

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

ESTUDIO DE LOS SEDIMENTOS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA

(PROVINCIA DE SUCUMBÍOS- ECUADOR)

**TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
AMBIENTAL**

AUTOR: GUILLERMINA DANIELA GÓMEZ DURAÑONA

DIRECTOR: ING. FABIO VILLALBA

QUITO-ECUADOR

2004-2005

DEDICATORIA

Dedico mi tesis a mis padres, Juan Carlos Gómez Durañona e Hilda Vasta, por darme fuerzas cada día de mi vida y enseñarme que no existe ningún obstáculo que no se pueda vencer, lo que estoy demostrando al culminar una etapa mas de la vida. A mis hermanos Marcelo, Evangelina, Fernando, Patricia y Santiago, por brindarme todo su apoyo incondicional. A mis cuñados Felipe, Cristian, Ximena y Mariana, que siempre me han dado fuerzas y cariño para ser una mejor persona en lo profesional y espiritual. También se la dedico a Juan Pablo Baquero, por ayudarme en todos estos años de carrera.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en especial al Ing. Fabio Villalba, por su valiosa ayuda y su dedicación en la culminación de este documento, y por todos los años de enseñanza y amistad que brindo.

A mis tribunales, el Dr. Carlos Ordoñez y a la Ing. Ana Lucia Silva, por haber brindado sus conocimientos y guiarme correctamente para la culminación de la presente tesis de grado.

Al señor Henry Moya y a su familia, por las atenciones y dedicaciones que me han prestado durante todo el periodo de la carrera pero en especial en el transcurso de este ultimo año.

A la Universidad Internacional SEK por la formación que me han dado, y por la colaboración prestada para poder realizar la presente tesis de grado,

Un agradecimiento especial a la Ing. Katty Coral que me han brindado sus conocimientos y amistad durante todos estos años de carrera.

A mis amigos Homero Harari y Gustavo Viteri, por luchar con migo durante la carrera, y estar presentes en los momentos mas difíciles de mi vida.

A Juan Pablo Baquero, por brindarme todo su cariño y apoyo, cada día transcurrido.

A mi madre y mi padre, por su amistad, su cariño y su fuerza, que me han acompañado y me seguirán acompañando toda la vida.

RESUMEN

El presente estudio analiza la relación que puede existir entre el bario y el fósforo tanto en los sedimentos como en el agua de la laguna de Limoncocha y sus principales efluentes. Además, desarrolla una evaluación sobre el estado de la laguna con la aplicación del Índice del Estado Trófico de Carlson Modificado para lagos tropicales. Para cumplir con estos objetivos se basó en mediciones in situ y muestreo de sedimentos y agua a fin de conocer las características físico-químicas del sistema lacustre y sus interacciones con el componente biótico.

Con esto se ha logrado explicar los siguiente comportamientos en la laguna de Limoncocha:

- 1) Existe una relación directa entre el bario del agua con el que se encuentra en los sedimentos.
- 2) No existe una clara relación, entre las concentraciones de fósforo en el agua y aquellas encontradas en el sedimento
- 3) Existe una relación entre el bario y el fósforo en el agua; sin embargo esta no es directa, pues depende del pH y la producción primaria.
- 4) No existe una relación entre el bario y el fósforo en los sedimentos.

Para la medición del Índice del Estado Trófico de Carlson Modificado se obtuvieron datos, además del fósforo, de clorofila A y profundidad Secchi; determinando que la laguna se encuentra en un estado eutrófico próximo a mesotrófico.

Descriptores

Fósforo, Bario, Eutrofización, Oxígeno Disuelto, Temperatura, Profundidad Secchi, Clorofila A, Índice del Estado Trófico de Carlson Modificado, Sedimentos, Análisis de agua, Análisis de sedimentos.

ABSTRACT

The present study analyses the relationship between barium and phosphorous in water and in sediments of the Limoncocha's lake and its main effluents. It also develops and evaluation of the trophic state of the lagoon with the application of Carlson's Modified Trophic State Index for tropical lakes. In order to comply with this objectives in situ measurements and sampling of water and sediments were made with the idea to get to know the main physical and chemical characteristics of the lacustrine system and its interactions with the biological component.

With this, we are able to explain the following behavior in the Limoncocha's lake:

- 1) There is a direct relationship between barium in the water and the sediments
- 2) There is no clear relationship between the concentrations of phosphorous in water and in sediments
- 3) There is a relationship between barium and phosphorous in water but it is not direct , since it depends on pH and primary production
- 4) There is no relationship between barium and phosphorous in the sediments

For the measurement of Carlson's Modified Trophic State Index data was raised determining that the lake is in a eutrophic state near mesotrophic.

Key Words

Phosphorous, Barium, Eutrophic, Disolved oxigen, Temperatura, Secchi Depth, Clorophyll A, Carlson's Modified Trophic State Index, Sediments, Water sampling, Sediments sampling

CAPÍTULO I.....	1
1. ANTECEDENTES.....	1
2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	1
3. OBJETIVOS	2
3.1) Objetivo General:.....	2
3.2) Objetivos Específicos:	2
4. JUSTIFICACIÓN.....	2
5. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	3
CAPÍTULO II.....	4
6. MARCO TEÓRICO.....	4
6.1 Limnología:	4
6.2 Lagos y lagunas	4
6.2.1 Lagos eutróficos, mesotróficos y oligotróficos:.....	5
6.3 Sedimentos	6
6.3.1 Clasificación de los sedimentos:	7
6.3.2 Origen de los sedimentos de los lagos	7
6.3.3 Efectos perjudiciales de los sedimentos en el agua.....	9
6.4 Eutroficación	9
6.4.1 Efectos de la Eutroficación ¹²	10
6.4.2 Tipos de Eutrofización	10
6.5 Parámetros Físico-Químicos y biológicos del Agua.....	11
6.6 Ciclo del fósforo.....	13
6.6.1 Ingreso del fósforo	14
6.6.2 El Fósforo en los sedimentos	15
6.7 Índice de Carlson.....	15
CAPÍTULO III.....	17
7. METODOLOGÍA.....	17
7.1 Actividades de campo	17
7.2 Puntos de muestreo.....	18

7.3	Descripción de los puntos de muestreo	18
7.4	Recolección de muestras	20
7.5	Análisis Difractométrico y Granulométrico	23
7.6	Análisis de agua	24
7.6.1.	Digestión de la muestra para Bario y Fósforo Total	25
7.6.2	Alcalinidad	25
7.6.3	Dureza	26
7.6.4	Clorofila a.....	26
7.7	Análisis de sedimentos	28
7.7.1	Digestión de la muestra para Bario, Fósforo Total e Hidrocarburo	28
7.7.2	Método Gravimétrico para medición de hidrocarburos	29
7.8	Medición de Bario y Fósforo Total	29
7.8.1	Medición de Fósforo Total.....	29
7.8.2	Medición de Bario	30
7.9	Índice de Carlson.....	30
CAPÍTULO IV		32
8. RESULTADOS		32
8.1	Resultados del Análisis Difractométrico y Granulométrico de los sedimentos	32
8.2	Resultados de los análisis de Agua	33
8.2.1	Parámetros Físico Químicos.....	33
8.2.2	Dureza y alcalinidad.....	34
8.2.3	Fósforo Total y Bario	34
8.2.4	Profundidad Secchi	35
8.3	Resultados de los análisis de los Sedimentos.....	35
8.3.1	Fósforo Total y Bario	35
8.3.2	Hidrocarburos Totales	36
8.3.3	Resultados de Clorofila A en la laguna.....	37
8.4	Cálculo del Índice de Carlson	39
CAPÍTULO V		41
9. DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS		41
9.1	Difractometría de los sedimentos	41
9.2	Granulometría de los sedimentos	41

9.3	Análisis de la relación entre los parámetros obtenidos	43
9.3.1	Relación Oxígeno Disuelto-Temperatura.....	43
9.3.2	Relación Dureza-Alcalinidad:	51
9.3.3	Relación Bario en agua y Bario en sedimento	59
9.3.4	Relación Fósforo en agua y Fósforo en sedimento	67
9.3.5	Relación Bario Fósforo con oxígeno disuelto y pH en agua.....	74
9.3.6	Relación Bario Fósforo en Sedimento	81
9.4	Índice de Carlson.....	88
CAPÍTULO VI.....		91
10 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		91
10.1	Conclusiones	91
10.2	Recomendaciones.....	92
CAPÍTULO VII.....		93
BIBLIOGRAFÍA		93
ANEXOS		95
Anexo I: Mapa de la Reserva Biológica de Limoncocha.....		96
Anexo II: Mapa de la ubicación de la laguna de Limoncocha con sus principales efluentes		97
Anexo III: Resultados de los análisis Difractométrico y Granulométrico, realizado por el departamento de Metalurgia Extractiva de la Escuela Politécnica Nacional		98

INDICE DE CUADROS

Cuadro I: Ciclo del fósforo	14
Cuadro II: Clasificación del estado trófico modificado.....	16
Cuadro III: Puntos de muestreo en la laguna de Limoncocha	19
Cuadro IV: Muestreador de Agua.....	20
Cuadro V: Muestreador de Sedimentos.....	22

INDICE DE TABLAS

Tabla I: Coordenadas de los puntos de muestreo	18
Tabla II: Resultado del análisis Difractométrico	32
Tabla III: Resultados de análisis Granulométricos	32
Tabla IV: Parámetros “in situ”	33
Tabla V: Resultados de Dureza y Alcalinidad	34
Tabla VII: Resultados de bario y fósforo en agua	34
Tabla VII: Profundidad Secchi	35
Tabla VIII: Resultados bario fósforo en sedimentos	35
Tabla IX: Hidrocarburos Totales	36
Tabla X: Clorofila A	37
Tabla XI: Resultado de la aplicación del Índice de Carlson	39

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1: Estudio Granulométrico de la laguna de Limoncocha	42
Gráfico 2: Relación oxígeno disuelto-temperatura Laguna (muelle)	45
Gráfico 3: Relación oxígeno disuelto-temperatura Laguna (antena)	46
Gráfico 4: Relación oxígeno disuelto-temperatura Laguna (Río Pishira)	47
Gráfico 5: Relación oxígeno disuelto-temperatura Río Pishira	48
Gráfico 6: Relación oxígeno disuelto-temperatura Río Playayacu	49
Gráfico 7: Relación oxígeno disuelto-temperatura Río Sek	50
Gráfico 8: Relación dureza-alcalinidad Laguna Muelle	53
Gráfico 9: Relación dureza-alcalinidad Muelle (antena)	54
Gráfico 10: Relación dureza-alcalinidad Laguna (Pishira)	55
Gráfico 11: Relación dureza-alcalinidad Río Pishira	56
Gráfico 12: Relación dureza-alcalinidad Río Playayacu	57
Gráfico 13: Relación dureza-alcalinidad Río Sek	58
Gráfico 14: Relación bario en agua-bario en sedimento-pH Laguna(muelle)	61
Gráfico 15: Relación bario en agua-bario en sedimento Laguna(antena)	62
Gráfico 16: Relación bario en agua-bario en sedimento-pH Laguna(Pishira)	63
Gráfico 17: Relación bario en agua-bario en sedimento-pH Río Pishira	64
Gráfico 18: Relación bario en agua-bario en sedimento-pH Río Playayacu	65
Gráfico 19: Relación bario en agua-bario en sedimento-pH Río Sek	66
Gráfico 20: Relación fósforo en agua-fósforo en sedimento Laguna(muelle)	68
Gráfico 21: Relación fósforo en agua-fósforo en sedimento Laguna(antena)	69
Gráfico 22: Relación fósforo en agua-fósforo en sedimento Laguna(Pishira)	70
Gráfico 23: Relación fósforo en agua-fósforo en sedimento Río Pishira	71
Gráfico 24: Relación fósforo en agua-fósforo en sedimento Río Playayacu	72
Gráfico 25: Relación fósforo en agua-fósforo en sedimento Río Sek	73
Gráfico 26: Relación bario-fósforo en agua-oxígeno disuelto- pH Laguna(muelle)	75
Gráfico 27: Relación bario-fósforo en agua-oxígeno disuelto- pH Laguna(antena)	76
Gráfico 28: Relación bario-fósforo en agua-oxígeno disuelto- pH Laguna(Pishira)	77
Gráfico 29: Relación bario-fósforo en agua-oxígeno disuelto- pH Río Pishira	78
Gráfico 30: Relación bario-fósforo en agua-oxígeno disuelto- pH Río Playayacu	79
Gráfico 31: Relación bario-fósforo en agua-oxígeno disuelto- pH Río Sek	80

Gráfico 32: Relación bario en sedimento-fósforo en sedimento Laguna(muelle)	82
Gráfico 33: Relación bario en sedimento-fósforo en sedimento Laguna(antena)	83
Gráfico 34: Relación bario en sedimento-fósforo en sedimento Laguna(Pishira)	84
Gráfico 35: Relación bario en sedimento-fósforo en sedimento Río Pishira	85
Gráfico 36: Relación bario en sedimento-fósforo en sedimento Río Playayacu	86
Gráfico 37: Relación bario en sedimento-fósforo en sedimento Río Sek	87
Gráfico 38: Índice del Estado Trófico Modificado (De Enero, Febrero y Marzo).....	89
Gráfico 39: Índice del Estado Trófico modificado (marzo y abril)	90

INDICE DE FOTOS

Foto 1: Muelle de la estación de Limoncocha (vegetación)	3
Foto 2: Laguna de Limoncocha	5
Foto 3: Actividades de campo	17
Foto 4 : Muestreo de agua en ríos	21
Foto 5: Recolección de la muestra de sedimento	23
Foto 6: Muestra de sedimento	24

CAPÍTULO I

1. Antecedentes

Se han realizado en años anteriores varios estudios en la Laguna de Limoncocha como tesis de grado por parte de los alumnos de la universidad Internacional SEK, en los que se han investigado diferentes aspectos limnológicos, tendientes a caracterizar el sistema lacustre. Hasta el presente, se han realizado estudios batimétricos, de calidad del agua, estado trófico, remoción de elementos por biota, inventarios de biota, etc.. Si bien se ha avanzado en el conocimiento de la laguna, persisten temas, como la fertilización interna, que no están suficientemente esclarecidos.

Por otra parte si bien se han realizado estudios de hidrocarburos en aguas, no se ha investigado su presencia en sedimentos.

2 Descripción del Problema

El fósforo en la laguna de Limoncocha cumple un papel esencial en el trofismo de la laguna como lo demuestran los estudios previos de: Gómez, J. (2003), quien realizo un diagnóstico del estado trófico de la laguna de Limoncocha y la determinación de la calidad del agua del sistema hídrico en la zona. Arpi S. (2004), realizó una evaluación del contenido de fósforo en la laguna de Limoncocha y su relación con el estado trófico. Otros estudios realizados fueron los de Espinoza (2001), Andrade (2001) y Ayala (2003), quienes determinaron diversas características de la laguna de Limoncocha entre las que se encuentran la altitud promedio, profundidad promedio, área de la laguna, tiempo de residencia, caudal de salida, volumen total promedio, transparencia, época de mayor estratificación y la profundidad promedio de la termoclina.

El fósforo tiene una baja concentración en el agua pero una alta concentración en los sedimentos, y se presume que el bario y la variación de algunos parámetros físico-químicos pueden tener incidencia significativa en el intercambio entre el agua y los sedimentos.

Por otra parte, de haberse producido ingresos de hidrocarburos en la laguna, es posible que se hayan acumulado en los sedimentos, conservando un registro de lo ocurrido.

3. Objetivos

3.1) Objetivo General:

- * Determinar el mecanismo del intercambio de fósforo y bario entre los sedimentos y el agua de la laguna y su relación con otros parámetros físico-químicos.
- * Determinar la presencia de hidrocarburos en los sedimentos.
- * Aplicar el índice de Carlson modificado para, al caso de la laguna de Limoncocha.

3.2) Objetivos Específicos:

- a. Establecer la variación de concentraciones de fósforo y bario en agua y sedimentos, en base a muestreo periódico y a monitoreo simultáneo de otros parámetros físico-químicos.
- b. Caracterizar los minerales presentes en los sedimentos
- c. Esbozar un modelo de eutroficación de la laguna.

4. Justificación

En los estudios realizados por la Universidad Internacional SEK, se ha podido entender mejor el estado de la laguna de Limoncocha. Se ha podido saber mediante estos estudios las concentraciones de diversos elementos que se encuentran presentes en el agua, entre éstos se ha estudiado la concentración de fósforo y bario en la laguna, para poder lograrlo también se tiene un control de los principales afluentes que afectan a la laguna.

Sin embargo, no se sabe con exactitud cual es el papel que cumplen los sedimentos con relación al fósforo y al bario, como tampoco se sabe la relación entre estos dos compuestos, por ese motivo lo que se quiere realizar es un estudio a mayor detalle de los sedimentos, y así lograr una visión mas clara del comportamiento tanto del fósforo como del bario y la relación existente entre los dos.

Por otro lado, se van a analizar los sedimentos para establecer su composición mineralógica y verificar además si tienen presencia de hidrocarburos, con estos datos se considera tener un aporte importante a los estudios anteriormente realizados.

5. Descripción de la zona de estudio

La reserva biológica de Limoncocha se encuentra ubicada en la región amazónica, provincia de Sucumbíos, cantón Shushufindi, situada en la margen izquierda del río Napo, tiene una planicie aluvial de 4,613,25 hectáreas pobladas de bosque Húmedo Tropical, una temperatura promedio de 24,9 grados centígrados y una precipitación lluviosa de 3.058 mm. por año.¹

La laguna de Limoncocha, anteriormente llamada Capucuy, tiene una superficie aproximada de 2.5 Km² en la que se encuentran una gran diversidad de especies de flora y fauna.²

Foto 1: Muelle de la estación de Limoncocha (vegetación)



¹ www.ambiente.gov.ec

² www.interactive.net.ec/travesia/limoncocha.htm

CAPÍTULO II

6. Marco Teórico

6.1 Limnología:

Roldán (1992), presenta una serie de definiciones sobre limnología que se encuentran propuestos por diferentes actores, entre las que están las que se mencionarán a continuación.

Baldi (1949), un reconocido limnólogo, dice que la limnología es “Ciencia que trata de la interrelación de procesos y métodos donde quiera que haya transformación de materia y energía en el agua”.

En el primer congreso internacional de limnología realizado en Kiel (Alemania) en 1922, se define a la limnología como “el estudio de todas las masas de agua continentales”, independientemente de su origen, dimensión o salinidad.³

Es el estudio de las relaciones fundamentales y de productividad de la comunidad de agua dulce y la manera como éstas son afectadas por el ambiente físico, químico y biológico.⁴

Según Keller, la limnología es el estudio de las relaciones funcionales y de productividad de las comunidades de agua dulce y la manera como éstas son afectadas por el ambiente físico, químico y biológico.⁵

6.2 Lagos y lagunas⁶

Un lago es una extensión de agua rodeada de tierra por todas partes. La diferencia entre lago y laguna es que la laguna es más pequeña.

Raasveldt y Tomic (1958) llegaron a la conclusión de que un lago es un cuerpo de agua de profundidades considerables; en cambio, laguna es un término para designar cuerpos de agua poco profundos. Los lagos son formados en su mayoría en las altas montañas por proceso de

³ Roldán P. Gabriel, FUNDAMENTOS DE LIMNOLOGÍA NEOTROPICAL, primera edición, editorial Universidad de Antioquia, Colombia, 1992.

⁴ Wetzel G. , LIMNOLOGY, segunda edición, editorial Saunders college publishing, New York – Estados Unidos, 1983.

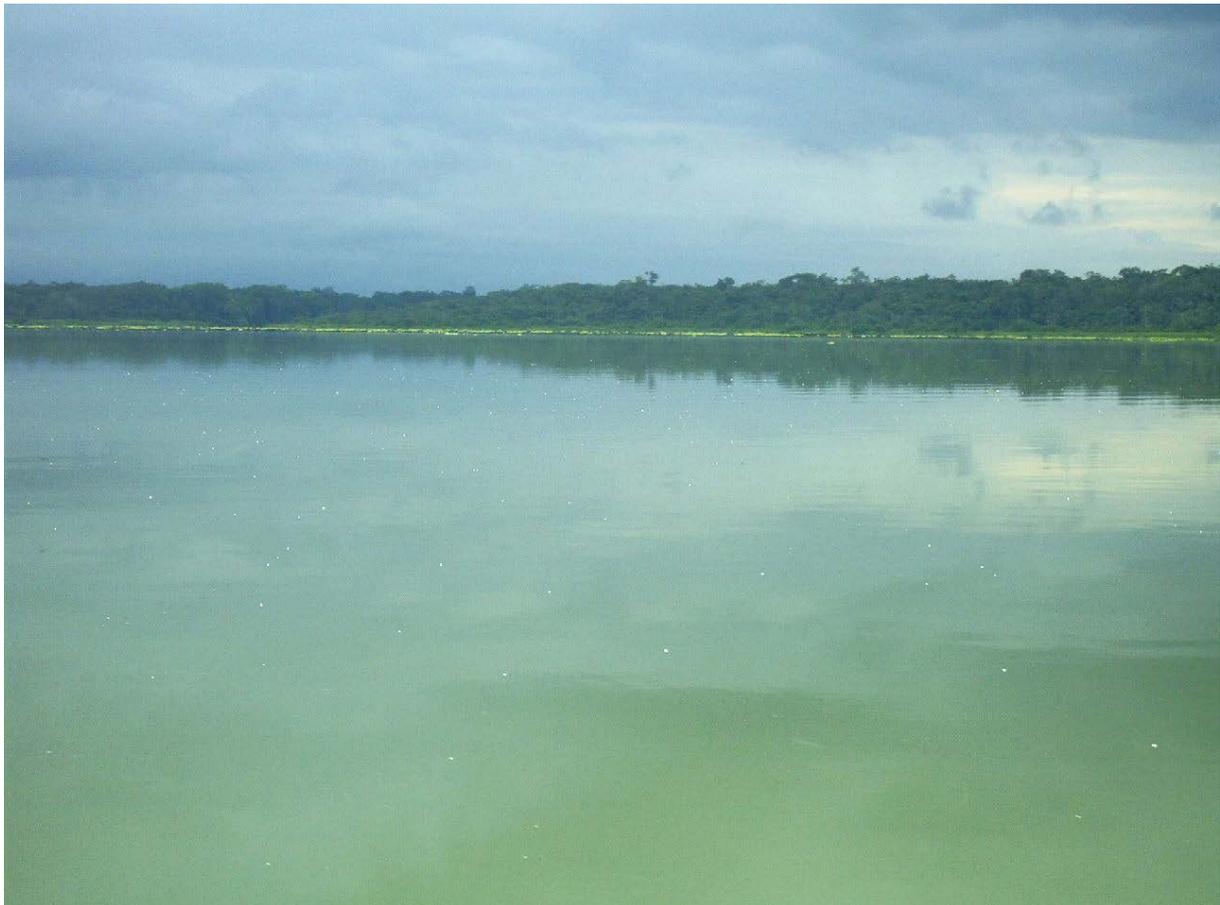
⁵ Keller R. , GEXASSES UND WASSERHAUSHALT DES FEST- LANDES, Haude UI Spenerseche Verl, Berlin- Alemania, 1961.

⁶ Roldán P. Gabriel, FUNDAMENTOS DE LIMNOLOGÍA NEOTROPICAL, primera edición, editorial Universidad de Antioquia, Colombia, 1992.

deshielo o movimiento tectónico; en cambio, las lagunas se forman en las partes bajas de los ríos por procesos de inundación de llanuras o por acción conjunta entre el mar y el río.

Los lagos y lagunas no son elementos permanentes del paisaje y esto se debe a la acumulación de sedimentos y materia orgánica, que hacen que su vida sea limitada.

Foto 2: Laguna de Limoncocha



6.2.1 Lagos eutróficos, mesotróficos y oligotróficos:

En los lagos se pueden distinguir tres tipos según la abundancia de nutrientes:

a. Eutróficos

Contienen aguas ricas en nutrientes, lo que facilita la proliferación de las algas. En estos lagos, la luz penetra con dificultad en las aguas y los seres vivos que se encuentran son los característicos de las aguas pobres en oxígeno.

b. Mesotrófico

Contienen aguas que presentan características intermedias entre el estado eutrófico y oligotrófico

c. Oligotróficos

Contienen aguas pobres en nutrientes, por tanto, las algas no proliferan excesivamente, las aguas son claras y penetra la luz con facilidad, existe oxígeno en abundancia y la flora y fauna es típica de aguas oxigenadas.⁷

6.3 Sedimentos

Los sedimentos son tomados casi siempre como un tipo de contaminantes debido al proceso natural de erosión. Al existir exceso de sedimentos producidos por una alteración de este proceso se convierte en el más extenso agente contaminante en aguas superficiales.

Se estima que los sólidos suspendidos que se encuentran en aguas naturales son al menos 700 veces más que en los sólidos suspendidos provenientes de las descargas de desagüe.⁸

Son los depósitos que se forman en la superficie de la tierra y en el fondo del mar. La formación de sedimentos en gran parte depende de acciones físicas y químicas presentes en la transición roca -atmósfera y roca - agua.

Los depósitos de sedimentos en los lagos funcionan bien sea como fuente o como reserva de muchos de los nutrientes esenciales involucrados en el proceso de eutroficación.

El intercambio de nutrientes entre los sedimentos y el agua sobreyacente depende de las características químicas del agua y de las del sedimento (Wetzel 1981). Este compartimiento ecosistémico actúa como una reserva tampón de nutrientes para la columna de agua, pues por un lado amortigua los aumentos de nutrientes en el medio provenientes de los aportes directos y/o de la descomposición de materia orgánica, reteniendo una parte de los mismos. De otro lado, compensan los déficits de nutrientes en periodos de alta demanda biológica, liberando parte de estas formas retenidas (Carmouze 1994). Además, la energía externa disponible en el ambiente o en el sistema se refleja en las características del sedimento; por ello, la composición de los materiales de origen alóctono o autóctono y la velocidad con que se acumulan expresa la actividad del lago como receptor de una cuenca y como centro de actividad biológica (Margalef 1983).⁹

⁷ www.1.ceit.es/asignaturas/ecologia/hipertexto/11cagu7150eutro.htm

⁸ Arpi Salvador J., EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE FÓSFORO EN LA LAGUNA DE LIMONCOCHA Y SU RELACIÓN CON EL ESTADO TRÓFICO, Tesis de Grado Universidad Internacional SEK, Quito-Ecuador, 2004.

⁹ Ramírez J., Noreña J., CARACTERIZACIÓN DEL SEDIMENTO DE UNA LAGUNA TROPICAL RAZA, Departamento de Biología, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia, 2004

6.3.1 Clasificación de los sedimentos:

Los sedimentos generalmente son clasificados de la siguiente manera:

a) Sedimentos de origen clástico (Litogénico)

Estos sedimentos son producto de la desintegración de rocas preexistentes y como resultado de las erupciones volcánicas. Son transportados por ríos, glaciares y viento. La nomenclatura esta basada en el tamaño del grano (grava, arena, limo, arcilla). Se utilizan otros clasificadores adicionales en función del origen de los componentes clásticos, como también de su estructura y el color de los depósitos.

b) Sedimentos de origen biológico (Biogénico)

Son producto de los restos de organismos, compuestos carbonatados, ópalo, y fosfato de calcio. Estos sedimentos llegan al sitio de deposición mediante precipitaciones in situ o a través de columnas de agua. Son movilizados a otros lugares mediante olas y corriente de agua. La nomenclatura está basada en el tipo de organismo y también en la composición química. Los calificadores adicionales son la estructura, el color, el tamaño, o la materia adicionada.

c) Sedimentos de origen químico (Hidrogénico)

Son precipitados generados a partir del agua de mar o lago, o del agua intersticial. También son alteraciones producidas mediante reacciones químicas dentro de los depósitos de sedimentos. Su nomenclatura está basada en el origen y en la composición química. El clasificador adicional es generalmente la estructura y el color.

6.3.2 Origen de los sedimentos de los lagos¹⁰

Los sedimentos profundos de los lagos se encuentran formados por granos finos. Estos sedimentos contienen materia orgánica y minerales de dos tipos: alóctonos y autóctonos.

- Alóctonos (fueron transportados al ambiente que los contiene) Depositos terrígenos (limos, arenas, conglomerados, arcillas), depositos piroclásticos.
- Autóctonos (se forman dentro del ambiente que los contiene) Precipitados químicos (carbonatos, evaporitas, cherts, fierro, fosfatos), depositos orgánicos (carbón, petróleo, gas), depositos residuales (lateritas, bauxitas).

El componente inorgánico autóctono está constituido, en gran parte, por frústulas de diatomeas silíceas y quizás espículas de esponja, junto con carbonato de calcio precipitado

¹⁰ Cole Gerald, MANUAL DE LIMNOLOGÍA, tercera edición, editorial Hemisferio Sur, Uruguay, 1988.

por eventos biológicos. En lagos oligotróficos los depósitos son escasos y mineralizados. Su contenido orgánico es bajo porque la abundancia de oxígeno en las aguas que lo cubren favorece la degradación bacteriana.

El sedimento lacustre común de la eutrofia fue nombrado como gyttja y descrito por un científico sueco llamado Ven Post. Este consiste en una mezcla de material húmico, fragmentos pequeños de plantas, restos de algas, granos de cuarzo y mica, frústulas de diatomeas, fragmentos de exoesqueletos de artrópodos acuáticos, reliquias de esporas y polen, y plancton que ha sido mezclado y modificado por la fauna bentónica que lo consume y contribuye con sus heces a su constitución.

Debido a que el sedimento tiene su origen en material fecal la coprogénesis es un aspecto importante en su formación, de tal forma que el término utilizado anteriormente fue sustituido por “copropel”, que surgió como un producto del trabajo realizado por Cedar Swain y Prokopovich (1954). Bajo este concepto se tienen tres clases de sedimentos

a) Copropel:

En el copropel se encuentran nutrientes como el nitrógeno y el fósforo en forma abundante; el fósforo se encuentra comúnmente unido al hierro, al aluminio, y en menos cantidad al calcio. Los pigmentos de las plantas pueden ser extraídos.

b) Sapropel:

Son depósitos profundos que están sujetos a períodos extraordinariamente largos de anoxia donde se prevalecen condiciones reductoras, se forma otro sedimento orgánico. Es un material negro brillante muy empapado de agua y sin la estructura del copropel. Tiene olor a huevo putrefacto del H_2S , contiene gas metano, gas de pantano (CH_4) y debe su resplandeciente color negro al sulfuro ferroso.

c) Sedimentos distróficos:

Los sedimentos de la distrofia se llaman dy y fueron descritos inicialmente como muy parecidos al copropel de las aguas eutróficas, pero con un alto contenido de humus ácido. El contenido de material orgánico es mayor en el dy.

El término se refiere usualmente a un material amarillo-castaño, floculento y fibroso derivado en gran parte de la turba de los juncos del pantano o de fuentes alóctonas.

6.3.3 Efectos perjudiciales de los sedimentos en el agua¹¹

Se pueden establecer algunos efectos ocasionados por la abundante presencia de sedimentos en el agua:

a) Se llenan los depósitos de cauces del arroyo y puertos.

Esto causa que los cauces se inunden más fácilmente, alterando las proporciones de flujo y profundidades del cauce, y reduciendo así la vida útil de los depósitos.

b) Extinción de los animales acuáticos.

El sedimento que se encuentra en el fondo reduce la población de peces y otros microorganismos, esto se da debido a la reducción de alimentos.

c) Reduce la penetración de luz en el agua:

La reducción del ingreso de luz solar en el agua produce una alteración en la fotosíntesis de las plantas, y con esto una pérdida de oxígeno en el agua.

d) Produce turbidez en el agua:

Esto alteraría a la pesca si se necesitara visibilidad, para su realización. Como también se encuentra directamente relacionada con la actividad de animales y plantas acuáticas.

Además para el caso de un lago, un efecto muy importante es la colmatación y la pérdida de volumen.

6.4 Eutrofización¹²

Por eutrofización se entiende, la intensificación trófica de las aguas, como resultado de la disponibilidad y utilización acrecentada de nutrimentos. La concentración de nutrientes se incrementa muy fuertemente en las aguas, por el ingreso elevado de fósforo y nitrógeno debido a la descargas directas de aguas servidas y por la descarga de aguas combinadas desde plantas de tratamiento, sin una completa eliminación de nutrimentos. Adicionalmente se presenta ingreso difusos de suelos utilizados para la agricultura. Esto lleva a una rápida eutrofización de aguas de flujo confinado (lagos).

La eutrofización es igual a la elevación de la producción primaria por ingreso de nutrimentos, como factores limitantes pueden ser significativos:

- Fósforo (en forma disponible para las plantas)
- Nitrógeno (asimilación de N, por algunas cyanobacterias)

¹¹ Hakson L.- Jansson M., PRINCIPLES OF LAKE SEDIMENTOLOGY, Springer- Verlag, Berlin Heidelberg New York Tokyo, 1983.

¹² Günter Gunkel, LIMNOLOGIA Y PROTECCION DE SISTEMAS ACUATICOS, Escuela Politécnica Nacional, Quito. Ecuador, 1996.

- Silicio (únicamente para diatomeas y algunas macrofitas)
- Disponibilidad de luz (intensidad de iluminación, turbulencia)
- Micro nutrientes (se presenta innumerables micronutrientes, pero su mayoría sin significado como factor limitante)

6.4.1 Efectos de la Eutrofización¹²

- Variación de los géneros existentes y de la sucesión de géneros, retroceso de géneros de algas, zooplancton y peces.
- Aparecimiento de cianobacterias.
- Florecimiento acuático
- Desarrollo en gran escala de algas
- Evolución diurna y nocturna de la concentración de oxígeno, aparecimiento de sobresaturación de oxígeno en el día.
- Incremento de pH, efecto tóxico de nitritos y amoníaco
- Eventuales muertes de peces
- Formación de lodo pútrido
- Liberación de fósforo
- Presencia de algas filamentosas en el litoral.

6.4.2 Tipos de Eutrofización

- Eutrofización Natural

Consiste en el envejecimiento geológico de hábitats acuáticos. Se debe a procesos naturales de erosión del suelo y lixiviados, que enriquecen con nutrientes a la masa de agua al cabo de cientos de miles de años.

- Eutrofización Cultural

Consiste en la aceleración de la eutrofización natural por efecto del desarrollo de actividad humana. Se debe, entonces, a la erosión acelerada o antrópica, al vertido de agua residual doméstica e industrial ricas en nutrientes y al drenaje de zonas agrícolas donde se usan fertilizantes que contienen fósforo y nitrógeno.¹³

¹³ Gómez J., DIAGNOSTICO DEL ESTADO TROFICO DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA Y DETERMINACION DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL SISTEMA HIDRICO DE ÑA ZONA DE LIMONCOCHA, Tesis de Grado Universidad Internacional SEK, Quito-Ecuador, 2003.

6.5 *Parámetros Físico-Químicos y biológicos del Agua*

Los parámetros de importancia para la investigación y sus características principales son:

- *Dureza*: Permite conocer la cantidad de sales disueltas de calcio y magnesio que contiene el agua.
- *Alcalinidad*: Es la cantidad de iones en el agua que reaccionan con protones. Su capacidad para neutralizar ácidos y prevenir cambios bruscos en el pH la hace importante en el tratamiento químico de aguas residuales, en los procesos de remoción biológica de los nutrientes, en la remoción de átomos y en el tratamiento anaerobio.
- *Temperatura*: Es uno de los parámetros mas importantes en los sistemas de aguas superficiales naturales. La temperatura tiene efectos sobre la mayor parte de las reacciones químicas que ocurren en los sistemas de agua, y tiene un efecto pronunciado en la solubilidad de los gases.
- *Oxígeno disuelto*: Constituye la concentración de oxígeno que a una determinada temperatura, se encuentra disuelto en el agua.¹⁴
- *pH*: Es un término de uso general para expresar la magnitud de acidez o alcalinidad. Es una forma de expresar la concentración de iones hidrógeno o, la actividad del ión hidrógeno
- *Conductividad Eléctrica*: Es la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad. Es un indicador de la materia ionizable total presente en el agua.
- *Sólidos totales disueltos*: Son aquellos sólidos solubles disueltos en el agua, que pueden colorear la misma. Estos pueden afectar negativamente la calidad del agua. Aguas con abundante sólidos disueltos pueden inducir una reacción fisiológica desfavorable en el consumidor.¹⁵

¹⁴ Gómez J., DIAGNOSTICO DEL ESTADO TROFICO DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA Y DETERMINACION DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL SISTEMA HIDRICO DE LA ZONA DE LIMONCOCHA, Tesis de Grado Universidad Internacional SEK, Quito-Ecuador, 2003

¹⁵ APHA, AWWA, WPCF, METODOS NORMALIZADOS PARA EL ANALISIS DE AGUA POTABLE Y RESIDUAL, decimoséptima edición, Editorial Díaz de Santos S.A., Madrid. España, 1992.

- *Profundidad Secchi:* Es la distancia en la que desaparece y aparece, a la vista del operador, el disco de Secchi. Éste consiste en un disco blanco laqueado con un diámetro de 30cm y 3mm de grueso. La profundidad Secchi está íntimamente ligada a la transparencia del agua, la cual se ve influida por la suspensión del sedimento y la presencia de material inorgánico y/o de floraciones microalgares.¹⁶
- *Clorofila:* Todas las plantas contienen clorofila a, que constituye aproximadamente del 1 al 2 % del peso seco de las algas planctónicas.
Los productos importantes de degradación de clorofila encontrados en el medio acuático son los clorofílicos, feofóbidos y las feofitinas.¹⁷
- *Fósforo:* Es muy necesario para toda la vida, funciona en el almacenamiento y transferencia de la energía de las células y de los sistemas genéticos. El fósforo es mucho más escaso que los otros átomos principales de los organismos vivos.
- *Bario:* El Bario es un metal plateado-blancuzco que puede ser encontrado en el medioambiente, donde existe de forma natural. Aparece combinado con otros elementos químicos, como el azufre, carbón u oxígeno.
Debido al uso extensivo del Bario en las industrias, el Bario ha sido liberado al ambiente en grandes cantidades. Como resultado las concentraciones de Bario en el aire, agua y suelo pueden ser mayores que las concentraciones que ocurren de forma natural en muchos lugares. El Bario es liberado al aire por las minas, proceso de refinado, y durante la producción de compuestos de Bario. Puede entrar también al aire durante la combustión del carbón y aceites.
Algunos compuestos del Bario que son liberados durante procesos industriales, se disuelven fácilmente en agua y son encontrados en lagos, ríos y arroyos.
Debido a sus solubilidades, estos compuestos del Bario pueden alcanzar largas distancias desde sus puntos de emisión. Cuando peces y otros organismos acuáticos absorben los compuestos del Bario, el Bario se acumulará en sus cuerpos. Los compuestos del Bario

¹⁶ Gómez J., DIAGNOSTICO DEL ESTADO TROFICO DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA Y DETERMINACION DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL SISTEMA HIDRICO DE LA ZONA DE LIMONCOCHA, Tesis de Grado Universidad Internacional SEK, Quito-Ecuador, 2003.

¹⁷ APHA, AWWA, WPCF, METODOS NORMALIZADOS PARA EL ANALISIS DE AGUA POTABLE Y RESIDUAL, decimoséptima edición, editorial Díaz de Santos S.A., Madrid España, 1992

que son persistentes usualmente permanecen en la superficie del suelo, o en el sedimento de las aguas. El Bario es encontrado en la mayoría de los suelos en bajos niveles. Estos niveles pueden ser más altos en vertederos de residuos peligrosos.¹⁸

Aparentemente la presencia de bario en los cuerpos de agua del oriente es relativamente alta (no confirmado aún con datos publicados).

- *Hidrocarburos*¹⁹: Los hidrocarburos son los compuestos orgánicos de cadenas de carbono más simples y se clasifican en dos grupos principales, de cadena abierta y cíclicos. En los compuestos de cadena abierta que contienen más de un átomo de carbono, los átomos de carbono están unidos entre sí formando una cadena lineal que puede tener una o más ramificaciones. En los compuestos cíclicos, los átomos de carbono forman uno o más anillos cerrados. Los dos grupos principales se subdividen según su comportamiento químico en saturados e insaturados.

Algunas sustancias químicas que pueden encontrarse como hidrocarburos totales (TPH) incluyen hexano, benceno, tolueno, xileno, naftalina, fluoreno, aceites minerales, así como también otros productos de petróleo y componentes de gasolina. Sin embargo, es probable que muestras de TPH contengan solamente algunas, o una mezcla de estas sustancias químicas.

6.6 Ciclo del fósforo

El fósforo es un componente esencial de los organismos. Se encuentra en pequeñas cantidades en las plantas, en proporciones de un 0,2%, aproximadamente. En los animales hasta el 1% de su masa puede ser fósforo.

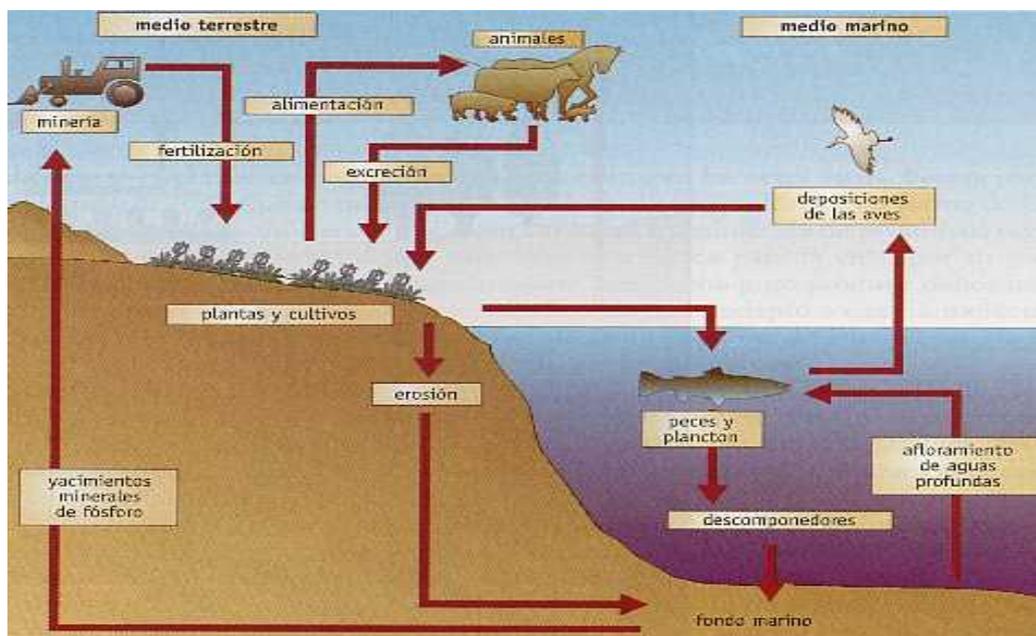
Su reserva fundamental en la naturaleza es la corteza terrestre. Por meteorización de las rocas o emitido por los productos volcánicos, queda disponible para que lo puedan tomar las plantas. Con facilidad es arrastrado por las aguas. Parte del que es arrastrado sedimenta al fondo de los cuerpos de agua y, luego de diversos procesos geológicos, podría dar lugar a la formación de rocas que tardarán millones de años en volver a emerger y liberar de nuevo los compuestos de fósforo.

¹⁸ www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Ba.htm

¹⁹ www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts123.html

Otra parte es absorbido por el plancton que, a su vez, es consumido por organismos filtradores de plancton, como algunas especies de peces. Cuando estos peces sirven de alimento a aves que tienen sus nidos en tierra, devuelven parte del fósforo en las heces (guano) al suelo. Con los compuestos de fósforo que se explotan de los grandes depósitos acumulados en algunos lugares de la tierra, se abonan los terrenos de cultivo, a veces en cantidades desmesuradas, originándose problemas de eutrofización.²⁰

Cuadro I: Ciclo del fósforo



www.esi.unav.es/asignaturas/ecologia/Hipertexto/04Ecosis/137CicP.htm

6.6.1 Ingreso del fósforo

El ingreso del fósforo en el agua sucede por depósitos directo de la atmósfera como también por la actividad de las cuencas hidrográficas, en particular por:

- ✓ Fuentes Puntuales
 - Ingreso de aguas servidas
 - Descargas de aguas servidas depuradas
 - Ingreso directo por acuicultura

²⁰ www.esi.unav.es/asignaturas/ecologia/Hipertexto/04Ecosis/137CicP.htm

✓ Fuentes Difusas

- Precipitaciones
- Lixiviación del suelo
- Erosión de suelo
- Escorrentía superficial
- Drenaje de agua
- Ingreso de material alóctono
- Percolación de aguas servidas
- Aves acuáticas
- Balnearios
- Aguas subterráneas

✓ Ciclo interno de nutrientes

Es la liberación directa y puntual de P desde los sedimentos y el ingreso de follaje, polen y semillas de macrofitas del interior de las aguas.

Los parámetros y procesos esenciales para la descarga de P desde los sedimentos son: la capacidad de adsorción de los sedimentos y las reacciones químicas redox en los mismos.

6.6.2 El Fósforo en los sedimentos

Existe una cantidad mucho mayor de fósforo en los sedimentos que en la columna de agua, lo cual tiene que ver con la habilidad de los sedimentos para retornar el fósforo, las condiciones del agua y el tipo de biota en los sedimentos, que puede alterar el retorno del fósforo a la zona tropogénica.²¹

6.7 Índice de Carlson

Un índice de calidad puede definirse como una forma resumida y sencilla de interpretar de forma matemática un valor único que engloba el estado de un cuerpo de agua a partir de indicadores específicos. Un índice suele obtenerse como la combinación lineal de los valores medidos de los parámetros y el peso específico asignado previamente.²²

²¹ Roldán P. Gabriel, FUNDAMENTOS DE LIMNOLOGÍA NEOTROPICAL, primera edición, editorial Universidad de Antioquia, 1992, Colombia.

²² Coral Katty, Ingeniería Ambiental, Universidad Internacional SEK, Quito Ecuador

De aquí tenemos que es necesaria la aplicación de monitoreos sistemáticos de indicadores de importancia que permitan evaluar la calidad de un cuerpo de agua, con el fin de conocer las variaciones que existen en el mismo.

Considerando esto y de acuerdo con Duarte (1999) , el nivel trófico de un lago tropical se debe expresar utilizando modelos existentes a través de índices, que sean determinados por parámetros asociados con la eutrofización como son clorofila-a, fósforo y transparencia.

Para el caso presente, se destaca el Índice del Estado Trófico (IET) propuesto por Carlson (1977), este modelo es de gran utilidad pues presenta una gran objetividad y simplicidad en su aplicación y resultados, sin embargo tiene como limitante principal el hecho que se desarrolló en base a datos de zonas templadas, lo cual restringe su aplicación a zonas tropicales.

Debido a esto Toledo (1985), propuso una modificación en la formulación matemática del Índice del Estado Trófico propuesto por Carlson, para que el modelo se adapte también a zonas tropicales tomando en consideración las condiciones climáticas de estos ambientes, utilizando una investigación en el reservorio de Barra Bonita.²³

Cuadro II: Clasificación del estado trófico modificado

Clasificación del estado trófico de acuerdo al IET y del IETm			
IET Carlson (1977)		IETm Toledo Jr. (1985)	
Índice	Clasificación	Índice	Clasificación
< 20	Ultraoligotrófico	<45	Oligotrófico
20-40	Oligotrófico		
40-50	Mesotrófico	45-55	Mesotrófico
50-60	Eutrófico	>55	Eutrófico
>60	Hipereutrófico		

Pena L., Ferreira C., Almeida M., COMPORTAMENTO DOS ÍNDICES DO ESTADO TRÓFICO DE CARLSON (IET) E MODIFICADO (IETM) NO RESERVATÓRIO DA UHE LUÍS EDUARDO MAGALHÃES, Tocantins, Brasil

²³ Peña L., Ferreira C., Almeida M., COMPORTAMENTO DOS ÍNDICES DO ESTADO TRÓFICO DE CARLSON (IET) E MODIFICADO (IETM) NO RESERVATÓRIO DA UHE LUÍS EDUARDO MAGALHÃES, Tocantins- Brasil

CAPÍTULO III

7. METODOLOGÍA

7.1 *Actividades de campo*

En la presente tesis, se realizaron seis salidas a Limoncocha con intervalo de un mes entre cada una, tratando de que las salidas coincidan con los últimos días de cada mes. Para esto se planteó un cronograma de trabajo, que inició en el mes de diciembre del 2004 culminándose en Mayo del 2005. Cada salida tenían una duración de 2 días en los que la actividad principal era la recolección y preservación de muestras de agua y de sedimentos; Simultáneamente, se determinaron parámetros in situ del agua.

Foto 3: Actividades de campo



7.2 Puntos de muestreo

Para la realización de esta tesis se tomaron como referencias los puntos de muestreo que ya habían sido utilizados en las tesis de Arpi, S. (2004) y de Gómez, J. (2003), con el propósito de mantener un seguimiento de la laguna en las mismas condiciones que en esos trabajos. y observar las variaciones principalmente físico-químicas que la laguna de Limoncocha ha tenido en el transcurso de los años.

7.3 Descripción de los puntos de muestreo

Tabla I: Coordenadas de los puntos de muestreo

Punto de muestreo	Ubicación (UTM)
Punto I Laguna (Muelle)	18320108 E 9955252 N
Punto II Laguna (Antena)	18320742 E 9955963 N
Punto III Laguna (Desembocadura del río Pishira)	18321573 E 9957288 N
Punto IV Río Pishira	18321776 E 9957955 N
Punto V Río Playayacu	18320559 E 9956845 N
Punto VI Río Sek	17780345 E 9978093 N

Como se puede observar en el siguiente cuadro correspondiente a la laguna de Limoncocha.

Cuadro III: Puntos de muestreo en la laguna de Limoncocha



7.4 Recolección de muestras

Se utilizó un muestreador de fabricación casera para obtener muestras de agua, en la superficie y a los 25cm de profundidad. A estas muestras se las preservó hasta llegar posteriormente al laboratorio, para ser analizadas.

Cuadro IV: Muestreador de Agua

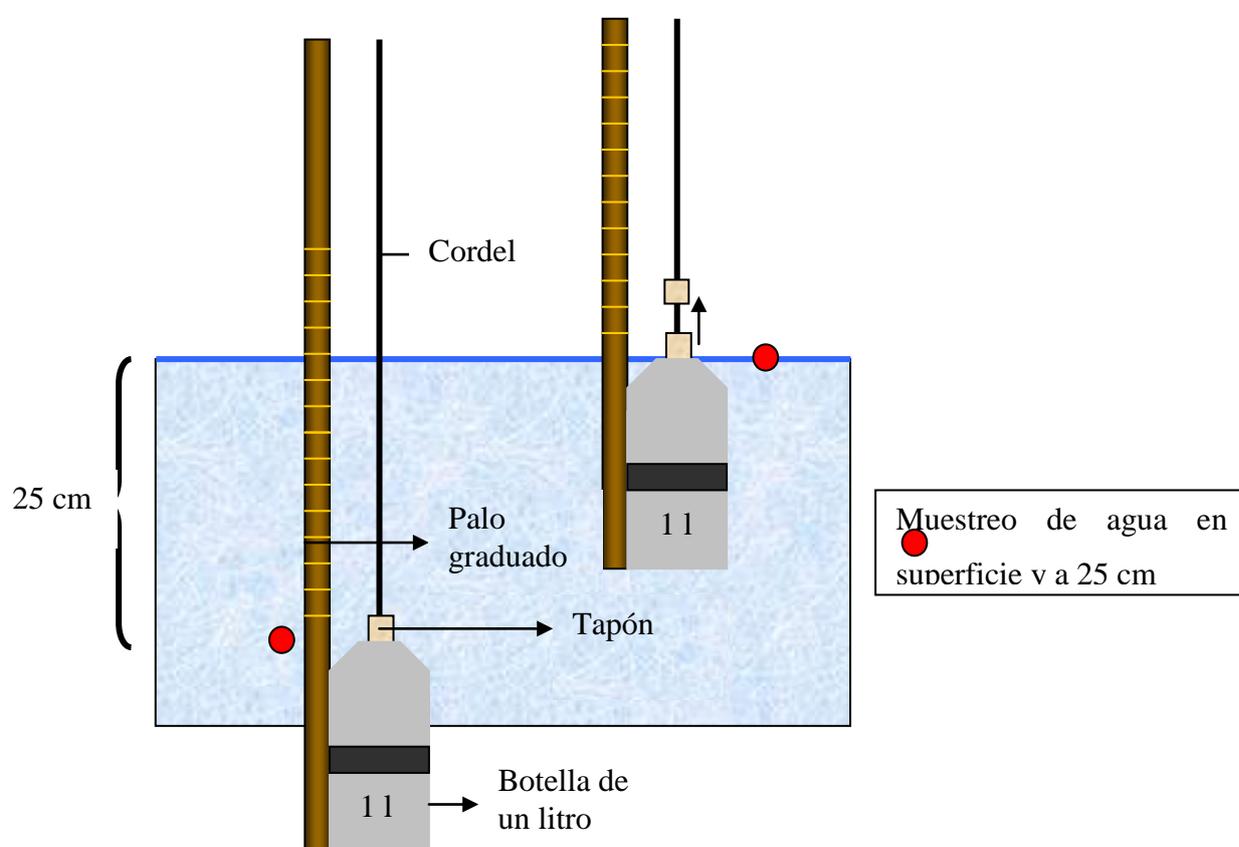
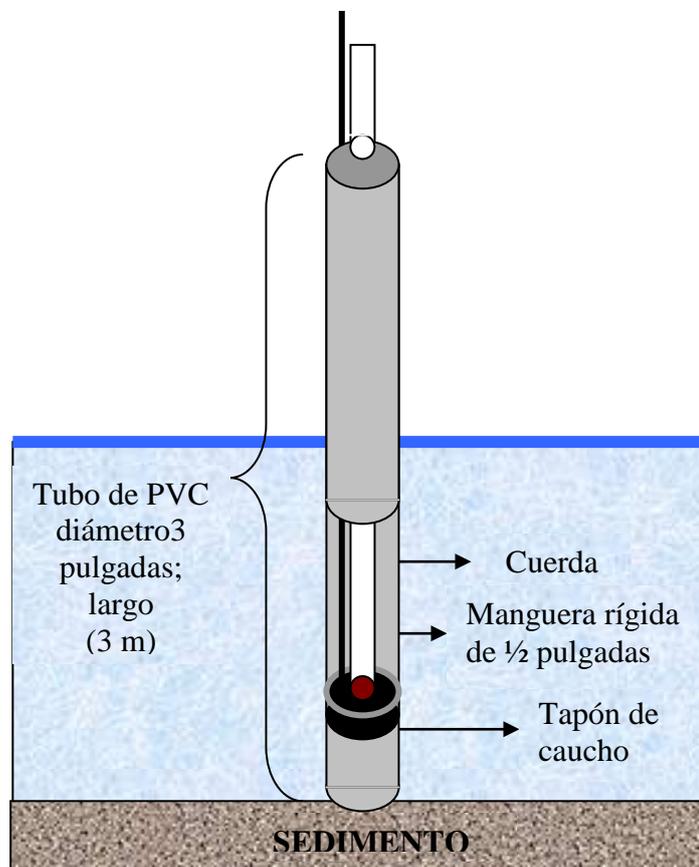


Foto 4 : Muestreo de agua en ríos



Para el muestreo de sedimentos se utilizó un muestreador igualmente de fabricación casera, diseñado para obtener un testigo inalterado del sedimento.

Cuadro V: Muestreador de Sedimentos



El motivo por el que no se usó una draga para el muestreo de sedimentos, es porque se quería mantener intacta la parte superior de la muestra, cosa que no ocurre con la draga ya que ésta tiende a mezclar todo el sedimento. Al igual que con el agua, la muestra de sedimento se la preservó en condiciones adecuadas para posteriormente ser analizada en laboratorio.

Foto 5: Recolección de la muestra de sedimento



7.5 Análisis Difractométrico y Granulométrico

Para la realización de estos análisis, se enviaron las muestras a la Escuela Politécnica Nacional departamento de Metalurgia extractiva.

Para el análisis difractométrico se empleó, el difractómetro D8 Advance, y el programa Diffrac plus para cualificación y cuantificación

Foto 6: Muestra de sedimento



7.6 Análisis de agua

Antes de realizar el análisis de fósforo y bario en agua fue necesario digerir la muestra, con la finalidad de poder obtener un mejor resultado. En el caso del fósforo lo que logramos con la digestión es, pasar todas las formas orgánicas y condensadas de fósforo inorgánico, a ortofosfato reactivo, de esta manera analizar el fósforo total de la muestra de agua.

Se utilizó el método de digestión por Ácido Persulfato Método 8190 del ESPECTOFOTOMETRO HACH. Las mediciones se realizaron con el equipo ESPECTOFOTOMETRO HACH DR/4000 y la ultima medición se realizo en el HACH DR/2000. (en la aplicación de este método existieron algunas modificaciones en el transcurso de los análisis por falta de reactivos en el laboratorio de la Universidad SEK. Se cambio el uso del ácido sulfúrico por agua regia (ácido clorhídrico + ácido nítrico).

7.6.1. Digestión de la muestra para Bario y Fósforo Total

El procedimiento que se utilizó fue el siguiente:

- Depositar 25ml de la muestra en un erlenmeyer de 50ml
- Añadir 2ml de ácido sulfúrico o Agua Regia (ácido clorhídrico + ácido nítrico)
- Colocar el erlenmeyer en la placa de calefacción por 30 minutos (mantener los 20ml con agua destilada)
- Dejar enfriar el erlenmeyer
- Añadir hidróxido de sodio para subir el pH a 3
- Aforar la muestra a 100 ml utilizando agua destilada

7.6.2 Alcalinidad

- Colocar la muestra en un matraz erlenmeyer
- Añadir 5 gotas de anaranjado de metilo.
- La muestra toma un color amarillo
- Titular con ácido sulfúrico 0.02 N
- Detener cuando se produzca un color rojo
- Anotar el gasto del ácido sulfúrico para proceder a calcular la alcalinidad total.

Método de cálculo:

Con el dato de ácido sulfúrico consumido, que se obtuvo como resultado del ensayo de laboratorio, se aplica la siguiente fórmula:

$$AT \left(\frac{mg \text{ CaCO}_3}{L} \right) = \frac{ml \text{ ácido gastado } (H_2SO_4) \cdot 0.02 \times (5 \times 10^4)}{\text{Volumen de la muestra (ml)}}$$

7.6.3 Dureza

- Colocar la muestra en un matraz erlenmeyer
- Agregar 2ml de solución Buffer pH=10
- Agitar para mezclar
- Agregar una pizca de indicador Eriocromo negro (NET)
- La muestra toma un color rojo vino
- Titular con la solución EDTA hasta obtener un color azul celeste
- Anotar el gasto de EDTA para proceder a calcular la dureza

Método de cálculo:

Con el dato de EDTA consumido, que se obtuvo como resultado del ensayo de laboratorio se aplica la siguiente fórmula:

$$DL \left(\frac{mg \text{ CaCO}_3}{L} \right) = \frac{ml \text{ EDTA gastado} \times 1000}{\text{Volumen de la muestra (ml)}}$$

7.6.4 Clorofila a

Hay tres métodos para determinar la clorofila a en el fitoplancton: el espectrofotométrico, fluorométrico y la cromatografía líquida.

Para el análisis de clorofila se lo realizó por medio del método de espectrofotometría, con una banda estrecha de 0.5 a 2.0 nm, porque el pico de absorción de clorofila es relativamente estrecho. Con un ancho de banda espectral de 20 nm, la concentración de clorofila a puede infraestimarse hasta en un 40 por 100.

Se realizó con este método debido a que el laboratorio de la Universidad SEK, poseía estos equipos y fue donde se realizaron todos los análisis.

7.6.4.1 Equipos y reactivos

- Mortero
- Filtro de fibra de vidrio
- Centrífuga clínica
- Tubos de centrífuga
- Equipo de filtración
- Solución saturada de carbonato de magnesio
- Solución acuosa de acetona
- Cubetas
- Pipetas
- Ácido clorhídrico (HCl 0.1N)

7.6.4.2 Extracción del pigmento

- Colocar la muestra en un mortero y cubrir con 2 ml de solución acuosa de acetona al 90 por 100
- Pasar la muestra a un tubo de centrífuga con tapa
- Colocar 5 a 10 ml de la solución acuosa de acetona
- Llevar a una temperatura de 4 °C durante 2 horas
- Clarificar la muestra por centrifugación durante 20 minutos.
- Recuperar el extracto de la muestra para posteriormente ser analizada.

7.6.4.3 Determinación de clorofila

- Una vez obtenida la muestra, se procede a medir la densidad óptima del extracto.
- Se mide primero la densidad óptima de 750 y 664 nm esto es antes de ser acidificada la muestra.
- Acidificar el extracto con HCl (3ml del extracto con 0.1ml de HCl)
- Agitar la muestra acidificada y esperar 90 segundos para medir
- Medir la densidad óptima a 750 y 665 nm con la muestra acidificada.
- Corregir los valores restando 750 nm de la lectura hecha antes (664nm) y después de acidificar (665 nm)
- Posteriormente se procede a calcular con la aplicación de la siguiente fórmula.

$$\text{Clorofila } a \left(\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{26,7(664_b - 665_a) \times V_1}{V_2 \times L}$$

V_1 = Volumen del extracto (l)

V_2 = Volumen de muestra (m^3)

L = Recorrido de luz o ancho de la cubeta (cm)

664_a , 665_b = Densidad óptica del extracto de acetona 90 por 100 antes y después de la acidificación, respectivamente.

7.7 *Análisis de sedimentos*

Antes de realizar el análisis de fósforo y bario en agua fue necesario calcinar la muestra y posteriormente digerir.

Se utilizó el método de digestión por Ácido Persulfato Método 8190 del ESPECTOFOTOMETRO HACH. Las mediciones se realizaron con el equipo ESPECTOFOTOMETRO HACH DR/4000 y la última medición se realizó en el HACH DR/2000. (en la aplicación de este método existieron algunas modificaciones en el transcurso de los análisis por falta de reactivos en el laboratorio de la Universidad SEK. Se cambió el uso del ácido sulfúrico por agua regia (ácido clorhídrico + ácido nítrico).

7.7.1 **Digestión de la muestra para Bario, Fósforo Total e Hidrocarburo**

- Para Bario y fósforo se toma 10g de la muestra y se coloca en un crisol pesado anteriormente.
- Colocar la muestra en el horno Mufla con una temperatura de 300° por tres horas
- Pesar el crisol con la muestra.
- Añadir 2ml de ácido sulfúrico o Agua Regia (ácido clorhídrico + ácido nítrico)
- Colocar el erlenmeyer en la placa de calefacción por 30 minutos (mantener los 20ml con agua destilada)
- Dejar enfriar el erlenmeyer
- Filtrar la muestra

- Añadir hidróxido de sodio para subir el pH a 3
- Aforar la muestra a 100ml utilizando agua destilada
- Para hidrocarburos se aplica la misma digestión sobre los sedimentos con la diferencia de que la muestra no necesita ser calcinada a 550°C

7.7.2 Método Gravimétrico para medición de hidrocarburos

El método que se utilizo, fue el 5520 B Método de partición-gravimetría de(APHA-AWWA-EPCF., Métodos normalizados.)

- Tomar la muestra anteriormente digerida y colocarla en un embudo de separación
- Colocar 90ml de Hexano al 98.5%
- Separar el hexano de la muestra original y colocarlo en un balón de destilación previamente pesado
- Destilar
- Colocar el balón de destilación en la Mufla
- Dejar por 24 horas
- Pesar
- El hidrocarburo contenido está dado por la diferencia de pesos

7.8 Medición de Bario y Fósforo Total

Tanto para el análisis de sedimentos como para el de aguas se ha utilizado para la medición de Bario y fósforo el ESPECTOFOTOMETRO HACH (DR/4000). Las metodologías seguidas fueron las siguientes:

7.8.1 Medición de Fósforo Total

- Ingresar el código del programa para el fósforo reactivo que utilizan los sobres que contienen PhosVer3.
- Ingresar 3025 luego la techa Read/Enter y buscar la opción mg/l P
- Llenar la celda con 25ml de la muestra
- Añadir el contenido de un sobre de PhosVer3 a la celda con la muestra (agitar para mezclar)

- Presione la tecla de TIMER para comenzar con el contero de 2 minutos, el cual será el tiempo de reacción de la muestra con el reactivo.
- Llenar otra celda con 25ml de la muestra (el blanco), colocar la celda en el depósito de celdas del equipo.
- Colocar la celda con el reactivo en el depósito de celdas del equipo.
- Presionar Read/Enter, luego los resultados se reportaran en unidades de mg/l P

7.8.2 Medición de Bario

- Ingresar el código del programa para el Bario que utilizan los sobres que contienen BariVer4
Ingresar 1100 luego la tecla Read/Enter y buscar la opción mg/l Ba
- Llenar la celda con 25ml de la muestra
- Añadir el contenido de un sobre de BariVer4 a la celda con la muestra (agitar para mezclar)
- Presione la tecla de TIMER para comenzar con el contero de 5 minutos, el cual será el tiempo de reacción de la muestra con el reactivo.
- Llenar otra celda con 25ml de la muestra (EL BLANCO), colocar la celda en el depósito de celdas del equipo.
- Colocar la celda con el reactivo en el depósito de celdas del equipo.
- Presionar Read/Enter, luego los resultados se reportaran en unidades de mg/l Ba

7.9 Índice de Carlson²⁴

Las ecuaciones que se presentan a continuación, corresponden a los índices del estado trófico (IET) propuesto por Carlson (1977) modificados (IETm) propuestos por Toledo (1985), tomando en cuenta los parámetros de Transparencia (Tra), Fósforo Total (PT) y Clorofila A (Cla).

²⁴ Pena L., Ferreira C., Almeida M., COMPORTAMENTO DOS ÍNDICES DO ESTADO TRÓFICO DE CARLSON (IET) E MODIFICADO (IETM) NO RESERVATÓRIO DA UHE LUÍS EDUARDO MAGALHÃES, Tocantins, Brasil.

$$IETm (\text{Tra}) = 10 \left[6 - \left(\frac{0,64 + \ln \text{Tra}}{\ln 2} \right) \right]$$

$$IETm (\text{PT}) = 10 \left[6 - \left(\frac{\ln \left(\frac{80.32}{PT} \right)}{\ln 2} \right) \right]$$

$$IET (\text{Cla}) = 10 \left\{ 6 - \left[\frac{2.04 - 0.695(\ln \text{Cla})}{\ln 2} \right] \right\}$$

Posteriormente al cálculo de los tres índices del estado trófico se realiza un promedio (IETm promedio) que se comparará con la tabla siguiente que posee los valores referenciales del Índice de Carlson modificados para determinar el estado trófico de lagunas tropicales como Limoncocha.

CAPÍTULO IV

8. RESULTADOS

8.1 Resultados del Análisis Difractométrico y Granulométrico de los sedimentos

En el anexo 3 se encuentra los resultados de los análisis realizados en el departamento de Metalurgia extractiva de la Escuela Politécnica Nacional

Tabla II: Resultado del análisis Difractométrico

Mineral	Fórmula	Muestra contenido (%)
Cuarzo	SiO_2	15.0
Moscovita	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$	28.0
Grupo Caolinita (caolinita, dickita, nacrita)	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	13.5
Andesita	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_{10}$	43.5

Tabla III: Resultados de análisis Granulométricos

Tamiz Malla #	Retenido Acumulado %
+ 30	1,16
+ 40	1,83
+ 50	3,9
+ 65	4,39
+ 80	4,45
+ 100	4,57
+ 150	4,65
+ 200	4,79
+ 270	4,91
+ 325	5,01
+ 400	5,07
- 400	100
Pasa	94,93

8.2 Resultados de los análisis de Agua

8.2.1 Parámetros Físico Químicos

Tabla IV: Parámetros “in situ”

	Fecha	Hora	OD mg/l	Conductividad us/cm	Salinidad %	SDT mg/l	pH	Temperatura °C
Punto I Laguna (Muelle)	ENERO	3:00 PM	11,7	97,3	0	46,2	9,1	32,1
	FEBRERO	5:06 PM	11,3	93,3	0	44,2	8,8	30,5
	MARZO	11:42 AM	5,2	99,2	0	47,1	7,4	28,2
	ABRIL	11:53 AM	15,3	94,6	0	44,8	9,3	30
	MAYO	11:05 AM	10,1	78	0	36,9	9,1	31,8
Punto II Laguna (Antena)	ENERO	3:30 PM	12,8	97,4	0	46,1	9,3	31,4
	FEBRERO	4:51 PM	11,9	92,1	0	43,6	8,9	30,5
	MARZO	11:28 AM	9,4	100,2	0	47,6	8,5	27,8
	ABRIL	11:45 AM	15,4	96,1	0	45,8	9,4	29,5
	MAYO	10:55 AM	13,5	83,3	0	39,4	9,5	30,5
Punto III Laguna (Pishira)	ENERO	4:00 PM	14,5	102,9	0	48,8	9,3	31,5
	FEBRERO	4:20 PM	14,2	93,4	0	44,3	9,2	30,2
	MARZO	10:55 AM	8,2	105,2	0	49,9	8,2	26,9
	ABRIL	11:05 AM	14,4	98,2	0	46,5	9,4	29,4
	MAYO	10:25 AM	13,8	81,4	0	38,5	9,3	29,9
Punto IV Río Pishira	ENERO	4:30 PM	7,4	128,9	0	61,6	8,3	26,1
	FEBRERO	3:53 PM	7,2	109,1	0	51,8	6,9	26,5
	MARZO	10:25 AM	7,8	132,4	0	63,4	6,9	25
	ABRIL	10:55 AM	7,5	116,8	0	56	6,8	26,4
	MAYO	10:05 AM	6,9	115,9	0	55,1	7,1	25,8
Punto V Río Playayacu	ENERO	5:20 PM	7,3	181	0	87,4	8,2	25,2
	FEBRERO	4:38 PM	7,4	181,1	0	86	7,4	26,6
	MARZO	11:10 AM	6,6	197,7	0	85,8	7,4	24,4
	ABRIL	11:20 AM	8,3	181,5	0	87,2	7,6	25
	MAYO	10:40 AM	7,0	179,5	0	85,8	7,5	26,3
Punto VI Río Sek	ENERO	6:00 PM	1,0	126,6	0	82,6	6,7	26,5
	FEBRERO	5:30 PM	1,8	117,7	0	56	6,4	26,9
	MARZO	12:15 PM	3,0	120	0	55,9	6,7	23,1
	ABRIL	12:35 AM	1,3	126	0	59,9	6,4	25,6
	MAYO	11:45 AM	1,2	123,6	0	58,8	6,5	25,6

8.2.2 Dureza y alcalinidad

Tabla V: Resultados de Dureza y Alcalinidad

		DUREZA ppm	ALCALINIDAD ppm			DUREZA ppm	ALCALINIDAD ppm
Punto I Laguna (Muelle)	ENERO	68	112	Punto IV Río Pishira	ENERO	88	112
	FEBRERO	60	88		FEBRERO	84	92
	MARZO	38	90		MARZO	48	60
	ABRIL	38	90		ABRIL	46	50
	MAYO	24	60		MAYO	42	90
Punto II Laguna (Antena)	ENERO	88	108	Punto V Río Playayacu	ENERO	140	180
	FEBRERO	64	80		FEBRERO	120	160
	MARZO	38	60		MARZO	74	120
	ABRIL	40	70		ABRIL	60	110
	MAYO	40	50		MAYO	70	110
Punto III Laguna (Pishira)	ENERO	72	116	Punto VI Río Sek	ENERO	90,4	100
	FEBRERO	72	84		FEBRERO	104	120
	MARZO	44	60		MARZO	46	70
	ABRIL	42	60		ABRIL	56	80
	MAYO	38	40		MAYO	54	80

8.2.3 Fósforo Total y Bario

Tabla VII: Resultados de bario y fósforo en agua

		Bario ppm	Fósforo ppm			Bario ppm	Fósforo ppm
Punto I Laguna (Muelle)	ENERO	3,20	0,04	Punto IV Río Pishira	ENERO	1,00	0,15
	FEBRERO	3,33	0,06		FEBRERO	2,14	0,10
	MARZO	0,39	0,50		MARZO	1,86	0,19
	ABRIL	0,95	0,14		ABRIL	3,87	0,22
	MAYO	2,22	0,02		MAYO	2,22	0,09
Punto II Laguna (Antena)	ENERO	3,80	0,09	Punto V Río Playayacu	ENERO	0,80	0,06
	FEBRERO	3,56	0,03		FEBRERO	3,75	0,12
	MARZO	0,44	0,51		MARZO	1,54	0,20
	ABRIL	2,14	0,11		ABRIL	2,79	0,20
	MAYO	5,13	0,03		MAYO	2,38	0,02
Punto III Laguna (Pishira)	ENERO	3,20	0,09	Punto VI Río Sek	ENERO	2,80	0,19
	FEBRERO	0,68	0,03		FEBRERO	5,25	0,09
	MARZO	1,48	0,19		MARZO	0,29	0,08
	ABRIL	1,78	0,11		ABRIL	1,67	0,10
	MAYO	2,50	0,03		MAYO	2,80	0,19

8.2.4 Profundidad Secchi

Tabla VII: Profundidad Secchi

		Profundidad Secchi cm
Punto I Laguna (Muelle)	Enero	52,5
	Febrero	59,5
	Abril	40,5
	Mayo	65,0
Punto II Laguna (Antena)	Enero	44,0
	Febrero	61,5
	Abril	46,0
	Mayo	46,5
Punto III Laguna (Pishira)	Enero	45,0
	Febrero	54,0
	Abril	44,5
	Mayo	64,0

8.3 Resultados de los análisis de los Sedimentos

8.3.1 Fósforo Total y Bario

Tabla VIII: Resultados bario fósforo en sedimentos

		Bario ppm	Fósforo ppm			Bario ppm	Fósforo ppm
Punto I Laguna (Muelle)	ENERO	5,1	0,05	Punto IV Río Pishira	ENERO	0,5	0,006
	FEBRERO	34,4	37,4		FEBRERO	12,3	11,5
	MARZO	237,4	96,1		MARZO	44,2	22,5
	ABRIL	110,9	116,0		ABRIL	3,7	20,1
	MAYO	108,8	8,1		MAYO	33,2	0,9
Punto II Laguna (Antena)	ENERO	3,2	0,07	Punto V Río Playayacu	ENERO	3,4	0,04
	FEBRERO	94,8	29,1		FEBRERO	10,1	16,1
	MARZO	74,8	42,1		MARZO	52,7	31,6
	ABRIL	59,0	54,6		ABRIL	48,3	46,9
	MAYO	63,8	2,7		MAYO	49,4	1,4
Punto III Laguna (Pishira)	ENERO	7,2	0,05	Punto VI Río Sek	ENERO	16,0	0,3
	FEBRERO	47,9	45,1		FEBRERO	231,4	83,2
	MARZO	222,0	62,2		MARZO	329,4	138,6
	ABRIL	97,8	68,7		ABRIL	25,0	128,2
	MAYO	185,5	3,1		MAYO	185,5	7,9

8.3.2 Hidrocarburos Totales

Tabla IX: Hidrocarburos Totales

		Hidrocarburos Totales (ppm)			Hidrocarburos Totales (ppm)
Punto I Laguna (Muelle)	ENERO	BLD	Punto IV Río Pishira	ENERO	BLD
	FEBRERO	BLD		FEBRERO	BLD
	MARZO	BLD		MARZO	BLD
	ABRIL	BLD		ABRIL	BLD
	MAYO	BLD		MAYO	BLD
Punto II Laguna (Antena)	ENERO	BLD	Punto V Río Playayacu	ENERO	BLD
	FEBRERO	BLD		FEBRERO	BLD
	MARZO	BLD		MARZO	BLD
	ABRIL	BLD		ABRIL	BLD
	MAYO	BLD		MAYO	BLD
Punto III Laguna (Pishira)	ENERO	BLD	Punto VI Río Sek	ENERO	BLD
	FEBRERO	BLD		FEBRERO	BLD
	MARZO	BLD		MARZO	BLD
	ABRIL	BLD		ABRIL	BLD
	MAYO	BLD		MAYO	BLD

BLD =

Limite de Detección

Bajo

8.3.3 Resultados de Clorofila A en la laguna

Los siguientes valores son aquellos medidos y corregidos. Para realizar la corrección se tuvo que restar el valor de 750nm de la lectura hecha antes (664 nm) y después de acidificar (665 nm)²⁵

Tabla X: Clorofila A

		Profundidad de la laguna	Valores medidos (sin acidificar)		Valores medidos (acidificados)		Valores corregidos	
			750 nm	664 nm	665 nm	750 nm	664 nm	665 nm
MAYO	Punto 1	Superficie	0,25	0,23	0,19	0,29	-0,02	-0,1
		50 cm	0,14	0,13	0,12	0,13	-0,01	-0,01
	Punto 2	Superficie	0,17	0,17	0,05	0,11	0	-0,06
		50 cm	0,25	0,22	0,1	0,15	-0,03	-0,05
	Punto 3	Superficie	0,28	0,25	0,16	0,24	-0,03	-0,08
		50 cm	0,24	0,24	0,16	0,23	0	-0,07

JUNIO	Punto 1	Superficie	0,31	0,17	0,1	0,36	-0,14	-0,26
		50 cm	0,31	0,22	0,15	0,35	-0,09	-0,2
	Punto 2	Superficie	0,26	0,13	0,05	0,27	-0,13	-0,22
		50 cm	0,21	0,11	0,04	0,21	-0,1	-0,17
	Punto 3	Superficie	0,22	0,12	0,07	0,24	-0,1	-0,17
		50 cm	0,23	0,15	0,09	0,25	-0,08	-0,16

Nota:	Punto 1	Muelle
	Punto 2	Antena
	Punto 3	Pishira

²⁵ APHA, AWWA, WPCF, METODOS NORMALIZADOS PARA EL ANALISIS DE AGUA POTABLE Y RESIDUAL, decimoséptima edición, editorial Díaz de Santos S.A., 1992, Madrid España

Utilizando los valores corregidos, se calcula la clorofila a por metro cúbico, como sigue:

$$\text{Clorofila a mg/m}^3 = \frac{26.7(664_b - 665_a) * V_1}{V_2 * L}$$

		V ₁ (l)	V ₂ (m ³)	L (cm)	Clorofila a (mg/m ³)	Promedio Clorofila a (mg/m ³)
MAYO	Punto 1	0,009	0,001	2	9,61	4,8
		0,009	0,001	2	0,00	
	Punto 2	0,009	0,001	2	7,21	4,8
		0,009	0,001	2	2,40	
	Punto 3	0,009	0,001	2	6,01	7,2
		0,009	0,001	2	8,41	
JUNIO	Punto 1	0,009	0,0005	2	28,84	27,6
		0,009	0,0005	2	26,43	
	Punto 2	0,009	0,0005	2	21,63	19,2
		0,009	0,0005	2	16,82	
	Punto 3	0,009	0,0005	2	16,82	18,0
		0,009	0,0005	2	19,22	

8.4 Cálculo del Índice de Carlson

Para la obtención de los resultados del Índice de Carlson, se realizó un promedio de fósforo total (ppb), Profundidad Secchi (m) y de clorofila a (ppb).

Tabla XI: Resultado de la aplicación del Índice de Carlson

		Punto 1	Punto 2	Punto 3
Fósforo Total (ppb)	Enero, Febrero	198,5	212,8	100,1
	Marzo			
	Abril, Mayo	80,0	70,0	70,0
Profundidad Secchi (m)	Enero, Febrero	0,6	0,5	0,5
	Abril, Mayo	0,5	0,5	0,5
Clorofila (ppb)	Mayo	4,8	4,8	7,2
	Junio	27,6	19,2	18,0

Nota:	Punto 1	Laguna (Muelle)
	Punto 2	Laguna (Antena)
	Punto 3	Laguna (Pishira)

Cálculos obtenidos con la aplicación del Índice del Estado Trófico de Carlson modificado por Toledo (IETm).

$$IETm (Tra) = 10 \left[6 - \left(\frac{0,64 + \ln Tra}{\ln 2} \right) \right] \text{ (Profundidad Secchi)}$$

$$IETm (PT) = 10 \left[6 - \left(\frac{\ln (80,32/PT)}{\ln 2} \right) \right] \text{ (Fósforo Total)}$$

$$IET (Cla) = 10 \left\{ 6 - \left[\frac{2,04 - 0,695(\ln Cla)}{\ln 2} \right] \right\} \text{ (Clorofila A)}$$

El IETm (media) es un promedio que se realizó, con los valores obtenidos de IETm (PT), IETm (Tra) y de IETm (Cla).

		Punto 1	Punto 2	Punto 3
IETm (PT)	Enero, Febrero	73,1	74,1	63,2
	Marzo			
	Abril, Mayo	59,9	58,0	58,0

		Punto 1	Punto 2	Punto 3
IETm (Tra)	Enero, Febrero	59,1	60,0	60,9
	Marzo			
	Abril, Mayo	60,0	61,9	59,6

		Punto 1	Punto 2	Punto 3
IETm (Cla)	Enero, Febrero	46,3	46,3	50,4
	Marzo			
	Abril, Mayo	63,9	60,2	59,6

		Punto 1	Punto 2	Punto 3
IETm (Media)	Enero, Febrero	59,5	60,1	58,2
	Marzo			
	Abril, Mayo	61,3	60,0	59,1

Nota:	Punto 1	Laguna (Muelle)
	Punto 2	Laguna (Antena)
	Punto 3	Laguna (Pishira)

CAPÍTULO V

9. Discusión y análisis de resultados

9.1 Difractometría de los sedimentos

Los sedimentos de la laguna de Limoncocha se encuentran constituidos en su mayoría por andesina y en menor proporción moscovita, cuarzo y grupo caolinita. Esto quiere decir que en los sedimentos se encuentra aluminio en cantidades considerables, al ser un elemento constituyente de estos minerales.

(Los datos reportados se encuentran en el Anexo 3.)

9.2 Granulometría de los sedimentos

Luego de analizados los datos reportados por el Laboratorio de Metalurgia de la Escuela Politécnica Nacional, se tiene que los sedimentos son limo-arenosos. En su mayoría lo constituye partículas arenosas con tamaños comprendidos entre 0.1 y 1 mm de diámetro. Esto se confirma al analizar el Gráfico 1.

(Los datos reportados se encuentran en el Anexo 3.)

Gráfico 1: Estudio Granulométrico de la laguna de Limoncocha



9.3 Análisis de la relación entre los parámetros obtenidos

A continuación se discutirán los resultados obtenidos en el numeral 8 con relación a las características físico-químicas y biológicas de la laguna de Limoncocha. Solamente se analizarán aquellas que son coherentes químicamente..

9.3.1 Relación Oxígeno Disuelto-Temperatura

La temperatura y el oxígeno disuelto que se encuentran en la laguna poseen una relación muy estrecha definida por la Ley de Henry que estipula que: “el grado de solubilidad de un gas en un líquido depende de la clase de gas que se trate, de la naturaleza del líquido disolvente así como la presión y la temperatura”²⁶.

En el caso a tratarse el disolvente es agua y el soluto es oxígeno, el cual es poco soluble en este medio. De aquí la Ley de Henry se define como:

$$P_b = X_b K_{H(A,B)}$$

$$C_b = K_H^{**} P_B$$

Donde:

P_b = Presión parcial del soluto B en el gas

X_b = Fracción molar de B en la solución

K_H = Constante de Henry entre las propiedades del soluto B y el solvente A

C_b = Concentración de equilibrio (ppm)

K_H^{**} = Constante de Henry expresada en ppm

Considerando que la ley de Henry es una relación de equilibrio en función de la temperatura tenemos que:

- a) Al aumentar la temperatura la constante de Henry (K_H) aumenta como se puede observar a continuación

²⁶ Henry, Glynn J., INGENIERIA AMBIENTAL, Pearson Educación, Segunda Edición, Mexico, 1996

Temperatura (°C)	Constante de Henry para el oxígeno (KH) x 10 ⁻⁵
0	2,55
5	2,91
10	3,27
15	3,64
20	4,01
25	4,38
30	4,75
35	5,07

Fuente: Perry, Robert, MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO VOLUMEN I, McGraw-Hill, México, 2001

b) Al disminuir la constante de Henry disminuye la concentración de equilibrio

De aquí que en los gráficos 2,3,4,5,6 y 7 generalmente se aplica esta relación teórica, sin embargo cabe recalcar que en algunos puntos de la laguna ésta se invierte por tres razones posibles:

- a) El agua de la laguna seguramente se encuentra bajo la concentración de equilibrio por su carga orgánica lo cual permite que tenga un rango de variación que parecería contradecir la ley de Henry.
- b) El oxígeno disuelto se subsatura cuando existe un aporte de materia orgánica por medio de sus efluentes.
- c) Existe una relación directa entre la producción primaria y el oxígeno disuelto que hace que se consuma o aumente según su actividad y el tipo de fotosistema esté funcionando.

Por esto no es posible que exista una contradicción con esta ley de equilibrio aunque muchas veces los datos sugieren lo contrario.

Gráfico 2: Relación oxígeno disuelto-temperatura Laguna (muelle)

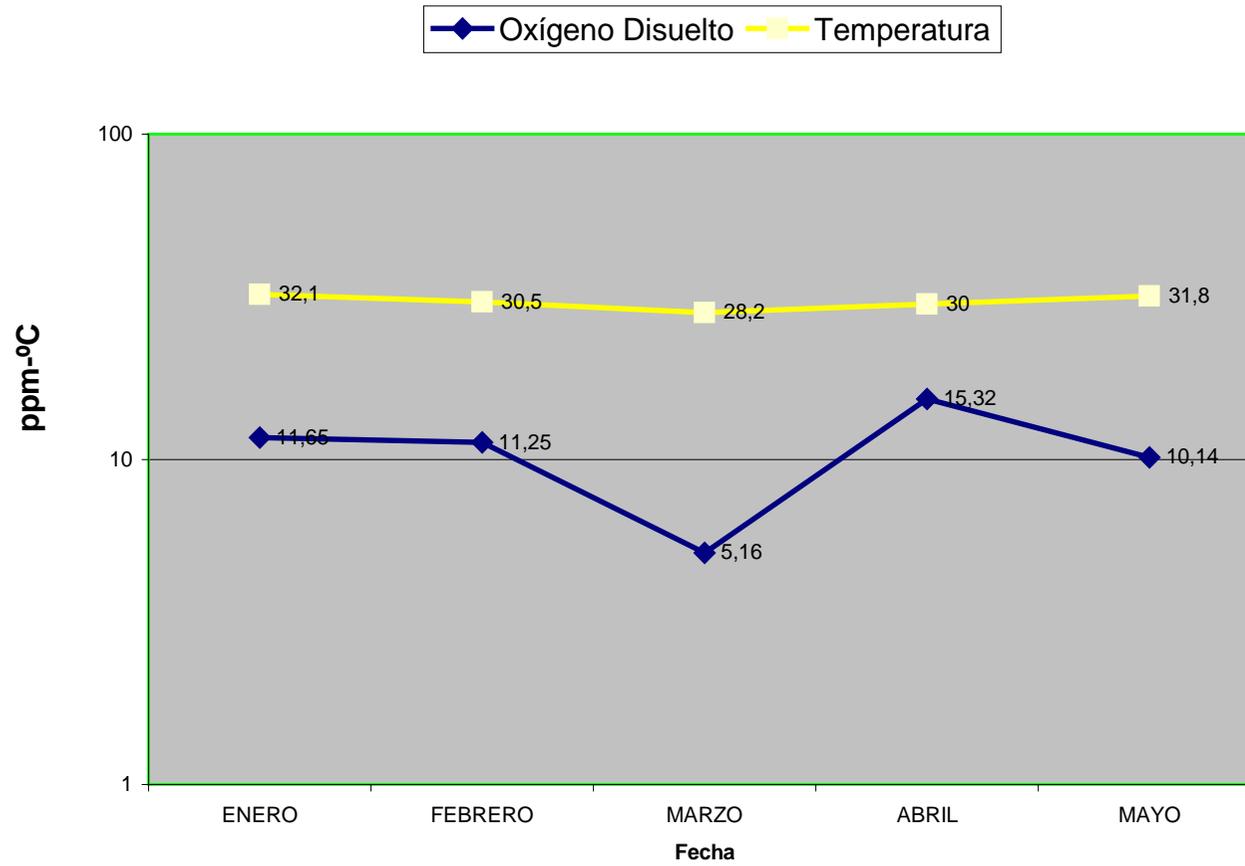


Gráfico 3: Relación oxígeno disuelto-temperatura Laguna (antena)

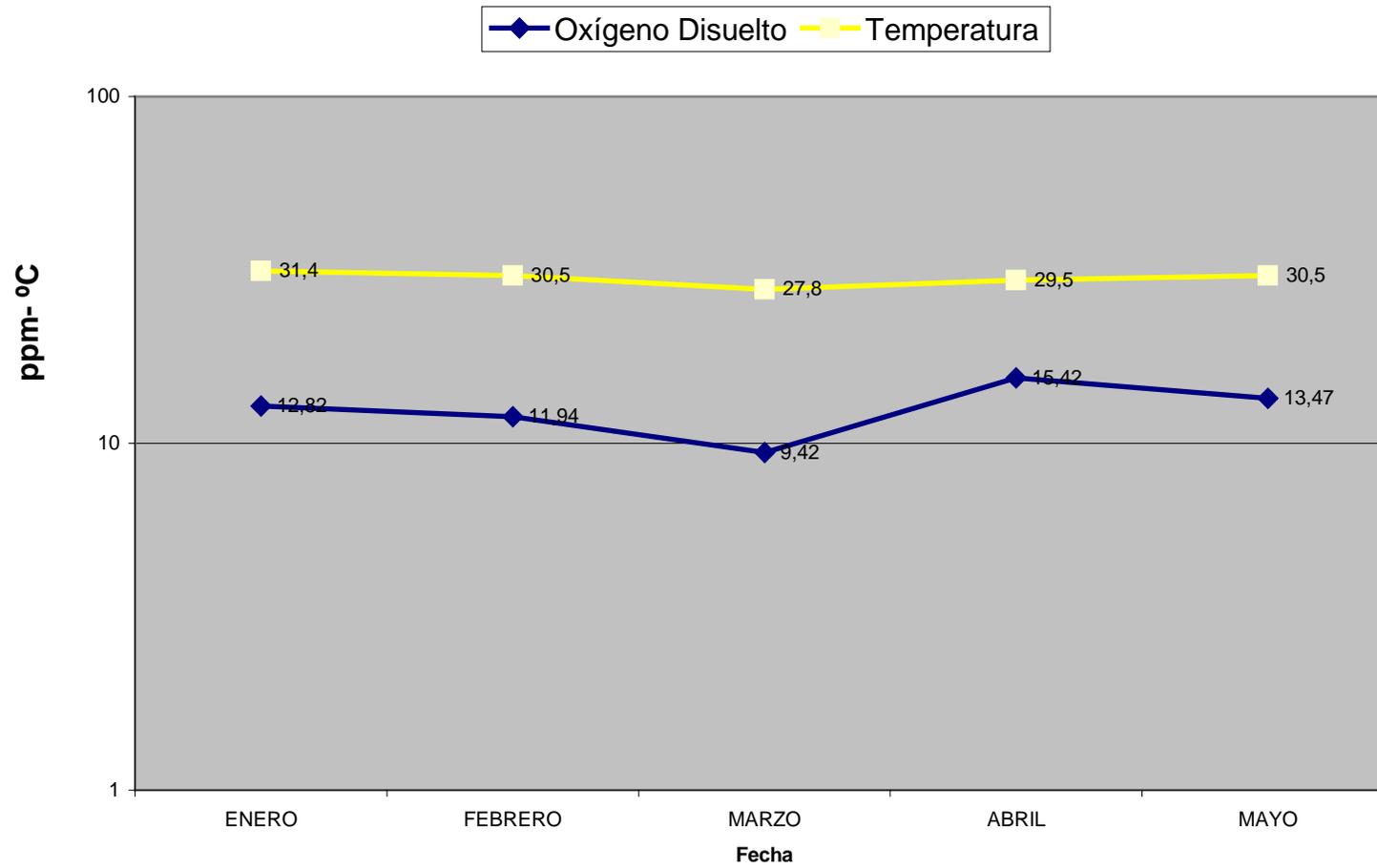


Gráfico 4: Relación oxígeno disuelto-temperatura Laguna (Río Pishira)

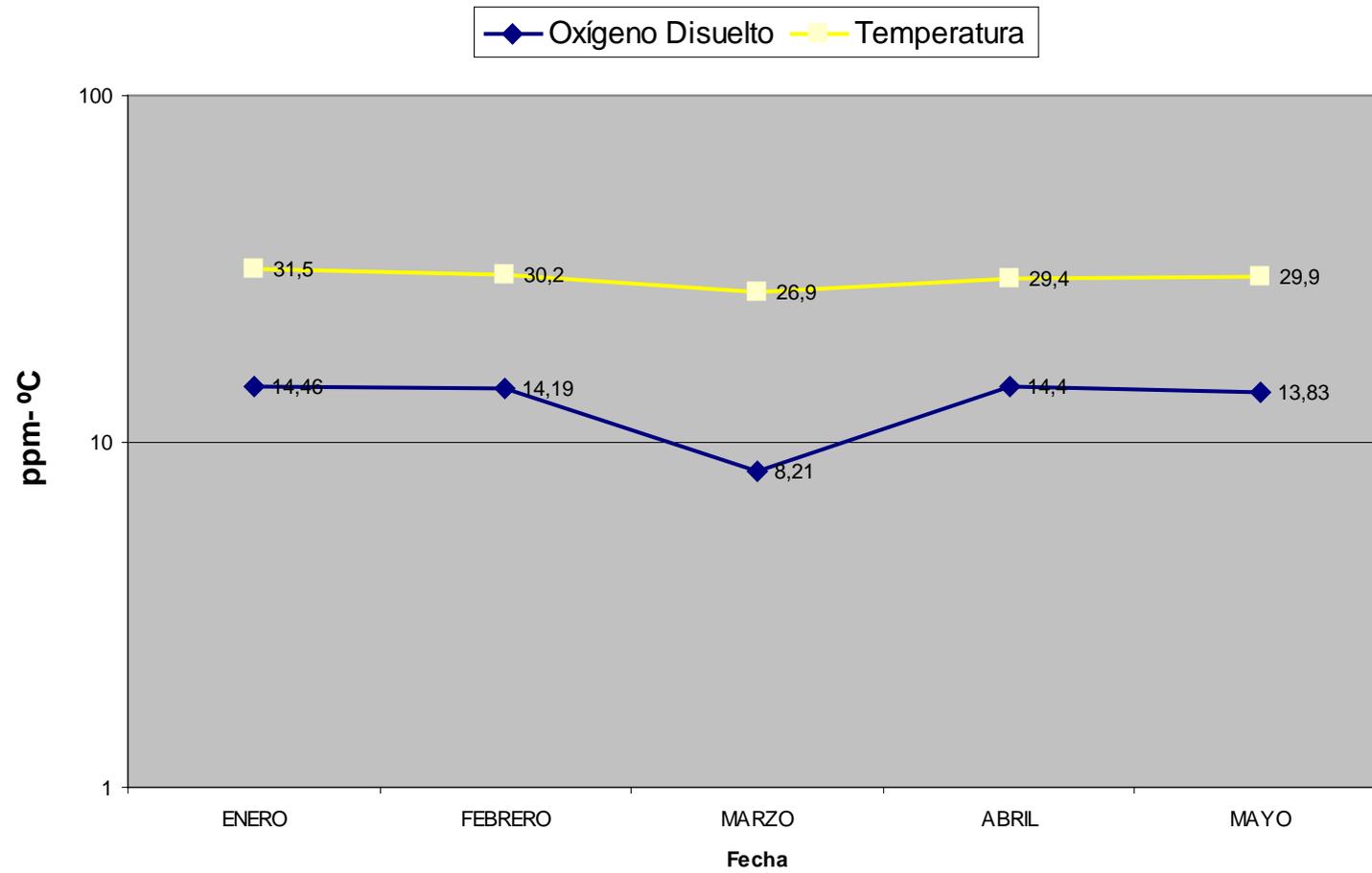


Gráfico 5: Relación oxígeno disuelto-temperatura Río Pishira

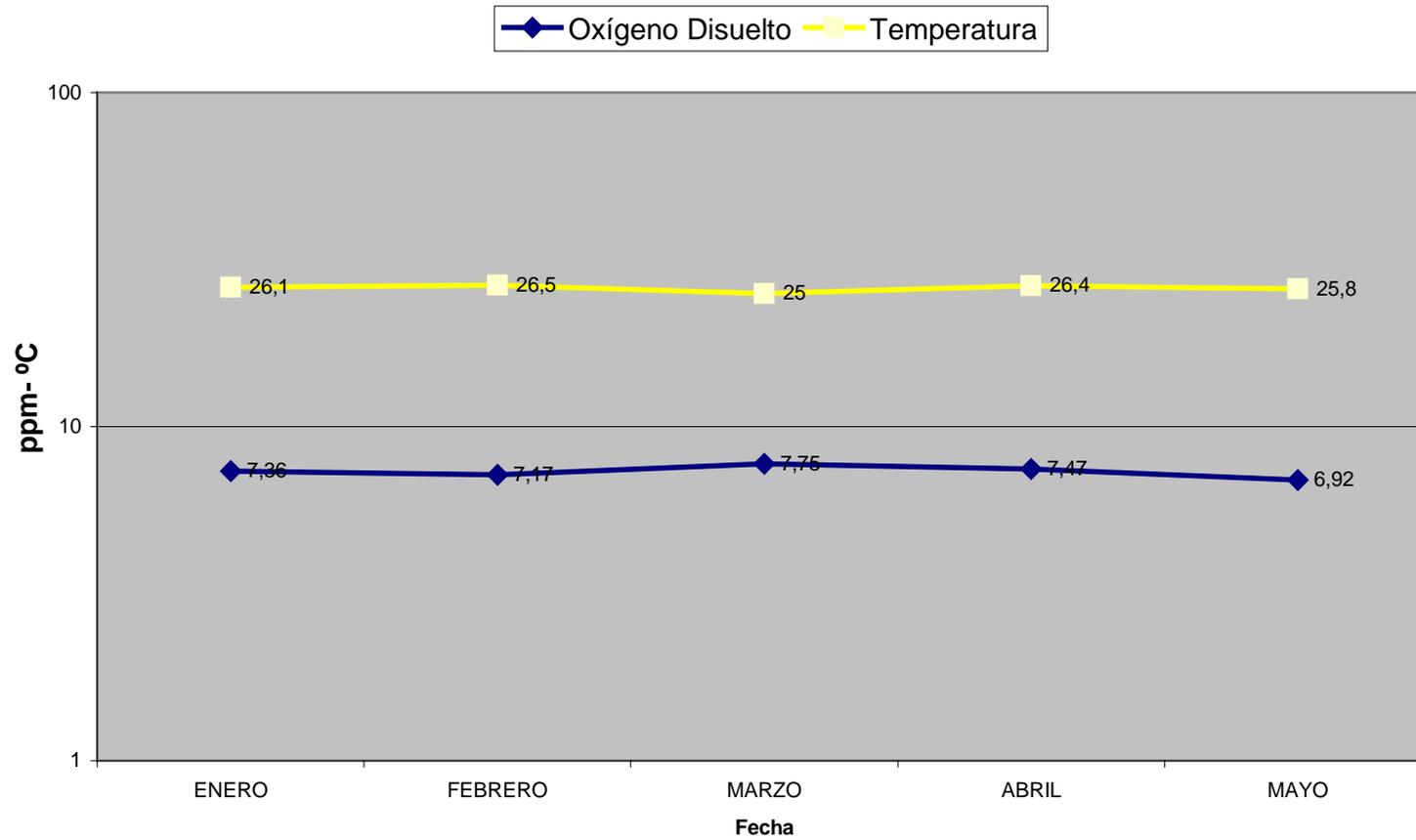


Gráfico 6: Relación oxígeno disuelto-temperatura Río Playayacu

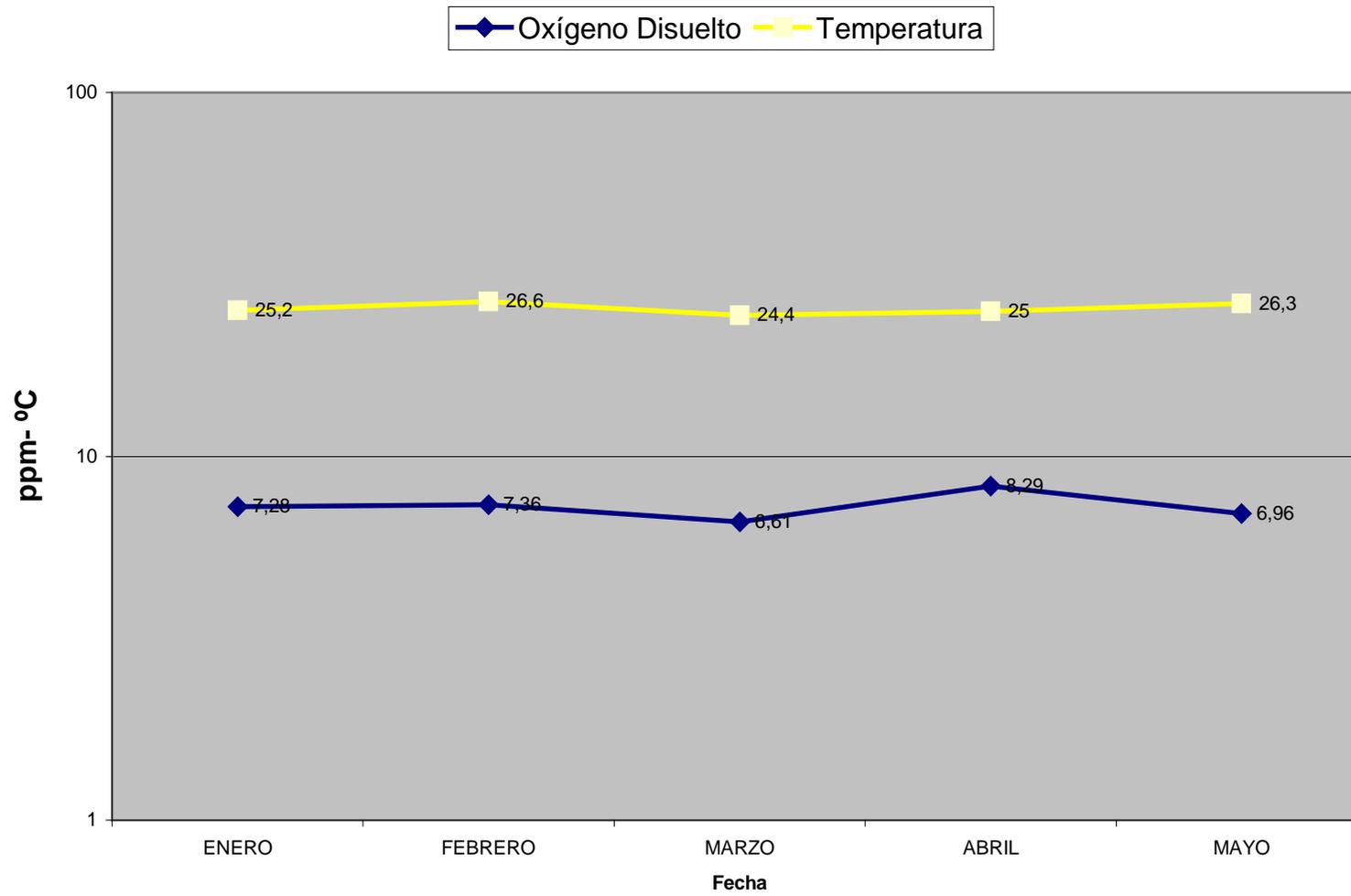
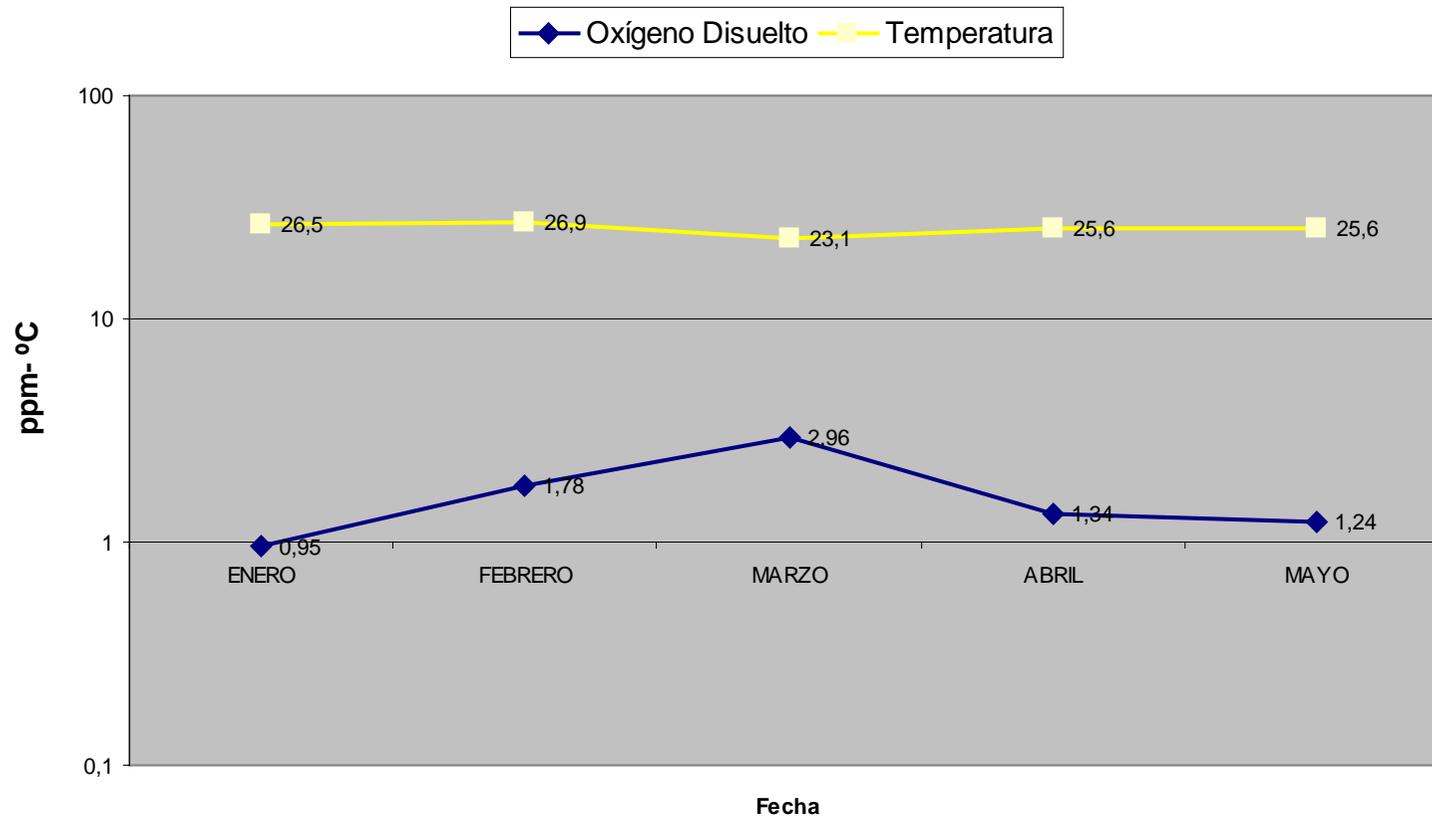


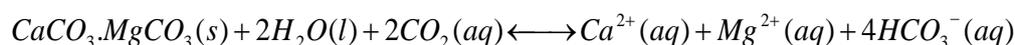
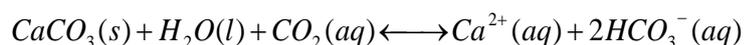
Gráfico 7: Relación oxígeno disuelto-temperatura Río Sek



9.3.2 Relación Dureza-Alcalinidad:

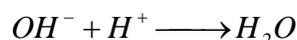
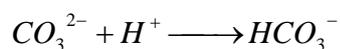
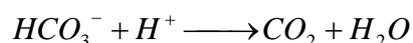
Al observar los gráficos 8,9, 12 y 13 se puede observar que existe una relación directa entre dureza y alcalinidad debido a que químicamente:

La dureza está dada por los iones calcio y magnesio iónico que llegan al agua para la acción del dióxido de carbono disuelto en rocas carbonadas



27

La alcalinidad se define como la capacidad del agua de aceptar iones hidrógeno, por lo tanto ayudando a determinar la habilidad del agua de soportar el crecimiento de algas y otros organismos acuáticos. Las especies químicas más importantes responsables de la alcalinidad son los iones carbonatos, bicarbonatos e hidróxido.



28

De esta forma al aumentar la dureza se liberan iones bicarbonato aumentando la alcalinidad, o se forman bicarbonatos de magnesio y calcio lo cual disminuye la capacidad del agua de aceptar iones hidrógeno, lo cual explica el comportamiento en estos puntos de muestreo.

En los gráficos 10 y 11 que corresponden a los puntos de la desembocadura del Río Pishira en la Laguna de Limococha y el mismo río vemos que desde el mes de Abril no se cumple esta relación en la siguiente forma:

- c) En el gráfico 10 existe una disminución de la alcalinidad en los meses antes mencionados seguramente por la adición de especies químicas ácidas que aumentaron la actividad de los iones hidrógeno en este punto.

²⁷ Winfield, Alan, ENVIRONMENTAL CHEMISTRY, Cambridge University Press, Quinta Edición, Gran Bretaña, 1995

²⁸ Manahan, Stanley, FUNDAMENTALS OF ENVIRONMENTAL CHEMISTRY, Lewis Publishers, Cuarta Edición, USA, 1995

- d) En el gráfico 11 existe un aumento en la alcalinidad debido a la posible presencia, no de iones carbonato y bicarbonato, sino por la acción de otros contribuidores
- e) Como los hidróxidos, amoníaco y las bases de los ácidos fósforico, silícico, bórico y orgánicos.

Adicionalmente puede existir una relación entre estos dos puntos, pues al desembocar las aguas del Río Pishira y cambiar las condiciones físico-químicas y biológicas en las que se encuentran cuando entran a la laguna, puede alterarse los equilibrios químicos de las reacciones y liberarse grandes cantidades de iones hidrógeno.

Gráfico 8: Relación dureza-alkalinidad Laguna Muelle

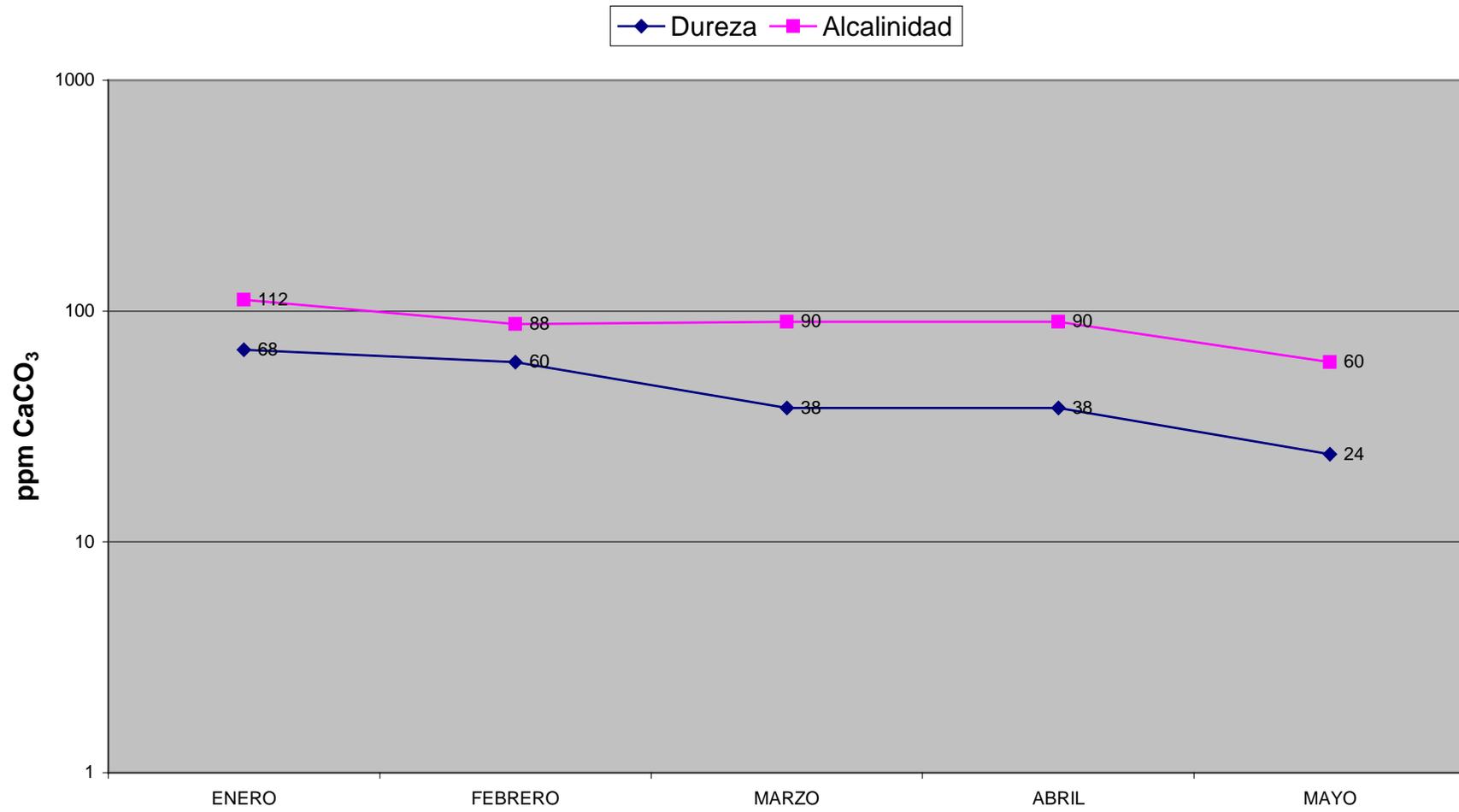


Gráfico 9: Relación dureza-alkalinidad Muelle (antena)

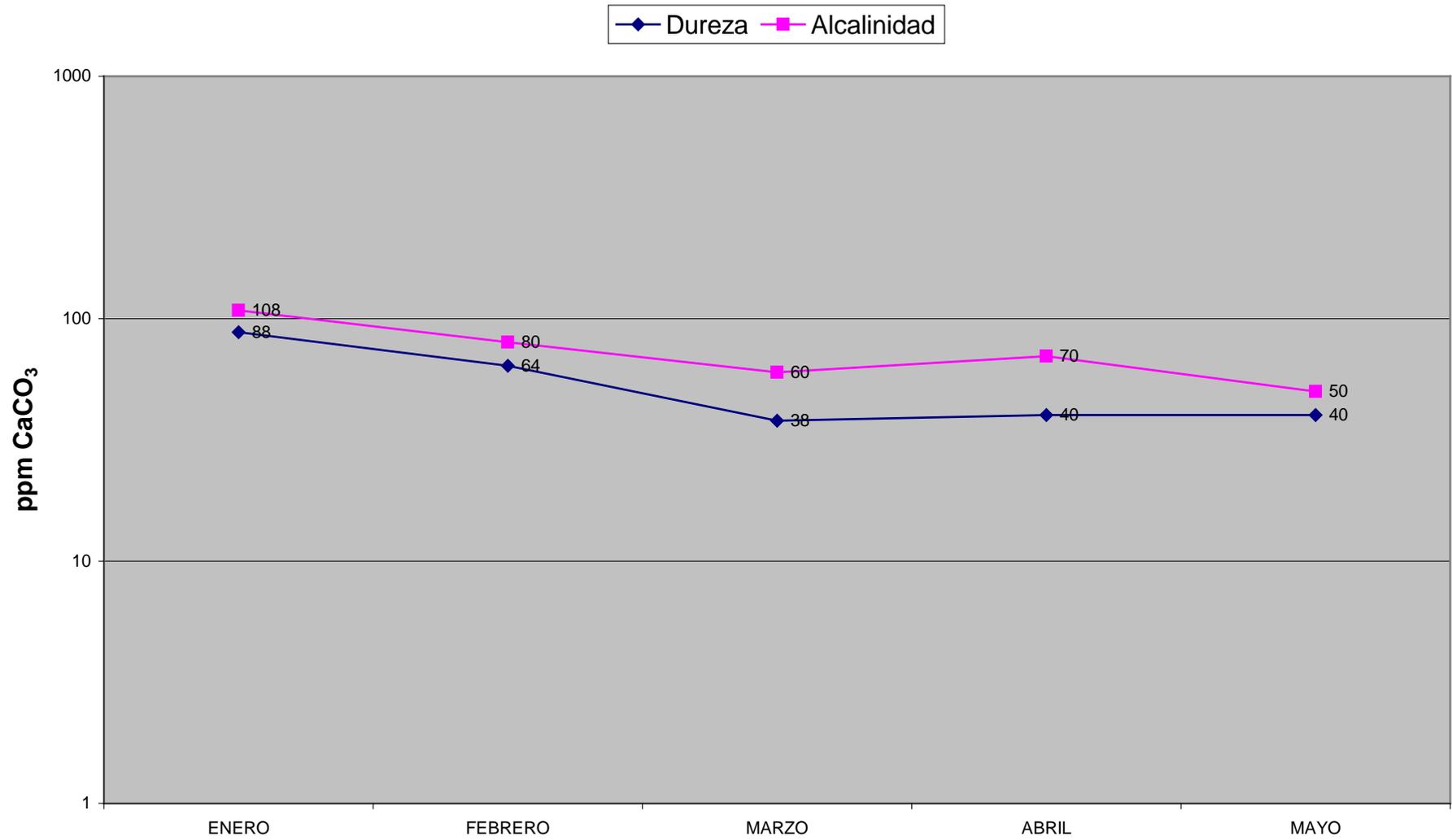


Gráfico 10: Relación dureza-alkalinidad Laguna (Pishira)

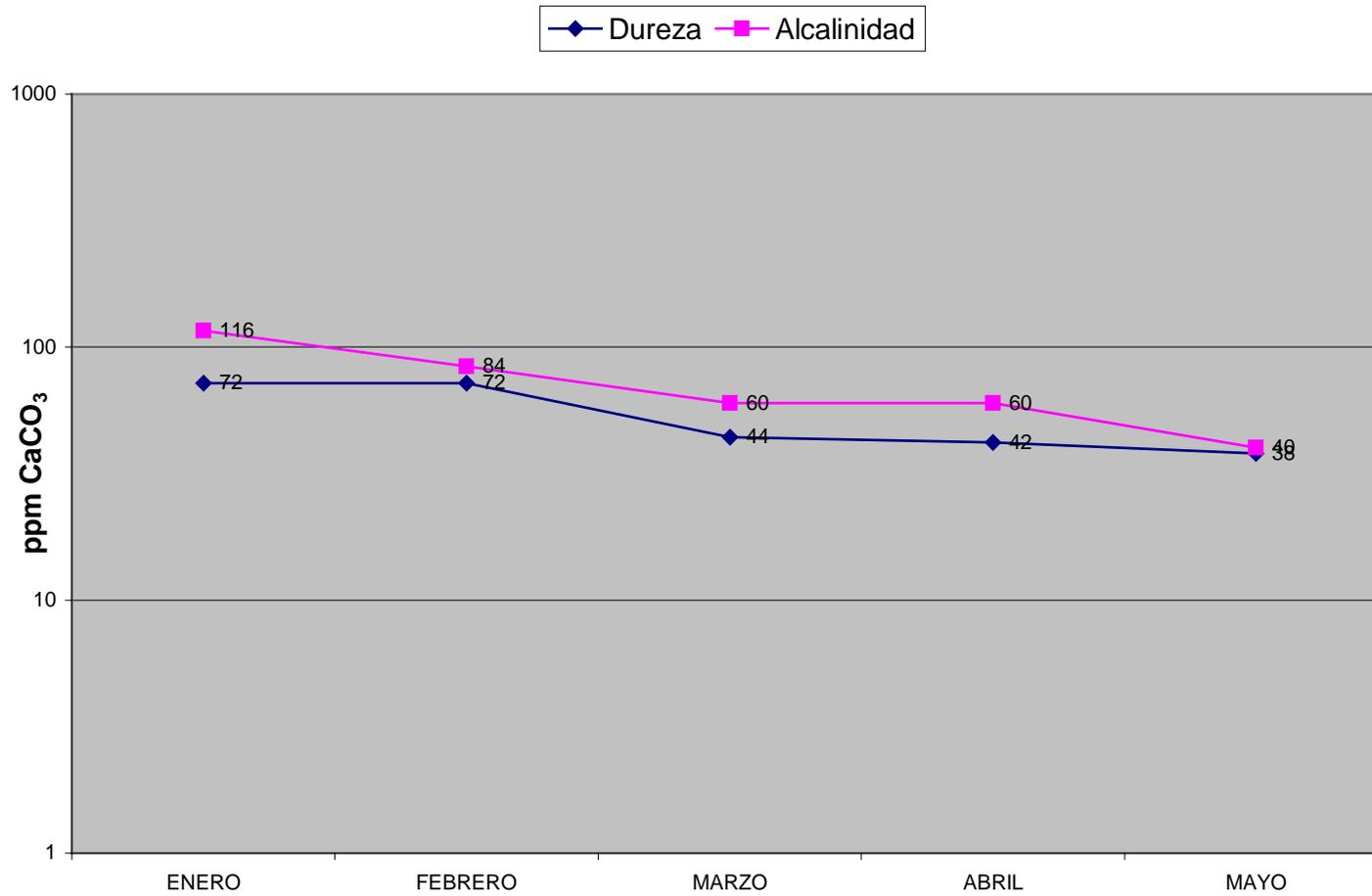


Gráfico 11: Relación dureza-alkalinidad Río Pishira

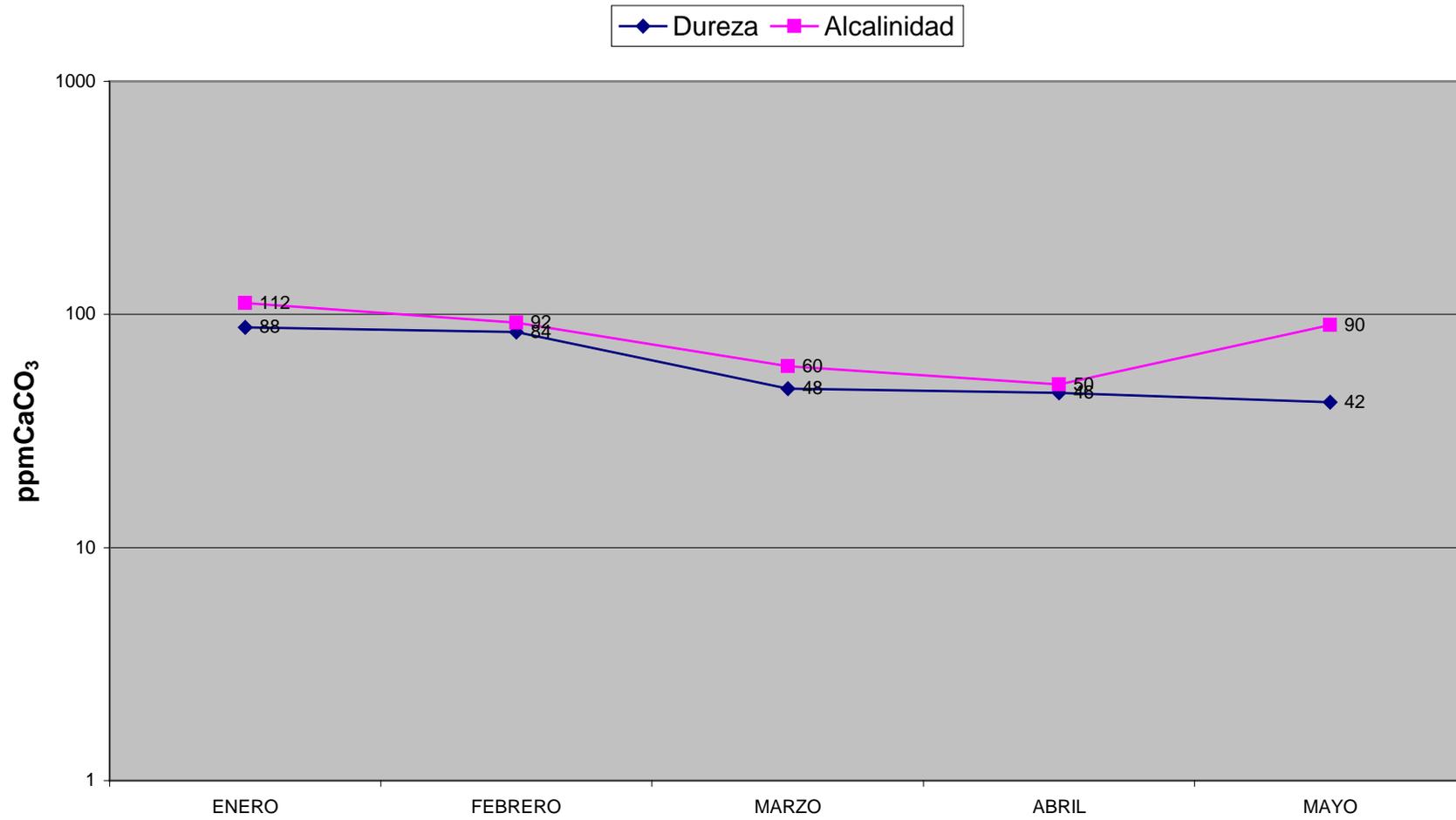


Gráfico 12: Relación dureza-alkalinidad Río Playayacu

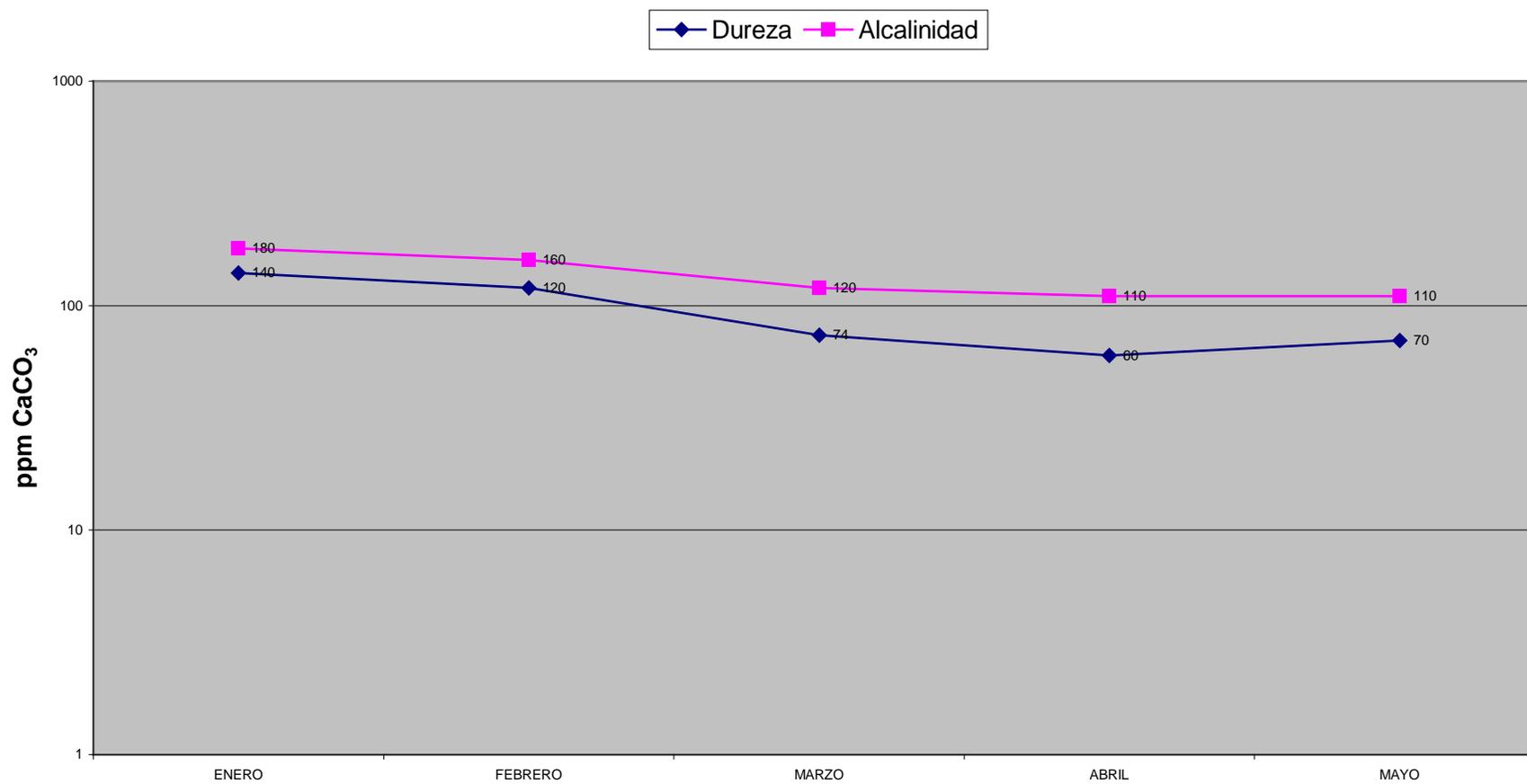
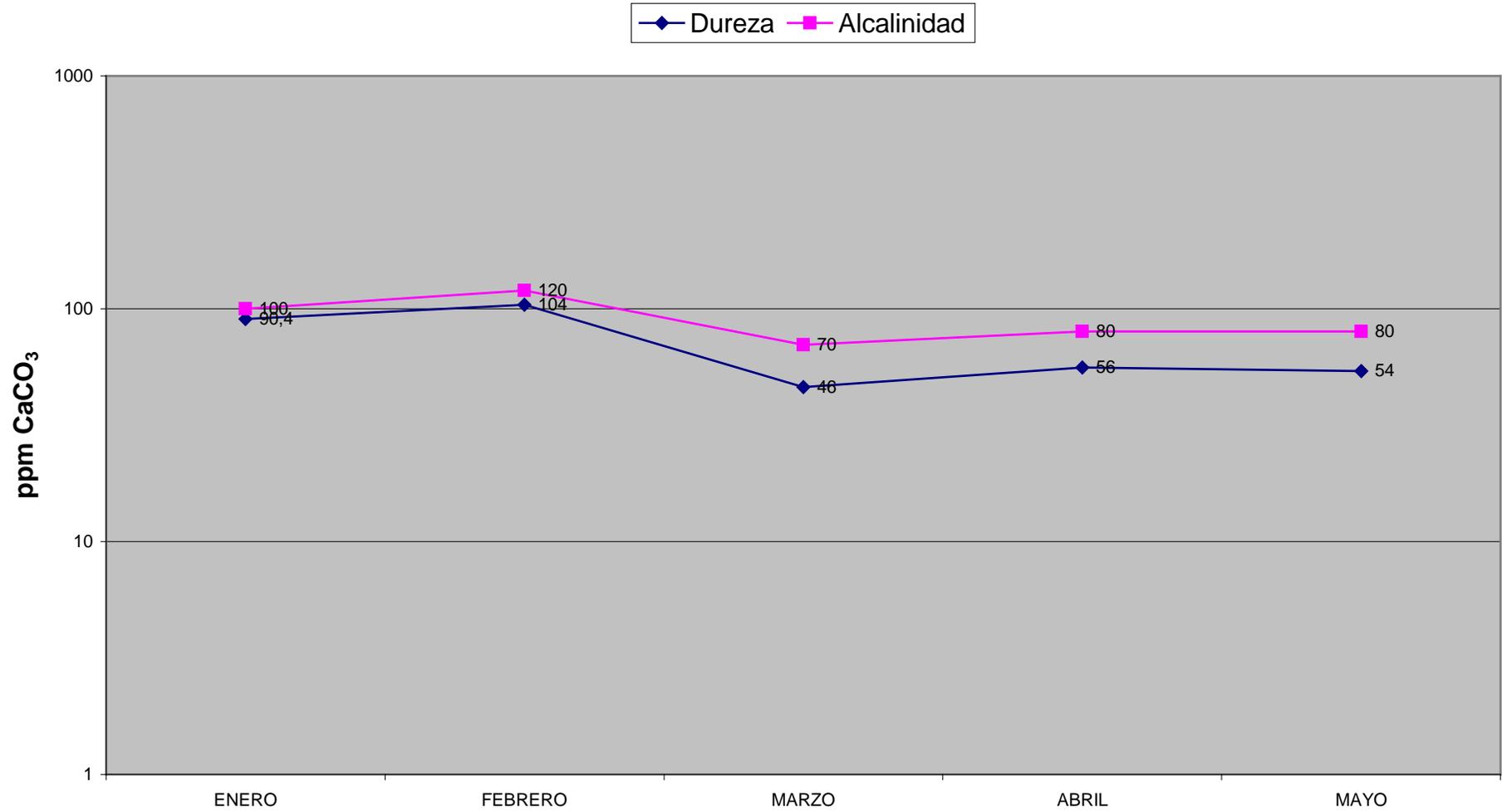


Gráfico 13: Relación dureza-alkalinidad Río Sek



9.3.3 Relación Bario en agua y Bario en sedimento

Analizando los gráficos 14, 15, y 16 correspondientes a los puntos muestreados en la laguna se ve que existe una clara relación entre el bario que existe en el agua con aquel que se encuentra en el sedimento, pues al disminuir las concentraciones en la fase acuosa aumentan aquellas que se detectaron en los sedimentos.

Según Manahan (1995) existen dos formas en las que los metales reaccionan de forma química en la fase acuosa con compuestos orgánicos, las cuales son:

- a) Complejación (quelación): En la que un metal se adhiere a un compuesto orgánico en función de los iones hidrógeno libres.



Donde:

M es un metal

L es un compuesto orgánico ligante

H son iones hidrógeno libres (dictan el pH)

- b) Formación de organometálicos: Los metales se unen a un carbono de un compuesto orgánico y no se puede disociar ni por un cambio en el pH ni por una dilución

Considerando esto, existe una estrecha relación entre las formas solubles e insolubles del bario con relación al pH, siendo éste el que dicta el comportamiento que tiene dicho metal. De tal forma que si revisamos los gráficos antes mencionados con relación al potencial hidrógeno de la laguna tenemos que:

- 1) A pequeños cambios de pH hacia la acidez (disminución del pH) tenemos que aumenta el bario en el sedimento y disminuye en el agua
- 2) A pequeños cambios de pH hacia la basicidad (aumento del pH) tenemos que disminuye el bario en el sedimento y aumenta el bario en el agua.

Esto nos lleva a pensar que el bario en forma acuosa se vuelve insoluble cuando existe un pH ácido lo cual lleva a sedimentarlo al fondo de la laguna probablemente por un proceso de complejación con las grandes cantidades de materia orgánica que posee la laguna por su estado de eutrofización. El pH es a su vez quien gobierna sobre la liberación del bario del sedimento al agua siendo un pH básico quien permite la disociación del metal de la fase orgánica. Esto descarta que exista de forma mayoritaria la formación de compuestos organometálicos pues al parecer hay una relación íntima entre ambas fases de la laguna comprobando que el bario no se inmoviliza en los sedimentos.

Adicionalmente podemos ver que en los meses de estiaje (abril y mayo) existe una concentración de bario en el agua seguramente por la disminución del nivel en la laguna.

Ahora si revisamos los gráficos 17, 18 y 19 que corresponden a los puntos de muestreo de los ríos sucede una relación inversa a la que se puede observar en la laguna, pues al disminuir el pH, haciéndose más ácido, aumenta las concentraciones de bario en el agua y disminuyen las encontradas en los sedimentos.

Esto sucede debido a que no estamos tratando con un cuerpo de agua relativamente estática, de grandes dimensiones, con alto contenido de material orgánico como es la laguna por lo que es difícil que se produzca un proceso de complejación. De tal forma que se podrían estar formando compuestos inorgánicos insolubles como hidróxido de bario, sulfatos de bario y carbonatos de bario en pH básico.

Normalmente no existe bario de forma natural en los cuerpos de agua superficial, pues las sales de este compuesto se utilizan según Sawyer (2001) en aplicaciones industriales como las pinturas, linóleos, papel y lodos de perforación, a pesar de que según ciertos datos recogidos de forma informal sugieren que las aguas del Oriente Ecuatoriano serían una excepción.

Gráfico 14: Relación bario en agua-bario en sedimento-pH Laguna(muelle)

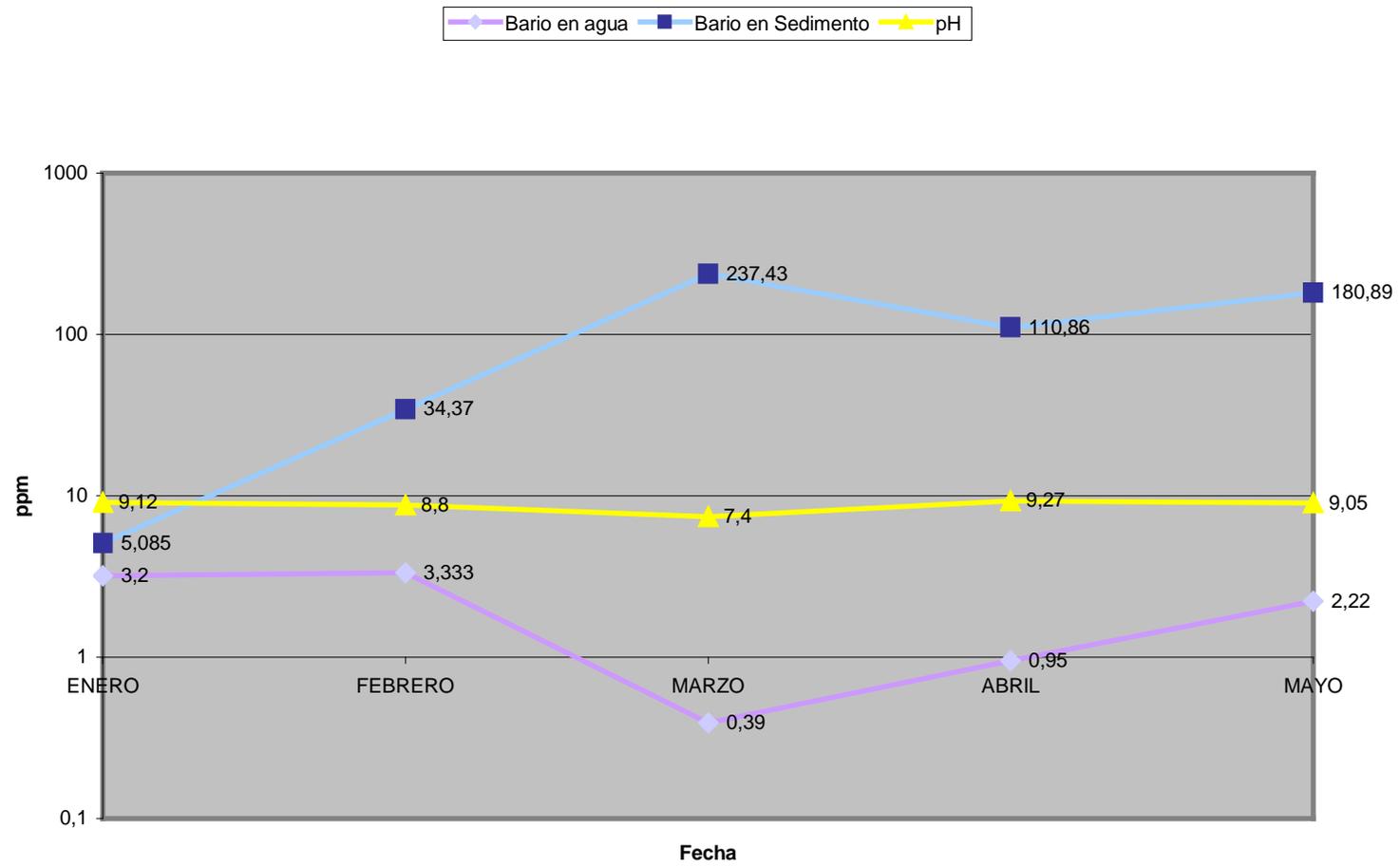


Gráfico 15: Relación bario en agua-bario en sedimento Laguna(antena)

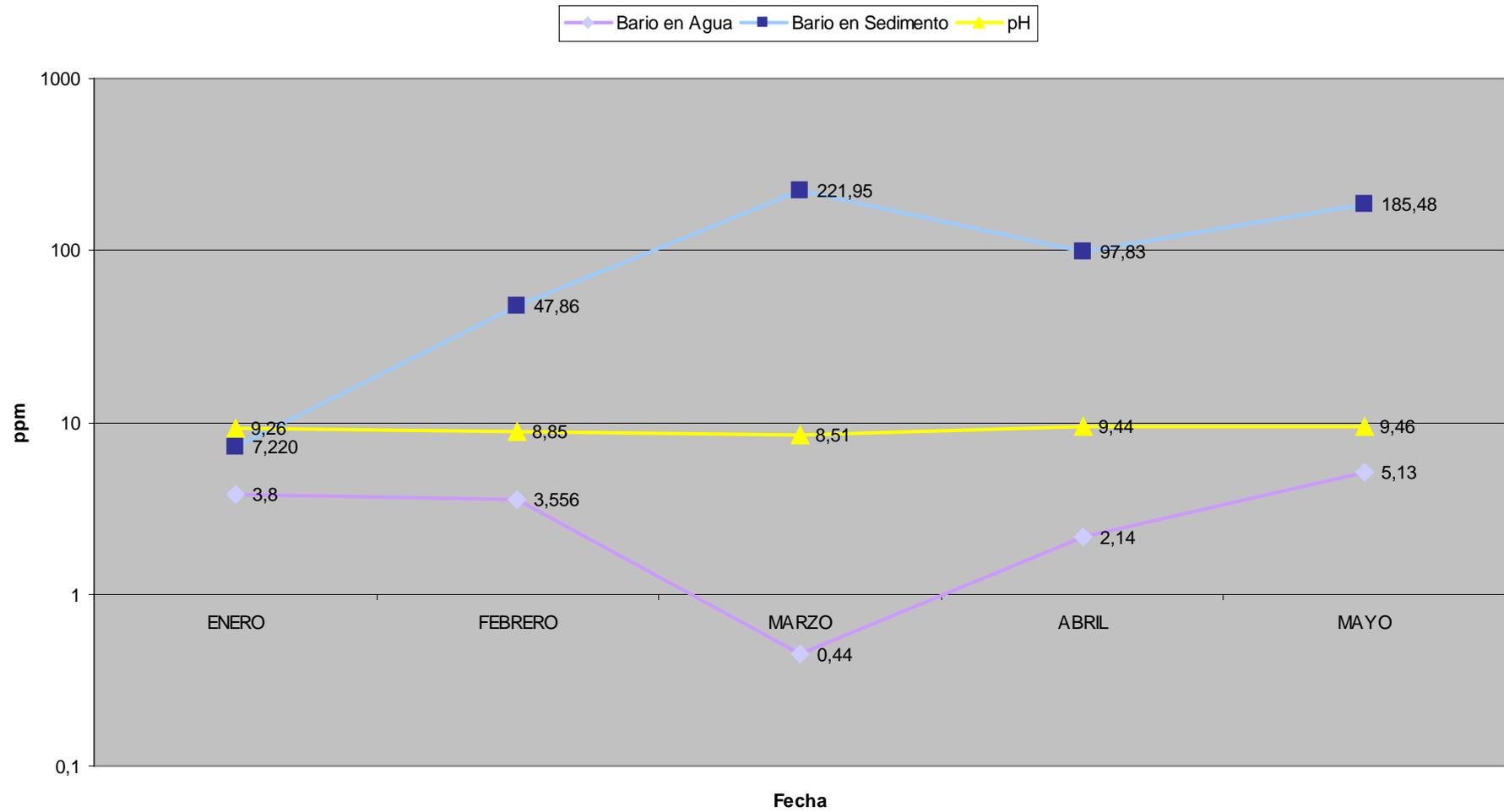


Gráfico 16: Relación bario en agua-bario en sedimento-pH Laguna(Pishira)

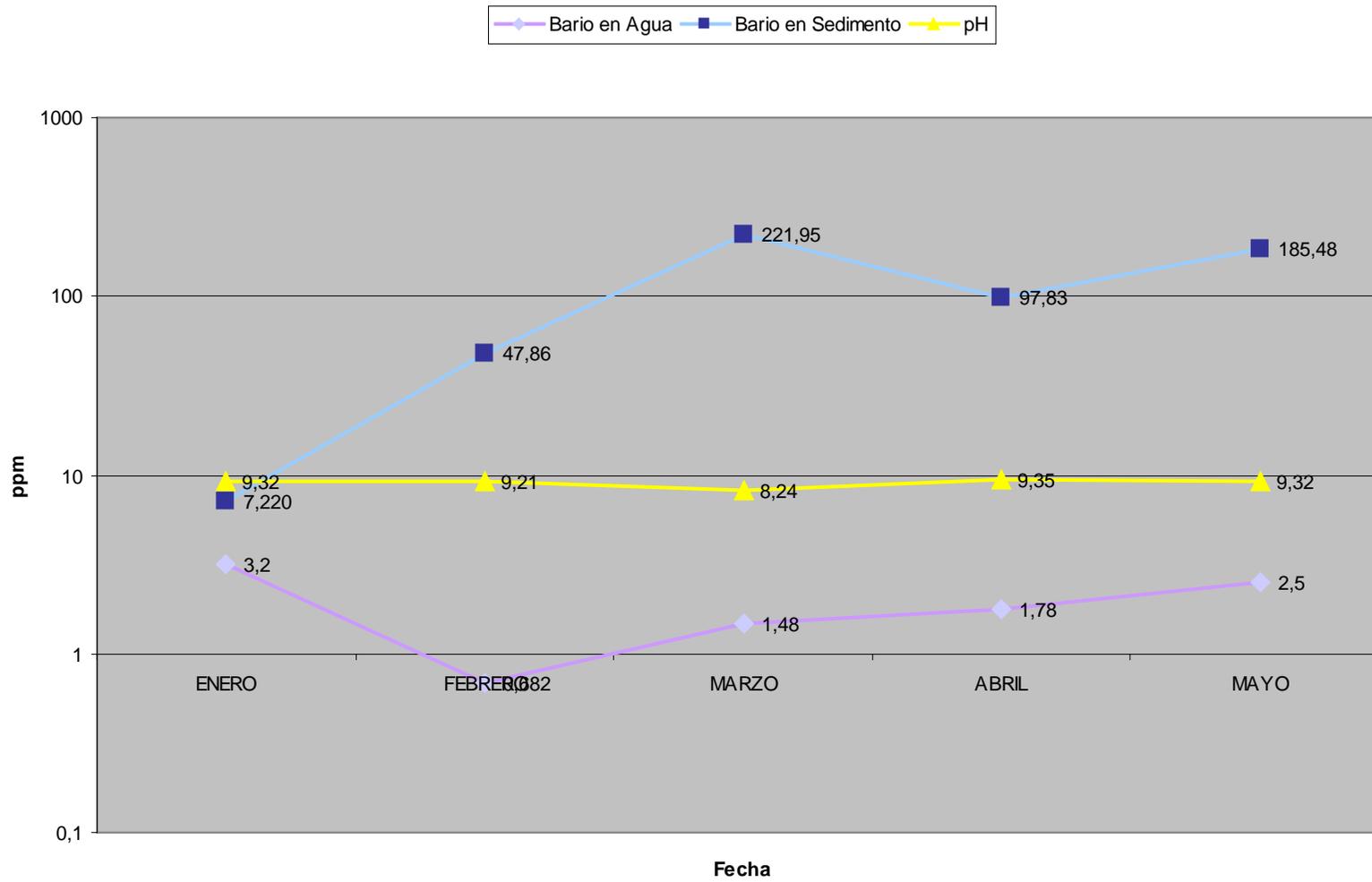


Gráfico 17: Relación bario en agua-bario en sedimento-pH Río Pishira

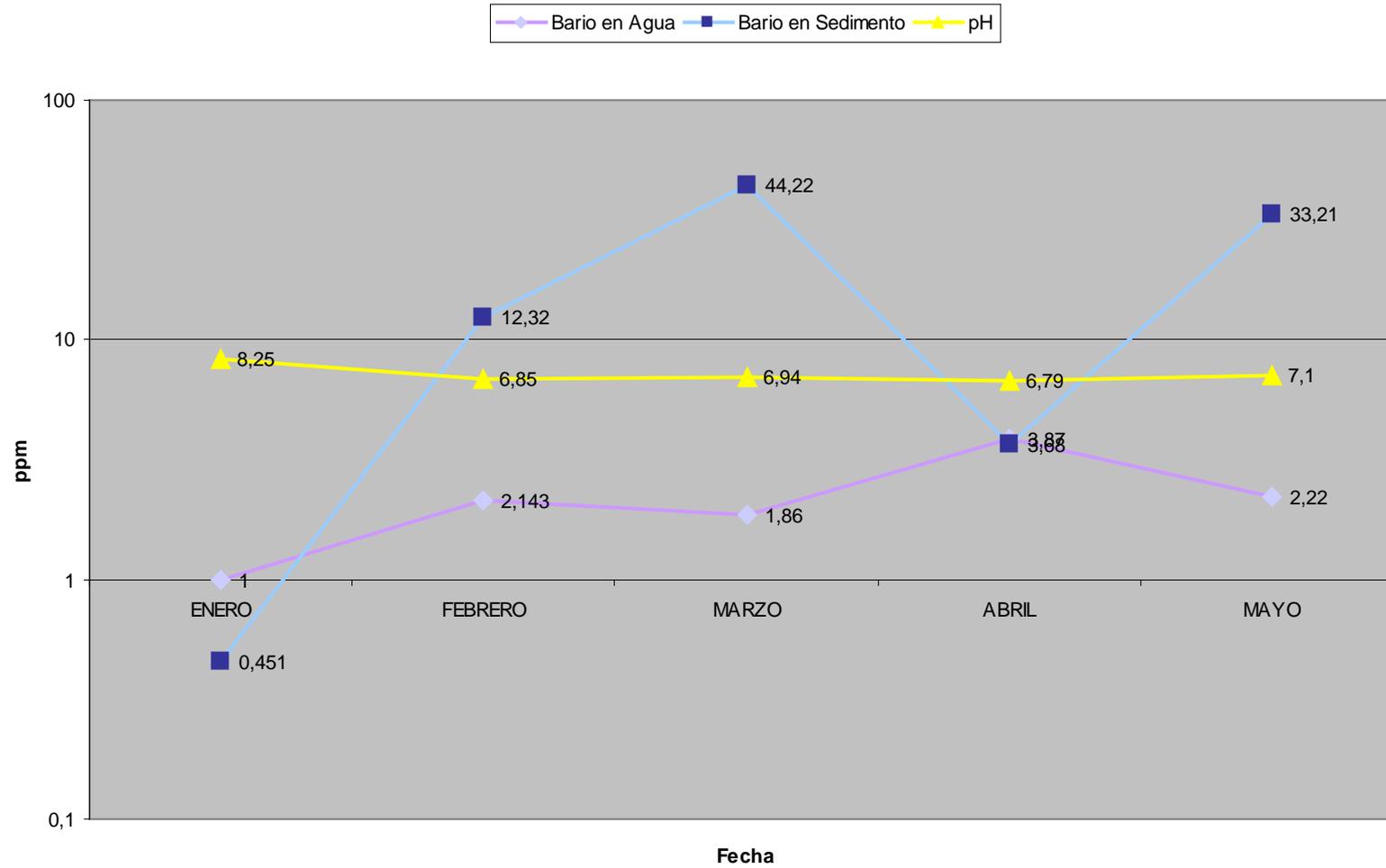


Gráfico 18: Relación bario en agua-bario en sedimento-pH Río Playayacu

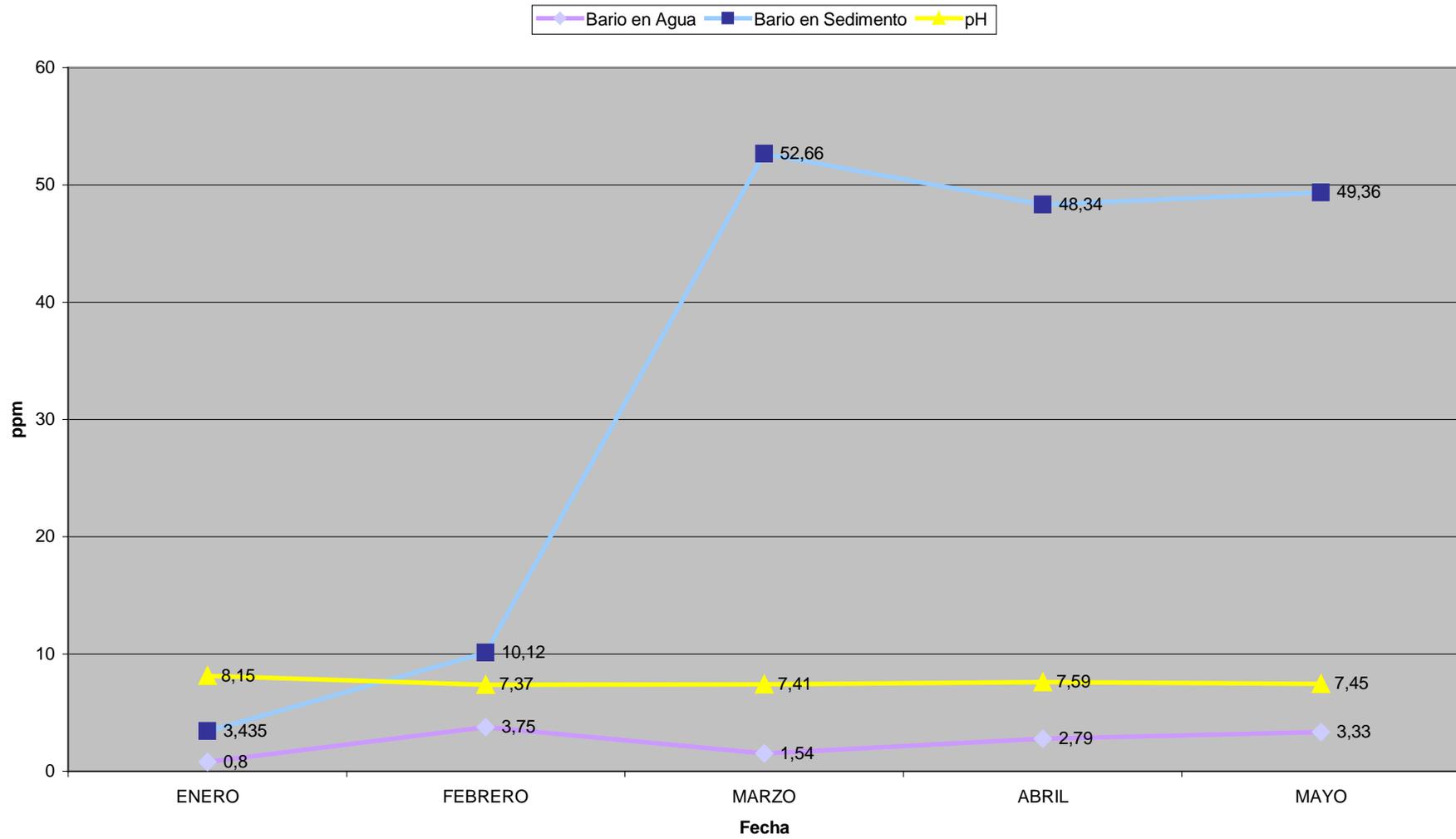
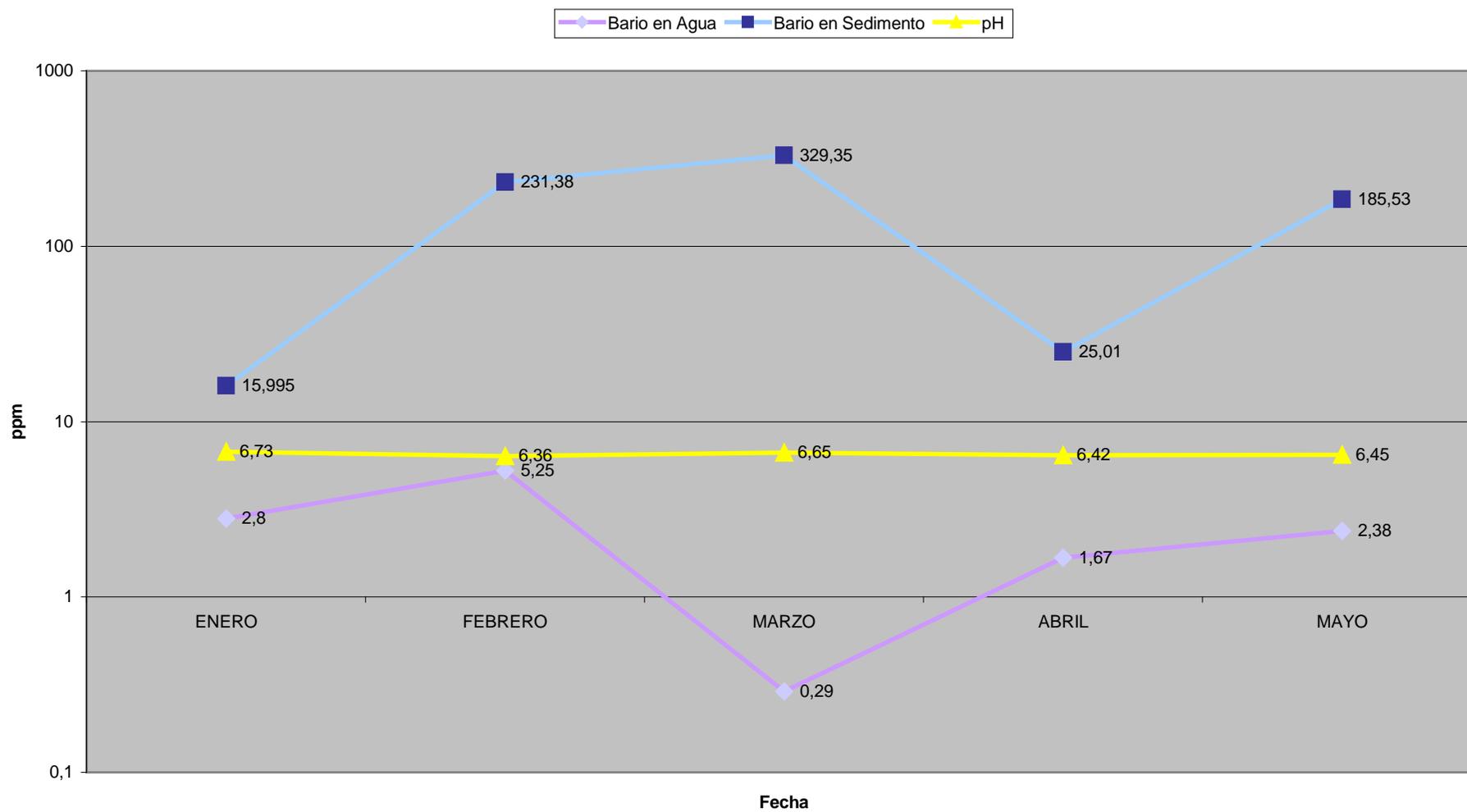


Gráfico 19: Relación bario en agua-bario en sedimento-pH Río Sek



9.3.4 Relación Fósforo en agua y Fósforo en sedimento

Analizando los gráficos 20, 21, 22, 23, 24 y 25 podemos observar que no existe una clara relación entre el fósforo del agua y el fósforo del sedimento; sin embargo es importante recalcar lo siguiente:

- 1) Las principales especies químicas que se pueden encontrar de forma natural en el agua son HPO_4^{2-} (aq) y $(\text{H}_2\text{PO}_4)^-$ (aq).
- 2) El fósforo de forma acuosa que se encuentra disponible es utilizado por plantas y ciertos microorganismos para sus procesos metabólicos que están relacionado con la producción primaria.
- 3) El fósforo en los sedimentos funcionan como una fuente de almacenamiento de este elemento en la laguna.

Partiendo de estas premisas se tienen bajas concentraciones de fósforo en el agua y grandes concentraciones en los sedimentos de la laguna debido a que este elemento en su mayor parte es utilizado de forma biológica y en menor proporción el ión fosfato forma sales poco solubles que terminan en los sedimentos y son adsorvidos en las arcillas.²⁹

²⁹ Manahan, Stanley, FUNDAMENTALS OF ENVIRONMENTAL CHEMISTRY, Lewis Publishers, USA, 1995

Gráfico 20: Relación fósforo en agua-fósforo en sedimento Laguna(muelle)

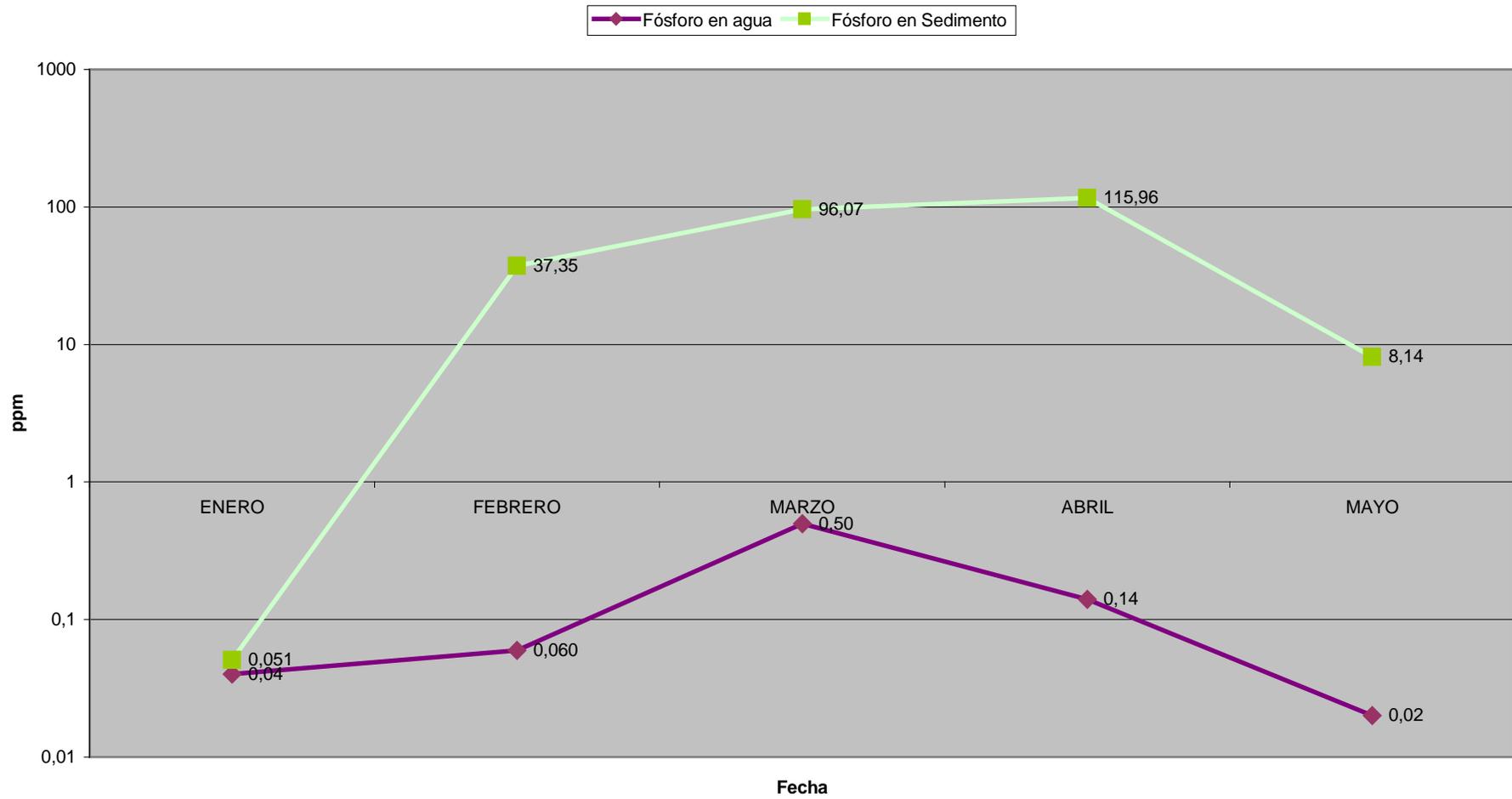


Gráfico 21: Relación fósforo en agua-fósforo en sedimento Laguna(antena)

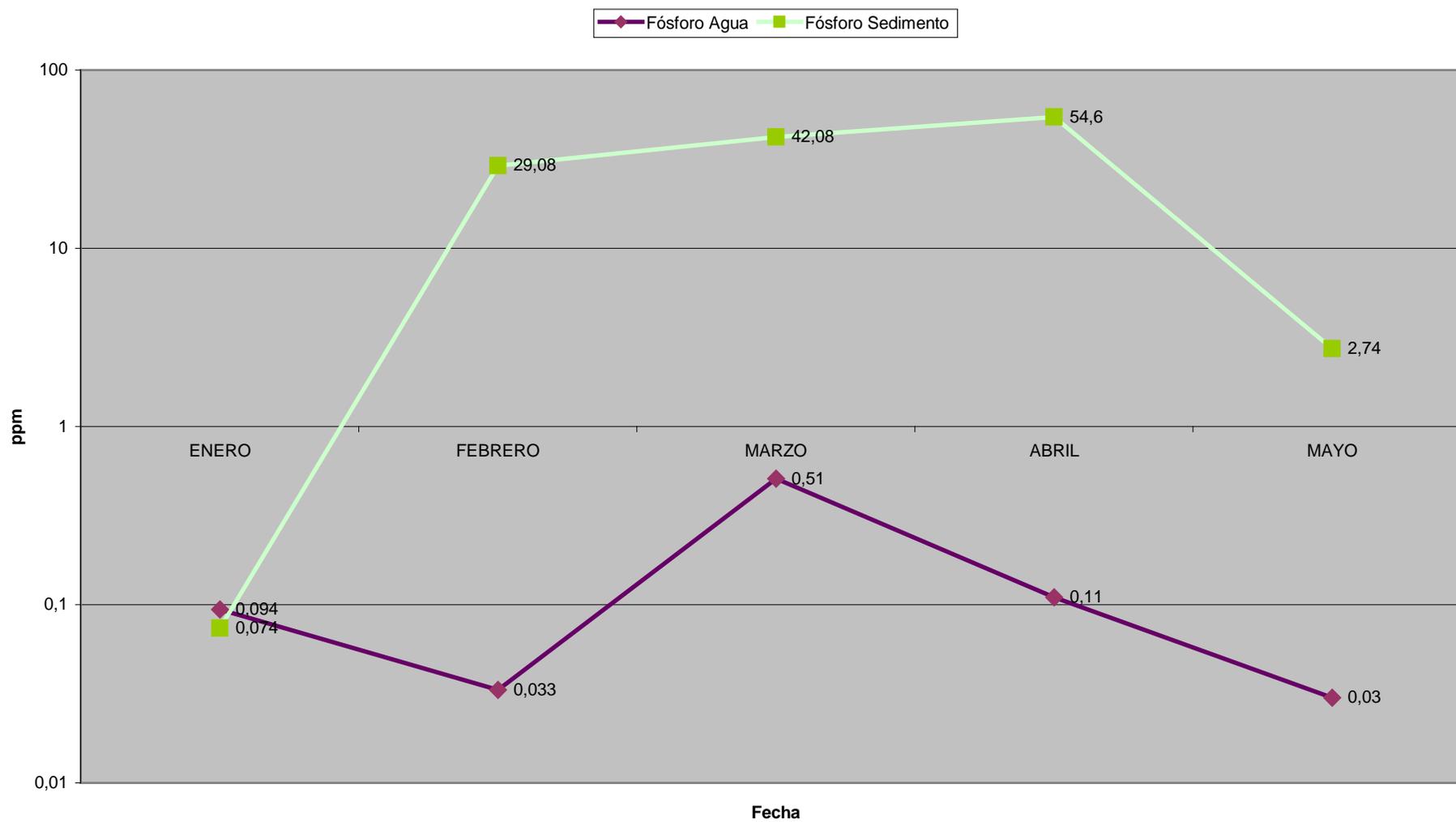


Gráfico 22: Relación fósforo en agua-fósforo en sedimento Laguna(Pishira)

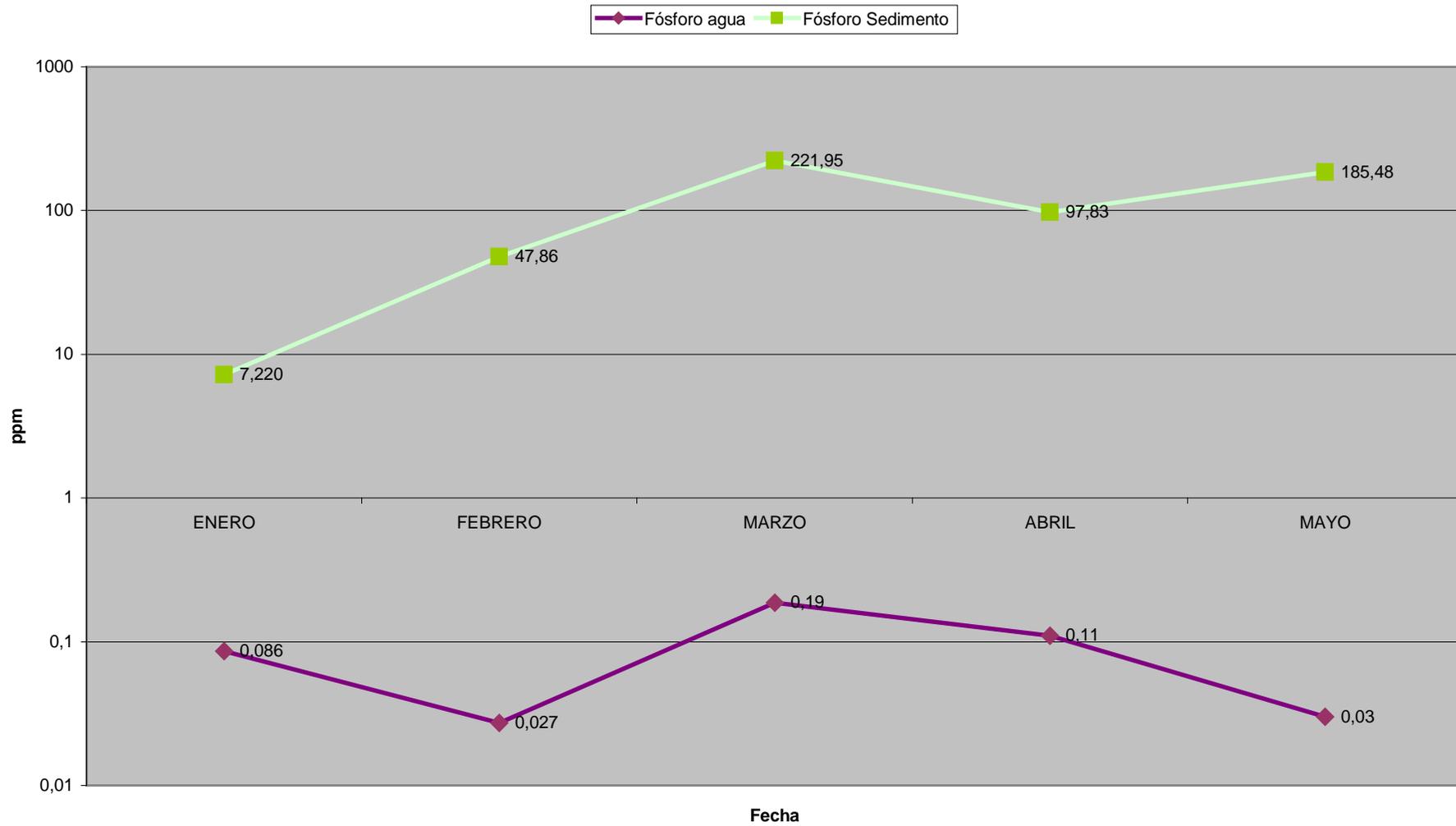


Gráfico 23: Relación fósforo en agua-fósforo en sedimento Río Pishira

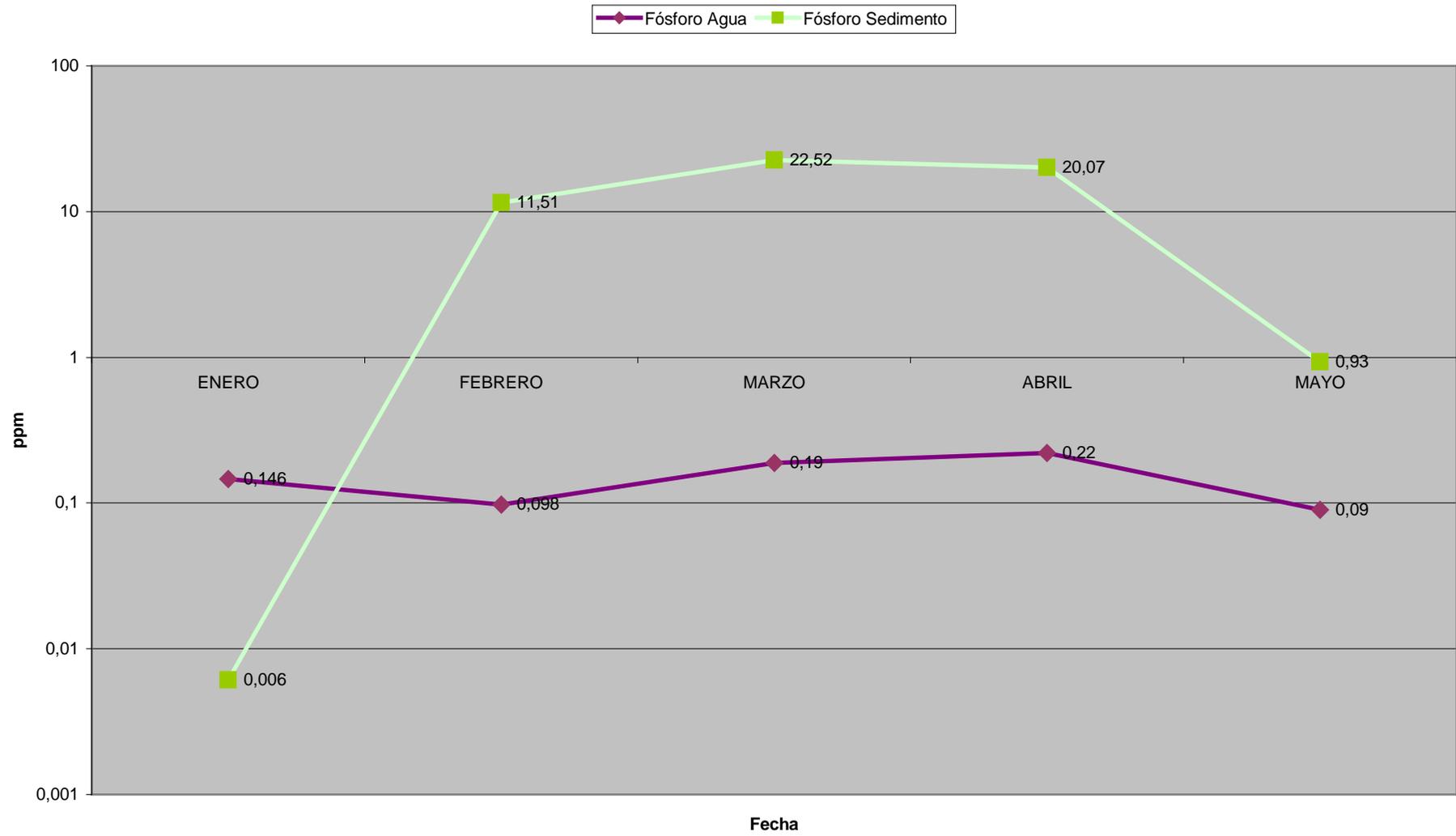


Gráfico 24: Relación fósforo en agua-fósforo en sedimento Río Playayacu

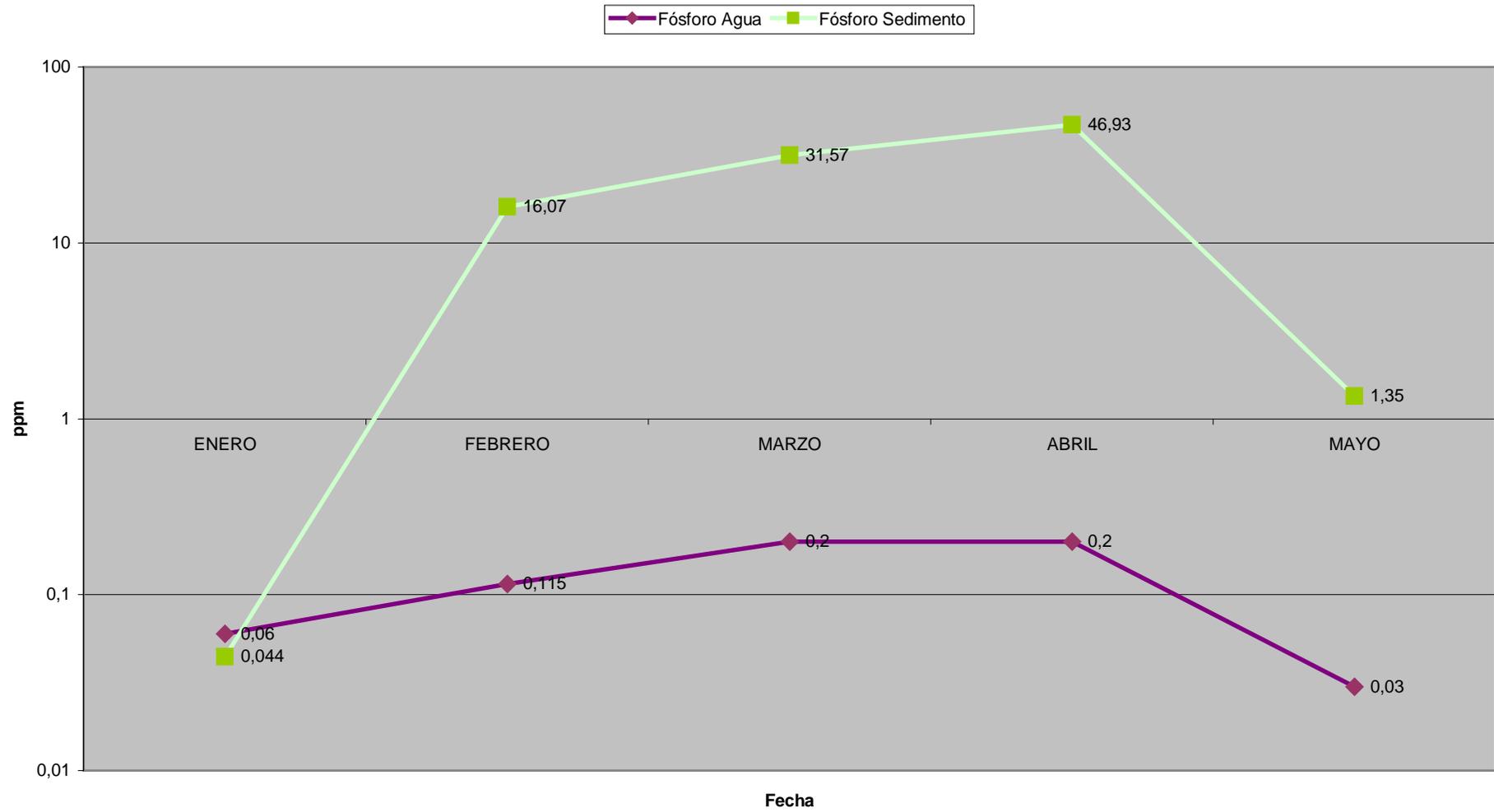
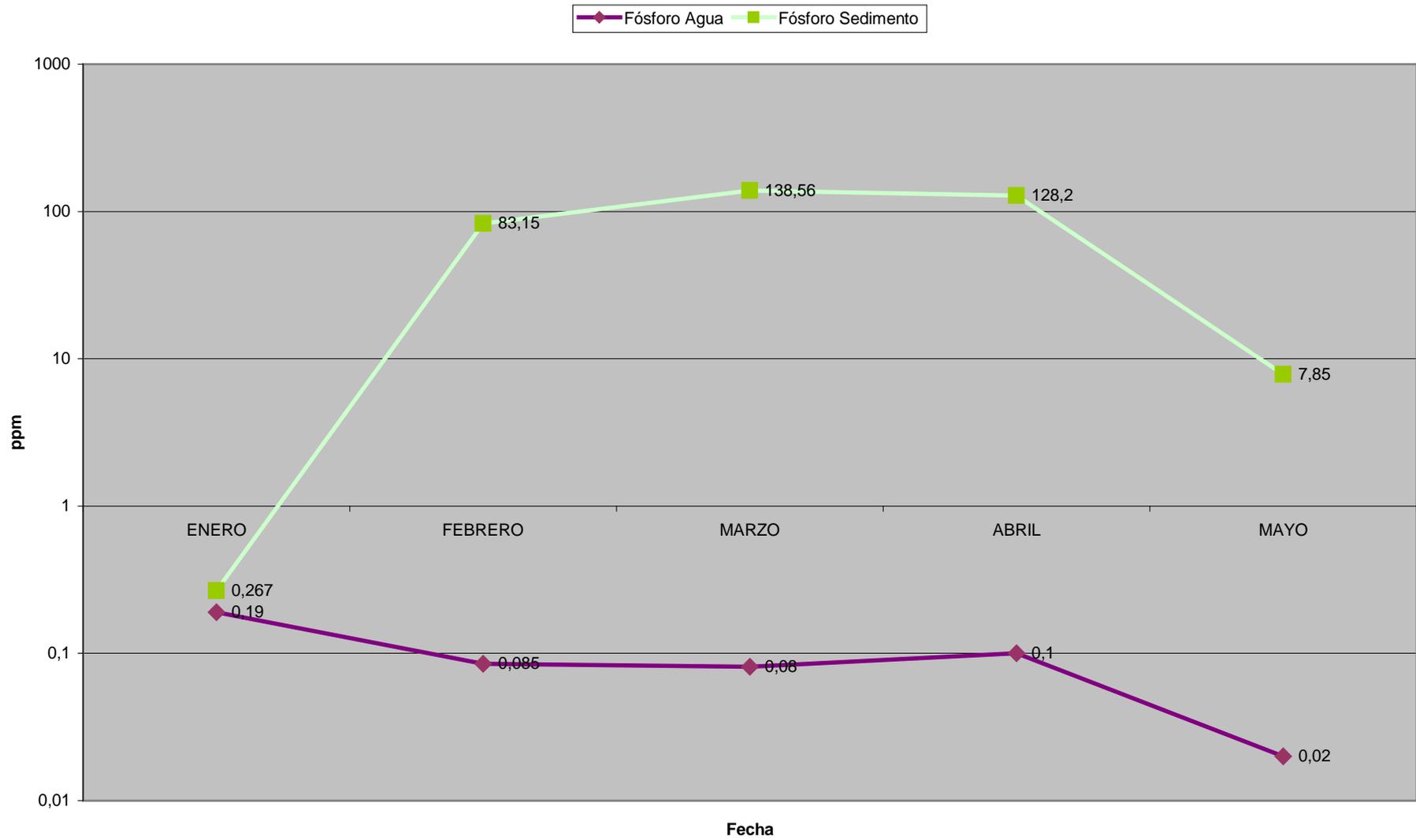


Gráfico 25: Relación fósforo en agua-fósforo en sedimento Río Sek



9.3.5 Relación Bario Fósforo con oxígeno disuelto y pH en agua

Según lo expuesto en los apartados 9.3.3 y 9.3.4 para definir una relación entre el fósforo y el bario debemos tomar en cuenta dos aspectos fundamentales:

- 1) Las concentraciones de bario dependen de la cantidad de material orgánico en el cuerpo de agua y el pH
- 2) Las concentraciones de fósforo dependen de la actividad biológica por ser parte fundamental de los organismos vivos, en especial de aquellos que se encargan de la producción primaria.

Debido a esto en los gráficos 26,27 y 28 se relaciona las concentraciones de bario y fósforo en el agua con el pH y el oxígeno disuelto (relacionado directamente con la producción primaria y la actividad microbiana). De aquí que se puede ver que existe una relación entre estos dos elementos que presumiblemente no es directa, pues al parecer no reaccionan entre si para formar compuestos solubles o insolubles por lo que en la laguna podría cumplirse lo siguiente:

- a) Cuando el pH es ácido el bario sufre una complejación con la materia orgánica y sedimenta
- b) La complejación podría estar sujeta a cierta actividad microbiana, en especial la degradación de compuestos orgánicos complejos.
- c) La degradación de materia orgánica por vía aerobia consume oxígeno subsaturando el agua
- d) Al disminuir el oxígeno disuelto existe una disminución de la producción primaria
- e) Cuando disminuye la producción primaria existe una menor demanda de fósforo lo cual hace que su concentración aumente.
- f) Cuando el pH es básico el proceso descrito anteriormente se revierte.

En el caso de los puntos muestreado en los ríos que se encuentran en los gráficos 29, 30, y 31 el proceso descrito anteriormente no se cumple debido a tratamos con cuerpos de agua en movimiento donde el proceso de complejación tiene dificultades para realizarse por su bajo tiempo de residencia, poca actividad microbiológica y alta turbulencia, en comparación con la laguna. Esto sugiere que se forman compuestos inorgánicos insolubles en lugar de compuestos orgánicos.

Gráfico 26: Relación bario-fósforo en agua-oxígeno disuelto- pH Laguna(muelle)

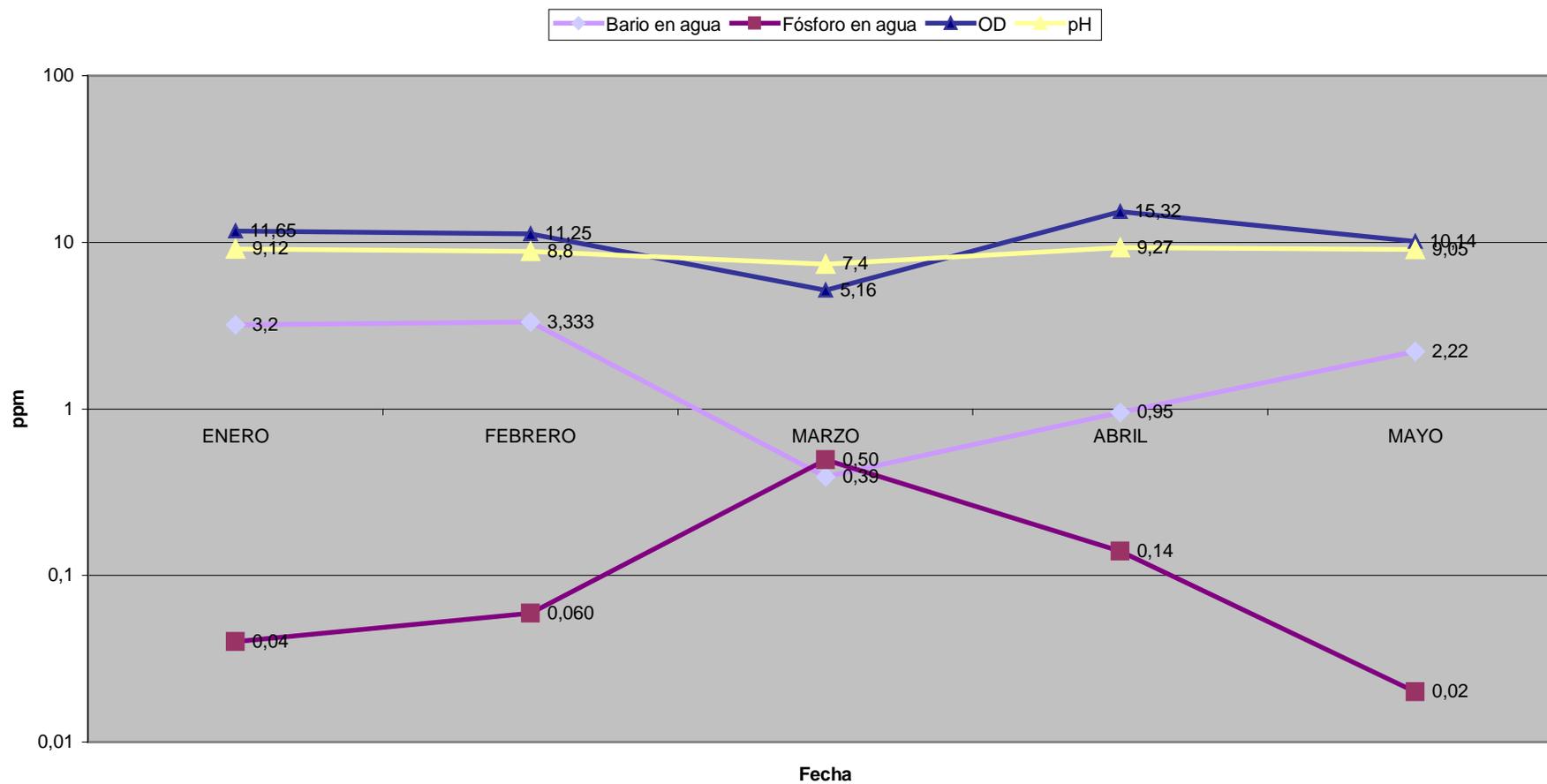


Gráfico 27: Relación bario-fósforo en agua-oxígeno disuelto- pH Laguna(antena)

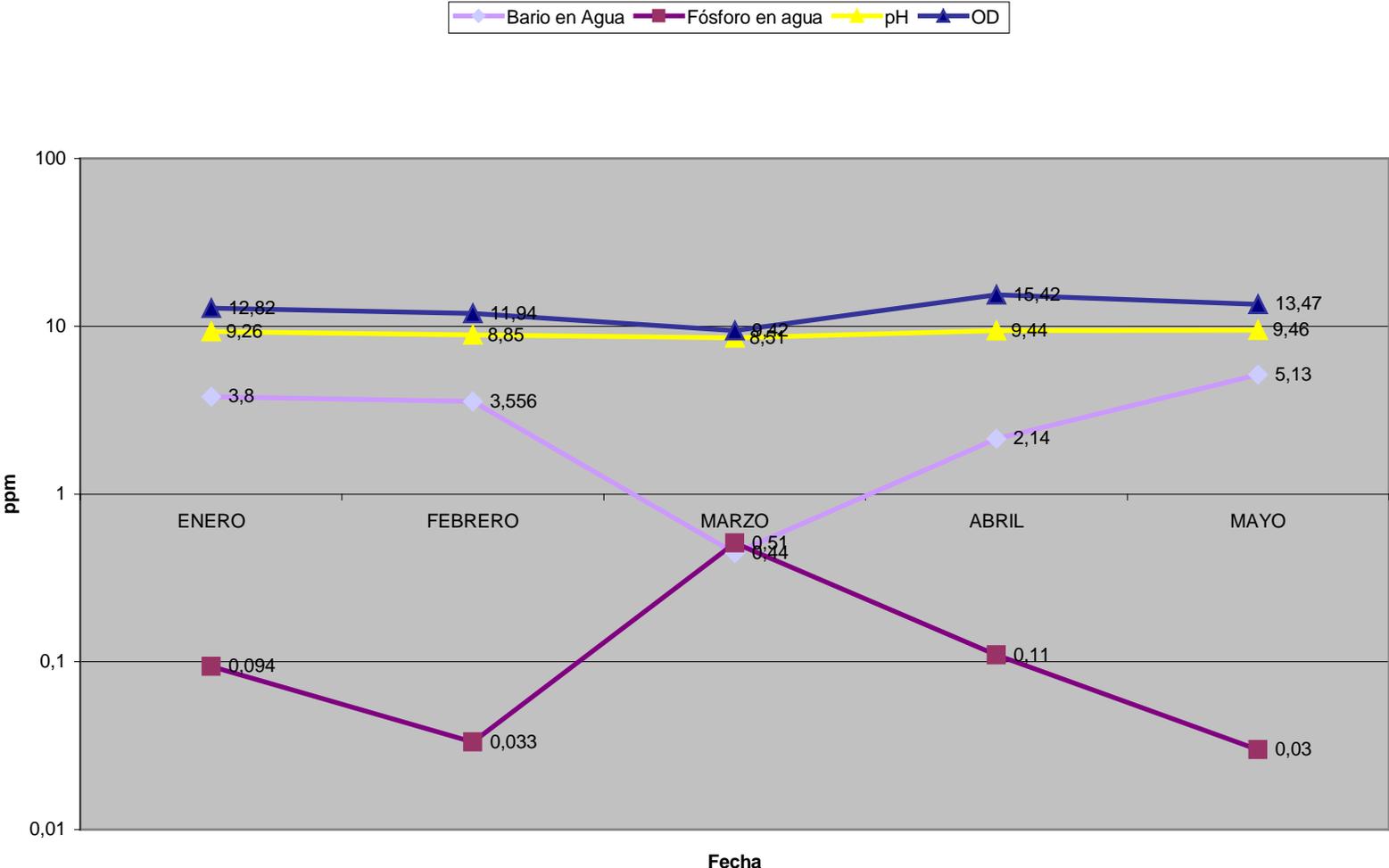


Gráfico 28: Relación bario-fósforo en agua-oxígeno disuelto- pH Laguna(Pishira)

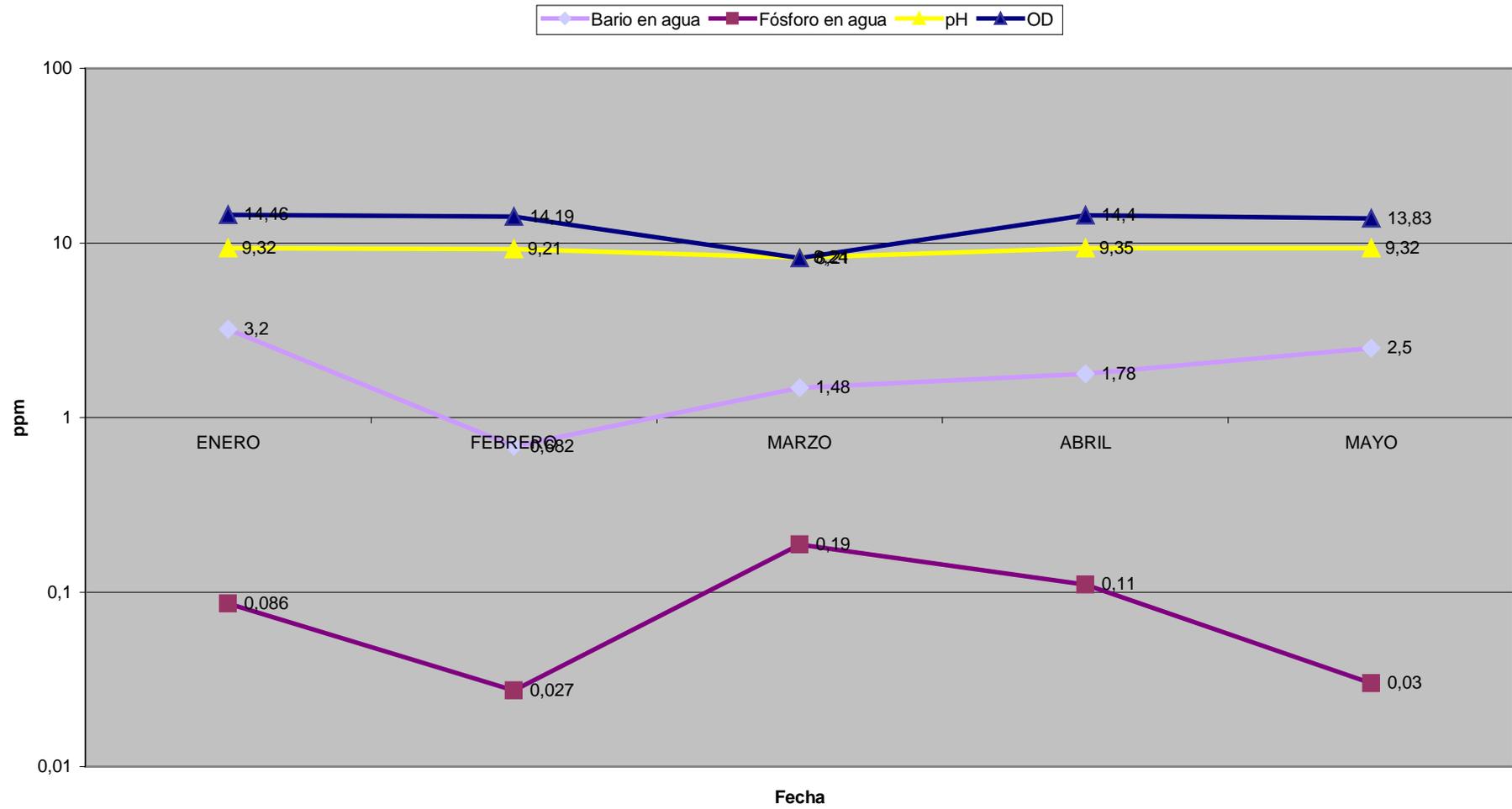


Gráfico 29: Relación bario-fósforo en agua-oxígeno disuelto- pH Río Pishira

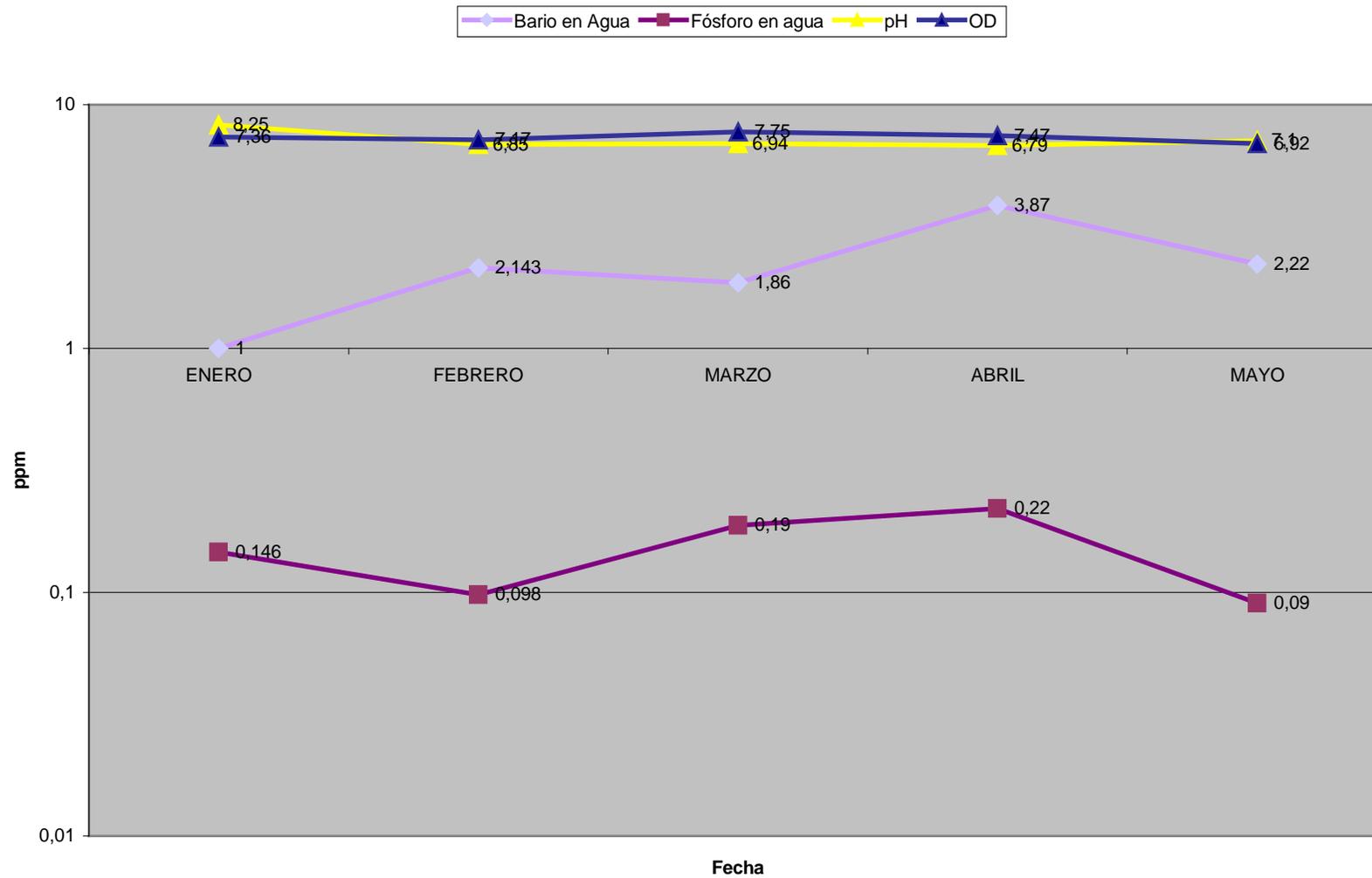


Gráfico 30: Relación bario-fósforo en agua-oxígeno disuelto- pH Río Playayacu

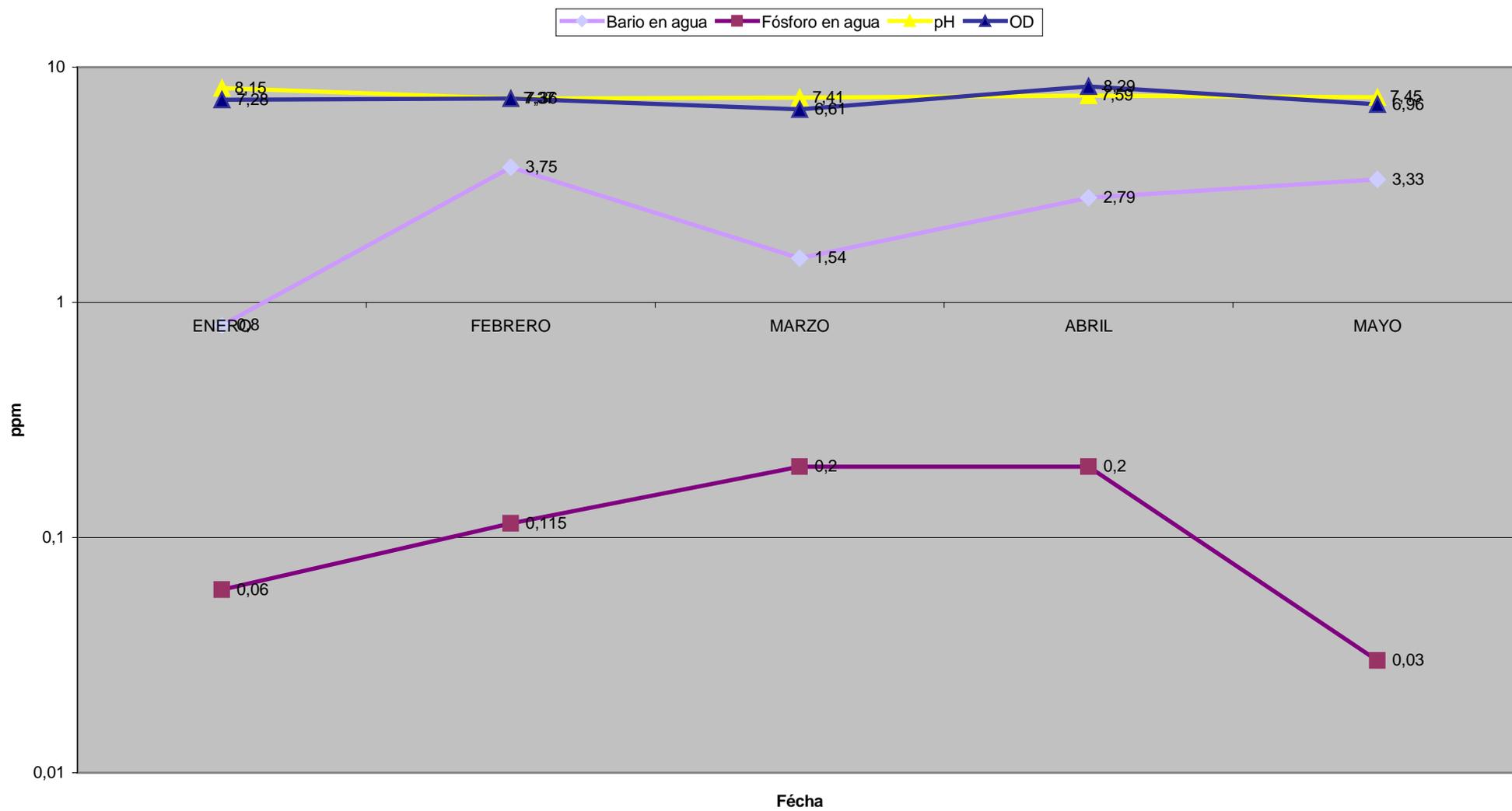
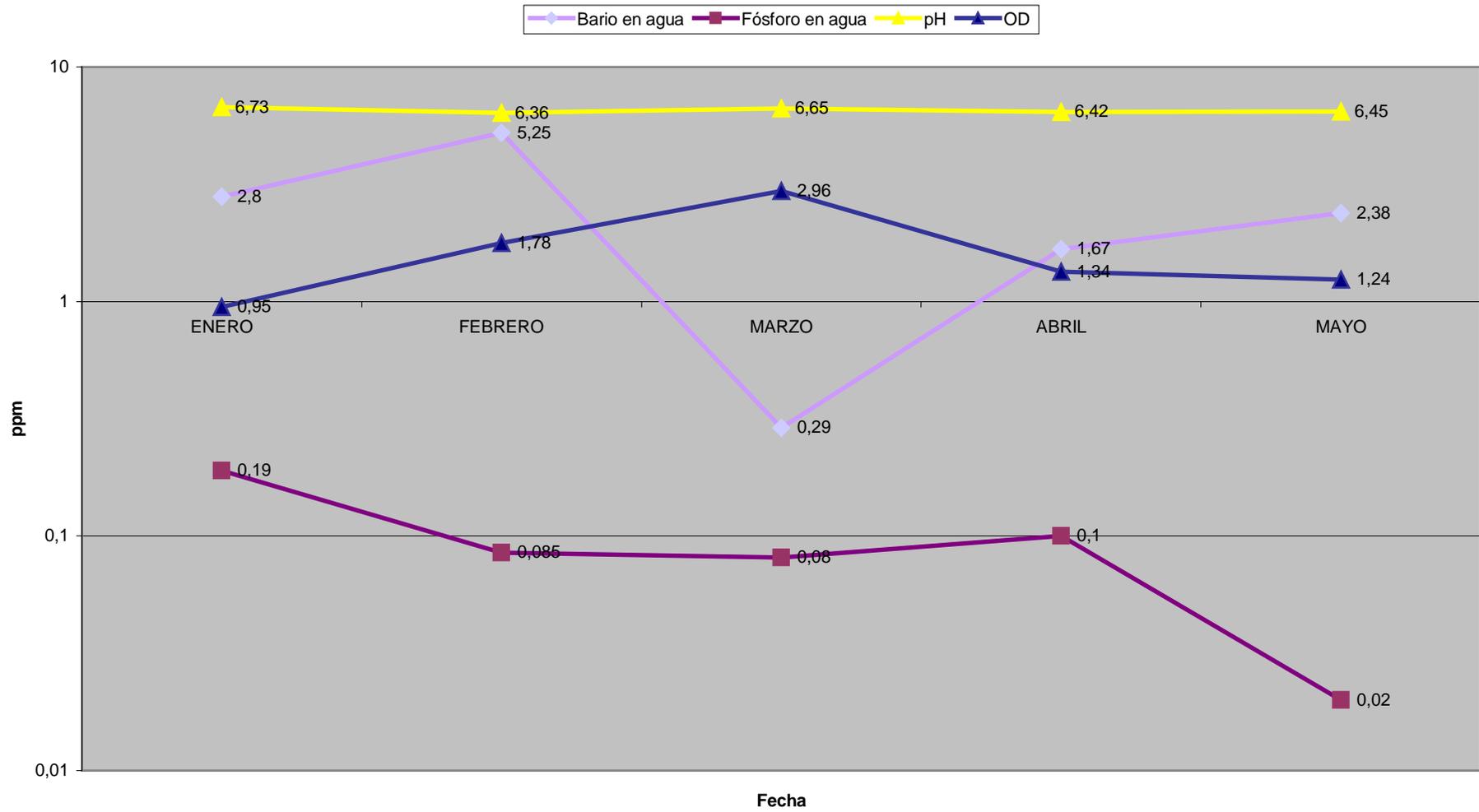


Gráfico 31: Relación bario-fósforo en agua-oxígeno disuelto- pH Río Sek



9.3.6 Relación Bario Fósforo en Sedimento

Al analizar los gráficos 32, 33, 34, 35, 36 y 37 podemos observar que, a pesar de que en ciertos puntos pareciera que las concentraciones de bario y fósforo tienen una relación directa, existen mediciones contradictorias que nos hacen pensar que es solamente una casualidad.

Por esta razón no se puede interpretar que se presente un mecanismo químico o biológico que gobierne una relación entre estos dos elementos en esta fase de la laguna. Debe recordarse que son los sedimentos el repositorio de una variedad de especies químicas donde se llevan a cabo una serie de reacciones que permiten almacenar o disponer de estas sustancias, lo cual explica las variaciones en las curvas de concentración y no siempre un incremento o disminución constante.

Gráfico 32: Relación bario en sedimento-fósforo en sedimento Laguna(muelle)

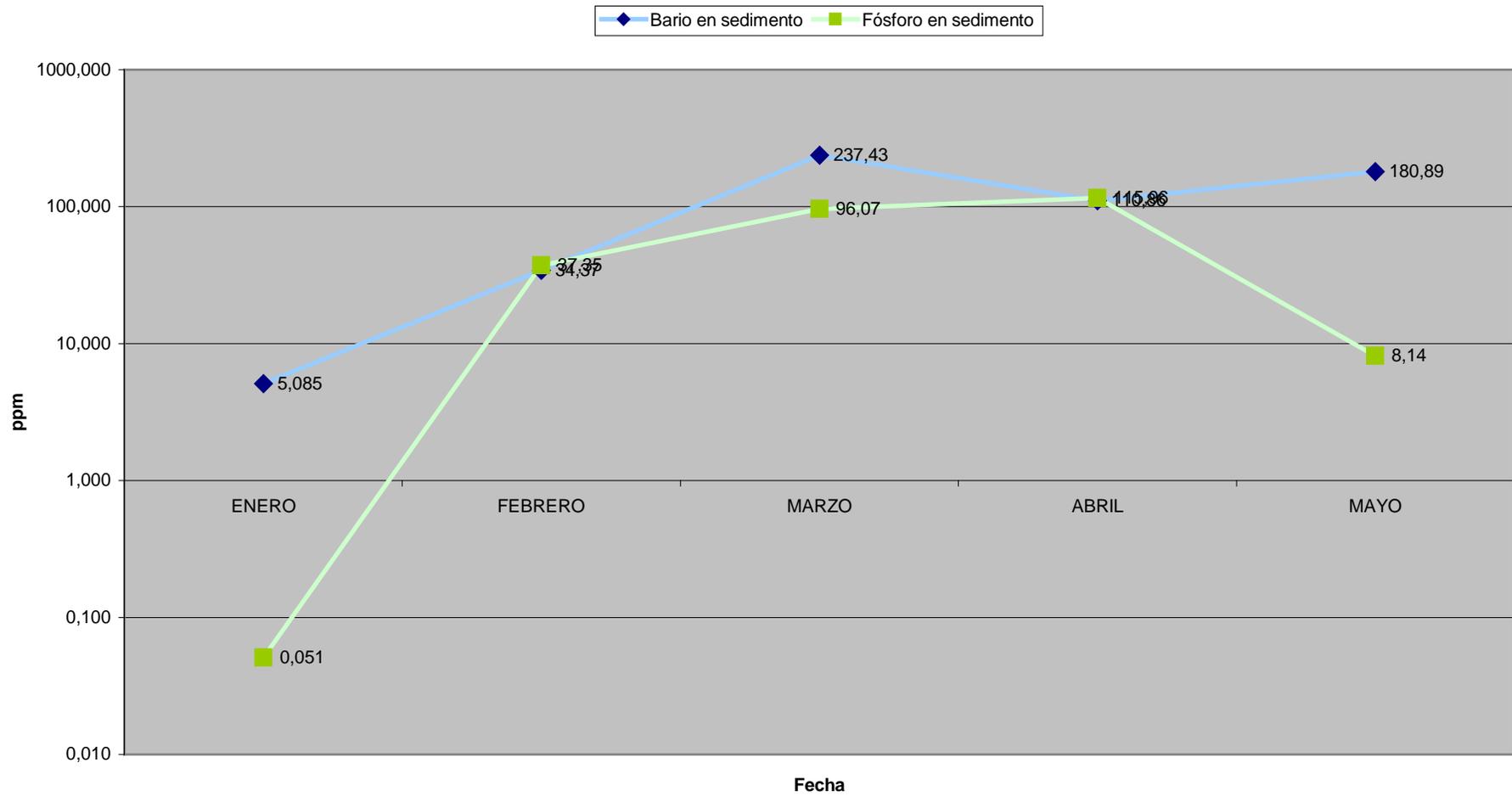


Gráfico 33: Relación bario en sedimento-fósforo en sedimento Laguna(antena)

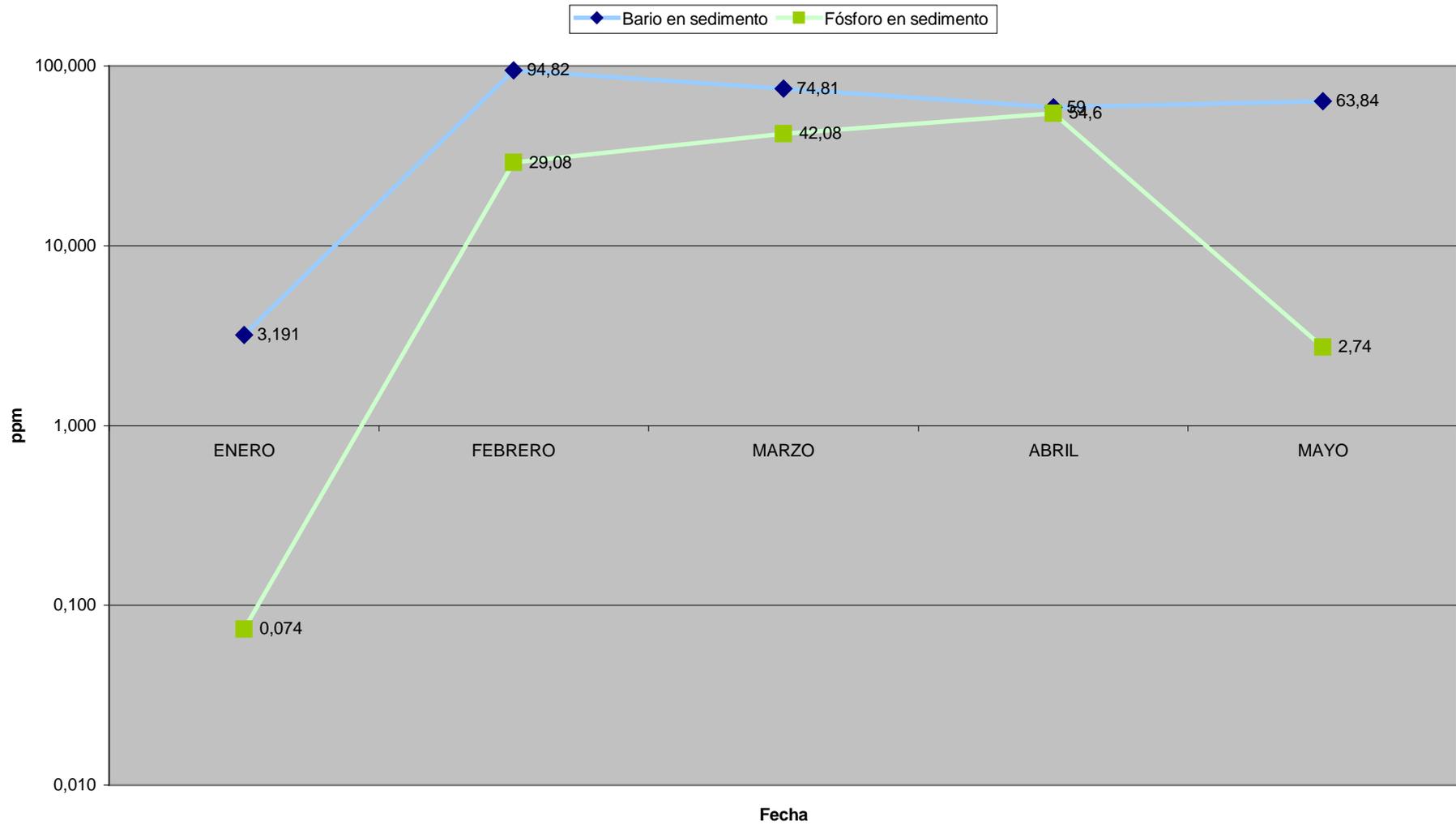


Gráfico 34: Relación bario-fósforo en sedimento Laguna(Pishira)

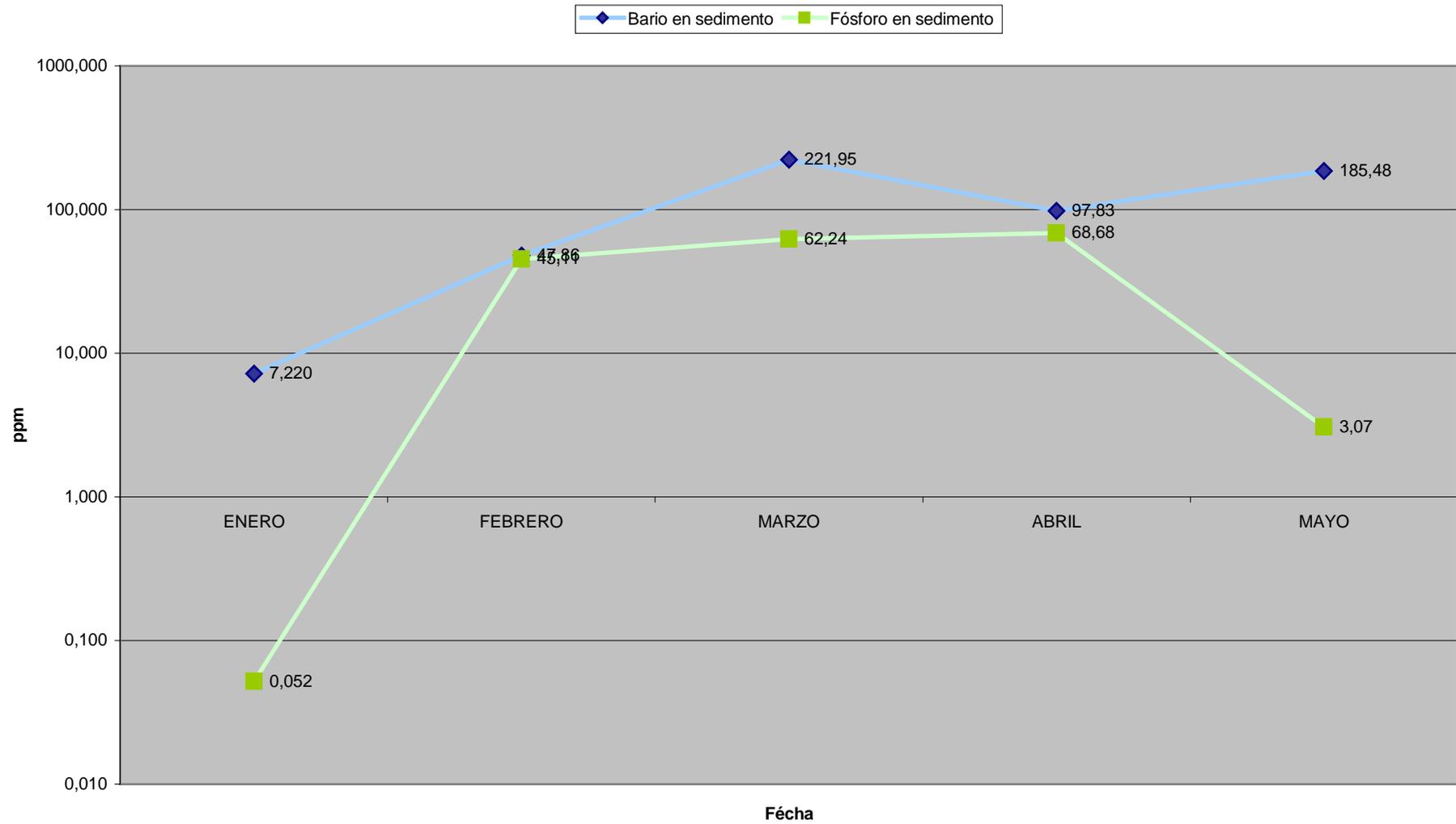


Gráfico 35: Relación bario en sedimento-fósforo en sedimento Río Pishira

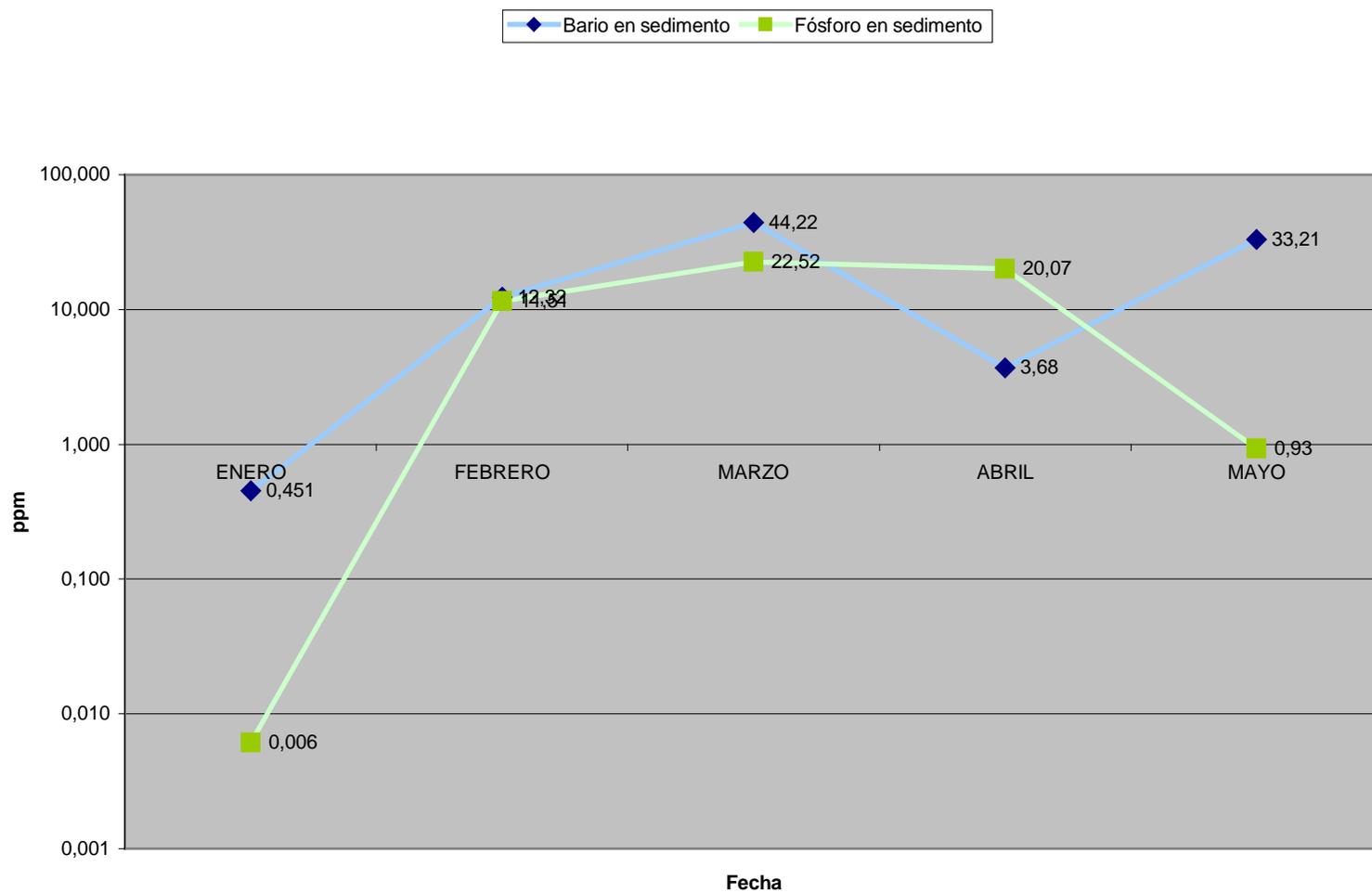


Gráfico 36: Relación bario en sedimento-fósforo en sedimento Río Playayacu

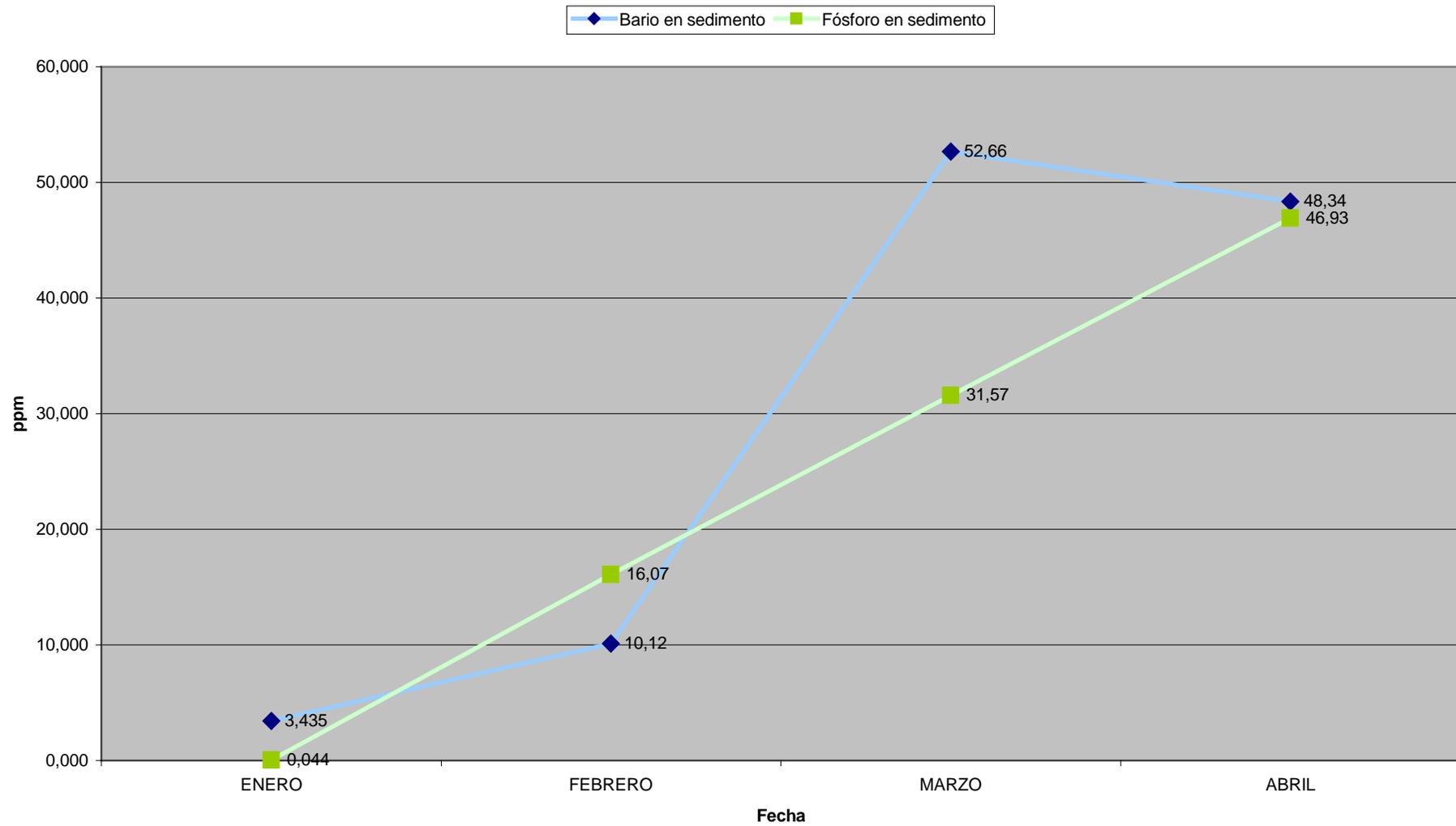
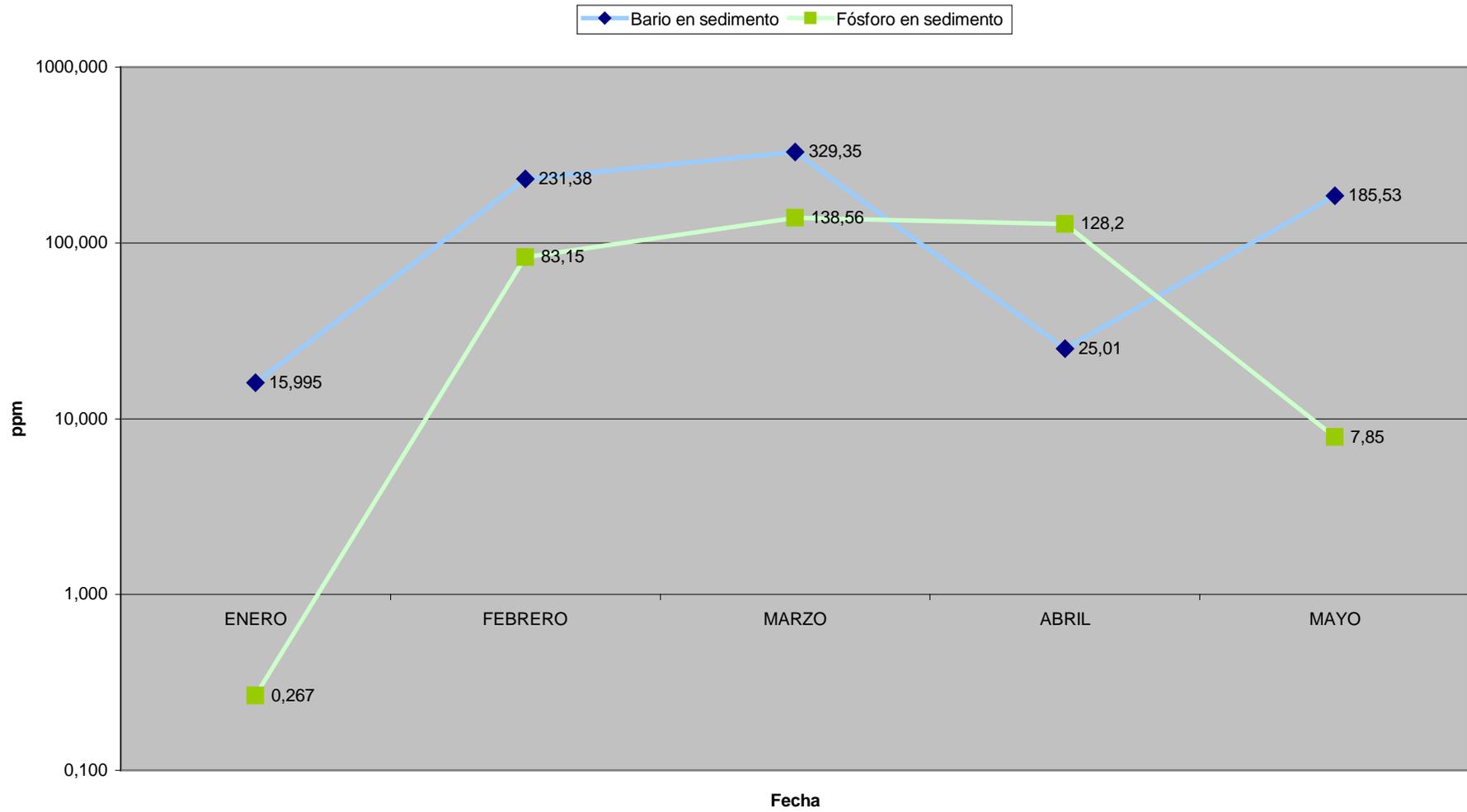


Gráfico 37: Relación bario en sedimento-fósforo en sedimento Río Sek



9.4 Índice de Carlson

Una vez de aplicado el Índice del Estado Trófico de Carlson modificado por Toledo (IETm) para lagos tropicales en el apartado 8.4 para los valores de transparencia, clorofila A, fósforo total y la media de estos se tiene como resultado los gráficos 38 y 39 en los cuales, si comparamos con la siguiente tabla tenemos que:

- 1) Para los meses de enero a marzo se tienen valores de IETm (media) sobre 55 lo cual indica que la laguna se encuentra en un estado eutrófico cerca a mesotrófico.
- 2) Para los meses de abril y mayo se tienen valores de IETm (media) sobre 55 lo cual indica que la laguna se encuentra en un estado eutrófico cerca a mesotrófico.

Clasificación del Índice del Estado Trófico modificado por Toledo Jr. (1985)

Índice	Clasificación
<45	Oligotrófico
45-55	Mesotrófico
>55	Eutrófico

Gráfico 38: Índice del Estado Trófico Modificado (De Enero, Febrero y Marzo)

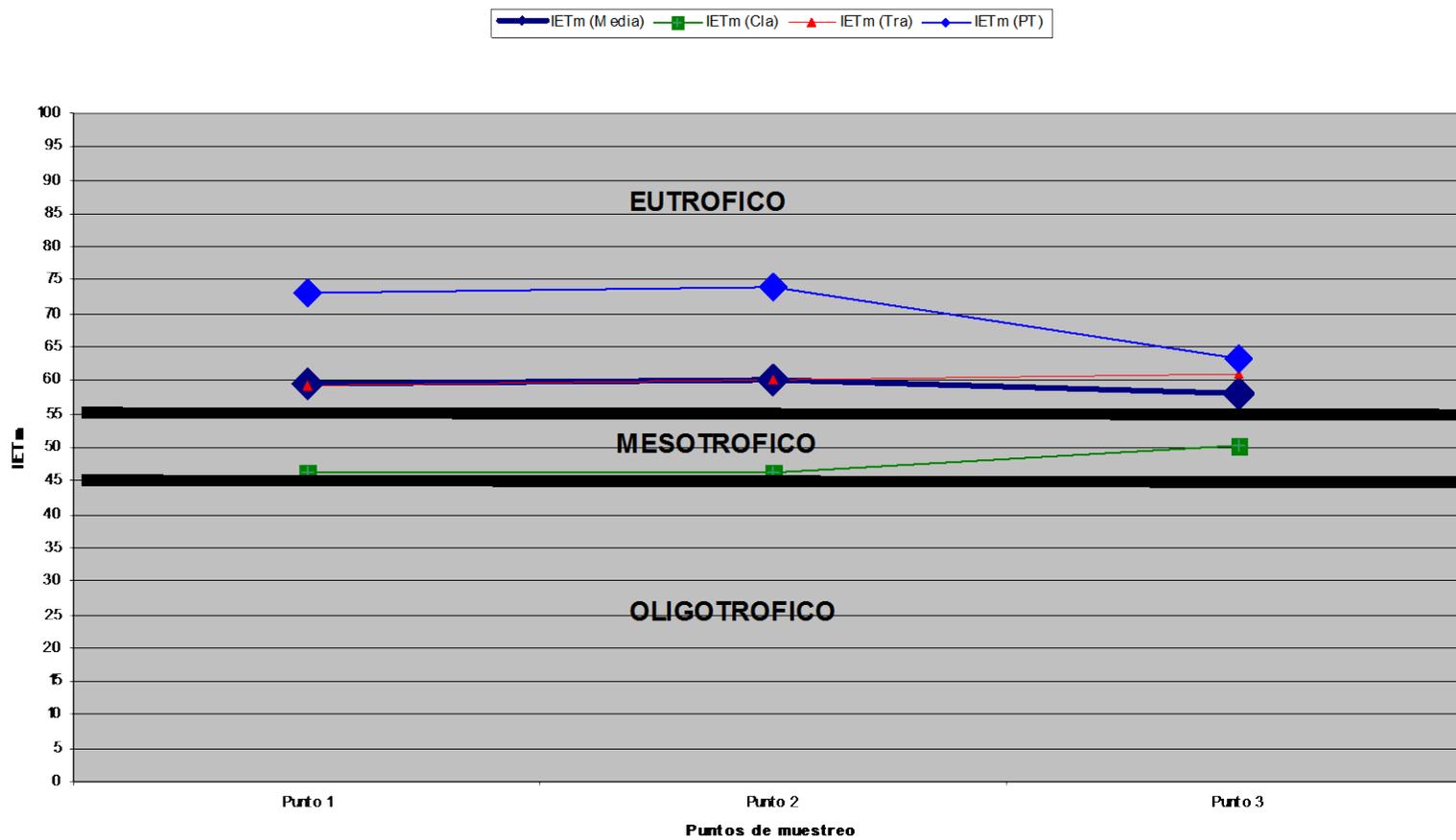
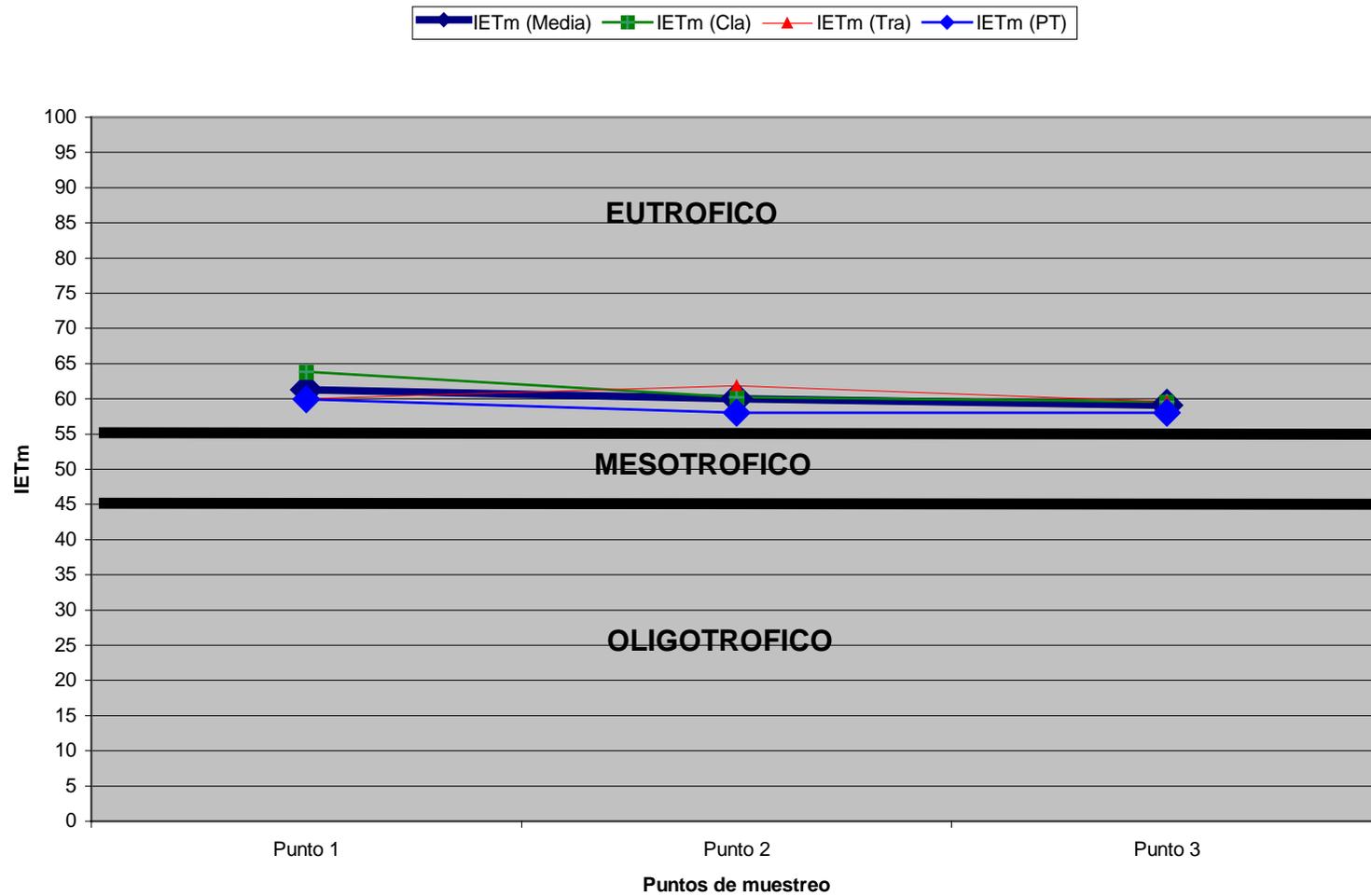


Gráfico 39: Índice del Estado Trófico modificado (marzo y abril)



CAPÍTULO VI

10 Conclusiones y Recomendaciones

10.1 Conclusiones

- Se puede observar en los análisis realizados de difracción que los sedimentos se encuentra constituido por andesina (43.5%), muscovita (28.0%), cuarzo (15.0%) y grupo caolinita (13.5%).
- En los resultados obtenidos del análisis granulométrico, demuestra que los sedimentos son limo-arenosos. Pero su gran mayoría es arenosa.
- La relación oxígeno disuelto-temperatura, se puede explicar con la aplicación de la constante de Henry, mediante esto podría decir que en los gráficos de la laguna y de los ríos, generalmente funciona esta relación teórica, sin embargo en algunos puntos de la laguna ésta se invierte.
Uno de los motivos, para explicar esta situación es, que existe una relación directa entre la producción primaria y el oxígeno disuelto.
- Con relación a la dureza y alcalinidad analizada en la laguna y los ríos, se pudo constatar que existe una relación directa, dado que al aumentar la dureza aumenta la alcalinidad. Esto tiene sus excepciones en la laguna (Pishira) y el río Pishira aproximadamente en el mes de Abril.
- Se puede identificar que la relación de bario en agua y bario en sedimento en los puntos muestreados en la laguna, es directa, dado que al disminuir el bario en el agua aumenta en los sedimentos, esto se podría explicar teniendo en cuenta el pH del agua gobierna al comportamiento de este metal en medios acuosos.
- Al contrario del punto anteriormente mencionado, en los ríos sucede una relación inversa, pues al disminuir el pH aumenta las concentraciones de bario soluble y disminuye en los sedimentos.
- La relación de fósforo en agua y en sedimento, tiene el mismo comportamiento en la laguna como en los ríos; esta relación no es muy clara. Se tiene una mayor concentración de fósforo en los sedimentos que en el agua.
- En la relación de bario fósforo con oxígeno disuelto y pH en el agua de la laguna, se puede observar que existe una relación presumiblemente indirecta, debido a que a la presencia de otros factores a considerar como es la producción primaria.

- La relación antes mencionada en los ríos, es diferente debido al movimiento de agua.
- Se observó que el bario en sedimentos y fósforo en sedimentos, no presenta una clara relación, esto puede deberse a que los sedimentos son el depósitos de una variedad de especies químicas donde se lleva a cabo una serie de reacciones que permiten almacenar o disponer de estas sustancias.
- En la aplicación del Índice del Estado Trófico de Carlson modificado, dio como resultado que la laguna de Limoncocha se encuentra en un estado eutrófico próximo a mesotrófico.
- Con respecto a los hidrocarburos, estos se encuentran bajo el límite de detección, el método que se aplico para esto es el Gravimétrico. Este método es por diferencias de masas y vale destacar que presenta un gran índice de error, por lo cual sería aconsejable realizar los mismos análisis aplicando otros métodos.

10.2 Recomendaciones

- Se sugiere realizar un estudio más detallado de los sedimentos, con medidas de pH, OD y temperatura de los mismos.
- Es necesario investigar en detalle la constante de equilibrio del oxígeno en la laguna para tener una mejor conclusión sobre lo que esta sucediendo en este cuerpo de agua con relación al Oxígeno disuelto, temperatura y la producción primaria.
- Estudiar los ecosistemas (bióticos y no bióticos) de la laguna de Limoncocha.
- En lo que se refiere a la detección de hidrocarburos se debería realizar un análisis mas exacto que el aplicado en la presente tesis de grado.
- Se debería investigar más sobre el bario presente en la laguna debido a que existen estudios realizados (no documentados) en los que demuestran, que las aguas del oriente ecuatoriano son ricas en este compuesto.

CAPÍTULO VII

BIBLIOGRAFÍA

- Roldán P. Gabriel, FUNDAMENTOS DE LIMNOLOGÍA NEOTROPICAL, primera edición, editorial Universidad de Antioquia, Colombia, 1992.
- Wetzel G. , LIMNOLOGY, segunda edición, editorial Saunders college publishing, New York – Estados Unidos, 1983
- Keller R. , GEXASSES UND WASSERHAUSHALT DES FEST- LANDES, Haude UI Spenserseche Verl, Berlin- Alemania, 1961
- Cole Gerald, MANUAL DE LIMNOLOGÍA, tercera edición, editorial Hemisferio Sur, Uruguay, 1988
- Arpi Salvador J., EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE FÓSFORO EN LA LAGUNA DE LIMONCOCHA Y SU RELACIÓN CON EL ESTADO TRÓFICO, Tesis de Grado Universidad Internacional SEK, Quito-Ecuador, 2004
- Hakson L.- Jansson M., PRINCIPLES OF LAKE SEDIMENTOLOGY, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York Tokyo,1983
- Gómez J., DIAGNOSTICO DEL ESTADO TROFICO DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA Y DETERMINACION DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL SISTEMA HIDRICO DE ÑA ZONA DE LIMONCOCHA, Tesis de Grado Universidad Internacional SEK, Quito-Ecuador, 2003
- APHA, AWWA, WPCF, METODOS NORMALIZADOS PARA EL ANALISIS DE AGUA POTABLE Y RESIDUAL, decimoséptima edición, editorial Díaz de Santos S.A., Madrid España, 1992
- Günter Gunkel, LIMNOLOGIA Y PROTECCION DE SISTEMAS ACUATICOS, Escuela Politécnica Nacional, Quito Ecuador, 1996
- Peña L., Ferreira C., Almeida M., COMPORTAMENTO DOS ÍNDICES DO ESTADO TRÓFICO DE CARLSON (IET) E MODIFICADO (IETM) NO RESERVATÓRIO DA UHE LUÍS EDUARDO MAGALHÃES, Tocantins- Brasil
- Winfield, Alan, ENVIRONMETAL CHEMISTRY, Cambridge University Press, Quinta Edición, Gran Bretaña, 1995
- Manahan, Stanley, FUNDAMENTALS OF ENVIRONMENTAL CHEMISTRY, Lewis Publishers, Cuarta Edición, USA, 1995

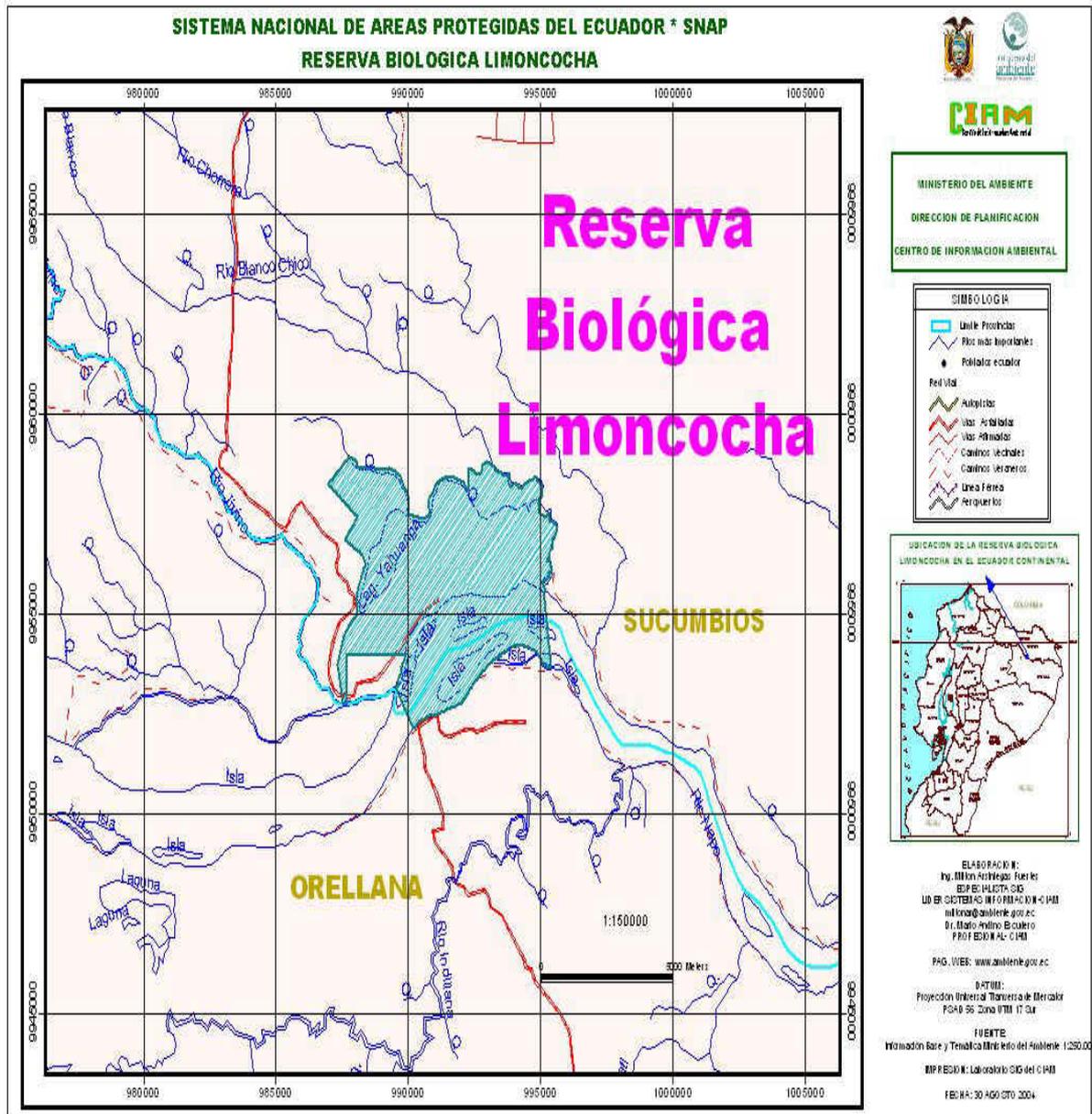
- Perry, Robert, MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO VOLUMEN I, McGraw-Hill, México, 2001
- Coral Katty, Ingeniería Ambiental, Universidad Internacional SEK, Quito Ecuador

Internet:

- www.esi.unav.es/asignaturas/ecologia/Hipertexto/04Ecosis/137CicP.htm
- www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Ba.htm
- www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts123.html
- www.interactive.net.ec/travesia/limoncocha.htm
- www.1.ceit.es/asignaturas/ecologia/hipertexto/11cagu7150eutro.htm
- www.ambiente.gov.ec

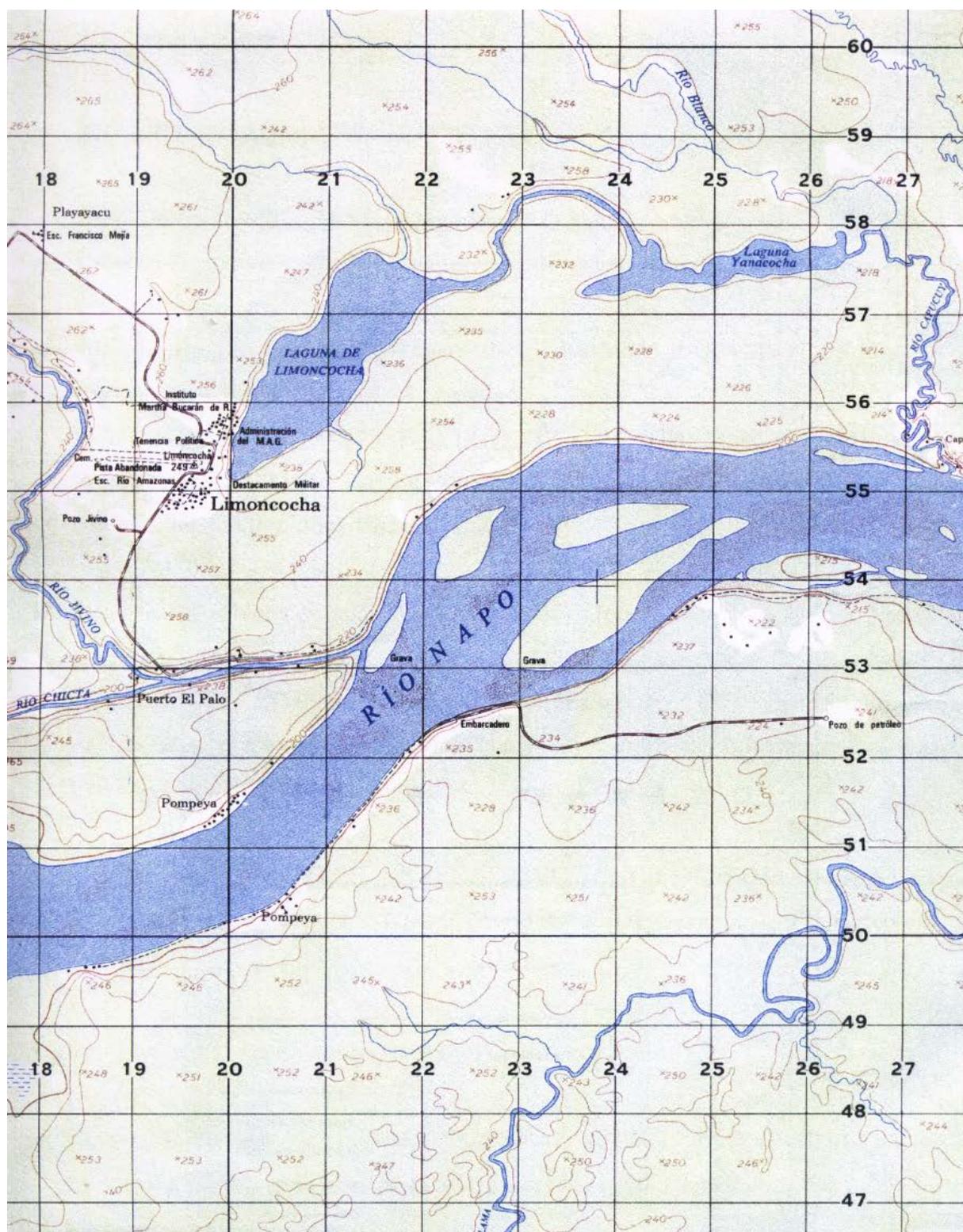
Anexos

Anexo I: Mapa de la Reserva Biológica de Limoncocha



http://www.ambiente.gov.ec/AMBIENTE/snap/pagina_n3.htm

Anexo II: Mapa de la ubicación de la laguna de Limoncocha con sus principales efluentes



Arpi Salvador J., EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE FÓSFORO EN LA LAGUNA DE LIMONCOCHA Y SU RELACIÓN CON EL ESTADO TRÓFICO, 2004, Tesis de Grado Universidad Internacional SEK, Quito-Ecuador.

Anexo III: Resultados de los análisis Difractométrico y Granulométrico, realizado por el departamento de Metalurgia Extractiva de la Escuela Politécnica Nacional



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Resultados de Análisis

Solicitante: Guillermina Gómez

Referencia: ST-3150

Fecha: 08/04/05

Muestras recibidas: Una muestra sólida

Resultados Difracción de rayos X

La determinación de los compuestos con cristalización definida presentes en la muestra se realizó empleando el Difractómetro D8 ADVANCE, y el programa Diffrac plus para cualificación y cuantificación. A continuación se detallan los resultados obtenidos del análisis:

Mineral	Formula	Muestra Contenido (%)
Cuarzo	SiO ₂	15.0
Muscovita	KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂	28.0
Grupo Caolinita (caolinita, dickita, nacrita)	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	13.5
Andesina	NaAlSi ₃ O ₁₀	43.5

Nota: El límite de detección del equipo empleado es del 1% para compuestos con cristalización definida.

Resultados Análisis Granulométrico

Tamiz Malla #	Abertura (um)	Peso Retenido (g)	Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Retenido Acumulado (%)
+ 30	600	1.9	1.16	1.16	98.84
+ 40	425	1.1	0.67	1.83	98.17
+ 50	300	3.4	2.07	3.90	96.10
+ 65	212	0.8	0.49	4.39	95.61
+ 80	180	0.1	0.06	4.45	95.55
+ 100	150	0.2	0.12	4.57	95.43
+ 150	106	0.12	0.07	4.65	95.35
+ 200	75	0.23	0.14	4.79	95.21
+ 270	53	0.21	0.13	4.91	95.09
+ 325	45	0.15	0.09	5.01	94.99
+ 400	38	0.11	0.07	5.07	94.93
- 400		155.7	94.93	100.00	0.00
Total		164.02	100.00		

Ing. Ernesto de la Torre
Jefe de Departamento



Ing. Alicia Guevara
Responsable

