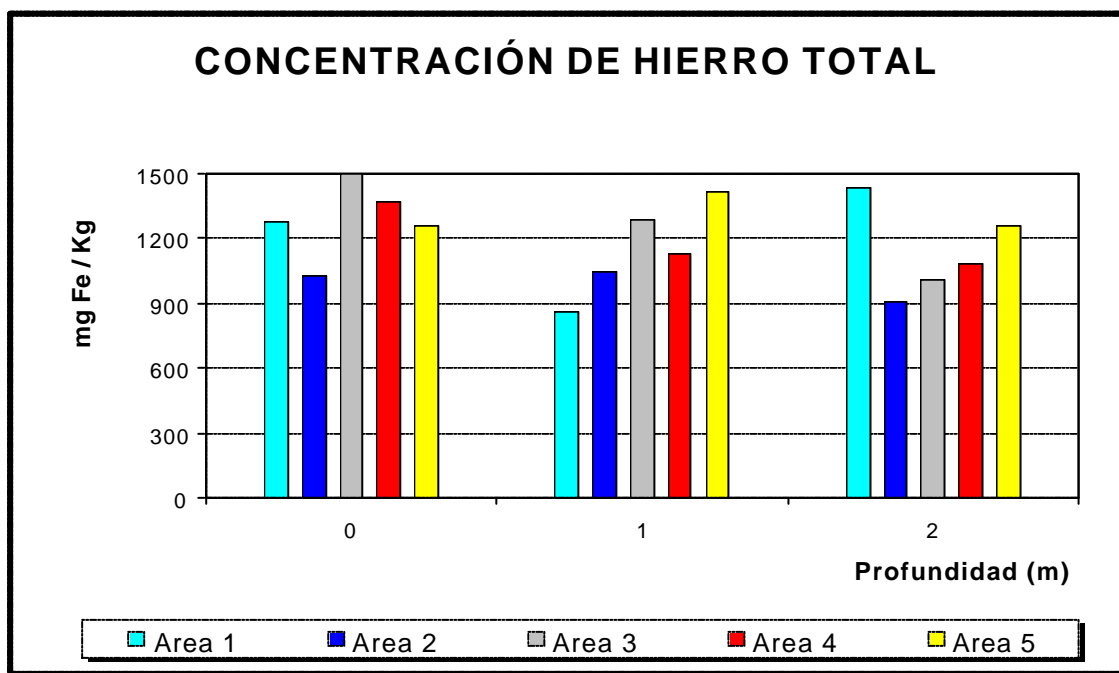


Figura 53 Concentración de Níquel total obtenida a tres profundidades en el primer monitoreo de sedimentos.

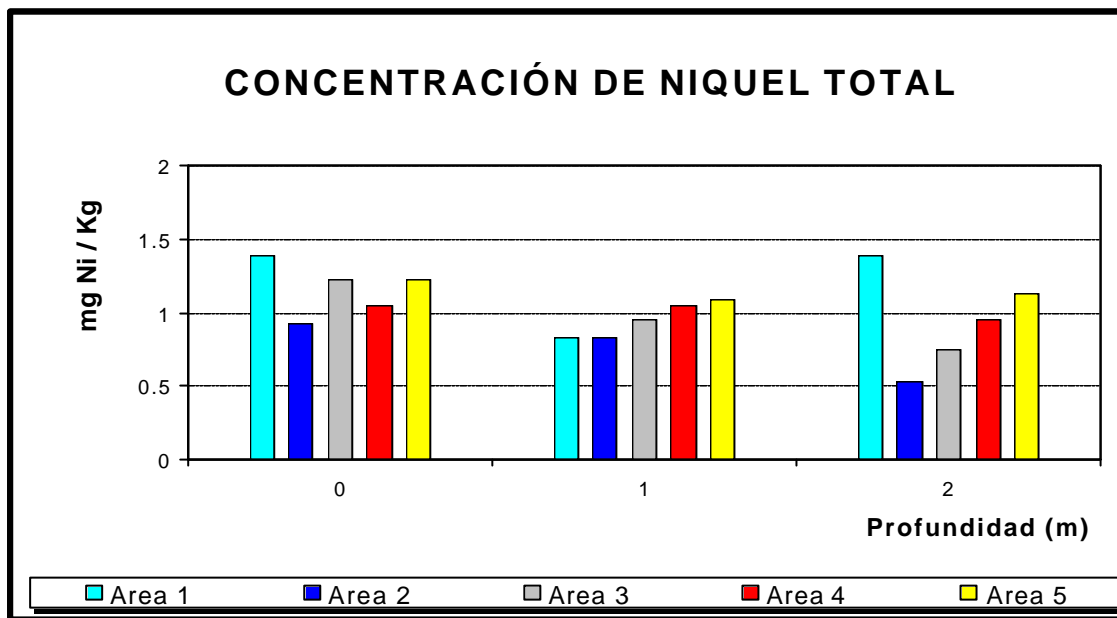


Figura 54. Concentración de Níquel total obtenida a tres profundidades en el segundo monitoreo de sedimentos.

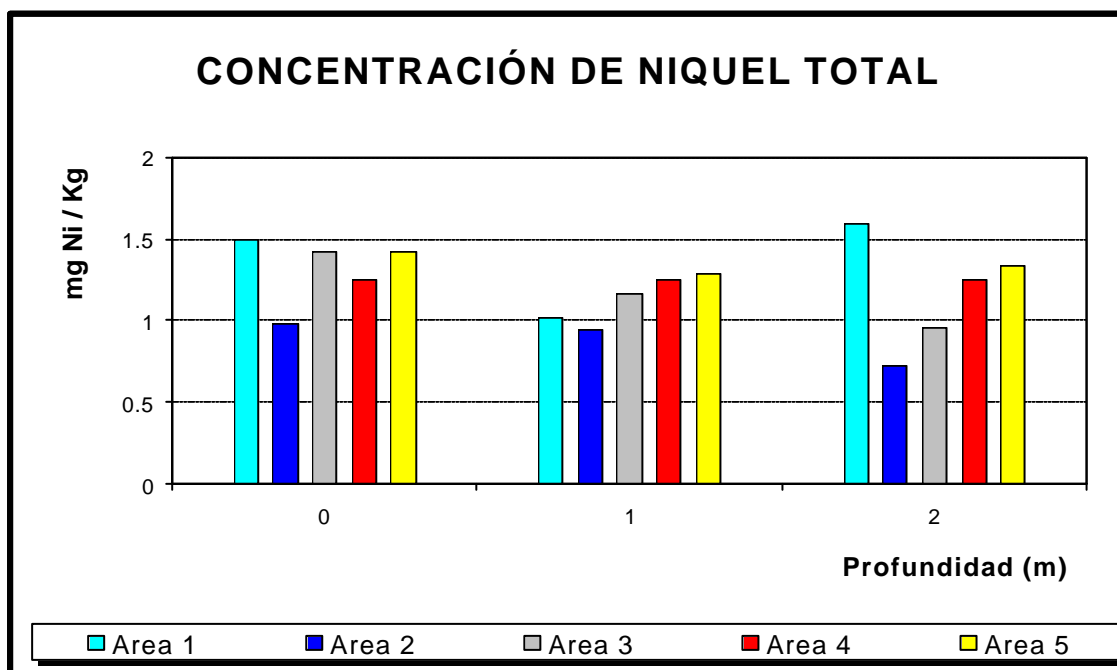


Figura 55 Concentración de Plomo total obtenida a tres profundidades en el primer monitoreo de sedimentos.

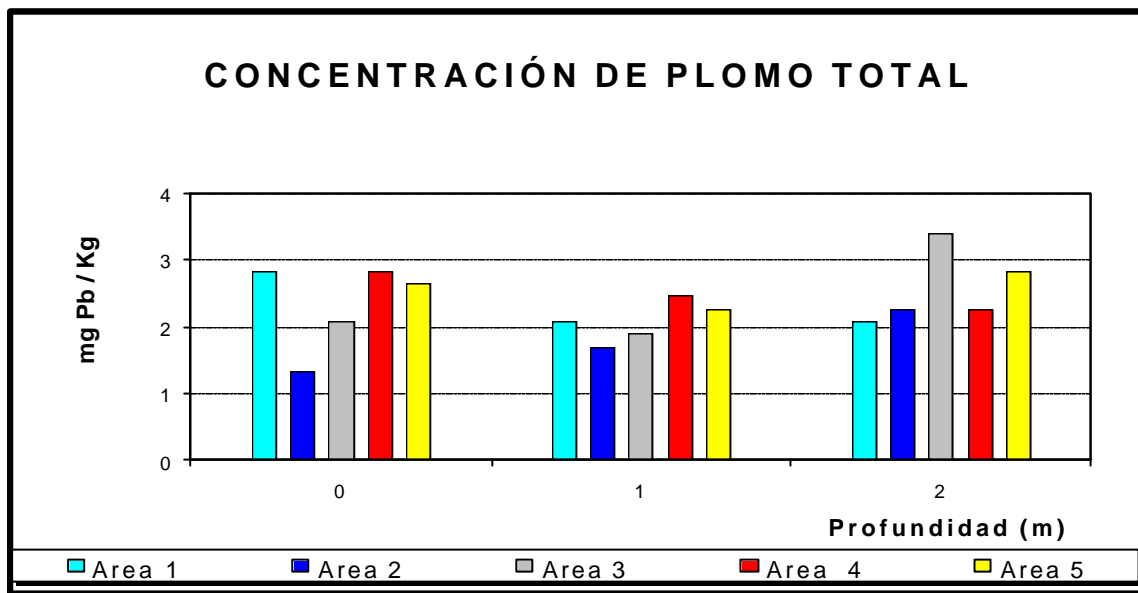


Figura 56 Concentración de Plomo total obtenida a tres profundidades en el segundo monitoreo de sedimentos.

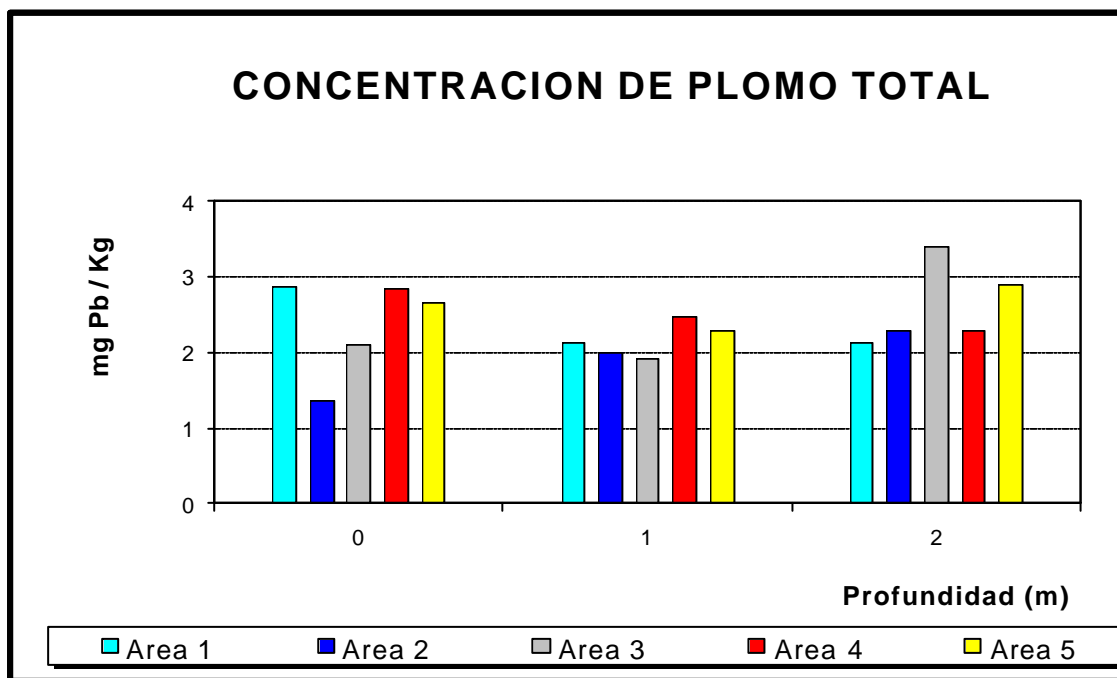


Figura 57 Concentración de Potasio total obtenida a tres profundidades en el primer monitoreo de sedimentos.

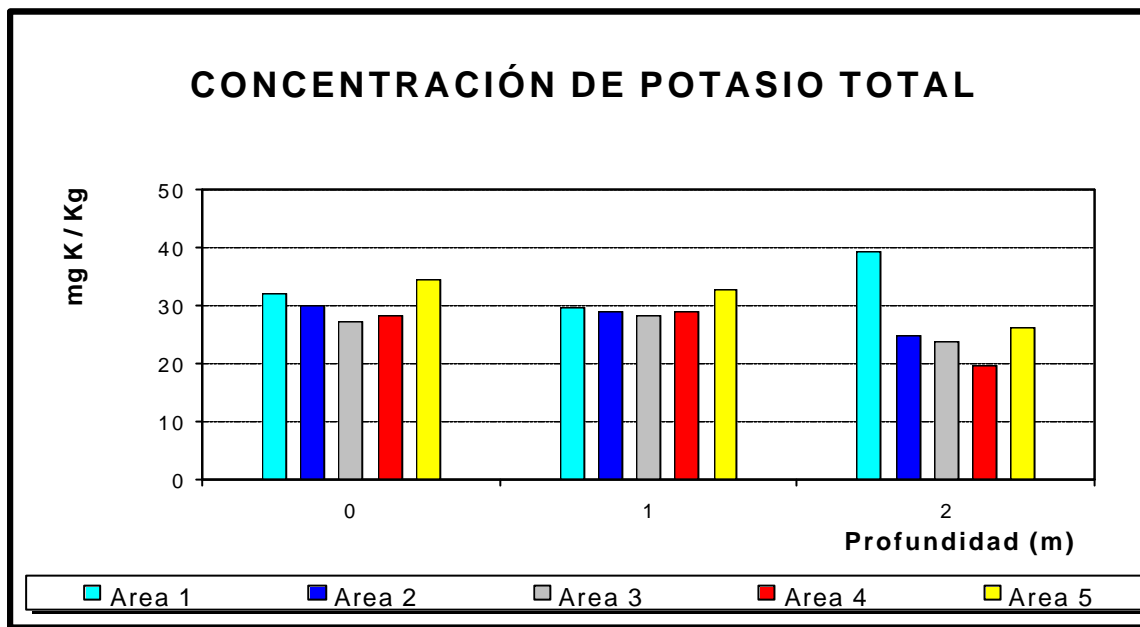


Figura 58 Concentración de Potasio total obtenidos a tres profundidades en el segundo monitoreo de sedimentos.

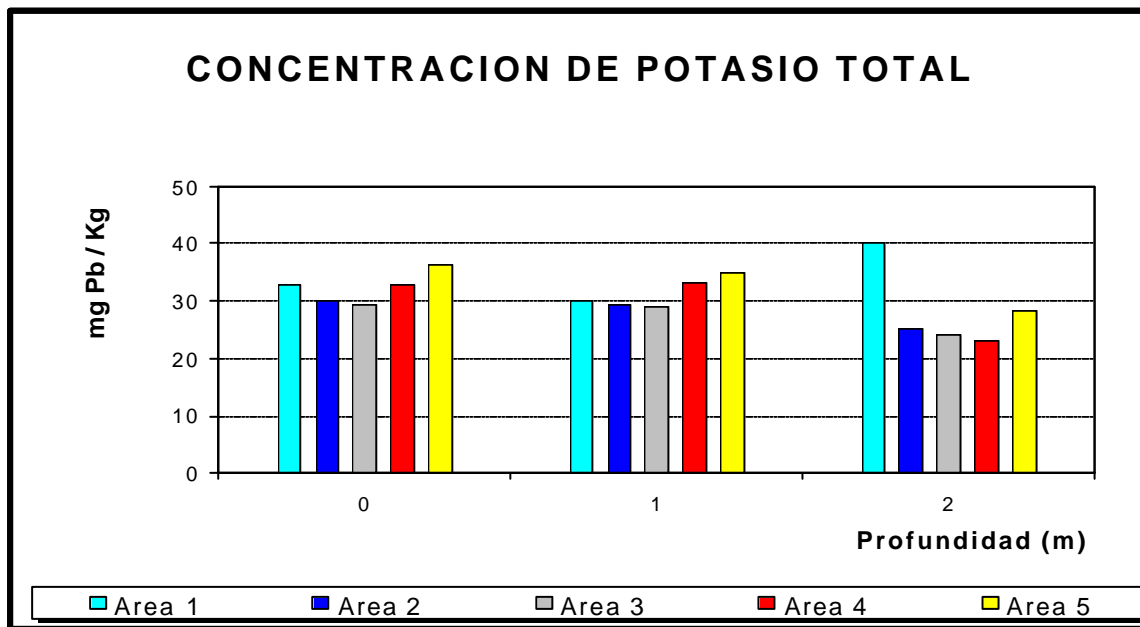


Figura 59. Concentración de Magnesio total obtenida a tres profundidades en el primer monitoreo de sedimentos.

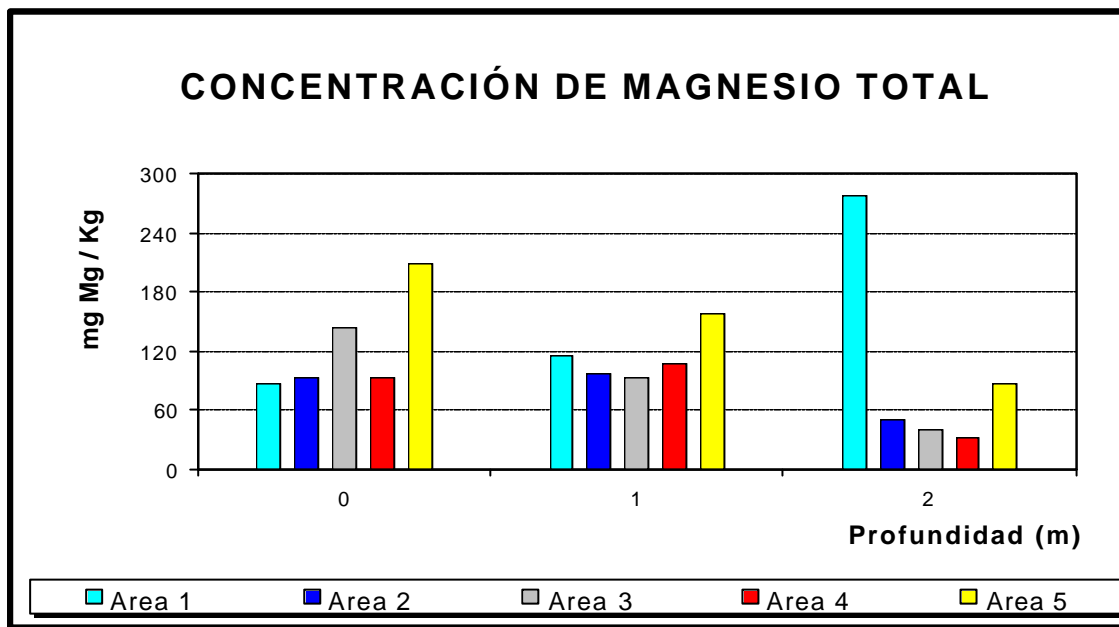


Figura 60. Concentración de Magnesio total obtenida a tres profundidades en el segundo monitoreo de sedimentos.

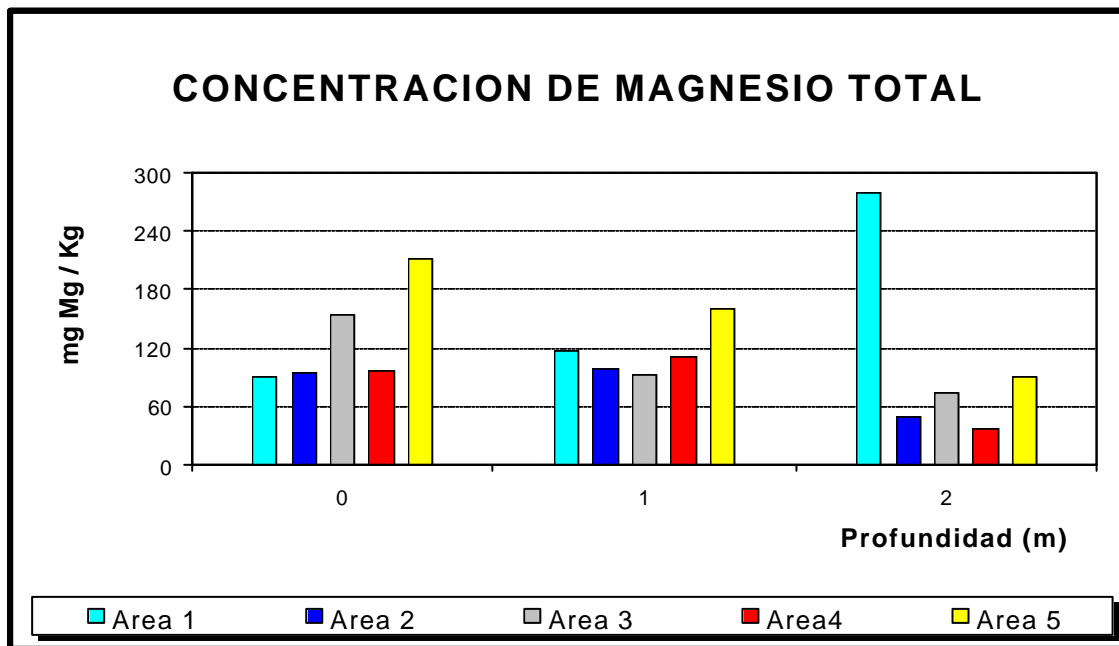


Figura 61. Concentración de Magnesio total obtenida a tres profundidades en el primer monitoreo de sedimentos.

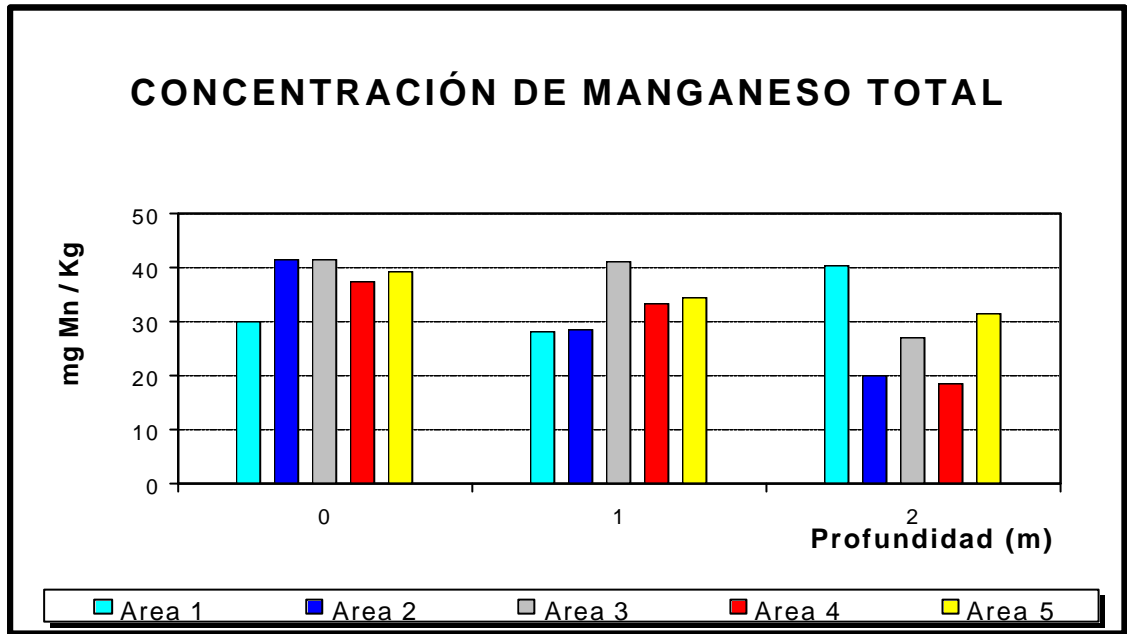


Figura 62. Concentración de Magnesio total obtenida a tres profundidades en el segundo monitoreo de sedimentos.

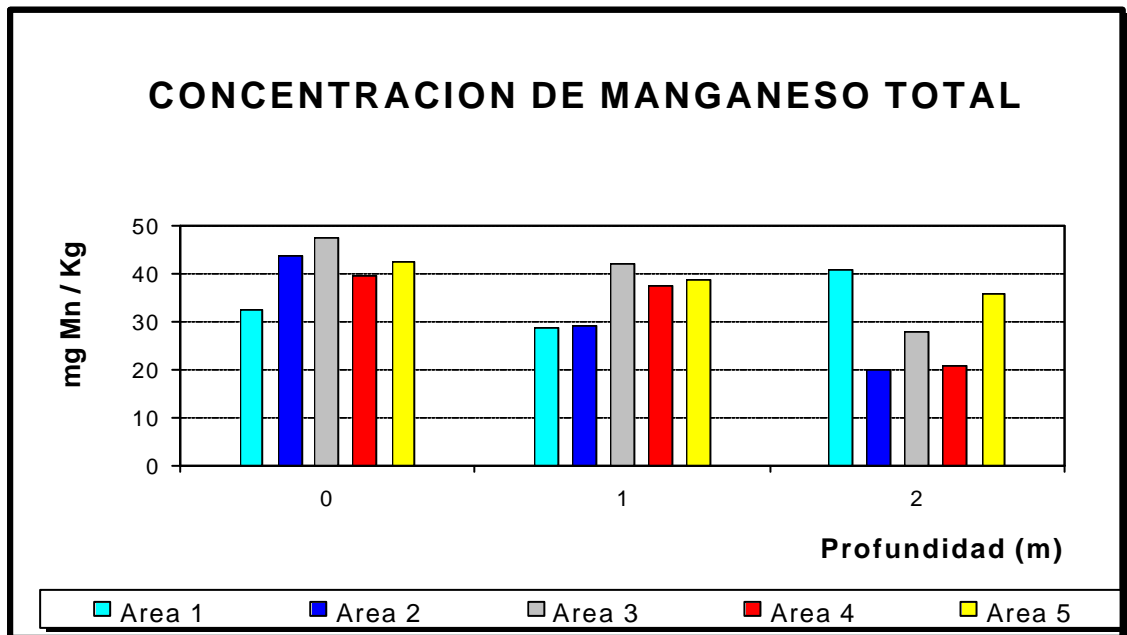


Figura 63. Concentración de Calcio total obtenida a tres profundidades en el primer monitoreo de sedimentos.

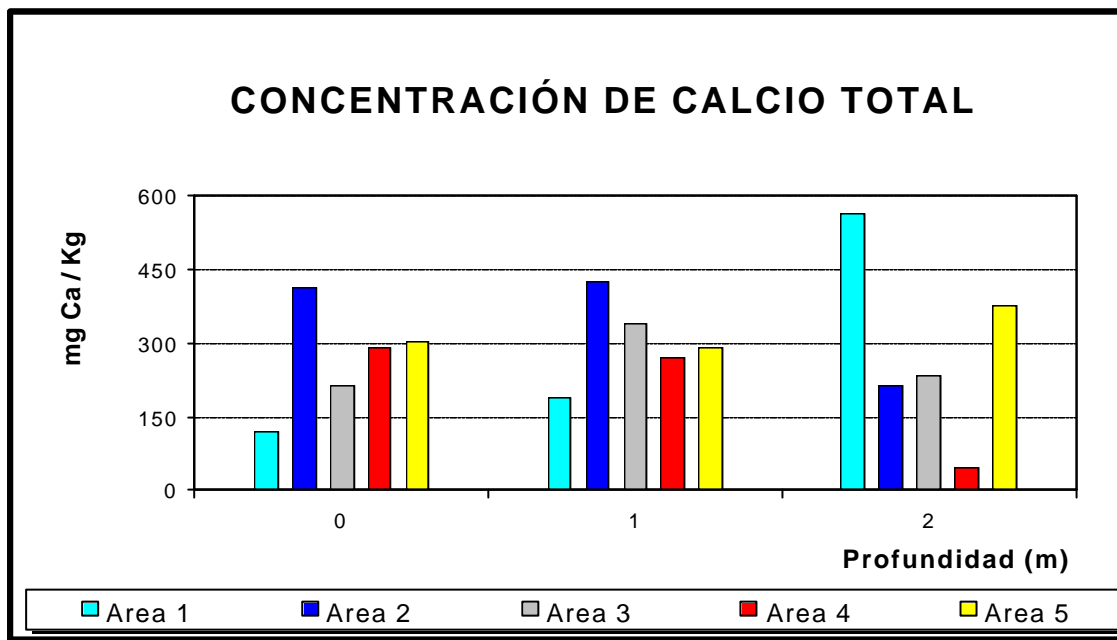


Figura 64. Concentración de Calcio total obtenida a tres profundidades en el segundo monitoreo de sedimentos

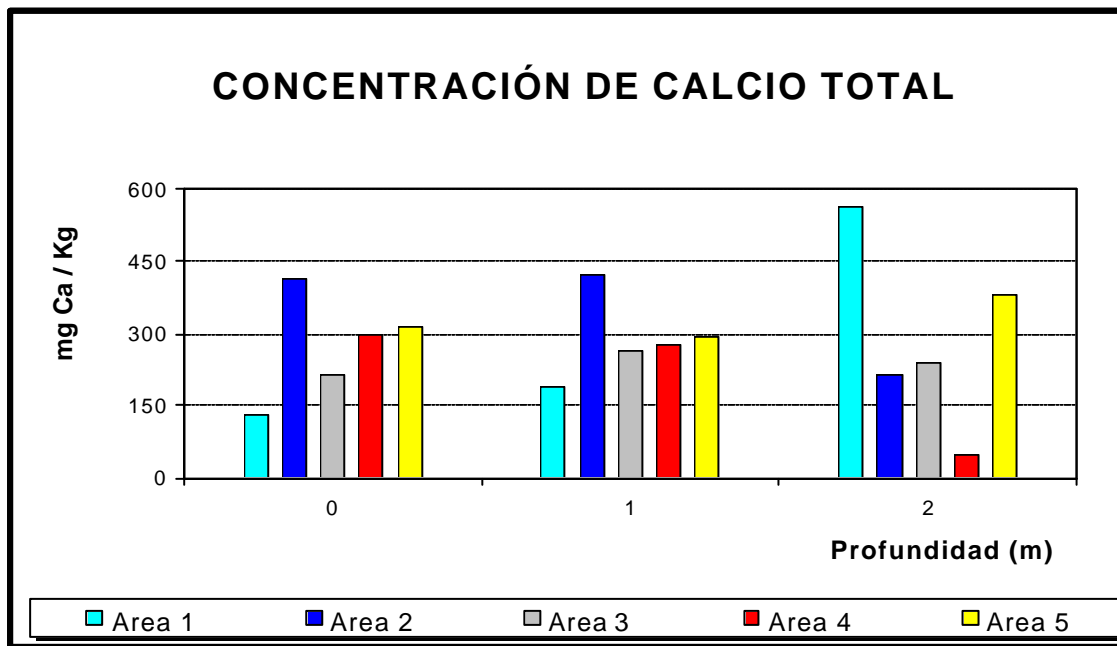


Figura 65. Concentración de Silicio total obtenida a tres profundidades en el primer monitoreo de sedimentos

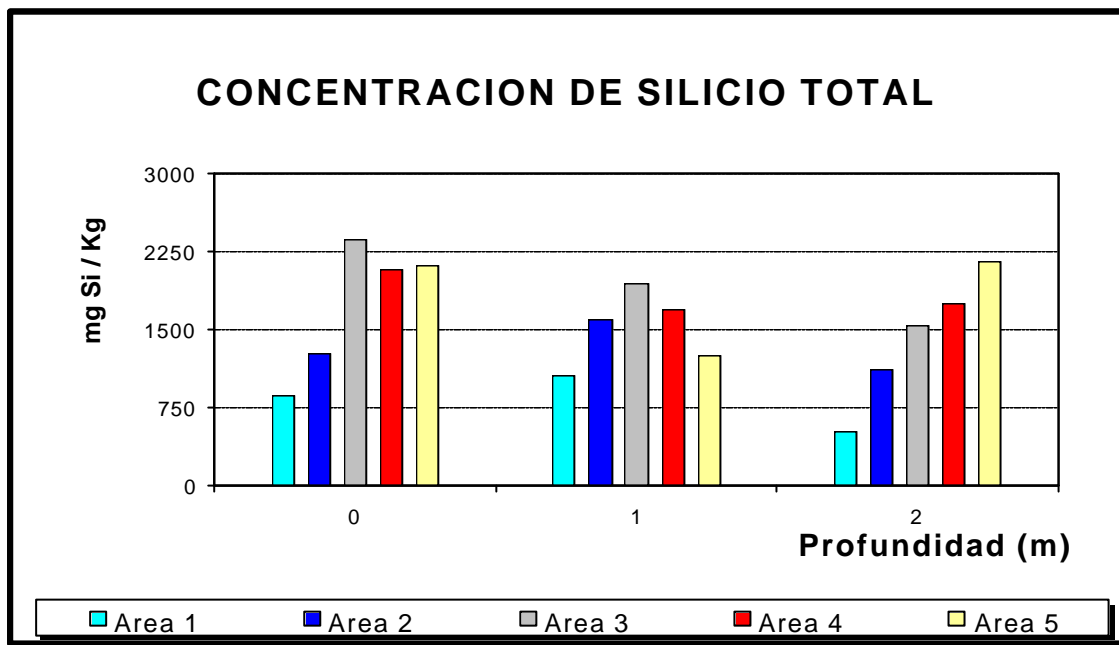


Figura 66. Concentración de Silicio obtenida a tres profundidades en el segundo monitoreo de sedimentos.

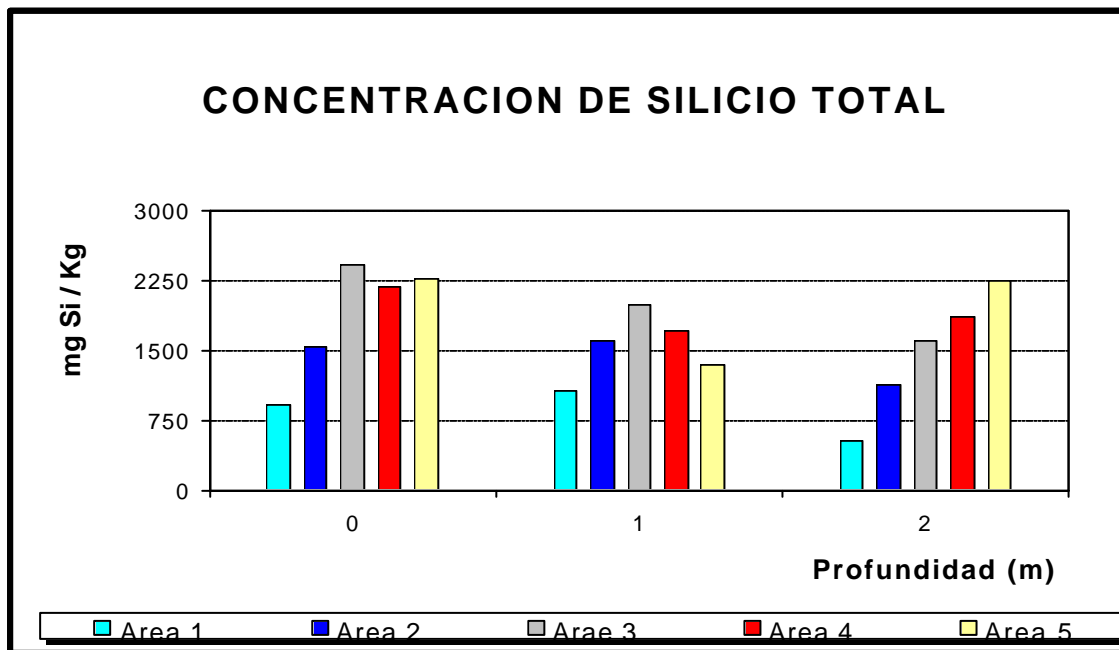


Figura 67. Concentración de mercurio a tres profundidades en el segundo monitoreo de sedimentos

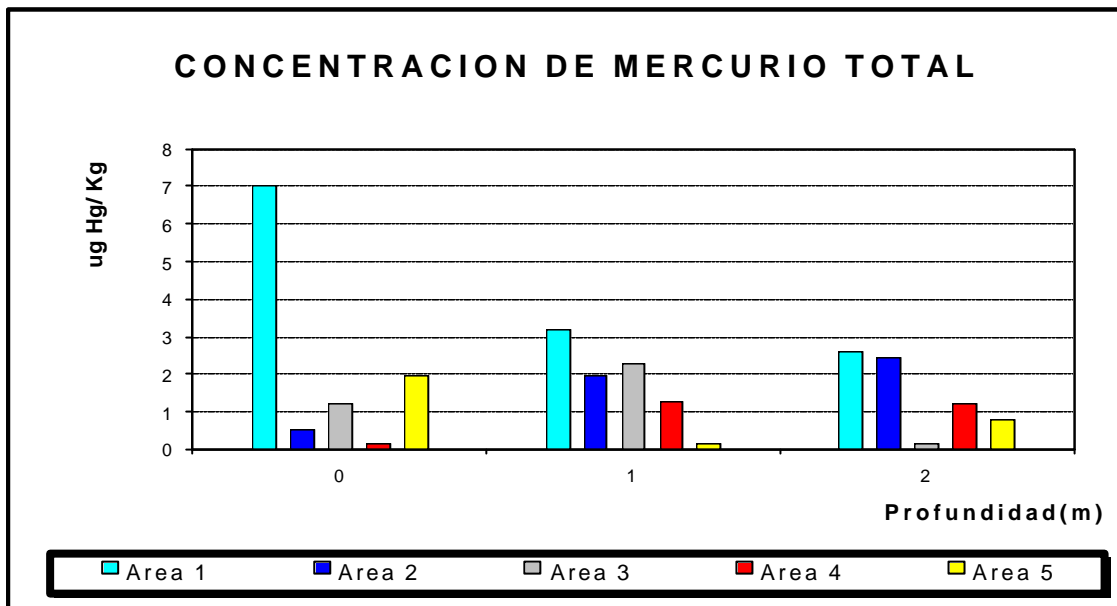
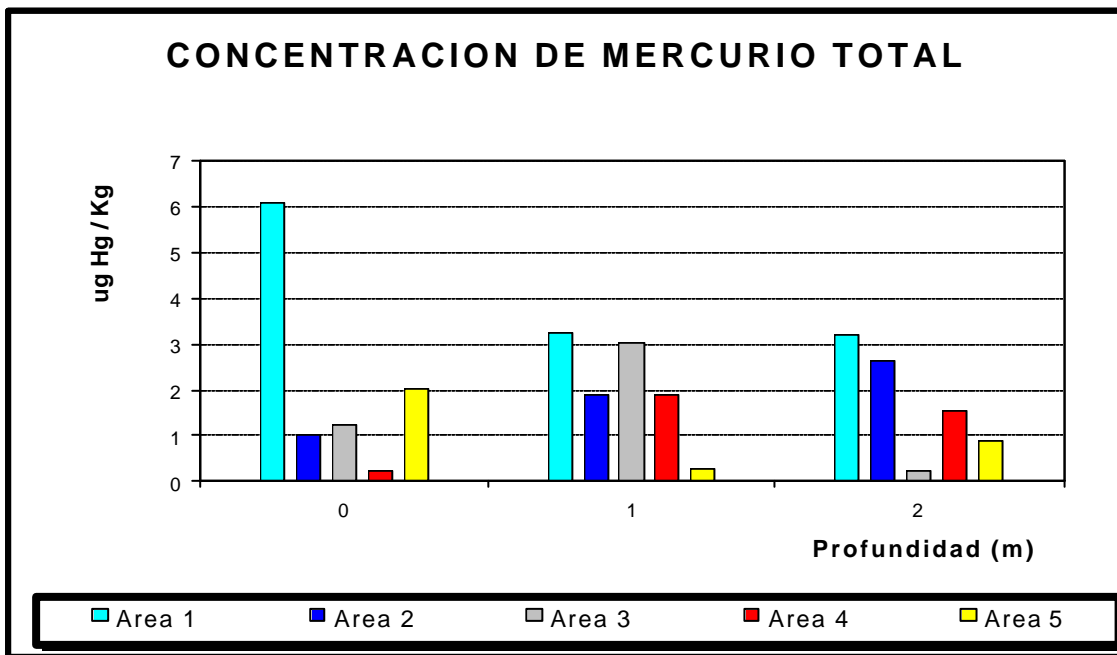


Figura 68. Concentración de Mercurio obtenida a tres profundidades en el segundo monitoreo de sedimentos



6.2.1 Fósforo Total En las tablas 22 y 23 se muestran las concentraciones para fósforo total en un muestreo realizado en tiempo húmedo y otro en tiempo seco respectivamente.

Comparando las concentraciones en cada una de las áreas en general se observa en las figuras 33 y 34 que la concentración promedio de fósforo es mayor en el área 4, es también importante recalcar que la mayor acumulación en promedio de este elemento en las áreas para las tres profundidades analizadas se observa a un metro.

La presencia de fósforo es adecuada ya que es un elemento básico, necesario para el crecimiento de las plantas. Una de las reacciones más importantes del fósforo en el metabolismo de las plantas es su unión con algunos compuestos orgánicos, en cuyo resultado se forman compuestos ricos en energía.

6.2.2 Materia Orgánica En las graficas 37 y 38 se observa generalmente que las áreas que presentan un mayor porcentaje de materia orgánica en promedio son la 1, 2 y 4, lo cual es esperado puesto que la corriente del río se encarga de situarla hacia las orillas del embalse en dirección de la corriente (ver figura 10, 11, 13). Además se puede observar que la materia orgánica se concentra a medida que la profundidad aumenta.

6.2.3 Porcentaje de Carbono En las tablas 22 y 23 se muestran los porcentajes de carbono en dos muestreos realizados uno en tiempo húmedo y otro en tiempo seco respectivamente.

En las figuras 39 y 40 se observa generalmente que las áreas que presentan un mayor porcentaje de carbono en promedio son la 2 y la 4, lo cual es esperado por razones expuestas en el numeral anterior, ya que el carbono está estrechamente relacionado con la cantidad de materia orgánica. Además se puede observar que el carbono se concentra a medida que la profundidad va aumentando.

6.2.4 Porcentaje de Nitrógeno En las tablas 22 y 23 se muestran los porcentajes de nitrógeno y está relacionado con la cantidad de materia orgánica y carbono, se observa en la figura 41 y 42 un comportamiento del nitrógeno similar al de estos parámetros, presentando un mayor porcentaje generalmente en las áreas 2 y 4; además una mayor acumulación a medida que aumenta la profundidad.

El nitrógeno ocupa uno de los primeros lugares dentro de los elementos nutritivos para las plantas. Los suelos generalmente están en condiciones de cubrir la mayor parte de las cantidades de fósforo y potasio necesarias en las plantas, pero no puede satisfacer la parte insignificante de cantidad de nitrógeno que las mismas necesitan. Por esa razón, el papel del nitrógeno es una base importante en el proceso de la agricultura. La determinación correcta de la dosis de nitrógeno es

importante en cada tipo de cultivo, es preciso efectuar investigaciones para la obtención de datos concretos en este aspecto.

6.2.5 Aluminio total En las figuras 43 y 44 se aprecia generalmente que las áreas 1 y 5 presentan en promedio la mayor concentración de este metal, debido a que su peso hace que éste se empiece a depositar en el momento en que la corriente disminuye. Por otra parte la mayor concentración de aluminio se da a nivel superficial en todas las áreas, consecuencia de la sedimentación y concentración de este metal comienza en este nivel. Otro aspecto importante que dan las gráficas es que no se presenta un cambio considerable entre los dos monitoreos.

6.2.6 Cobre total En las tablas 22 y 23 se muestran las concentraciones de cobre en los dos muestreos realizados.

En las figuras 45 y 46 se aprecia generalmente que las áreas 1 y 2 presentan en promedio la mayor concentración de este metal, debido a las razones expuestas para el anterior elemento. Por otra parte, la mayor concentración de cobre se da a nivel superficial en todas las áreas, además en las gráficas se observa que no hay un cambio considerable entre los dos monitoreos.

Comparando las concentraciones obtenidas en los dos monitoreos con el límite de polución establecido por las normas EPA parte 503 (tabla 6), para uso de estos

sedimentos en suelos se establece que los valores obtenidos para el cobre están muy por debajo de este límite.

Las formas en que se encuentra el cobre son determinadas por las condiciones que influyen sobre la fijación y la movilización del mismo. La materia orgánica en los sedimentos fija el cobre introducido por medio de sulfato de cobre. Mientras es más rico el sedimento en materia orgánica, mayor es la probabilidad de deficiencia de cobre.

Se ha constatado que el cobre participa en los procesos oxidativos- reductivos que se producen en las plantas, bajo su influencia se mejora el metabolismo de carbohidratos y de proteínas en las plantas, disminuye la actividad de enzimas hidrolíticas. El cobre aumenta la actividad de respiración.

6.2.7 Cinc total Se muestran las concentraciones de cinc en las tablas 22 y 23 para los dos muestreos realizados; uno en tiempo húmedo y otro en tiempo seco respectivamente.

En las figuras 47 y 48 se observa generalmente que el área 4 en promedio es la que presenta mayor concentración de cinc, como también que en el nivel de profundidad en que se encuentran las mayores concentraciones de este metal sigue siendo la superficial, por las razones expuestas con anterioridad para otros metales.

Los valores de cinc obtenidos son muy bajos debido a que el déficit de este elemento está relacionado siempre con el contenido elevado de fósforo y materia orgánica en los sedimentos.

Comparando las concentraciones obtenidas en los dos monitoreos con el límite de contaminación establecido por las normas EPA parte 503 (tabla 6), para uso de estos sedimentos en suelos se establece que los valores obtenidos para el cinc son inferiores a este límite.

6.2.8 Cadmio total Se muestran las concentraciones de cadmio en las tablas 22 y 23 para los dos monitoreos en sedimentos.

Se puede observar en general, con base en las figuras 49 y 50, que las concentraciones promedio de cadmio en todas las áreas de muestreo presentan niveles similares, este comportamiento también se observa para las tres diferentes profundidades.

Los valores obtenidos son muy bajos en comparación con el límite de contaminación establecido por las normas EPA parte 503. (tabla 6).

6.2.9 Hierro total En las figuras 51 y 52 se observa que el área 2 es la que presenta menor concentración promedio y el área 3 es la de mayor concentración promedio de hierro total. Como era de esperarse, la concentración de este

elemento presenta un comportamiento similar al de los metales anteriormente descritos, en donde el nivel más alto de hierro se encuentra en la superficie.

El contenido total de hierro en los suelos varía de cantidades tan pequeñas como 200 mg/Kg de suelo hasta tan grandes como el 10%. No existe límite de polución de este elemento debido a que no hay un método químico completamente adaptado para determinar el hierro accesible a las plantas en el suelo.

6.2.10 Níquel total En las figuras 53 y 54 se presenta generalmente el siguiente orden descendente de concentración promedio de níquel: área 1, área 3, área 4, área 5 y área 2. Como era de esperarse, la concentración de este elemento tiene un comportamiento similar al de los otros metales, encontrándose el nivel más alto en la superficie.

Con base en los límites de polución descritos en la norma EPA parte 503 (tabla 6), los valores de níquel en las distintas áreas analizadas se encuentran por debajo del límite.

6.2.11 Plomo total Se observa en las figuras 55 y 56 que las áreas con mayor concentración de plomo en promedio para los dos monitoreos son las 1 y 4. Además se presenta mayor nivel de plomo a una profundidad de 2 metros observando, en forma general, todas las áreas monitoreadas.

Según los límites de contaminación de la norma EPA parte 503 (tabla 6), los valores de este metal en los sedimentos no sobrepasan los topes estipulados.

6.2.12 Potasio total En las figuras 57 y 58 se aprecia un comportamiento en las concentraciones del metal, similar en todas las áreas y profundidades analizadas

El contenido total de potasio en el suelo es casi siempre mayor que los de nitrógeno y el fósforo juntos, contienen más potasio los suelos arcillosos pesados, puesto que el mismo está presente principalmente en los minerales arcillosos. En estos suelos su contenido puede alcanzar el 2 – 3%. Los suelos arenosos contienen menos potasio y su contenido es especialmente pequeño en los suelos de turba. Lo que nos da un indicio del comportamiento de los sedimentos respecto a la relación entre el potasio, nitrógeno y fósforo; presentándose en los análisis de los sedimentos concentraciones pequeñas de este elemento.

6.2.13 Magnesio total Observando el comportamiento de las concentraciones promedio del magnesio, se presentan valores parecidos en las áreas analizadas a profundidades de 0 y 1 metro. Para la profundidad de 2 metros se da una disminución considerable de este metal respecto a su concentración. (Figuras 59 y 60).

El magnesio se acumula en los sedimentos producto de la meteorización de minerales como la olivina, serpentina, dolomita, la biotita, el cloruro, etc. El

magnesio se libera lentamente de estos minerales y es absorbido por las partículas arcillosas y las sustancias orgánicas de los sedimentos, capaces de producir reacciones de cambio. Una parte de ese magnesio se pierde producto del lavado, otra parte es absorbida por los microorganismos de los sedimentos y otra se deposita en forma de mineral secundario, de manera que en los suelos el magnesio se encuentra en diversas formas; de forma muy solubles en agua hasta formas que se descomponen solo bajo la reacción de reactivos fuertes.

6.2.14 Manganeso total En las figuras 61 y 62 se observa que la concentración de este metal es similar para todas las áreas para cada una de las profundidades; además en el nivel superficial los valores son mayores comparado con las demás profundidades, a 2 metros se da una concentración menor para todas las áreas.

El manganeso esta contenido en el suelo en forma de distintos óxidos e hidróxidos que se diferencian mucho por su solubilidad. El manganeso esta más divulgado en forma de los siguientes minerales: pirolusita (MnO_2), pirolusita amorfa (Mn_3O_4) y manita ($MnOOH$).

El manganeso divalente forma con la materia orgánica del suelo complejos orgánicos; también contiene manganeso los materiales orgánicos que entran al suelo, después de cuya descomposición se hace accesible a las plantas.

6.2.15 Calcio En las áreas 2, 3 y 5 se presentan las concentraciones promedio mas altas en el embalse. Con relación a las profundidades se da un orden ascendente que va desde el nivel de 2, 0 y 1 metro, siendo este último la profundidad con más alta concentración de calcio para todas las áreas tomadas. (Figuras 63 y 64).

El calcio está representado en la fase sólida del suelo en forma de calcio, yeso, aluminosilicatos y silicatos y en forma cambiante, y, en la solución del suelo, en forma de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, CaCl_2 , etc. La fertilidad de los suelos esta relacionada estrechamente con su contenido de calcio. Los suelos ricos y fértiles contienen más calcio. Este condiciona en gran medida la estabilidad y el humus del suelo.

6.2.16 Silicio En las figuras 65 y 66 se observa generalmente que el silicio se viene acumulando en mayor concentración en las áreas 3, 4 y 5 para las tres profundidades analizadas, siendo el área 1 la que presenta valores de hasta casi tres veces menos de concentración que las demás.

6.2.17 Mercurio total Se puede observar en las figuras 67 y 68 que el área 1 presenta mayor acumulación de mercurio, siendo esta concentración dos o tres veces mayor con respecto a las demás áreas del embalse. Igualmente, este comportamiento se presenta en los tres niveles de profundidad analizados.

Con respecto al límite de polución para sedimentos dado en la norma EPA parte 503 (tabla 6), los resultados obtenidos no superan este límite.

Aunque las concentraciones no son muy altas, es importante tener en cuenta que el mercurio y algunos compuestos inorgánicos de mercurio pueden ser metilados (formar metil mercurio) por bacteria anaerobias en el lodo del fondo del embalse constituyendo fuentes potenciales de contaminación, los cuales por procesos bioquímicos pueden incorporarse a diversas cadenas alimenticias. Además los compuestos de mercurio son del tipo de sustancias acumulables en los organismos y pueden llegar a alcanzar concentraciones lo suficientemente altas para ser venenosos.

6.3 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

6.3.1 Microorganismos Benéficos Se desarrollaron análisis de microorganismos benéficos (Anexo C) de la siguiente manera:

- Recuento en placa de Nitrificantes
- Recuento en placa de Rhizobium
- Recuento en placa de Streptomices
- Recuento en placa de Lactobacilos
- Recuento en placa de Azotobacter
- Recuento en placa de Pseudomonas

Tabla 24. Análisis microbiológico de microorganismos benéficos en sedimentos

Nitrificante UFC/g o mL	Rhizobium UFC/g o mL	Streptomices UFC/g o mL	Lactobacilos UFC/g o mL	Azotobacter UFC/g o mL	Pseudomonas UFC/g o mL
1 x 10 ²	90	1x10 ²	20	< 10	10

Observaciones:

- Por la presencia de microorganismos patógenos los microorganismos benéficos no se han desarrollado notablemente.
- Si se logra una etapa termofílica más adecuada se puede obtener disminución de patógenos y un aumento de microorganismos benéficos en la etapa mesofílica de maduración.

6.3.2 Microorganismos patógenos Se desarrollaron análisis de microorganismos patógenos (Anexo D) de la siguiente manera:

- Recuento en placa de coliformes totales (RCT).
- Recuento en placa de coliformes fecales (RCF)
- Esporas Clostridium Sulfito Reductor (ECSR)
- Presencia o ausencia de Salmonella

Tabla 25. Análisis microbiológico de microorganismos patógenos en sedimentos

CT UFT/ g o mL	CF UFC/ g o mL	ECSR UFC/ g o mL	Salmonella UFC/ g o mL
2×10^4	3×10^3	2×10^3	Ausente

Observaciones:

- De acuerdo a los resultados obtenidos se observa que el proceso esta un poco deficiente, posiblemente en la etapa termofilica. Ya que los microorganismos patógenos no se han destruido totalmente.

6.4 ANÁLISIS DE TEXTURA DE LOS SEDIMENTOS

Estos análisis se realizaron en el Laboratorio Químico de Suelos de la Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural de Santander. (Anexo E)

Tabla 26. Textura de sedimentos del embalse de Bocas

MUESTRAS	% ARENA	% LIMO	% ARCILLA	CLASIFICACIÓN
Área 1	38	52	10	Franco-Limoso
Área 2	54	36	10	Franco-Arenoso
Área 3	48	40	12	Franco
Área 4	66	28	6	Franco-Arenoso
Área 5	52	44	4	Franco-Arenoso

Método analítico: Procedimiento del Hidrómetra - Método de Bouyoucous

7. CONCLUSIONES

1. La caracterización de las aguas en la zona de influencia del embalse de Bocas no mostró resultados alarmantes, puesto que las concentraciones de la mayoría de los parámetros más significativos, al ser comparados con la norma descrita por el decreto 1594 de 1984 en lo referente a los usos mencionados (Agrícola, pecuario, consumo humano, transporte, etc.) no excedieron los límites permitidos.
2. Los sedimentos del embalse presentan una acumulación de sólidos, materia orgánica y metales, entre otros, los cuales se encuentran dentro del límite de polución estipulado por la norma EPA parte 503 para aplicaciones de éstos en suelos.
3. La concentración de oxígeno disuelto disminuye durante el transcurso del día, debido a la oxidación bacteriana de la materia orgánica suspendida y disuelta procedente de los afluentes que aportan al embalse, por la demanda de oxígeno de los fangos y la falta de energía solar; causada por ausencia de ésta o por que la turbiedad del agua no permite la entrada de los rayos solares al fondo del

embalse evitando la actividad fotosintética. Los valores de oxígeno disuelto obtenidos durante el monitoreo de 24 horas están dentro de un rango aceptable considerando las razones expuestas con anterioridad.

4. Debido a la presencia de microorganismos patógenos en los sedimentos del embalse los microorganismos benéficos no lograron desarrollarse notablemente. Lo que se atribuye a que estos lodos no tienen tratamiento previo en donde se permita la eliminación de estos patógenos.

5. El porcentaje de remoción se ve afectado básicamente por la variación del clima en la zona, perturbando el caudal del río en temporada húmeda de una forma considerable, además teniendo en cuenta que las características del agua en una muestra de río en un punto y momento dado no son iguales a las tomadas pasado un instante, y a que es difícil calcular con exactitud el tiempo que tarda el agua en el recorrido del punto de entrada al punto de salida del embalse; se observan fluctuaciones y porcentajes de remoción negativos para algunos de los parámetros analizados comparando los resultados de un monitoreo con otro.

6. Con los análisis realizados durante el desarrollo del proyecto no se puede determinar el comportamiento del embalse como laguna facultativa.

7. Con los resultados obtenidos en la caracterización física, química y micro biológica de los lodos del embalse, desde los puntos de vista de su fertilidad,

contenido de metales pesados y contenido de organismos patógenos, se vislumbró su potencial para ser empleados como compost en la agricultura, acondicionando suelos poco fértiles o erosionados. El lodo convertido adecuadamente en compost es un material sin problemas de carácter sanitario, exento de olores y de características similares al humus. Aunque el proceso funciona correctamente, el problema principal consiste en la carencia de un mercado para el producto final estabilizado.

8. Se estudió la posibilidad de utilizar los sedimentos extraídos del embalse de Bocas como agregado en la fabricación de Concreto u Hormigón, puesto que éste se ha convertido en el material de construcción más ampliamente utilizado en todo el mundo debido a su extraordinaria versatilidad en cuanto a forma, función y economía.

El Concreto es la mezcla de un material aglutinante (cemento Pórtland Hidráulico), un material de relleno (agregado o árido), agua y eventualmente aditivos, que al endurecerse forma un todo compacto que puede soportar grandes esfuerzos de compresión. Debido a que el concreto está constituido en su mayor parte por agregados (70 – 80 % en volumen), las características de éstos son de gran importancia. Dentro de los materiales que presentan efectos perjudiciales en el concreto, porque impiden los enlaces entre la pasta de cemento y los agregados (originando una disminución en la resistencia del concreto), se encuentran las Arcillas y el Limo. En el análisis de textura que se le realizó a los sedimentos en

cada una de las áreas se observó, que el porcentaje de Limo se encuentra generalmente en un rango entre 28 - 52 % y la Arcilla entre 4 - 10%; lo cual esta sobre el nivel máximo permitido según ICONTEC-174 para agregados. Otra sustancia perjudicial en los agregados es la materia orgánica la cual puede impedir parcial o totalmente el fraguado del cemento. Los porcentajes de Materia Orgánica obtenidos en los análisis de los sedimentos superan considerablemente el limite según el ICONTEC-174 (la concentración debe ser menor al 3%).¹⁰

Por estas razones no se recomienda la utilización de estos sedimentos como agregados en la fabricación de Concreto u Hormigón.

RECOMENDACIONES

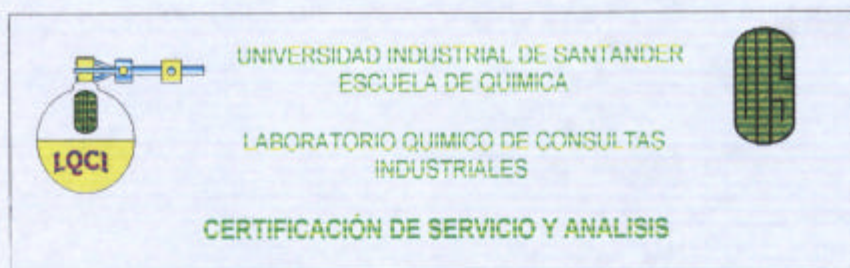
1. Las actividades desarrolladas en este proyecto constituyen pasos iniciales para la solución del problema del manejo de los sedimentos acumulados en el embalse, por lo que es importante continuar con la investigación en este tema principalmente en bioensayos relacionados con el tratamiento de estabilización de lodos, producción de compost y viabilidad en producción de materiales para la construcción. Efectuando además un estudio costo-eficiencia-beneficio de éstos que permita a la ESSA tomar decisiones que la favorezcan.
2. Se debería plantear un estudio en el cual se desarrollen o utilicen métodos de separación o eliminación de las sustancias perjudiciales como el Limo, Arcilla y la Materia Orgánica, entre otros, y de esta manera aprovechar el porcentaje de arena que oscila generalmente en un 50% p/p en los sedimentos del embalse de Bocas. (ver tabla 26)
3. Tasar ambientalmente por medio de programas de caracterizaciones, los vertimientos que están generando contaminación a los afluentes del embalse, garantizando con esto tener una información representativa y de esta manera poder buscar soluciones ambientales en el mismo sitio donde se generación de contaminación.

4. Es de gran importancia realizar monitoreos frecuentes en diferentes instantes sitios (mínimo un mes), antes del embalse, en el embalse y después de este para poder garantizar con mayor precisión tiempos de retención y de esta forma sus porcentajes de remoción indicarían si el embalse se comporta como laguna de oxidación o no.

BIBLIOGRAFICA

1. Analytical Methods for Atomic Absorption Spectroscopy. Perkin Elmer. 1981
2. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association. 20 ed. 1988. Washington.
3. FAIR M, Gordon; GEYER, Jonh Charles y OKUN, Daniel Alexander. Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales. Editorial Limusa. 1 ed 1997. Vol. 2. México. P 275.
4. Manual de tratamiento de aguas negras. Departamento de sanidad del estado de Nueva York. P 115.
5. EPA 3050B ACID DIGESTION OF SEDIMENTS, SLUDGES AND SOILS.
6. SKOOG, Douglas; HOLLER, F. James y NIEMAN, Timothy. Principios de análisis instrumental. Editorial Mc Graw Hill. 5 ed 2001. España. P 215.
7. PINZÓN, Carlos. Manual de capacitación Planta Palmas. Electricadota de Santander S.A.ESP.
8. SAUCEDO, Ricardo; VÁSQUEZ, Fausto. Manual operativo de la Central Hidroeléctrica de Palmas. Unidad de electromecánica. Unidades Tecnológicas de Santander. 1989.
9. WWW .sagan-gea.org/hojared_AGUA/paginas/15agua.html
10. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS: Normas técnicas Colombianas para la construcción, Instituto Colombiano de Productores de Cemento, Bogota, 1980.

ANEXO B



Bucaramanga, Enero 17 de 2005

Señores
ELECTRIFICADORA DE SANTANDER S.A.
Atn : Dra ALIX INES MARTINEZ
Directora de Gestión Ambiental
L. C.

Asunto : CERTIFICACIÓN DE ANALISIS

Por medio de la presente certificamos que todos los análisis y pruebas requeridas en el proyecto "CARACTERIZACION DE AGUAS Y SEDIMENTOS DE LA ZONA DE INFLUENCIA DEL EMBALSE DE BOCAS DE LA CENTRAL HIDROELECTRICA DE PALMAS OPERADO POR LA ELECTRIFICADORA DE SANTANDER S.A." fueron realizadas en el Laboratorio Químico de Consultas Industriales de la UIS y supervisados la directora del laboratorio.

Cordialmente;

Luz Yohana Vargas Fiallo
LUZ YOHANA VARGAS FIALLO
Directora del Laboratorio Químico de
Consultas Industriales

Ciudad Universitaria - Edificio Camilo Torres / Laboratorio 225
Apartado Aereo 0678 - Conmutador : 6344000 Ext. 2465. Directo : 6349009
Telefax : 6349069
E-mail : labquim@uis.edu.com
Bucaramanga - Colombia

ANEXO C



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER-UIS
CENTRO DE INNOVACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA
INDUSTRIAL Y BIOLOGIA MOLECULAR-CINBIN

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DE SUELOS

Fecha de Recibo: Noviembre 22 de 2004
Fecha de Entrega: Diciembre 06 de 2004
Solicitante: **CESAR LAMUS
GISZBERT SEGURA**

Muestras:

Número de Muestra	Descripción de la Muestra	Fecha Toma Muestra
M-34	LODOS DE UN EMBALSE	Noviembre 11/2004

Análisis:

Microorganismos Benéficos

Recuento en placa de Nitrificantes
Recuento en placa de Rhizobium
Recuento en placa de Streptomices
Recuento en placa de Lactobacilus
Recuento en placa de Azotobacter
Recuento en Placa de Pseudomonas

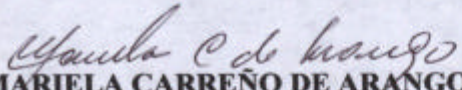
Resultado:

No. Muestra	Nitrificantes UFC/g o ml	Rhizobium UFC/g o ml	Streptomices UFC/g o ml	Lactobacilos UFC/g o ml	Azotobacter UFC/g o ml	Pseudomonas UFC/g o ml
M-34	1×10^2	90	1×10^2	20	<10	10

Observaciones:

- Por la presencia de microorganismos patógenos, los microorganismos benéficos no se han desarrollado notablemente.
- Si se logra una etapa termofílica más adecuada se puede obtener disminución de patógenos y aumento de microorganismos benéficos en la etapa mesofílica de maduración.

Procedimientos realizados por:


MARIELA CARREÑO DE ARANGO
Coordinadora Laboratorio de Microbiología - CINBIN

Km2, Vía Refugio. Sede Investigaciones UIS-Guatiguará
Tel: 7-6550803, Fax: 7-6540557
Piedecuesta- Santander

ANEXO D



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER-UIS
CENTRO DE INNOVACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA
INDUSTRIAL Y BIOLOGIA MOLECULAR-CINBIN

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DE SUELOS

Fecha de Recibo: Noviembre 22 de 2004
Fecha de Entrega: Diciembre 06 de 2004
Solicitante: **CESAR LAMUS**
GISZBERT SEGURA

Muestras:

Número de Muestra	Descripción de la Muestra	Fecha Toma Muestra
M-34	LODOS DE UN EMBALSE	Noviembre 11/2004

Análisis:

Microorganismos Patógenos

Recuento en placa de Coliformes Totales (RCT)
Recuento en Placa de Coliformes Fecales (RCF)
Esporas Clostridium Sulfito Reductor (E.C.S.R.)
Presencia ó Ausencia de Salmonella

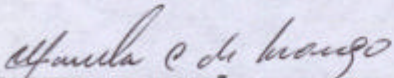
Resultado:

No. Muestra	CT UFC/g o ml	CF UFC/g o ml	E.C.S.R UFC/g o ml	Salmonella UFC/25g
M-34	2×10^4	3×10^3	2×10^3	Ausente

Observaciones:

- De acuerdo a los resultados obtenidos se observa que el proceso está un poco deficiente, posiblemente en la etapa termofílica. Ya que los microorganismos patógenos no se han destruido totalmente.

Procedimientos realizados por:


MARIELA CARREÑO DE ARANGO
Coordinadora Laboratorio de Microbiología - CINBIN

Mónica H.

Km2, Vía Refugio. Sede Investigaciones UIS-Guatiguará
Tel: 7-6550803, Fax: 7-6540557
Piedecuesta- Santander

ANEXO E



sader
Secretaría de Agricultura &
Desarrollo Rural de Santander

Doctora
Yolanda Vargas
Directora Laboratorio de Consultas Industriales
Escuela de Química – UIS

MUESTRAS	ARENA	% LIMO	% ARCILLA	CALIFICACIÓN
Nº 1 :	38	52	10	Franco – Limoso
Nº 2 :	54	36	10	Franco – Arenoso
Nº 3 :	48	40	12	Franco
Nº 4 :	66	28	6	Franco – Arenoso
Nº 5 :	52	44	4	Franco – Arenoso

MÉTODO ANALÍTICO : Procedimiento del Hidrómetro – Método de Bouyoucous

Bucaramanga, Enero 28 de 2005

Hernán Castellanos Peñaranda
Ingeniero Agrónomo U. Nal. T.P. 11090
Laboratorio Químico de Suelos