

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD  
CATÓLICA**  
DEL PERÚ

Estudio químico de sedimentos de la represa de Gallito Ciego como  
contribución al estudio de calidad ambiental del reservorio

Tesis para optar el Título de Licenciado en Química, que presenta la bachiller:

**Natalia Ríos Perales**

**ASESORA: Dra. Nadia Rosa Gamboa Fuentes**

Lima, mayo del 2013

## RESUMEN

La construcción de embalses tiene como principal finalidad el almacenamiento y la regulación de las aguas de un río para poder utilizarlas en riego, generación de energía hidroeléctrica, abastecimiento poblacional o uso industrial. La importancia que tiene el recurso y la garantía de su disponibilidad para futuras generaciones despierta el interés por realizar estudios sobre las condiciones en las que se encuentran estos embalses, la calidad del agua que suministran y el tiempo de vida útil.

El objetivo del presente trabajo es contribuir con la caracterización fisicoquímica de los sedimentos de la represa de Gallito Ciego para la identificación de los impactos más significativos. Así mismo, aportar con una base de datos actualizada para el proyecto interdisciplinario Diagnóstico Ambiental de Represas en la Costa Peruana (DGI 70245.0110), cuyo caso de estudio es la mencionada represa, que busca aportar medidas para la mitigación de los impactos encontrados.

En el desarrollo de este trabajo se utilizaron metodologías adecuadas de muestreo y de análisis de laboratorio. Para tal motivo se realizaron tres campañas de trabajo de campo. La primera fue de reconocimiento del área de estudio entre el 1 y 3 de agosto del 2011. La segunda y tercera campañas se llevaron a cabo entre el 27 y 29 de febrero del 2012 y entre el 5 y 7 de agosto del 2012, respectivamente. Para el análisis de laboratorio se realizó una cuidadosa preparación de muestras y las determinaciones se basaron en métodos estandarizados o adaptaciones.

Los análisis revelaron que el pH de los sedimentos era neutro a básico; la conductividad y el contenido de cloruros no poseen gran variabilidad y se encuentran dentro de los rangos esperados. El contenido de carbonatos es mayoritario en la zona de la represa, lo mismo para el contenido de calcio, magnesio, sodio, y metales como hierro, cinc y cobre. Cabe señalar que el contenido de cinc y cadmio superan los estándares de calidad para sedimentos. Con respecto al contenido de nutrientes, los valores de materia orgánica, fósforo y nitrógeno Kjeldahl en los sedimentos son muy bajos para considerar su posible uso agrícola. Por otro lado, según el análisis granulométrico, la clasificación textural de los sedimentos estudiados es de arena limosa, lo cual es característico de este tipo de sistemas.

FACULTAD DE  
**CIENCIAS E  
 INGENIERÍA**



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD  
 CATÓLICA**  
 DEL PERÚ

**TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE LICENCIADO EN QUIMICA**

**TÍTULO** : Estudio químico de sedimentos de la Represa de Gallito Ciego como contribución al estudio de calidad ambiental del reservorio.

**ÁREA** : Química Ambiental

**ASESORA** : Dra. Nadia Gamboa Fuentes

**ALUMNO** : Natalia Ríos Perales

**CÓDIGO** : 2006.4335.412

**FECHA** : 11 de diciembre de 2012

**NUMERO** : 189



**DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS:**

Las represas almacenan y regulan las descargas de un río en función de las necesidades agrícolas, industriales y poblacionales, mas este almacenamiento no asegura su disponibilidad ni calidad en el futuro. Debido a ello, existe considerable interés por el estudio de los impactos del cambio climático y la actividad humana sobre la vida útil de este tipo de construcciones.

Una de las represas más importantes del país y que abastece de agua a las zonas de mayor producción agrícola es la represa de Gallito Ciego ubicada en la cuenca del río Jequetepeque. Esta represa comenzó a operar en el mes de octubre del año 1987 y fue diseñada para una vida útil de 50 años. Los escasos estudios de calidad de agua indican una rápida pérdida de volumen útil debido a una aparente sedimentación acelerada. Sin embargo, la información disponible no es suficiente para determinar las causas de la colmatación y los impactos ambientales.

El presente trabajo tiene como objetivo la caracterización de parámetros fisicoquímicos de los sedimentos en el embalse, entre ellos, nitrógeno total, fósforo total y materia orgánica. La metodología deberá incluir un sistema adecuado de muestreo de sedimentos y análisis de laboratorio. Para esta investigación se utilizarán técnicas de monitoreo ambiental y de análisis instrumental. La información obtenida, ayudará a identificar y cuantificar los impactos ambientales más significativos y poder plantear soluciones para su mitigación.

*Máximo: 100 páginas*

**FIRMA DEL ASESOR:** \_\_\_\_\_

**FIRMA DEL COORDINADOR:** \_\_\_\_\_

## AGRADECIMIENTOS

A Dios,

A mis padres, hermana y abuelos, por ser fuente de motivación para alcanzar todas mis metas,

A la Dra. Nadia Gamboa y al Dr. Carlos Tavares Corrêa, por la oportunidad de ser parte de este proyecto, por su incondicional apoyo y aliento en todo momento,

A todos los chicos que participaron en el proyecto por los momentos compartidos durante esta experiencia de trabajo interdisciplinaria,

A la DGI por el financiamiento del proyecto interdisciplinario DGI 70245-0110 (2011-2012),

Al Laboratorio de Geometalurgia de Rio Tinto Minera Perú Limitada S.A.C por su valioso apoyo en la preparación de las muestras y por la oportunidad de poder desarrollarme profesionalmente,

Al Laboratorio de Control de Calidad de Petróleos del Perú S.A, por su valioso apoyo en la obtención de muestras de prueba y por la oportunidad de poder desarrollarme profesionalmente,

A todos mis amigos de Rio Tinto y Petroperú que me apoyaron y aconsejaron durante el desarrollo de la tesis,

Al Laboratorio de Análisis Instrumental de la Sección Química PUCP, en especial a Milka por su paciencia y sugerencias respecto a los métodos,

A Pancho, Humberto, Segundo, Betty y Víctor por su colaboración en la logística y sugerencias para desarrollar este trabajo de tesis.

## CONTENIDO

1.MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Sedimentación en embalses peruanos .....	4
1.2 Características de los sedimentos .....	6
1.3 Área de Estudio .....	8
1.3.1 Cuenca del río Jequetepeque.....	8
1.3.2 La Represa de Gallito Ciego.....	13
1.4 Parámetros fisicoquímicos de sedimentos.....	15
2.PARTE EXPERIMENTAL.....	18
2.1 Equipos e instrumentos .....	18
2.2 Reactivos utilizados .....	19
2.3 Metodología de muestreo.....	19
2.3.1 Frecuencia de monitoreo .....	19
2.3.2 Estaciones de muestreo .....	21
2.3.2.1 Estación S1: Santa Catalina .....	22
2.3.2.2 Estación S2: Tembladera 1 .....	22
2.3.2.3 Estación S3: Tembladera 2 .....	23
2.3.2.4 Estación S4: La Huaca .....	24
2.3.2.5 Estación S5: Garita 7 .....	24
2.3.2.6 Estación S6: Puente Las Varas.....	24
2.3.3 Toma de muestras .....	26
2.3.3.1 Toma de muestra en estaciones .....	26
2.3.3.2 Toma de muestras para ensayos preliminares .....	27
2.4 Metodologías analíticas para análisis de sedimentos .....	28
2.4.1 Ensayos preliminares.....	28
2.4.1.1 Ensayos para fósforo disponible y total.....	29
2.4.1.2 Ensayos para nitrógeno Kjeldahl.....	31
2.4.1.3 Ensayos para materia orgánica .....	33
2.4.2 Análisis de sedimentos de represa.....	33
2.4.2.1 Preparación de muestras.....	33
2.4.2.2 Determinación de pH y conductividad.....	37

2.4.2.3 Determinación de cloruros.....	38
2.4.2.4 Determinación de carbonatos.....	38
2.4.2.5 Determinación de granulometría .....	39
2.4.2.6 Determinación de materia orgánica.....	41
2.4.2.7 Determinación de fósforo disponible y total .....	42
2.4.2.8 Determinación de nitrógeno Kjeldahl.....	43
2.4.2.9 Determinación de Ca, Mg y Na extraíbles.....	44
2.4.2.10 Determinación de Fe, Zn, Cd, Cu, Pb y Cr extraíbles.....	45
2.4.2.11 Lavado de material .....	47
2.4.2.12 Disposición de residuos.....	48
<b>3. RESULTADOS .....</b>	<b>49</b>
3.1. Resultados de ensayos preliminares .....	49
3.1.1 Ensayos para fósforo disponible y total.....	49
3.1.2 Ensayos para nitrógeno Kjeldahl.....	52
3.1.3 Ensayos para materia orgánica .....	53
3.2 Resultados de muestras de represa .....	54
3.2.1 Características de los sedimentos.....	54
3.2.1.1 pH, conductividad, cloruros y carbonatos .....	54
3.2.1.2 Granulometría .....	55
3.2.2 Nutrientes .....	56
3.2.2.1 Materia orgánica .....	56
3.2.2.2 Fósforo disponible y total.....	59
3.2.2.3 Determinación de nitrógeno Kjeldahl.....	60
3.2.3 Metales extraíbles .....	61
<b>4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>65</b>
4.1 Ensayos preliminares .....	65
4.1.1 Ensayos para fósforo disponible y total.....	65
4.1.2 Ensayos para nitrógeno Kjeldahl.....	67
4.1.3 Ensayos para materia orgánica .....	68
4.2 Características de los sedimentos de la represa .....	68
4.2.1 pH.....	70
4.2.2 Conductividad .....	72

4.2.3 Cloruros.....	75
4.2.4 Carbonatos.....	76
4.2.5 Granulometría .....	77
4.3 Nutrientes.....	81
4.3.1 Materia orgánica .....	82
4.3.2 Fósforo disponible y total.....	84
4.3.3 Nitrógeno Kjeldahl.....	86
4.4 Metales.....	87
4.4.1 Ca, Mg y Na extraíbles .....	88
4.4.2 Metales pesados extraíbles.....	91
4.4.2.1 Hierro.....	92
4.4.2.2 Cinc .....	93
4.4.2.3 Cobre.....	94
4.4.2.4 Cadmio .....	95
4.4.2.5 Plomo .....	96
4.4.2.6 Cromo.....	97
5. CONCLUSIONES.....	99
6. RECOMENDACIONES .....	100

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de la cuenca del río Jequetepeque. ....	9
Figura 2. Caudal medio diario ( $m^3/s$ ) en río Jequetepeque.....	11
Figura 3. Régimen hídrico (caudal medio mensual) del río Jequetepeque .....	11
Figura 4. Represa de Gallito Ciego.....	13
Figura 5. Diseño y estructura interna de la represa de Gallito Ciego. ....	14
Figura 6. Central hidroeléctrica Gallito.....	14
Figura 7. Volumen de agua útil almacenada en la represa de Gallito Ciego ( $hm^3$ ).....	15
Figura 8. Ubicación de estaciones de muestreo de sedimento.....	22
Figura 9. Estación S1 .....	23
Figura 10. Estación S2.....	23
Figura 11. Estación S3.....	24
Figura 12. Estación S5.....	24
Figura 13. Estación S6.....	25
Figura 14. Fracciones de granulometría mayor a 2mm de muestra de la estación S6. ....	25
Figura 15. Procedimiento de muestreo.....	26
Figura 16. Toma de muestras en la laguna de la Refinería Conchán en Lurín .....	28
Figura 17. Matraces para digestión de sedimentos por cuadruplicado .....	30
Figura 18. Proceso de digestión y destilación de muestras para N-Kjeldahl.....	32
Figura 19. Muestras sometidas a 400°C según Método C.....	33
Figura 20. Preparación de muestras de sedimento.....	35
Figura 21. Cuarteo de muestras de sedimento secas.....	36
Figura 22. Fracciones de granulometría mayor a 2mm.....	37
Figura 23. Muestras durante agitación lineal para la determinación de carbonatos .....	39
Figura 24. Procedimiento para el análisis granulométrico .....	41
Figura 25. Mufla utilizada para análisis de materia orgánica .....	42

Figura 26. Digestión triácida de muestras en plancha de calentamiento .....	43
Figura 27. Equipo de digestión Kjeldahl .....	44
Figura 28. Análisis de Ca, Mg, Na. ....	45
Figura 29. Matraces durante digestión en plancha de calentamiento.....	46
Figura 30. Curva de calibración para fósforo soluble en muestras acuosas .....	50
Figura 31. Curva de calibración para fósforo disponible .....	51
Figura 32. Curva de calibración para fósforo total.....	52
Figura 33. Diagrama de clasificación del tipo de sedimento .....	56
Figura 34. Curva de calibración para fósforo disponible .....	60
Figura 35. Curva de calibración para cromo extraíble. $\lambda=357.9$ nm .....	61
Figura 37. Monitoreo de pH por estaciones y campañas de muestreo.....	71
Figura 38. Monitoreo de conductividad por estaciones y campañas de muestreo .....	74
Figura 40. Monitoreo de carbonatos por estaciones y campañas de muestreo .....	75
Figura 41. Monitoreo arena limo y arcilla por estaciones y campañas de muestreo.....	78
Figura 42. Monitoreo de materia orgánica por estaciones y campañas de muestreo .....	83
Figura 43. Monitoreo de fósforo disponible y total por estaciones y campañas de muestreo .....	85
Figura 44. Monitoreo de nitrógeno Kjeldahl por estaciones y campañas de muestreo .....	87
Figura 45. Monitoreo de calcio, sodio y magnesio extraíbles por estaciones y campañas de muestreo.....	90
Figura 46. Monitoreo de hierro extraíble por estaciones y campañas de muestreo.....	93
Figura 47. Monitoreo de cinc extraíble por estaciones y campañas de muestreo.....	94
Figura 48. Monitoreo de cobre extraíble por estaciones y campañas de muestreo.....	95
Figura 49. Monitoreo de cadmio extraíble por estaciones y campañas de muestreo .....	96
Figura 50. Monitoreo de plomo extraíble por estaciones y campañas de muestreo .....	97
Figura 51. Monitoreo de cromo extraíble por estaciones y campañas de muestreo .....	98

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Reservorios más importantes de la costa peruana .....	4
Tabla 2. Clasificación de tamaño de partículas según la escala de Wentworth (1922) .....	7
Tabla 3. Reactivos utilizados en las metodologías analíticas .....	20
Tabla 4. Ubicación de estaciones de muestreo de sedimento .....	21
Tabla 5. Detalles del método para la determinación de fósforo por espectrofotometría UV/Vis .....	29
Tabla 6. Tipos de digestión de sedimentos para análisis de fósforo .....	30
Tabla 7. Condiciones de ensayo para la determinación del tamaño de partícula .....	39
Tabla 8. Condiciones de ensayo para el análisis Kjeldahl de muestras de sedimento .....	43
Tabla 9. Resultados del análisis de fósforo soluble y total en muestras de agua de la laguna de la Refinería Conchán en Lurín .....	49
Tabla 10. Resultados del análisis de fósforo soluble en muestras de agua de un segundo muestreo de la laguna de la refinería con diferentes tiempos de reacción .....	50
Tabla 11. Resultado del análisis de fósforo disuelto en muestra de sedimento de la primera campaña de muestreo (agosto 2011) de la estación S5 .....	51
Tabla 12. Resultado de pruebas de digestión triácida para fósforo total con fosfato de calcio .....	52
Tabla 13. Resultado de análisis Kjeldahl en muestras de arena de cuarzo y harina comercial .....	53
Tabla 14. Resultados del análisis de materia orgánica en muestras de sedimento y jardín .....	53
Tabla 15. Valores de pH, conductividad, cloruros y carbonatos .....	55
Tabla 16. Resultados del análisis de granulometría de sedimentos. Porcentajes de arena, limo y arcilla .....	55
Tabla 17. Contenido porcentual de materia orgánica a 440°C y 750°C .....	56
TABLA 18. Evaluación estadística de parámetros granulométricos y distribución de tamaño de partícula para cada muestra de sedimento .....	57

TABLA 18. Evaluación estadística de parámetros granulométricos y distribución de tamaño de partícula para cada muestra de sedimento (continuación) .....	58
Tabla 19. Resultados de blanco de matriz y de método para fósforo total.....	59
Tabla 20. Resultados de blanco de método para fósforo disponible .....	59
Tabla 21. Resultado del análisis de fósforo disponible y total en sedimentos (mg/kg) .....	60
Tabla 22. Resultados de blanco de método y blanco de matriz para nitrógeno Kjeldahl...	61
Tabla 23. Resultados del análisis de nitrógeno Kjeldahl en sedimentos (%N).....	61
Tabla 24. Resultados del análisis de metales extraíbles (Ca, Mg, Na, Fe, Cd, Cu, Zn, Pb, Cr) en mg/kg.....	63
Tabla 25. Correlaciones entre parámetros estudiados en sedimentos.....	64
Tabla 26. Características y resultados de pH, carbonatos y granulometría de sedimentos obtenidos en muestreo de mayo del 2009 (Walter, 2010). .....	70
Tabla 27. Composición química porcentual de la bosta de vaca, pH 7.1 .....	73
Tabla 28. Resultados de nutrientes (materia orgánica, P disponible y P total) de sedimentos obtenidos en muestreo de mayo del 2009 (Walter, 2010).....	81
Tabla 29. Estándares de calidad de sedimentos según Canadian Environmental Quality Guidelines para algunos metales pesados .....	92
Tabla 30. Resultados de metales pesados en sedimentos obtenidos en muestreo de mayo del 2009 (Walter, 2010).....	92

## ABREVIATURAS

AAS	Espectrometría de Absorción Atómica
APHA	American Public Health Association
ANA	Autoridad Nacional del Agua
ASTM	American Society for Testing and Materials
cc	concentrado
CONDESAN	Consortio para el desarrollo sostenible del eco región andina
CV	Coeficiente de variación
DGCA	Dirección General de Competitividad Agraria
GPS	Sistema de posicionamiento global
ICP	Espectrometría de emisión por plasma inductivamente acoplado
IMARPE	Instituto del Mar del Perú
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
ISQG	Interim Sediment Quality Guidelines
kWh	Kilovatio-hora
MMC	millones de metros cúbicos
m.s.n.m	metros sobre el nivel del mar
PEJEZA	Proyecto Especial Jequetepeque - Zaña
PEL	Probable Effect Level
ppm	partes por millón
USEPA	United States Environmental Protection Agency
UV/Vis	Espectroscopía de Ultravioleta-Visible

## 1. MARCO TEÓRICO

Un embalse es un depósito o reservorio de agua formado por el cierre parcial del cauce de un río mediante un dique o presa con la finalidad de almacenar agua para su uso en el riego de terrenos, abastecimiento poblacional, producción de energía hidroeléctrica, entre otras actividades. Es así, que el conjunto de dique y embalse forman una represa. El área de influencia de una represa se extiende desde los límites superiores de captación del reservorio hasta la desembocadura del río y el mar, incluyendo la cuenca hidrográfica y el valle del río aguas abajo de la represa.

La construcción de represas ha tenido siempre dos objetivos: el aumento de las zonas agrícolas en lugares de poca actividad económica o de suelos poco fértiles, y la mitigación de los impactos de desastres naturales como inundaciones o sequías. La primera presa de la que se tiene constancia se construyó en Egipto en el año 4000 a.C. para desviar el cauce del río Nilo y proporcionar más terreno a la ciudad de Menfis. En la antigüedad, muchas represas, como las construidas por los babilonios, formaban parte de un complejo sistema de riego que transformaba regiones no productivas en fértiles terrenos capaces de mantener a grandes poblaciones (Oracle, 1998). Por ejemplo, la construcción de la represa de Asuán en 1902 permitió controlar las crecidas y desbordes anuales del río Nilo que ocasionaban pérdidas de cosechas y hambruna en la población (Khatagy y Fanos, 1993).

Hoy en día, las represas también se construyen por otras razones como la generación de energía hidroeléctrica o la mejora de la oferta hídrica para uso multisectorial. En muchos casos, los embalses se han transformado en hábitat de diferentes especies, se pueden desarrollar actividades de ocio o turísticas como pesca o deportes, propician obras de desarrollo regional y local vinculadas al saneamiento de tierras, etc. La represa de Guri posee una de las centrales hidroeléctricas más grandes del mundo que genera 87 millones de kWh y suministra el 73% de la energía necesaria en Venezuela (PMI, 2012). Otro ejemplo es la represa de Las Tres Gargantas en China, considerada una de las más grandes del mundo, con un volumen de almacenamiento de 39300 MMC. Su central hidroeléctrica abastece a un tercio de la población china y fue construida para regular el caudal del río Yangtsé y mitigar los efectos de los frecuentes desbordes e inundaciones así como promover el desarrollo económico (Negre, 2007).

Sin embargo, cuando se construye una represa se genera una serie de problemas cuya magnitud debe ser estudiada y cuantificada previamente. El impacto de cada represa es único y depende no sólo de su estructura y alrededores sino también de las condiciones climáticas y geomórficas. Algunos problemas son la disminución del nivel de agua y volumen útil por sedimentación, disminución de la calidad de agua por contaminación con efluentes industriales y actividad humana, pérdida de importantes extensiones de tierra de intereses histórico, arqueológico, agrícola o ambiental, movilización de la población afectada por la inundación de ciudades ubicadas en la extensión de la represa, introducción de especies exóticas o desaparición de especies endémicas, modificación del paisaje, erosión en la parte baja de la cuenca, problemas de salinización en suelos, eutrofización del reservorio, así como la disminución del aporte de nutrientes en las zonas bajas y la desembocadura.

Así mismo, la inundación de ecosistemas terrestres aguas arriba de una represa, la conversión del canal de río de un sistema lótico a uno léntico y el cambio del régimen hidrológico son grandes problemas ambientales relacionados con la construcción de represas. El reservorio de Tarbela en Pakistán, con capacidad de 12172 MMC, fue construido en 1976 para ampliar la irrigación en zonas eriazas, controlar inundaciones y producir energía. Durante su construcción se inundó 135 pueblos y se reubicó a 96000 personas. Debido a los deshielos de las montañas del Himalaya, el reservorio recibe anualmente 430 millones ton sedimento/año, lo cual permite estimar su vida útil hasta el 2030 (WCD, 2000).

El régimen termal también se ve afectado durante la construcción de represas, pues el gran volumen de agua almacena calor a diferencia del río que, debido al poco volumen y el flujo turbulento, se adecúa rápidamente a las condiciones climáticas. El agua en el reservorio está estratificada y la temperatura varía en cada sección; por ejemplo, la liberación de agua del fondo, o *hipolimnion*, disminuirá la temperatura del río aguas abajo. Además, los cambios en la temperatura perturban la cadena trófica (McCartney, 2009). En el río Surna en Noruega, en el verano, las temperaturas del agua suministrada por la estación de energía desde el *hipolimnion* son 6-8°C menores que las que se encuentran por sobre la estación. Este cambio ha tenido un impacto significativo en el crecimiento de especies como el salmón atlántico (Saltveit, 1990).

De modo general, la composición química del agua y del sedimento de una represa difiere al ingreso y salida de esta. Los impactos en la química del agua han sido investigados en

mayor grado que para sedimentos. Por ejemplo, el contenido de ortofosfatos disminuyó en 50% en el flujo de salida a comparación del flujo de entrada en la reserva de Callahan, Missouri, EEUU (Schreiber y Rausch, 1979). Si el agua es liberada desde la superficie de la presa, tendrá una concentración mayor de oxígeno, menor cantidad de nutrientes y mayor temperatura. Si el agua es liberada desde el fondo, la temperatura y cantidad de oxígeno serán menores aunque será rica en nutrientes. La eutrofización puede ocurrir como consecuencia de una gran acumulación de material orgánico y nutrientes que, en su mayoría, provienen de actividades antropogénicas o condiciones preexistentes (Chapman, 1996).

La acumulación de sedimentos en una represa ocurre naturalmente. La velocidad de sedimentación depende de la morfología de la zona, las prácticas en el uso del suelo y la operación de la represa. Aguas abajo del reservorio, la disminución de sedimento en el río puede resultar en un incremento de la erosión del canal y del fondo del río así como de la zona de desembocadura.

En vista de lo anterior, es evidente la importancia del monitoreo de los recursos hídricos y los sedimentos en las represas y su área de influencia para contribuir con la mejora de la calidad de vida de las personas, garantizar la existencia de ecosistemas saludables y el desarrollo sostenible de las cuencas mediante la prevención, protección y recuperación del ambiente y sus componentes. Así mismo, permitirá evaluar el efecto de los vertimientos en la calidad de agua de las lagunas, quebradas, ríos principales y tributarios de las cuencas, así como conocer las características físicas, químicas y biológicas de aguas y sedimentos.

Por ello, el presente trabajo de tesis pretende contribuir con la caracterización de algunos de los parámetros fisicoquímicos de los sedimentos en la represa de Gallito Ciego, lo cual permita la identificación y la cuantificación de los impactos ambientales más significativos y así plantear algunas posibles soluciones en base a información actualizada. Los principales parámetros para determinar el estado de colmatación y eutrofización del embalse que se propone estudiar son: contenidos de nutrientes como nitrógeno total, fósforo (total y disponible) y materia orgánica. Otros parámetros evaluados fueron: pH, conductividad, cloruros, carbonatos, algunos metales extraíbles y la granulometría del sedimento, que ayudarán a una mejor caracterización de los sedimentos del borde de la represa. Para ello, se utilizaron métodos estandarizados y adaptaciones para garantizar la

confiabilidad de los resultados. Así mismo, se espera determinar si estos sedimentos pueden ser utilizados como fertilizante natural en la zona de influencia.

### 1.1 Sedimentación en embalses peruanos

En el Perú, las principales represas se ubican en las cuencas costeras, las cuales se localizan en territorios que se caracterizan por no tener un fácil acceso al recurso hídrico, por tener un alto número de habitantes en comparación con otras regiones del país, además de ser claves para el desarrollo de actividades económicas como la agricultura. Las represas más importantes del país según su volumen de almacenamiento y área de influencia se enumeran en la tabla 1.

**Tabla 1. Reservorios más importantes de la costa peruana**

N°	Nombre	Cuenca	Capacidad útil máxima en MMC
1	Lagunillas	Coata	800
2	Poechos	Chira	490
3	Gallito Ciego	Jequetepeque	488
4	Tinajones	Chancay-Lambayeque	330
5	Condorama	Camaná	259
6	San Lorenzo	Chira	193
7	Pasto Grande	Tambo	185
8	El Fraile	Quilca-Vitor-Chili	127.2
9	El Pañe	Quilca-Vitor-Chili	99.6
10	Pillones	Quilca-Vitor-Chili	78.5
11	Aguada Blanca	Quilca-Vitor-Chili	30.4
12	Dique Los Españoles	Quilca-Vitor-Chili	9.9

Fuente: DGCA. Autoridad Nacional del Agua: [www.ana.gop.pe](http://www.ana.gop.pe)

Una de las represas más importantes del país es la represa de Poechos ubicada en el departamento de Piura, en la cuenca del río Chira a 20 km al sur de la frontera con Ecuador. Fue construida como un reservorio de 1025 MMC de volumen total, con 885 MMC de volumen útil y 140 MMC destinados para atenuación de picos de avenidas. Según un estudio de sedimentación realizado en el 2004 (Gencel, 2011), esta represa ha reducido su volumen útil a cerca de la mitad en sólo 29 años desde su construcción en 1975. Esto debido principalmente al gran arrastre de sólidos que ocasionó el Fenómeno de El Niño en las cuencas de la costa norperuana en los años 1983 y 1998.

Las aguas de la represa de Poechos sirven para regar cultivos de arroz (casi 35% de la superficie cultivada en el valle de la región), el cual es demandante de agua y propende a la salinización de suelos (Rocha, 2006). Sumado a esto, los desagües de los pueblos ribereños y de la ciudad se vierten directamente al río Chira favoreciendo el desarrollo de

una extensa alfombra verde de lirio acuático (*Eichornia crassipes*) sobre el río, además, se promueve el desarrollo de diversos vectores transmisores de enfermedades debido a la alta carga orgánica afectando severamente la vida acuática en el río y la calidad de agua destinada para la población (INADE, 2003).

La sedimentación acelerada se presenta cuando la pérdida de volumen útil de un embalse se produce a una velocidad mayor que la prevista lo que afecta, a largo plazo, la sostenibilidad del embalse. Para conocer la pérdida de volumen útil que ocurrirá en un embalse a lo largo del tiempo hay que considerar el aporte de sólidos de la cuenca en un futuro, la eficiencia de retención de sólidos, su ubicación dentro de la represa así como su peso específico. Las causas de esta colmatación acelerada pueden ser, por ejemplo, que la cuenca produzca sedimentos en una cantidad mayor que la prevista, que la granulometría u otras propiedades físicas del material sólido sean diferentes y más desfavorables que las consideradas en los estudios respectivos o, más aún, que la ocurrencia de grandes lluvias y avenidas sea mayor que lo calculado.

La composición, la movilización y la acumulación de sedimentos dentro de la represa pueden ser afectadas por algunos sucesos. La recepción de sedimentos y aguas servidas de los poblados cercanos, las variables precipitaciones alrededor de 40 a 1300 mm al año en la costa norte (UNI, 2000) y el caso excepcional del Fenómeno de El Niño llevan sedimentos en suspensión y arrastre. De igual manera, la utilización de tierras en forma inadecuada en la cuenca alta favorece la erosión debido a flujos rápidos de agua transportando partículas finas y gruesas, así como la utilización de agua de forma indiscriminada, lo que alteraría el flujo del río.

En el caso del reservorio de Gallito Ciego, el aporte medio anual del río Jequetepeque en años secos es 0.57 MMC, en años húmedos es de 4.5 MMC. Desde el inicio de operación del embalse, la colmatación se ha dado a razón de 5.54 MMC por año en promedio. Se ha estimado que 90% del total de sólidos ingresa a Gallito Ciego entre febrero y abril cada año (Delgado, 1999). El análisis de los aportes sólidos anuales muestra que sólo durante el año hidrológico 1997-98 ingresó al reservorio cerca de 65% de la cantidad total desde el inicio de operación (Delgado, 1999). Esto demuestra que, cuando se evalúa el total de sólidos que recogerá un embalse a lo largo de su vida útil, la masa total está constituida esencialmente por las descargas sólidas producidas en los períodos extremadamente húmedos. Si se extrapola los resultados de ambos reservorios, Poechos y Gallito Ciego, a la actualidad, se podría decir que a la actualidad su vida útil ha sufrido una gran

disminución y que el proceso de colmatación se ha acelerado, por lo que se requiere la implementación de planes de control de sedimentación y estudios más actuales sobre el aporte de sedimentos y la tasa de sedimentación.

En general, las cuencas de la costa norperuana sufren un agudo proceso de erosión que da lugar a un fuerte transporte sólido. Por tanto, es importante conocer y controlar el aporte de sólidos de la cuenca en los próximos 50 ó 100 años, sobre todo en cuencas sujetas a la influencia de fenómenos de gran aporte de sedimentos como el Fenómeno de El Niño, para tomar medidas de control de los efectos en las represas y estimar de manera más exacta el tiempo de vida útil de estas construcciones.

## 1.2 Características de los sedimentos

La carga sólida sedimentable se divide en sedimentos en suspensión y sedimentos de fondo. Los suspendidos consisten de partículas de menor tamaño (limo y arcilla) incluso a veces hasta arena gruesa, los cuales son transportados durante el curso del agua. Su concentración máxima está limitada por la velocidad del flujo de agua y la turbulencia. La mayoría de estas partículas es considerada como carga de lavado, la cual está compuesta de partículas finas que se originan en la cuenca y que normalmente no se encuentran en los lechos de los ríos. Por otro lado, los sedimentos de lecho o profundos consisten de partículas de mayor tamaño que se mueven por rodadura, a lo largo de la superficie del substrato (USDA, 1983).

Estas definiciones no necesariamente indican que las partículas finas no sedimentarán en aguas turbulentas. Por ejemplo, las partículas clasificadas como arcillas pueden depositarse en piedras, particularmente sobre algas que puedan tener superficies pegajosas o mucilaginosas (Waters, 1995).

La concentración del sedimento en suspensión afecta la disponibilidad de luz para la fotosíntesis y la visibilidad de animales acuáticos. A su vez, el sedimento de fondo afecta el hábitat de macroinvertebrados, la calidad de grava para incubación de peces y el hábitat para el crecimiento de peces.

Los sedimentos influyen sobre los embalses de varias formas. Una de las formas más conocidas es la formación de depósitos sólidos en los embalses con la consiguiente disminución del volumen útil y obstrucción de tomas, estaciones de bombeo,

descargas de fondo, etc. Con el fin de calcular el tiempo de sedimentación de un embalse, es necesario conocer las propiedades físicas de los sólidos transportados. Entre ellas están el tamaño, densidad, peso específico y forma del conjunto de partículas. La naturaleza del movimiento depende del tamaño, forma y gravedad específica de la partícula en relación con la velocidad y turbulencia asociada (USDA, 1983).

El tamaño de partícula es una de las propiedades más importantes de los sedimentos. Este se define por volumen, diámetro, peso, velocidad de caída, tamaño de malla, etc. En la tabla 2 se presenta la clasificación del tamaño de partículas según su diámetro.

**Tabla 2. Clasificación de tamaño de partículas según la escala de Wentworth (1922)**

categoria	clasificación	diámetro, mm
cantos rodados	muy grandes	2000-4000
	grandes	1000-2000
	medianos	500-1000
	pequeños	250-500
guijarros	grandes	125-250
	pequeños	64-25
gravas		2-64
arenas	muy gruesas	1-2
	gruesas	0.5-1
	media	0.25-0.5
	finas	0.125-0.25
	muy finas	0.062-0.125
limos		0.0040-0.062
arcilla		0.0024-0.004

**Fuente: (OMS, 1996).**

Usualmente el tamaño para separar el sedimento en suspensión del depositado o de fondo es 62  $\mu\text{m}$ , que es en su mayoría limo y arcilla. Pero, bajo condiciones de gran pendiente y velocidad de flujo de agua, arena fina a media puede también ingresar a la suspensión. El sedimento depositado (fondo) se compone de arcilla, limo, arenas, grava y partículas de mayor tamaño como guijarros y cantos rodados.

Las partículas de arcilla se sintetizan químicamente en capas formadas por cristales de aluminio y silicato de magnesio. Las partículas de arcilla menores en 2  $\mu\text{m}$  forman capas de agregados generando partículas de mayor tamaño. En arroyos naturales, predominan las partículas de 10 y 20  $\mu\text{m}$  como agregados de limo y arcilla.

A diferencia de las partículas más grandes, algunas partículas de arcilla tienen una alta capacidad de intercambio iónico y, por ende pueden transportar altas cantidades de nutrientes absorbidos y contaminantes (Waters, T, 1995).

Los sedimentos se pueden clasificar en diferentes tipos dependiendo de su origen. Los sedimentos alógenos son aquellos cuyos componentes proceden de un lugar distinto al de depósito. En el caso de los sedimentos de un embalse, estos son aquellos cuyos componentes se originan fuera de la obra. Otro tipo de sedimentos son los endógenos originados en la propia masa de agua del embalse. Generalmente llegan al embalse como dispersiones coloidales o soluciones iónicas que; al encontrarse con condiciones hidrogeoquímicas distintas; floculan o precipitan. Por último; están los sedimentos autógenos, los cuales son generados mediante reacciones producidas en el interior del sedimento una vez depositado y son controlados por factores hidroquímicos y fisicoquímicos (USDA, 1983).

### **1.3 Área de Estudio**

#### **1.3.1 Cuenca del río Jequetepeque**

La cuenca del río Jequetepeque está ubicada en la costa norte del Perú, entre los paralelos 7°6' y 7°30' de latitud sur y los meridianos 78°30' y 79°40' de longitud oeste. Tal ubicación corresponde a la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes. La cuenca comprende un área de 4497.0309 km<sup>2</sup> y se encuentra bajo la influencia del clima del Pacífico y del Atlántico (Tavares *et al*; 2013).

La cuenca del río Jequetepeque presenta las siguientes características climatológicas: la temperatura varía desde 23°C en el desierto costero (400 a 800 m.s.n.m) hasta 3°C en el páramo pluvial andino (4000 m.s.n.m); las temperaturas máximas ocurren en la zona del embalse Gallito Ciego con 25.4°C, en promedio; la media de precipitación varía desde 15 mm en el desierto costero hasta 1100 mm en el páramo pluvial andino. La evaporación varía desde 800 mm en el valle hasta 1200–1500 mm en la zona andina de la cuenca; la humedad relativa varía desde el océano hacia tierra adentro entre 80 a 90 % en el valle a 60% en el día y durante la noche en sentido inverso (CONDESAN, 1993).

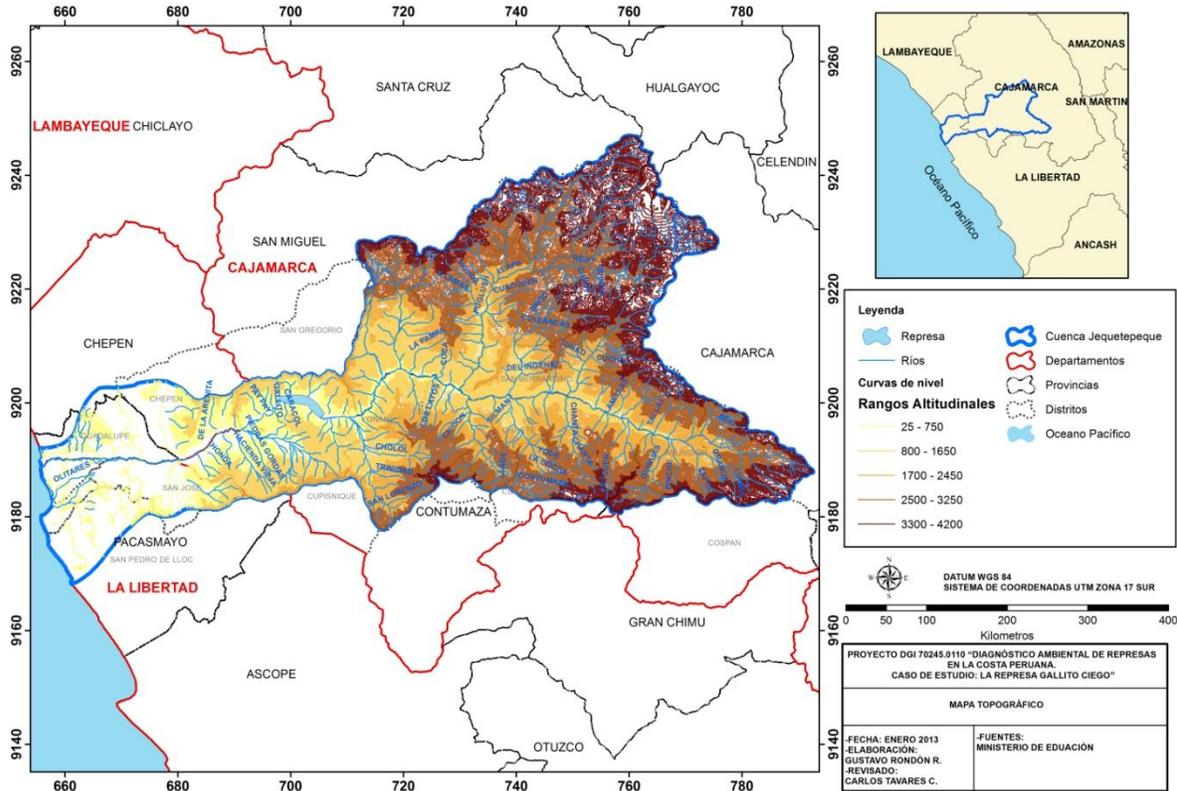


Figura 1. Mapa de la cuenca del río Jequetepeque. Fuente: Proyecto DGI PUCP 70245.0110

El uso del agua en la cuenca del río Jequetepeque es representado por los sectores agrícola, poblacional, pecuario e industrial, de los cuales, el uso agrícola es el que demanda mayor cantidad de agua, seguido del poblacional, industrial y el sector minero e hidroenergético. El uso total del agua en la cuenca llega a 727 MMC (UNI, 2000).

La actividad agrícola es la de mayor desarrollo. El principal producto es el arroz, el cual ocupa el 60% de los cultivos intensivos. La falta de agua para esta actividad está muy ligada a problemas de deforestación o eliminación de cobertura vegetal lo que impide la retención de agua en los suelos, produciendo fuertes escorrentías en temporada de lluvias y ausencia de humedad en la época de estiaje.

Los estimados existentes para la zona alta de cabecera de cuenca, revelan que un 50% de las tierras agrícolas sufren un proceso de erosión entre ligera y moderada, en tanto que el resto (cuenca media y baja) tiene niveles aún mayores. En la zona baja, existe un grave problema de salinización debido al sobreuso de agua; este fenómeno afecta al 28% del área de riego (Delgado, 1999).

El sistema de riego de la cuenca está conformado por un conjunto de obras hidráulicas, en las que destaca la represa de Gallito Ciego, las bocatomas Talambo – Zaña y Jequetepeque, los canales Talambo – Zaña, Guadalupe – Chafán, Pueblo Nuevo - Santa Rosa, y la red de colectores de drenaje. Estos benefician alrededor de 12918 productores, en un área total de 42050 ha (INRENA; 1994). La infraestructura de riego en la cuenca es muy distinta según las zonas, con la construcción del reservorio de Gallito Ciego, el valle bajo cuenta con un sistema regulado que permite disponer de agua en condiciones ventajosas. En cambio, en las zonas altas, el riego para la agricultura depende más de las condiciones de lluvia que se registren en el año (Rocha, 2006).

Las descargas del río Jequetepeque, presentan una marcada estacionalidad en su ocurrencia; el 65 % se producen de febrero a abril. El promedio anual de los volúmenes descargados por el río Jequetepeque es de 816.49 MMC. El régimen del río Jequetepeque es muy irregular; durante época de lluvia (febrero-abril) el caudal puede llegar hasta los 300.0 m<sup>3</sup>/s y en los meses de estiaje sus descargas pueden llegar a caudales menores de 1.0 m<sup>3</sup>/s (CEPES, 1994).

Según la figura 2, el río Jequetepeque tuvo un caudal de 83.56 m<sup>3</sup>/s a inicios del 2012, siendo este valor ligeramente superior a su media histórica (ver figura 3) y a lo reportado para los años 2010 y 2011. Así mismo, en base a la información de las figuras 2 y 3, se puede decir que, a inicios del año 2012, se tuvo un caudal atípico debido a que los volúmenes descargados por la cuenca se encuentran muy por encima del promedio mensual. Esta atipicidad puede influir en las características que presenten tanto las aguas del embalse como los sedimentos en suspensión y de fondo durante los muestreos realizados en febrero del 2012.

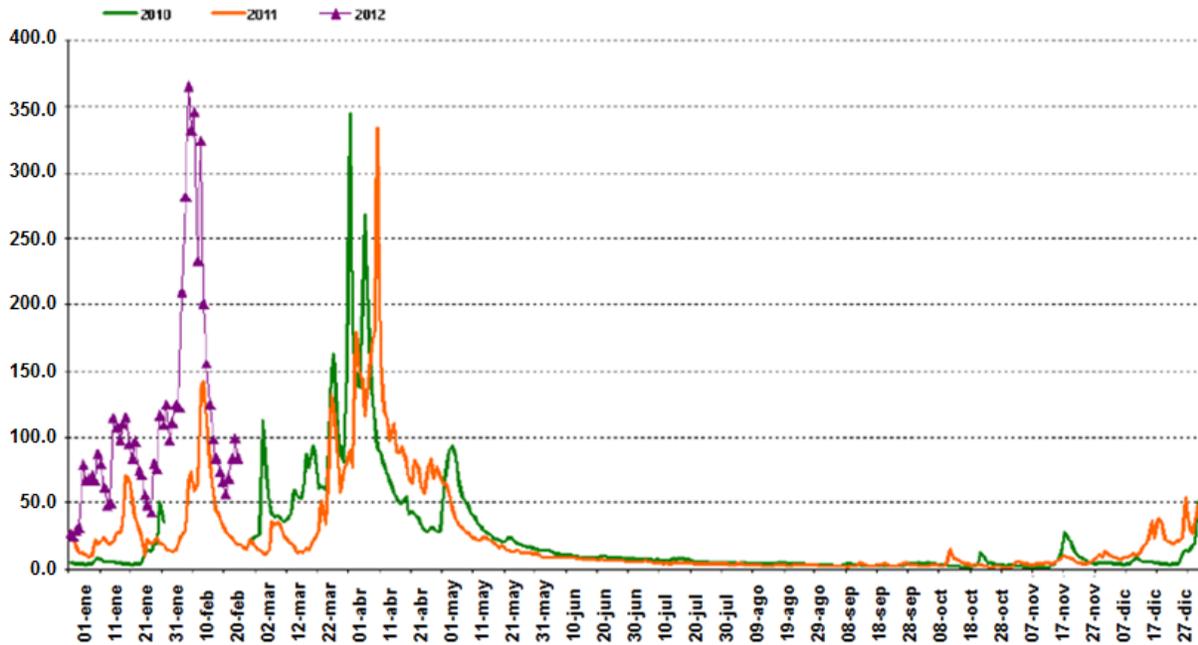


Figura 2. Caudal medio diario (m<sup>3</sup>/s) en río Jequetepeque. Estación Yonán. Enero-Diciembre, años 2010, 2011, 2012. Fuente: DGCA-Ministerio de Agricultura.

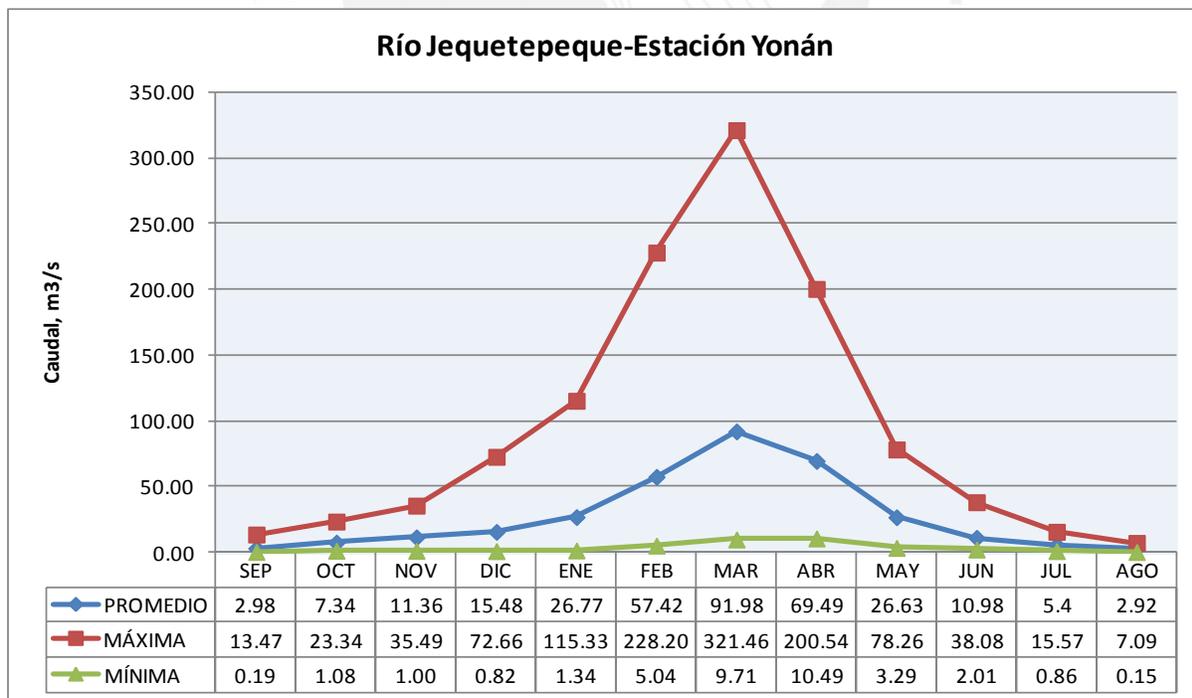


Figura 3. Régimen hídrico (caudal medio mensual) del río Jequetepeque, años 1945-2011. Fuente: Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos. ANA.

La población en la cuenca está diferenciada, en las partes del valle y zona costera de la cuenca es urbana, en crecimiento y constituye el 52.9 % (INEI, 2007). En la cuenca media – alta, la población es rural (47.1 %), con migración potencial hacia las zonas bajas (Trujillo, Pacasmayo, Chepén) debido a la carencia de empleo e instituciones educativas (Aspajo, 2007). El 57% de la población se abastece de agua de pozo, río, acequia, manantial u de otras formas (INADE, 2003). Además, el 75 % de la población del valle de Jequetepeque es campesina cuyo ingreso promedio anual es de 700 dólares por persona (CONDESAN, 2003).

Las actividades económicas son principalmente la producción agrícola y pecuaria, la artesanía, la pesca y la minería. Las zonas agrícolas predominan en la cuenca alta. Se cultiva cada año papas, ocas, ollucos, maíz amiláceo, trigo, cebada, arveja, lenteja, maíz amarillo, caña de azúcar, frutales, arroz, camote y yuca, dependiendo del clima y la altitud. En la cuenca baja destaca el cultivo de arroz y maíz. En la zona baja el cultivo de cada año depende mucho de la disponibilidad del agua (Yáñez y Poats, 2006). Además, las actividades ganaderas son mucho más importantes en la zona alta de la cuenca debido a la presencia de amplias áreas de pastos; sin embargo, no existen buenos métodos de administración de esta actividad.

En la cuenca alta hay reservas minerales explotadas a pequeña escala. Algunos ejemplos podrían ser las canteras de arcilla en San Miguel o la mina de hierro y plata en Coshuro. El manejo de relaves de las actividades mineras contribuye directamente en la concentración de metales pesados en los sedimentos. El yacimiento más importante de oro, Yanacocha, se encuentra en la provincia de Cajamarca. En la provincia de Contumazá, conectada directamente a la represa de Gallito Ciego, se extraen calizas para la empresa Cementos Pacasmayo (CONDESAN, 1993).

Las condiciones climáticas son variables en toda la cuenca ya que abarca diferentes regiones agroecológicas y altitudes. La temperatura promedio varía desde 23°C en el desierto costero hasta 3°C a alturas mayores 4000 msnm. Las precipitaciones anuales aumentan a medida que aumenta la altitud, desde 100 mm al nivel de la represa y en las zonas más altas hasta 1100 mm. Durante el Fenómeno de El Niño de los años 1982 y 1983, las precipitaciones llegaron hasta 220 mm en la zona de la represa. Para el siguiente episodio de 1998, estos valores fueron superados en gran medida (Delgado, 1999).

### 1.3.2 La Represa de Gallito Ciego

Fue construida de 1981 a 1988 con un costo de 164 millones de dólares. El embalse tiene una longitud de 15 km y su capacidad es de 574 MMC, de los cuales 400 MMC es el volumen útil (PEJEZA, 2012). Esta represa permite el mejoramiento de riego de 36000 ha y la incorporación de 6700 ha a la agricultura de arroz, caña de azúcar y maíz. Fue construida sobre el lecho del río Jequetepeque en la localidad de Tembladera, distrito de Yonán, provincia de Contumaza, en el departamento de Cajamarca a 350 m.s.n.m, aproximadamente a 7°13' latitud sur y 79°10' longitud oeste. Está situada en un estrechamiento del valle con laderas inclinadas que forman un vaso de 12 km de largo y de 1 a 2 km de ancho cubriendo un área aproximada de 14 km<sup>2</sup> (CONDESAN, 1993).



Figura 4. Represa de Gallito Ciego. Fuente: Fotografía del proyecto DGI PUCP 70245.0110

Esta represa es de tierra zonificada con una altura máxima de 105.44 m y con un núcleo central de impermeabilización de concreto armado. Los taludes exteriores de la presa están protegidos por un enrocado para contrarrestar la acción erosiva del oleaje aguas arriba y otros agentes atmosféricos aguas abajo (CONDESAN, 1993). En la figura 4 se muestra un diagrama del diseño y estructura interna de la represa.

Posee un aliviadero de crecidas que permite evacuar los caudales de avenidas del río. El agua cae desde 35 m a la poza disipadora de energía. Esta poza permite disipar la energía cinética de la caída de agua proveniente del aliviadero o de las válvulas Howel Bungger (ver figura 5). Las válvulas permiten la salida de las aguas en forma de abanico, la descarga máxima es de 70 m<sup>3</sup>/s por cada válvula (PEJEZA, 2012). La represa comenzó a operar en 1988 con el fin de dar un máximo aprovechamiento al agua del río

Jequetepeque, reduciendo en 75 % los escurrimientos hacia el mar (IMARPE, 2007). Actualmente, el Proyecto Especial Jequetepeque-Zaña (PEJEZA), realiza el mantenimiento y monitoreo del estado de la represa.

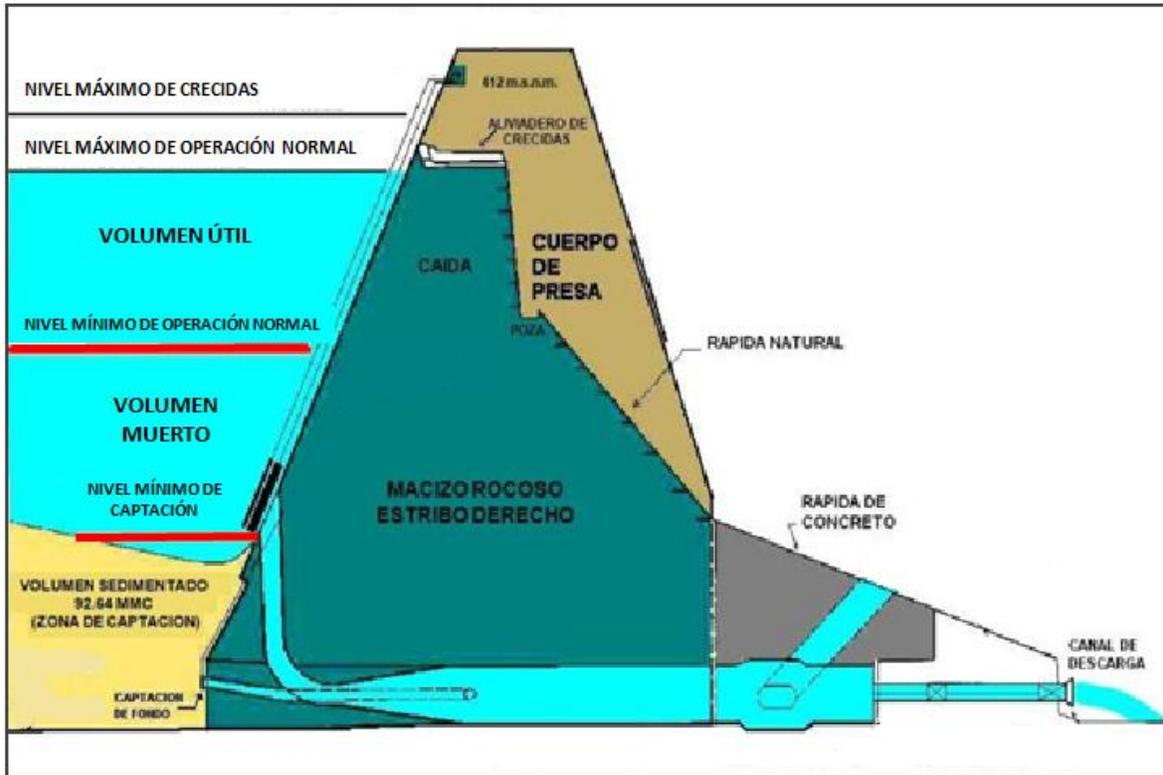


Figura 5. Diseño y estructura interna de la represa de Gallito Ciego. Fuente: (adaptado de PEJEZA, 2012)

En la parte baja de la represa se ubica la central hidroeléctrica Gallito Ciego (ver figura 5), la cual inició sus operaciones en 1997. Tiene la capacidad instalada de 34.0 MW y está conectada al sistema eléctrico Centro-Norte mediante la línea de transmisión Limoncarro-Gallito Ciego-Cajamarca. Fue comprada por la compañía SN Power en el 2003 (SN Power, 2010).



Figura 6. Central hidroeléctrica Gallito Ciego (izquierda). Válvulas Howel Bungger en operación (centro). Aliviadero de represa (derecha). Fuente: Fotografías del proyecto DGI PUCP 70245.0110

Según la información que se presenta en la figura 6, se observa la tendencia a tener un menor volumen a inicios de año (enero-marzo) desde el 2008 al 2012. Para luego incrementar el volumen almacenado a valores muy cercanos al volumen útil de la represa, a partir del mes de abril hasta julio, desde donde empieza nuevamente a disminuir el volumen. Cabe señalar que los años 2011-2012 (línea azul figura 6), así como el período 2008-2009 (línea color morado figura 6) muestran comportamiento fuera de lo normal, ya que en los meses de febrero a abril se tiene volúmenes almacenados muy altos respecto a años anteriores. Esto se debe a la descarga o incremento de caudales de los afluentes de la cuenca del Jequetepeque en esos años como se vio en las figuras 2 y 3. El incremento de los volúmenes de agua del reservorio es debido a la presencia de constantes precipitaciones en la cabecera de cuenca del río Jequetepeque en las partes altas de Cajamarca.



Figura 7. Volumen de agua útil almacenada en la represa de Gallito Ciego ( $\text{hm}^3$ ). Fuente: Sistema Nacional de Recursos Hídricos-ANA.

#### 1.4 Parámetros fisicoquímicos de sedimentos

Los sedimentos actúan como depósito y fuente de nutrientes, por lo que sus características físicas y químicas deben ser consideradas dentro de la evaluación del sistema del embalse. Los parámetros característicos que se analizan con mayor frecuencia en los sedimentos son pH, capacidad de intercambio iónico, materia orgánica, nitrógeno, fósforo y metales, ya sea los considerados como nutrientes (K, Na, Ca, Cu, Mn, Zn) o los que son indicadores de contaminación (Cd, Cr, Hg, Pb).

El valor de pH es necesario para utilizar sedimentos en agricultura pues es un indicador de la fertilidad del suelo. Provee información sobre la actividad microbiana y el grado de biodegradación, sobre la presencia de ciertos compuestos tóxicos y nutrientes como el fósforo (disponible a valores de pH mayores a 5.5) y el grado de asimilación que tendrán ciertas plantas (acidófilas o neutrófilas); además, sobre el tipo de fertilizante que se debe usar (ácidos o básicos: sales de amonio, amoniaco, cal, entre otros) (Pansu y Gaytheriou, 2006).

La conductividad eléctrica del agua es la capacidad de una solución acuosa para transportar una corriente eléctrica que, generalmente, se expresa en mmhos/cm o en mSiemens/m. Es una propiedad de las soluciones relacionada con el tipo y valencia de los iones presentes, sus concentraciones total y relativa, su movilidad, la temperatura del líquido y su contenido de sólidos disueltos.

El contenido de cloruros en el suelo varía entre amplios márgenes (50 - 3000 kg Cl<sup>-</sup>/ha) dependiendo de las sales presentes, como cloruro sódico y, en menor medida, cloruro cálcico y magnésico. Los cloruros pueden provenir de diferentes fuentes como descomposición de rocas ígneas, degradación de restos orgánicos, aportaciones realizadas por las lluvias, aporte de las aguas de riego, presencia de fertilizantes y plaguicidas (CEPA, 2011).

Los carbonatos son abundantes en la biósfera terrestre y constituyen un grupo de minerales con más de 130 especies, principalmente las formas de Ca<sup>2+</sup> como CaCO<sub>3</sub> (calcita, aragonita); Mg<sup>2+</sup> (MgCO<sub>3</sub>, magnesita, dolomita); Na<sup>+</sup> (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, natrón, termonatrita); Fe<sup>2+</sup> (FeCO<sub>3</sub>, siderita) y otras formas sustituidas. Cuando el carbonato de calcio es abundante, especialmente en la forma de partículas muy finas, su superficie induce una amplia reactividad particularmente alta y puede combinarse con la fase orgánica modificando procesos de descomposición (Pansu y Gaytheriou, 2006).

El nitrógeno es un nutriente que forma las principales biomoléculas de todos los seres vivos. Puede llegar a los sedimentos ya que está presente en la materia orgánica y por la fijación bacteriana a partir de N<sub>2</sub>. Una vez en el suelo, las plantas, animales y microorganismos lo incorporan a sus tejidos. Cuando estos seres vivos mueren, el nitrógeno ingresa al suelo nuevamente. Los niveles bajos de nitrógeno indican que el desarrollo de la población microbiana no es óptimo, mientras que los niveles altos de

nitrógeno indican que el crecimiento es óptimo y la descomposición es acelerada (Montoya, 2007)

El fósforo es un macronutriente esencial para las plantas y los microorganismos, junto con el nitrógeno y el potasio. Los análisis de P sirven para el control de la dosificación de productos químicos en tratamientos de agua o suelos, o como un medio para determinar que un sistema presenta contaminación por exceso de este compuesto. La cantidad de P realmente disponible en solución, tanto para plantas como microorganismos, se encuentra entre 0.1 y 0.3 ppm (CEPA, 2011). En la disponibilidad del P influyen el pH, la presencia de minerales que contienen Fe, Al, Ca, Mg y Mn disponibles, la cantidad y descomposición de materia orgánica y la actividad de microorganismos (Pansu y Gaytheriou, 2006).

El carbono orgánico es uno de los principales componentes de los seres vivos; aproximadamente 58% del peso seco de la materia orgánica es carbono (USDA, 1999). La materia orgánica incluye residuos vegetales y animales en diferentes grados de descomposición, tejidos y células de organismos que viven en el suelo y sustancias producidas y vertidas por esos organismos. Las dos principales fuentes de materia orgánica son la contaminación antropogénica (aguas servidas y basurales cercanos) y la eutrofización. La materia orgánica determina el potencial redox del sedimento y, por tanto, regula el comportamiento químico de compuestos que contienen metales, además de ser un agente acomplejante (Montoya, 2007).

Una de las características más importantes de los sedimentos es su distribución granulométrica, ya que permite de manera general, asignar un valor de la eficiencia de retención del embalse, predecir la distribución espacial de sedimentos depositados y predecir el espacio requerido para la acumulación de material sólido en un tiempo determinado. La morfología del embalse y del río influye en este análisis porque determina la localización de los sedimentos. En las curvas pronunciadas o meandros, los sedimentos se depositan dentro de la curva (lado convexo), mientras que fuera de la curva (lado cóncavo) ocurre erosión. Finalmente, el caudal determina el tamaño de partículas que sedimenta; a bajos caudales, las más finas y a altos caudales, solamente las más gruesas.

## 2. PARTE EXPERIMENTAL

### 2.1 Equipos e instrumentos

- Espectrofotómetro Perkin Elmer UV/VIS Lambda 2.
- Espectrómetro de absorción atómica de llama Perkin Elmer modelo 3100.
- pHmetro marca Multiline WTW P4 con electrodos para pH, conductividad, y temperatura incluidos.
- Sistema de digestión y destilación Kjeldahl confeccionado en el Taller de Vidrio de la Sección Química PUCP.
- Manta de calentamiento de temperatura regulable para digestión Kjeldahl marca MI D250 SERCAL S.R.L.
- Detector infrarrojo de temperatura marca UNI-T modelo 302C.
- Sistema de posicionamiento global (GPS) GARMIN e-TREX.
- Estufa Cimatic S.A modelo Memmert. Temperatura 0-120°C.
- Mufla marca Naber Industrieofenbau. Temperatura 0-1000°C.
- Horno marca Steridium para secado de muestras del Laboratorio de Geometalurgia de Rio Tinto Minera Perú Limitada S.A.C, Sección Ing. de Minas PUCP.
- Cuarteadora modelo Medium riffler, marca Quantachrome Instruments del Laboratorio de Geometalurgia de Rio Tinto Minera Perú Limitada S.A.C, Sección Ing. de Minas PUCP.
- Agitador lineal diseñado y desarrollado en la Sección de Ing. Electrónica PUCP.
- Plancha rectangular de calentamiento con temperatura regulable, marca Thermolyne Corp.
- Cocinilla marca Thermo Scientific CIMAREC.
- Centrífuga marca HETTICH modelo EBA 85.

- Centrífuga marca HETTICH modelo ROTOFIX 32 A.
- Tamizador marca ELE International.
- Ultrasonido marca Cole-Parmer modelo 08891-26
- Lámparas de cátodo hueco de Ca, Mg, Na, Fe, Zn, Cd, Cr, Cu, Pb marca Perkin Elmer™ Lumina Lamp.
- Cono metálico para la toma de muestras de sedimentos confeccionado en el Taller de la Sección Física PUCP (Walter, 2010).
- Sistema de purificación de agua Millipore. Sección Química PUCP.
- Balanza analítica digital calibrada, marca OHAUS, modelo Adventurer™ (máxima capacidad 210g y sensibilidad de 0,0001g) del Laboratorio de Química Ambiental, Sección Química PUCP.
- Balanza analítica digital de dos decimales calibrada, marca OHAUS, modelo SCOUT PRO SP2001 del Laboratorio de Geometalurgia de Rio Tinto Minera Perú Limitada S.A.C, Sección Ing. de Minas PUCP.
- Balanza analítica digital calibrada, marca AND, modelo GF-200 (máxima capacidad 210g y sensibilidad de 0,0001g) del Laboratorio de Geometalurgia de Rio Tinto Minera Perú Limitada S.A.C, Sección Ing. de Minas PUCP.

## 2.2 Reactivos utilizados

Los reactivos para las diferentes determinaciones analíticas se muestran en la tabla 3.

## 2.3 Metodología de muestreo

### 2.3.1 Frecuencia de monitoreo

Las muestras de sedimento de la represa fueron tomadas en tres campañas de muestreo teniendo en cuenta el régimen hidrológico de la cuenca. La primera salida se realizó entre el 1 y 3 de agosto del año 2011, época de muy bajas precipitaciones. La segunda fue entre el 27 y 29 de febrero del año 2012 (altas precipitaciones) y la tercera salida fue entre

el 5 y 7 de agosto del 2012. El primer muestreo fue considerado como de reconocimiento del área de estudio y, por ello, sólo se tomaron algunas muestras para probar las metodologías.

**Tabla 3. Reactivos utilizados en las metodologías analíticas**

Nombre	Fórmula química	Marca	Grado
Ácido ascórbico	$C_6H_8O_6$	JT Baker	99.90%
Ácido clorhídrico fumante	HCl	Merck	37%
Ácido nítrico fumante	$HNO_3$	Merck	68 - 70 %
Ácido perclórico	$HClO_4$	Merck	70-72%
Ácido sulfúrico concentrado	$H_2SO_4$	Merck	96-98%
Arena de cuarzo	$SiO_2$	Merck	90-98%
Buffer pH 4	Ác. cítrico /NaOH/ HCl	Merck	
Buffer pH 7	$Na_2HPO_4/KH_2PO_4$	Merck	
Buffer pH 10	$H_3BO_3/KCl/NaOH$	Merck	
Carbonato de calcio	$CaCO_3$	Scharlau	99.99%
Cloruro de amonio	$NH_4Cl$	Merck	99.99%
Cloruro de sodio	NaCl	JT Baker	99.99%
Dicloruro de calcio	$CaCl_2$	Merck	99.99%
Dicromato de potasio	$K_2CrO_4$	Merck	99.99%
Estándar de cadmio 1000 ppm	$Cd(NO_3)_2$	Merck	ICP
Estándar de cromo 1000 ppm	$Cr(NO_3)_3$	Merck	ICP
Estándar de hierro 1000 ppm	$Fe(NO_3)_3$	Merck	ICP
Estándar de plomo 1000 ppm	$Pb(NO_3)_2$	Merck	ICP
Estándar de cinc 1000 ppm	$Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	Panreac	ICP
Detergente Extran® neutro	-	Merck	-
Fenoltaleína	$C_{20}H_{14}O_4$	Fisher	99.99%
Fluoruro de amonio	$NH_4F$	Riedel	99.99%
Fosfato dihidrógeno de potasio	$KH_2PO_4$	Merck	99.99%
Ftalato ácido de potasio	$KHC_8H_4O_4$	Mallinckrodt	99.99%
Harina comercial sin preparar	-	Molitalia	-
Heptamolibdato de Amonio	$(NH_4)_6Mo_7O_{27} \cdot 4H_2O$	JT Baker	99.99%
Hexametáfosfato de sodio	$(NaPO_3)_6$	Scharlau	99.99%
Hidróxido de sodio	NaOH	J.T.Baker	≥ 98,0 %
Hidróxido trifosfato pentacálcico	$Ca_5(PO_4)_3OH$	Merck	99.99%
Indicador rojo de metilo	$C_{15}H_{15}N_3O_2$	Fisher	99.99%
Nitrato de plata	$AgNO_3$	Merck	99.99%
Óxido de cobre	CuO	Merck	99.99%
Óxido de magnesio	MgO	Merck	99.99%
Sacarosa	$C_{12}H_{22}O_{11}$	Scharlau	99.99%
Solución de calibración de conductividad	KCl	Hanna	99.99%
Sulfato de cobre	$CuSO_4$	JT Baker	99.99%
Tartrato de antimonio y potasio	$C_8H_4K_2O_{12}Sb_2 \cdot 3H_2O$	Riedel	99.99%

En las dos siguientes campañas del 2012, se definieron mejor los puntos de muestreo y se tomaron muestras para su análisis por las metodologías implementadas y validadas en el Laboratorio de Química Ambiental de la Sección Química.

### 2.3.2 Estaciones de muestreo

Se seleccionaron seis estaciones de muestreo georreferenciadas por GPS. En la tabla 4 se presenta la ubicación de cada estación. En la figura 8 se puede observar la ubicación de las estaciones de muestreo de sedimento en la represa de Gallito Ciego.

Tabla 4. Ubicación de estaciones de muestreo de sedimento

ESTACIÓN DE MUESTREO		UBICACIÓN GEOGRÁFICA	ALTITUD (m.s.n.m)
S1	Santa Catalina	709665 E, 9197601 N	451
S2	Tembladera 1	706574 E, 9197413 N	-
S3	Tembladera 2	705854 E, 9197792 N	411
S4	La Huaca	705854 E, 9201130 N	-
S5	Garita 7	697380 E, 9200357 N	404
S6	Las Varas	696006 E, 9197873 N	-

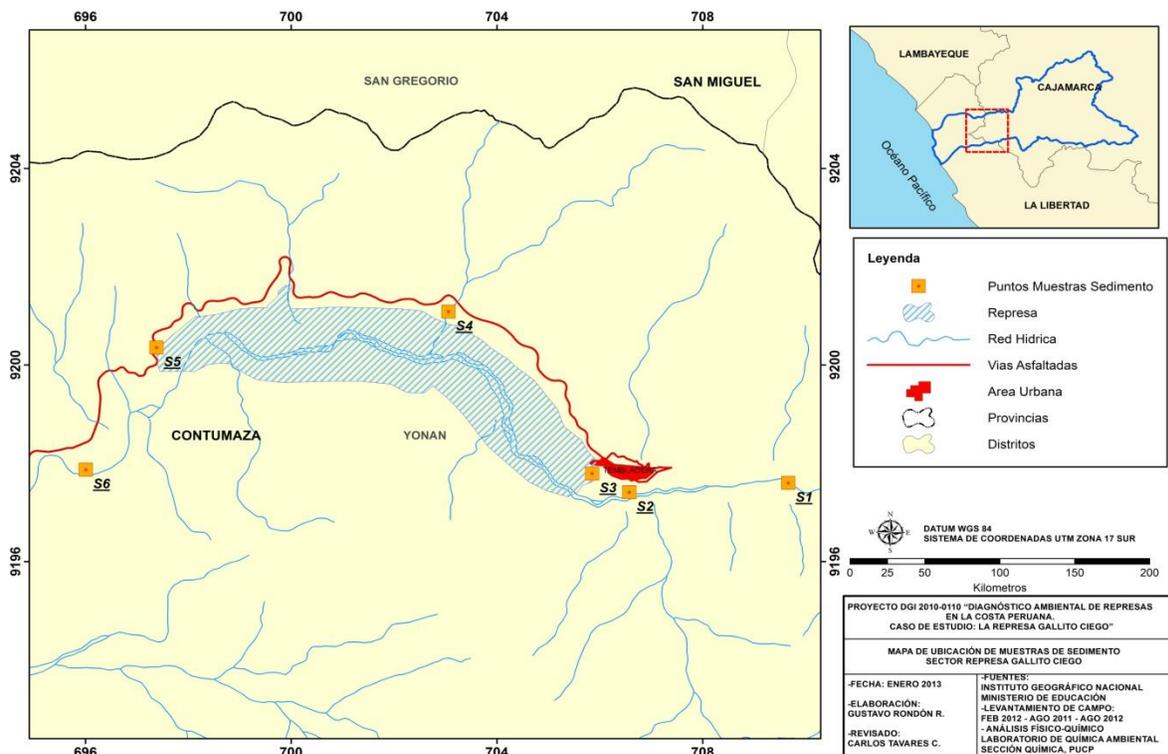


Figura 8. Ubicación de estaciones de muestreo de sedimento en la represa de Gallito Ciego. Fuente: Proyecto DGI PUCP 70245.0110

### 2.3.2.1 Estación S1: Santa Catalina

Este es el primer punto del programa de monitoreo y punto de referencia ambiental o punto cero, el cual se encuentra ubicado a aproximadamente 3 km al este de la ciudad de Tembladera. Esta distancia es adecuada para caracterizar los sedimentos que ingresarán a la represa, de los cuales se asume se encuentran exentos de la influencia antropogénica de los poblados cercanos a la represa. La zona exacta de muestreo fue debajo del puente Santa Catalina, en el margen derecho de la carretera camino a Cajamarca (ver figura 9).



**Figura 9. Estación S1. Puente Santa Catalina (izquierda). Toma de muestras de sedimento orilla de río (centro). Sedimento de río (derecha). Fotografías del Proyecto DGI PUCP 70245.0110**

El clima estuvo soleado y con cielo despejado con una temperatura aproximadamente de 25°C en los tres muestreos. El río Jequetepeque es de caudal moderado y poca turbulencia. Como se aprecia en la figura 9, la muestra de sedimento fue obtenida de la orilla del río con ayuda de un cono metálico y espátula. Se recogieron dos bolsas en cada muestreo. La muestra contenía, en su mayoría, material de gran tamaño, cantos rodados y arena. Se encontraron algas en las rocas y varios insectos debajo de estas.

### 2.3.2.2 Estación S2: Tembladera 1

El segundo punto de muestreo se encuentra en la ciudad de Tembladera, exactamente en la parte del río cercana al primer tubo de desagüe de la ciudad (ver figura 10). El acceso a ésta estación fue reconocido recién en la tercera campaña, por lo que sólo se tiene información del sedimento de un solo muestreo en este punto.

Durante el muestreo en esta zona el clima estuvo soleado. Se observaron cultivos y ganado en los alrededores. Respecto a la muestra de sedimento, esta consistía principalmente de cantos rodados, guijarros y partículas finas.



Figura 10. Estación S2. Fotografía del proyecto DGI PUCP 70245.0110

### 2.3.2.3 Estación S3: Tembladera 2

Tercer punto de muestreo ubicado también en la ciudad de Tembladera, a aproximadamente 700 metros del punto anterior. Este punto está ubicado en la parte inicial de la represa que colinda con el pueblo, sobre el segundo tubo de desagüe que descarga directamente en la represa y no en el río como sucede en la estación S2.

En la figura 11 se puede observar el tubo de desagüe y el agua de color verdoso en esa zona de la represa. El olor en los alrededores era desagradable. En este punto sólo se realizaron dos muestreos debido a que en la primera salida de campo el nivel del agua en la represa era muy bajo, lo que formaba un pequeño acantilado dificultando la toma directa de muestras de sedimento.



Figura 11. Estación S3. Arado de cultivos (izquierda). Segundo tubo de desagüe de la ciudad (centro). Agua de la represa de coloración verdosa debido a su cercanía al tubo de desagüe (derecha). Fotografías del Proyecto DGI PUCP 70245.0110

El clima en esta zona era soleado con viento, se observaron niños bañándose y pequeños botes de pesca. La muestra de sedimento fue obtenida cerca de la orilla de la represa y presentaba principalmente material fino como arena y algunas partículas más gruesas.

#### 2.3.2.4 Estación S4: La Huaca

El cuarto punto de muestreo pertenece a la represa y se ubica a 4.5 km del punto cero y a 2 km de la ciudad de Tembladera. En este punto se realizaron sólo dos muestreos ya que en la primera salida no se reconoció la accesibilidad hacia esta zona. Durante la toma de muestra, el clima presentó mucho viento y poco sol. El sedimento se obtuvo de la orilla de la represa y consistía de material grueso como guijarros así como partículas finas (arena, limo y arcilla).

#### 2.3.2.5 Estación S5: Garita 7

El quinto punto de muestreo se ubica a 3 km del punto anterior y 5 km de la ciudad de Tembladera. El clima en esta zona estuvo soleado y con viento. Se realizaron tres muestreos en este punto debido a su fácil acceso desde la primera campaña (ver figura 12). En este caso, se obtuvo una muestra compuesta. Una porción de la muestra de sedimento se obtuvo de la orilla y otra porción fue obtenida a una mayor profundidad, cerca de 2 m de la orilla. La muestra presentaba material grueso (guijarros) en su mayoría y arena.



Figura 12. Estación S5. Fotografía del Proyecto DGI PUCP 70245.0110

#### 2.3.2.6 Estación S6: Puente Las Varas

El sexto y último punto para el muestreo de sedimentos fue el puente Las Varas, ubicado a aproximadamente 14.5 km del punto cero, 3 km de la bocatoma o salida de la represa y 8 km de la estación Garita 7. Fue escogido como punto final de control que muestra la calidad de agua y sedimento que sale de la represa. En este punto sólo se realizaron los muestreos de febrero y agosto del 2012.

Durante la toma de muestra se observó niños bañándose, así como pobladores y su ganado (ver figura 13). El sedimento obtenido a orillas del río presentaba gran cantidad de material grueso como cantos rodados así como partículas de menor tamaño como arena.



Figura 13. Estación S6. Puente Las Varas (izquierda), ganado pastando (centro), zona de toma de muestras a orillas del río (derecha). Fotografías del proyecto DGI PUCP 70245.0110

Es importante mencionar que el caudal en el segundo muestreo (febrero 2012) fue mayor y la muestra fue tomada en la zona que se aprecia en la figura 13 (centro), margen izquierdo del río, cruzando el puente colgante, donde se encontraba pastando el ganado. La muestra era predominantemente lodo, materia orgánica (bosta de vaca) y ramas (ver figura 14). Por otro lado, en el tercer muestreo la muestra fue tomada en caudal bajo y se pudo tomar la muestra a orillas del río. Esta diferencia en muestras no permite comparar fácilmente las características de los sedimentos del segundo y tercer muestreo, pero ofrece información valiosa sobre la correcta aplicación de los métodos.



Figura 14. Fracciones de granulometría mayor a 2mm de muestra de la estación S6. Muestra tomada en la tercera campaña (izquierda). Muestra tomada en la segunda campaña (derecha). Fuente propia.

### 2.3.3 Toma de muestras

#### 2.3.3.1 Toma de muestra en estaciones

Los materiales utilizados para obtener las muestras de sedimentos fueron bolsas ziploc de 768 mL de capacidad, espátula de plástico y metálica, cono metálico de 18 cm diámetro y 25 cm de altura, guantes de nitrilo, cinta de embalaje, etiquetas y marcadores indelebles, geles refrigerantes y cooler para preservar y almacenar las muestras. Durante la toma de muestras, el registro de la temperatura del agua y el pH se hizo con el multiparámetro de campo y recogiendo un poco de agua en un balde y trasladándola hacia la maletera del vehículo de transporte.

El muestreo de sedimentos se realizó con ayuda de una espátula de plástico y un cono de metal que ayuda a la sedimentación rápida y decantación. Una vez que se obtuvo suficiente cantidad (cerca de 1 kg), se colocó toda la muestra en doble bolsa ziploc con mucho cuidado y preservando el agua que haya podido quedar sin decantar. Luego se trasladaron las bolsas a la maletera del vehículo para colocarlas dentro de los coolers con refrigerantes. Previo a ello, se rotularon los sedimentos y se les colocó doble bolsa ziploc para evitar derrames durante el traslado (figura 15).



Figura 15. Procedimiento de muestreo. En sentido horario, de superior izquierda: Inspección del área. Toma de muestra. Trasvaso a bolsas ziploc. Almacenamiento, rótulos y medidas in situ. Fotografías del Proyecto DGI PUCP 70245.0110

En la etiqueta de cada muestra se indicó el lugar, coordenadas, fecha, hora, persona que tomó la muestra, condiciones del muestreo y algunos parámetros como pH y temperatura del agua. Para mantener las muestras a bajas temperaturas se utilizó temporalmente la congeladora del hotel de hospedaje hasta su traslado en coolers al laboratorio.

Cabe señalar que todos los residuos generados en las tres campañas de muestreo fueron trasladados al laboratorio para su adecuada disposición. Entre los residuos se encuentran guantes con restos de ácido usados para preservar muestras de agua y otros con restos de sedimento, pipetas Pasteur con residuos de ácido y rotas, papel toalla, bolsas, entre otros.

### **2.3.3.2 Toma de muestras para ensayos preliminares**

Con la finalidad de familiarizarse con las metodologías para análisis de nutrientes y determinar el método más aplicable a las muestras de la represa, se tuvo a bien realizar pruebas con diferentes matrices para identificar los pasos críticos y condiciones más influyentes.

Para realizar estos ensayos preliminares se trabajó con dos tipos de muestras. En la primera salida de campo de reconocimiento del área de estudio realizada en el mes de agosto del 2011, se aprovechó para tomar muestras de sedimento en los diferentes puntos que se consideraron determinantes para los fines del estudio. En el caso de los sedimentos de la represa, sólo se tomaron muestras en el punto S5 y se reservó una bolsa para pruebas y la otra para aplicar el método más adecuado.

Además, con la finalidad de tener muestras de contenido de analito conocido, semejantes al punto de muestreo y que permitan comparar las metodologías y verificar su buen desempeño, se realizó otro muestreo en una zona diferente. Para ello, se obtuvieron muestras de agua y sedimento de una laguna ubicada en el Km. 26.5 de la carretera Panamericana Sur en el distrito de Lurín en Lima que pertenece a la Refinería Conchán de Petróleos del Perú S.A. Esta laguna de formación natural es constantemente monitoreada por la refinería aledaña a la cual abastece de agua para sus operaciones. Es por ello que se pudo contar con datos de referencia para nitrógeno total y fósforo total de estas aguas con fines comparativos.

Se ubicaron dos puntos de muestreo en esta laguna, uno de lado norte denominado “Punto A” cerca a las bombas que suministran agua para el proceso industrial de la refinería y el otro punto al lado sur de la laguna, denominado “Punto B”. En cada punto se registraron algunos parámetros fisicoquímicos como pH y conductividad. Así mismo, del punto de muestreo “A” se tomaron muestras de sedimento de fondo. Las características de la zona se pueden observar en la figura 16.



Figura 16. Toma de muestras en la laguna de la Refinería Conchán en Lurín. Punto de muestreo cercano a las bombas, denominado “A” (izquierda). Punto de muestreo de lado sur de la laguna denominado “B” (derecha). Fuente propia.

Para el muestreo de agua se utilizó un balde de plástico para transferir el agua a botellas de plástico de medio litro. Una de las botellas fue preservada con ácido sulfúrico hasta pH menor a 2 y la otra botella sirvió para medir *in situ* los parámetros antes mencionados. Las muestras se trasladaron en cooler hasta su refrigeración en el laboratorio. Por otro lado, para obtener las muestras de sedimento de la laguna, se sumergió el balde con ayuda de un palo, permitiendo de esa manera que el sedimento de fondo y en suspensión ingrese al balde. Seguidamente se retiró el balde jalando una soga amarrada a este. Luego decantó el agua sobrenadante y se colocó el sedimento en bolsas ziploc para ser trasladado en un cooler hasta el laboratorio.

## 2.4 Metodologías analíticas para análisis de sedimentos

### 2.4.1 Ensayos preliminares

Las muestras que se utilizaron en estos ensayos no fueron preparadas mediante el procedimiento que se detalla en la sección 2.4.2. Sólo fueron tamizadas con malla de abertura 2 mm y secadas en estufa a 60°C.

### 2.4.1.1 Ensayos para fósforo disponible y total

La metodología para el análisis de fósforo en medio acuoso se basa en el método APHA 4500 P B. La cual consiste en la detección espectrofotométrica UV/Vis a 880 nm del heteropoliácido fosfomolibdico de color azul. La formación de este último compuesto se basa en la reacción en medio ácido entre el anión fosfato disuelto y el molibdato de amonio, en presencia de tartrato de K y Sb, que generan el ácido fosfomolibdico el cual es reducido mediante ácido ascórbico generando una coloración azul debida al molibdeno (ver ecuación 1). Este método posee un límite de detección de 10 ppb para un camino óptico de 1 cm y tiene posibles interferencias de arseniatos en concentraciones de 0.1 ppm, así como de cromo hexavalente y nitritos (ver tabla 5).



La mezcla de reacción en medio acuoso previo a la detección consiste en colocar 25 mL de muestra en matraces de 125 mL, y añadir 2.5 mL de reactivo de color, el cual consiste en la mezcla de 50 mL de ácido sulfúrico 5 N, 30 mL de ácido ascórbico, 15 mL de solución de molibdato amónico y 5 mL de tartrato de antimonio-potasio. Si es que la mezcla presentase una coloración verde o azul, ésta debe descartarse debido a la presencia de contaminación tanto del agua como de los materiales utilizados. Por lo general, las mezclas preparadas tuvieron una coloración amarilla característica y se degradaron (color amarillo verdoso) en un tiempo mayor a 4 horas.

Tabla 5. Detalles del método para la determinación de fósforo por espectrofotometría UV/Vis

Parámetro	Matriz	Método	Descripción	Interferencia
Fósforo Disponible y Total	Agua y sedimento	<p><b>Para agua y extractos acuosos:</b> -SRP: APHA 4500 P E. -P. Total: APHA 4500 P B.</p> <p><b>Para sedimento:</b> Digestiones previas -D. Húmeda -D. Seca -D. NH<sub>4</sub>F/HCl -D. triácida -D. ASTM D3974-09 -D. ASTM D5198-09</p>	<p>Determinación espectrofotométrico UV/Vis a 880 nm.</p> <p>Formación del heteropoliácido fosfomolibdico de color azul intenso reducido con ácido ascórbico o cloruro estañoso.</p>	<p>Presencia de arseniatos 0.1 mg/L As.</p> <p>Cromo hexavalente y nitritos pueden reducir sensibilidad.</p> <p>Sulfuros y silicatos no interfieren a concentraciones entre 1-10 ppm.</p>

SRP: fósforo reactivo soluble

Este método es aplicable para matrices de agua y suelo. Para su aplicación en matrices de suelo y sedimento es necesario utilizar algún tipo de digestión (fósforo total) o método de extracción (fósforo disponible) que permita obtener una solución acuosa en la que se pueda realizar la reacción y detección antes mencionada (ver figura 15). Para determinar el tipo de digestión más adecuado y reproducible a aplicar en las muestras de la represa se ensayaron seis tipos de digestiones. La descripción de los tipos de digestión utilizados se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Tipos de digestión de sedimentos para análisis de fósforo

Digestión	Procedimiento	Referencia
HÚMEDA	Disolver 0.5 g de muestra en HNO <sub>3</sub> cc, reposar una noche. Calentar a 150°C, añadir HClO <sub>4</sub> y calentar a 210°C por 2 horas, filtrar y enrasar.	(Martínez, <i>et al</i> ; 2002)
SECA	Calcinar 0.5 g de muestra a 500°C. Disolver en sol. HCl 6 M, ebullición por 10 min, filtrar, enrasar.	(Martínez, <i>et al</i> ; 2002)
NH <sub>4</sub> F/HCl	Agregar a 1 g de muestra, 7 mL de mezcla 0.03 N NH <sub>4</sub> F/ 0.025 N HCl. Agitar por 5 min y filtrar.	(Boschetti, 2003) y (Melgratti, 2005)
TRIÁCIDICA	Disolver 0.05 g de muestra en mezcla HNO <sub>3</sub> -HClO <sub>4</sub> -H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , calentar por 1 hora, filtrar y enrasar.	(Grimshaw, 1987)
ASTM D3974-09	Agregar a 4 g de muestra 100 mL de agua, 1 mL de HNO <sub>3</sub> cc y 10 mL de HCl cc, luego se calienta a 95°C para reducir el volumen, filtrar y enrasar.	ASTM
ASTM D5198-09	Agregar a 5 g de muestra, 25 mL de HNO <sub>3</sub> 1:1 y digerir entre 90-95°C por 2 horas. Enfriar, filtrar y enrasar.	ASTM



Figura 17. Matraces para digestión de sedimentos por cuadruplicado. Fuente propia

Según (Martínez, *et al*; 2002) es probable que al someter la muestra a temperaturas mayores a 400°C se pierdan algunos compuestos que contienen fósforo. Otro aspecto que debe ser considerado para escoger el tipo de digestión es el tiempo que tome el ensayo, los reactivos que se utilicen y las condiciones en el laboratorio.

Antes de realizar las lecturas en el espectrómetro UV/Vis, se verificó la longitud de onda de trabajo que se menciona en el método (800 nm), se realizaron varios barridos de longitud de onda entre 400 y 900 nm. Se construyó la curva de calibración en el rango de 0.005 ppm y 0.5 ppm con estándares de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  según el método para determinación de fósforo en medio acuoso.

Con la finalidad de conocer la aplicabilidad del método en matrices sólidas de baja solubilidad, se utilizó el reactivo hidroxilo trifosfato pentacálcico  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$  seco a 105°C por más de 5 horas como control. Con esta se realizó una serie de pruebas de los seis tipos de digestión.

#### 2.4.1.2 Ensayos para nitrógeno Kjeldahl

El método Kjeldahl digiere la muestra en un medio ácido catalizado por sulfato de potasio y óxido o sulfato de mercurio o sulfato de cobre. Esta digestión transforma el nitrógeno contenido en la materia orgánica en sulfato de amonio el cual, posterior a una destilación alcalina, es cuantificado por valoración ácido-base. El equipo utilizado comprende un digestor de nitrógeno y una unidad de destilación Kjeldahl. El límite de detección de esta técnica es de 500  $\mu\text{g/L}$ . Es conocido que el método Kjeldahl posee un alto porcentaje de error, sin embargo, es el más utilizado y adecuado para cuantificar nitrógeno total. Esta metodología puede ser aplicada a matrices de agua, suelo, sedimentos u otra materia orgánica como por ejemplo harinas, para determinar su contenido de proteína (Panreac, 2011).

La metodología utilizada está basada en la norma D2973-10e1 "Método de Ensayo Estándar para la Determinación de Nitrógeno Total en Materiales Orgánicos" y es apropiada, en general, para muestras con alto porcentaje de materia orgánica y contenidos de nitrógeno mayores a 5 ppm. No obstante, para los propósitos de esta tesis, se puede y se debe optimizar las condiciones de ensayo y disminuir las fuentes de error.

Se realizaron ensayos de prueba con diferentes tipos de muestras. Entre las matrices ensayadas se encuentra agua de la laguna de los puntos de muestreo A y B, agua destilada, cloruro de amonio, muestra de suelo del Pabellón V del campus de la PUCP, arena de cuarzo, harina comercial y muestra de prueba de la estación S5.

Para la digestión y destilación de las muestras se utilizaron los sistemas que se observan en la figura 16. Se utilizó 2 g de muestra sólida y en el caso de muestra líquida se usó entre 150 y 200 mL. Según el caso, se añadió 0.5 g de sulfato de cobre y 5 g de sulfato de potasio más 20 mL de ácido sulfúrico. Para la destilación se diluyó la mezcla de reacción con 100 mL de agua destilada y se añadió 50 mL de NaOH al 30%. El destilado fue recogido en 25 mL de solución de ácido sulfúrico 0.05 M y titulado con solución de NaOH 0.1 M usando indicador rojo de metilo hasta viraje de un rojo claro a amarillo.

Digestión:  $Muestra + CuSO_4 + K_2SO_4 + H_2SO_4 \rightarrow (NH_4)_2SO_4 + H_2O + CO_2$  (Ecuación 2 sin balancear)

Destilación:  $(NH_4)_2SO_4 + 2NaOH \rightarrow 2NH_3 + Na_2SO_4 + 2H_2O$  (Ecuación 3)



Figura 18. Proceso de digestión y destilación de muestras para N-Kjeldahl por duplicado. Fuente propia

En estos ensayos se pudo diferenciar el efecto de la mezcla de catalizadores y ácido en los diferentes tipos de muestra. Además, se probaron diferentes tiempos de digestión para definir la adecuada apariencia final del digestado (solución verde-turquesa claro).

Las fuentes de error identificadas durante estos ensayos fueron la cantidad y tipo de muestra, cantidad y tipo de catalizadores, el estado de los equipos e instrumentos (potencia de los mecheros, balones, frascos Kjeldahl, conexiones que generan fugas). Y el tiempo de digestión tal que provea una mezcla homogénea y fácil de disolver para que luego sea fácilmente trasvasada al balón de destilación. Otra fuente de error es el tiempo y velocidad de la destilación que está relacionada con los equipos (bulbos de

condensación) y la potencia de los mecheros. Un factor importante es el lavado de materiales relacionado con la contaminación por trazas de diferentes muestras ya que estos frascos tipo Kjeldahl fueron usados indistintamente para todos los tipos de muestras y también por diferentes personas.

#### 2.4.1.3 Ensayos para materia orgánica

Se realizaron pruebas con muestras del jardín de la Sección Química, del sedimento de fondo de laguna, y muestra de suelo del Pabellón V de la PUCP con la metodología descrita en la norma ASTM D2974-07a (ver figura 17). Para determinar el contenido de cenizas y materia orgánica se usaron los métodos C (calcinación a 400°C) y D (calcinación a 750°C) de la misma norma ASTM. Para estas pruebas se utilizaron entre 5 y 10 g de muestra. Las calcinaciones se hicieron en estufa durante un período de 3-5 horas.



Figura 19. Muestras sometidas a 400°C según Método C. Suelo pabellón V-PUCP (izquierda). Sedimento de laguna (centro). Muestra jardín sección Química-PUCP (derecha). Fuente propia

#### 2.4.2 Análisis de sedimentos de represa

##### 2.4.2.1 Preparación de muestras

La preparación de muestras es el proceso por el cual una muestra está lista para ser analizada. Este proceso casi siempre involucra un sub-muestreo. El correcto método de muestreo producirá una sub-muestra que es representativa de la muestra global. Es por ello que una buena preparación de muestras es esencial para obtener resultados analíticos significativos y confiables.

Dada la importancia de la preparación de muestras y su influencia en los resultados, se escogió un método estandarizado por ASTM para preparación de muestras. La norma D3976-92(2010) “Práctica Estandarizada para la Preparación de Muestras de Sedimentos para Análisis Químico” fue la guía para preparar las muestras como se detalla a continuación. El alcance de este método incluye a muestras colectadas de ríos, lagos, océanos, canales y es aplicable para la determinación de compuestos volátiles, semivolátiles y no volátiles que contenga el sedimento. A continuación, se detalla el procedimiento para la preparación de muestras.

**1.-** Las muestras fueron descongeladas a temperatura ambiente en las mesas de trabajo en el laboratorio de un día para otro. Se retiró toda la muestra de sus bolsas y se colocaron en bandejas de aluminio grandes. Se inspeccionaron las muestras cuidadosamente para retirar materiales no considerados como sedimentos como ramas, restos de plásticos, piedras muy grandes, etc.

**2.-** Se procedió a realizar un tamizado en húmedo (ver figura 20 parte 1). Se colocó el tamiz de 2 mm y se pasó todo el sedimento a través de ella con ayuda de una espátula metálica. Sólo la fracción que pasó el tamiz, es decir, la que tenía una granulometría menor a 2 mm, fue la que se utilizó en los ensayos. La fracción con granulometría mayor a 2 mm fue separada y guardada (ver figura 22).

**3.-** La fracción de granulometría menor a 2 mm fue homogenizada con ayuda de una espátula metálica y un tazón. Luego se esperó a que sedimente para retirar el agua sobrenadante.

**4.-** Después, las muestras fueron colocadas nuevamente en las bandejas metálicas y llevadas a un horno a 60°C (figura 20 parte 4). Esta temperatura no es demasiado alta como para perder compuestos orgánicos nitrogenados o fosforados.

**5.-** Luego de dejar las muestras como máximo durante dos días, se las retiró del horno y se las dejó enfriar en un desecador. Se verificó el peso constante y se procedió a realizar el desaglomerado y cuarteo para obtener sub-muestras representativas para los diferentes ensayos.

6.- Antes de cuartear se desaglomeraron las muestras manualmente. Con ayuda de una espátula metálica se retiró con cuidado el sedimento seco de las bandejas. Al retirar el sedimento este se desprendía en pequeños pedazos que con ayuda de la espátula se pudieron desaglomerar y obtener una muestra homogénea como se observa en la figura 20 parte 6.

7.- Una vez desaglomerado el sedimento y obtenida una muestra homogénea, se colocó toda la muestra en un tazón y se registró su peso (ver figura 21 parte 1). Este es un paso previo a realizar el cuarteo para obtener viales con sub-muestras. Para realizar el cuarteo se utilizó una máquina cuarteadora rotatoria o también llamada “rotary medium riffler” (figura 21 parte 2) la cual, mediante vibración, permite que la muestra caiga desde una pequeña tolva a cada una de las bandejas que giran como se observa en las figura 19 parte 3. Así se obtiene fracciones o sub-muestras representativas de un peso muy similar en cada bandeja.

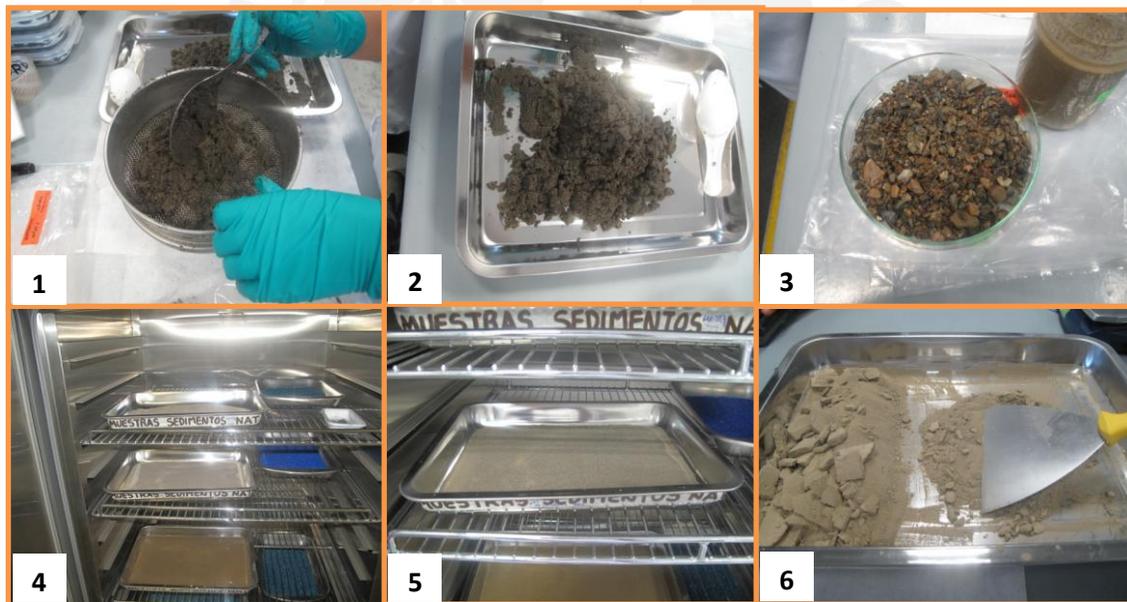


Figura 20. Preparación de muestras de sedimento. 1. Tamizado en húmedo de muestras con malla N°10 (2 mm). 2. Fracción de granulometría menor a 2 mm en bandeja metálica. 3. Fracción retenida en tamiz, en su mayoría piedras. 4. Bandejas con muestras colocadas en horno a 60°C. 5. Muestras de sedimentos en horno. 6. Desaglomerado manual de muestras secas. Fuente propia.

8.- Luego de asegurar, con ayuda de una brocha, que no quede muestra en la tolva se procede a agregar las porciones de muestras de cada bandeja a unos viales y registrar el peso de cada uno (figura 21 parte 4). Debido a la cantidad de ensayos a realizar se tuvo

que obtener entre doce y quince sub-muestras (viales) representativas para cada muestra, de entre 10 y 15 g cada una, como se muestra en la figura 19 parte 5.

9.- El resto de muestra que no fue almacenado en viales fue guardado en bolsas ziploc como contra-muestra o para un cuarteo posterior si fuese necesario (figura 20 parte 6). Estas contra-muestras se almacenaron en un lugar seco a temperatura ambiente en desecadores con sílica gel en el Laboratorio de Química Ambiental, Sección Química PUCP.



**Figura 21. Cuarteo de muestras de sedimento secas. 1. Pesado de muestra desaglomerada en bowl. 2. Máquina cuarteadora o médium riffler rotatorio. 3. Bandejas con muestras durante el cuarteo. 4. Llenado de viales con muestra de cada bandeja. 5. Paquetes de viales obtenidos para diferentes ensayos para cada muestra. 6. Sobrante de muestra guardada como back up. Fuente propia.**

Es importante mencionar que todo el procedimiento de preparación de muestras (secado, homogenizado, tamizado en húmedo, desaglomerado y cuarteo), excepto el descongelamiento, fue realizado en las instalaciones del Laboratorio de Geometalurgia, área de Preparación de Muestras de la empresa Rio Tinto Minera Perú Limitada S.A.C ubicado en la Sección de Ing. de Minas en la PUCP. Las fotografías presentadas tienen la autorización de la empresa.

Las fracciones de granulometría mayor a 2 mm fueron retiradas y almacenadas en la refrigeradora. Se registró su peso sólo en algunos casos y se tomaron fotografías, las cuales se muestran en la figura 20.



Figura 22. Fracciones de granulometría mayor a 2mm de muestras obtenidas en los tres muestreos. De izquierda a derecha. Fila 1. Muestras tomadas en la primera salida de campo: estaciones S1 y S5. Fila 2. Muestras tomadas en la segunda salida de campo: estaciones S1, S3, S4, S5 y S6. Fila 3. Muestras tomadas en la tercera salida de campo: estaciones S1, S2, S4, S5 y S6. Fuente propia.

#### 2.4.2.2 Determinación de pH y conductividad

Para la determinación del pH en muestras de sedimento se utilizó la norma ASTM D4972-01(2007) "Método Estándar para pH en Suelos" el cual consiste en la medición potenciométrica del pH en una suspensión del sedimento, con ayuda de un multiparámetro. Para ello se utilizó 10 g de muestra en 10 mL de agua y se realizaron las mediciones por duplicado. La agitación se realizó por 5 minutos con un agitador lineal y el tiempo de sedimentación antes de la medición fue de una hora.

Para cada muestra se utilizó uno de los viales con muestra cuarteada y seca. En un matraz de 125 mL se colocó 10 g de muestra y se agregó 10 mL de agua destilada. Para la determinación se utilizó el multiparámetro usado en los muestreos. Para la calibración del electrodo se usaron los buffers de pH 4, pH 7 y pH 10. Para la verificación se utilizaron soluciones de concentración y pH conocido. La norma sugiere utilizar fosfato ácido de

potasio 0.05 M de pH 4.0, cloruro de calcio 0.01 M de pH entre 5 y 7 y solución de buffer fosfato 0.025 M de pH 6.9.

Para determinar la conductividad de las muestras de sedimentos se utilizó un electrodo para conductividad del mismo multiparámetro. Este electrodo se sumergió en la suspensión del sedimento preparado anteriormente para las mediciones de pH. Se calibró la conductividad con solución estándar de KCl 0.3 M.

#### 2.4.2.3 Determinación de cloruros

Para la determinación de cloruros en sedimentos se utilizó la norma MN4500-CI B “Método de Ensayo Estándar para la Determinación de Cloruros en Agua” (Clesceri *et al*; 1998). El alcance de este método es sólo para muestras de agua, sin embargo, se adaptó a muestras de sedimentos ya que era posible obtener un extracto acuoso de la muestra y aplicar el mismo procedimiento de la norma. Su rápida aplicación y la pequeña cantidad de reactivos y materiales necesarios fueron las razones por las que se optó por emplear este método.

Para aplicar este método se obtuvo una suspensión de sedimento de 10 g de muestra en 10 mL de agua, con agitación lineal y reposo de una hora. Con la finalidad de obtener una solución clara se centrifugó por 10 min a 3000 rpm. Luego se agregó 50 mL de agua y 2 gotas de indicador de cromato de potasio 50 g/L, se agitó para homogenizar y se agregó la solución titulante de nitrato de plata 0.02164 N gota a gota hasta la aparición de un precipitado color rojo ladrillo indicativo de la formación de  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$  cuando el nitrato de plata se encuentra en exceso.

#### 2.4.2.4 Determinación de carbonatos

En este caso se utilizó un procedimiento de laboratorio para determinación de carbonatos por acidimetría del Handbook para Análisis de Suelos (Pansu y Gaytheriou, 2006). Este método es adecuado para concentraciones altas de carbonatos. Para asegurar su reproducibilidad se ensayaron muestras de concentración conocida, blancos de agua y duplicados.

Se pesó 5 g de sedimento pasado por malla de 0.125 mm (arena fina) de cada vial con muestra cuarteada y seca, y se colocó en matraz de 125 mL. Luego, se agregó 100 mL de

ácido clorhídrico 1 M; se agitó en agitador lineal (ver figura 23) por 1 hora y se dejó reposar por una noche. Al día siguiente se centrifugó el sobrenadante a 2000 rpm por 10 min. Después, se retiró una alícuota de 10 mL del sobrenadante y se colocó en matraz de 125 mL para luego agregar 25 mL de agua y 2 gotas de fenolftaleína. Seguidamente, se tituló con solución de NaOH 0.5 M. Bajo estas mismas condiciones se trató un blanco de agua destilada y un control preparado de 500 mg de  $\text{CaCO}_3$ . Los resultados se expresan en % de carbonato de calcio.



Figura 23. Muestras durante agitación lineal para la determinación de carbonatos. Fuente propia

#### 2.4.2.5 Determinación de granulometría

Para la determinación del tamaño de partículas de las muestras de sedimento se utilizó el método de la pipeta. Esta técnica se basa en la extracción de alícuotas de una suspensión de sedimento con ayuda de una pipeta volumétrica a determinados tiempo y profundidad. Luego, mediante gravimetría, se cuantifica la fracción de determinado tamaño de partícula. Los tiempos para retirar las alícuotas se muestran en la tabla 7 (US EPA, 2003).

Tabla 7. Condiciones de ensayo para la determinación del tamaño de partícula

Escala phi	Tamaño ( $\mu\text{m}$ )	Temperatura	Tiempo	Alícuota	Profundidad
4	62.5	21°C	20s	20 mL	20 cm
5	31.2		1m51s		10 cm
6	15.6		7m25s		10 cm
7	7.8		29m41s		10 cm
8	3.9		1h59m		10 cm
9	1.95		7h56m		10 cm
10	0.98		31h40m		10 cm

En el caso de las fracciones de tamaño de partícula mayor a  $63\ \mu\text{m}$ , se utilizan las escala phi 0, 1, 2 y 3 que corresponde a fracciones de 1, 0.5, 0.25 y 0.125 mm, respectivamente. A continuación, se detalla el procedimiento para determinar la granulometría de las distintas muestras de la represa como se muestra en la figura 24.

**1.-** Dispersión de la muestra con ayuda de hexametáfosfato de sodio. En un vaso de 400mL se colocó entre 25 y 30 g de muestra seca, se agregó 20 mL del dispersante mencionado, se agitó por unos minutos y se dejó reposar por más de 16 horas con la finalidad de evitar que se formen aglomeraciones y las fracciones puedan ser de fácil obtención.

**2.-** Luego del reposo se procede al tamizado en húmedo. Se armó el pequeño sistema como se observa en la figura 24 parte 1. Es así que todo el contenido de los vasos es vertido en la malla de  $63\ \mu\text{m}$  con ayuda de una piceta con agua destilada hasta llenar una probeta de 1L, como se ve en la figura 24 parte 2.

**3.-** Seguidamente, se procede a extraer las distintas fracciones a determinados tiempos según la tabla anterior (ver figura 24 parte 3). Cada alícuota es colocada en vasos de 50mL. Todas las alícuotas son secadas en plancha de calentamiento a  $90^{\circ}\text{C}$  para reducir el volumen y luego son llevadas a la estufa para un secado posterior. Luego, se las retira de la estufa y coloca en un desecador por más de 6 horas antes de ser pesadas (ver figura 24 parte 4).

**4.-** Además, con la finalidad de caracterizar las fracciones de arena entre  $63\ \mu\text{m}$  y 2 mm, la fracción que quedó en la malla de  $63\ \mu\text{m}$  fue secada en plancha y estufa para luego ser tamizada en seco como se aprecia en la figura 24 parte 5. Para ello se utilizó un tamizador vibracional eléctrico y cinco mallas ASTM de aberturas, 1 mm, 0.5 mm, 0.25 mm, 0.125 mm y 0.063 mm.

Por último, se realizó el análisis estadístico de todas las fracciones obtenidas mediante los dos procedimientos (pipeta y tamizado), las cuales comprenden toda la clasificación de arenas, limo y arcilla.

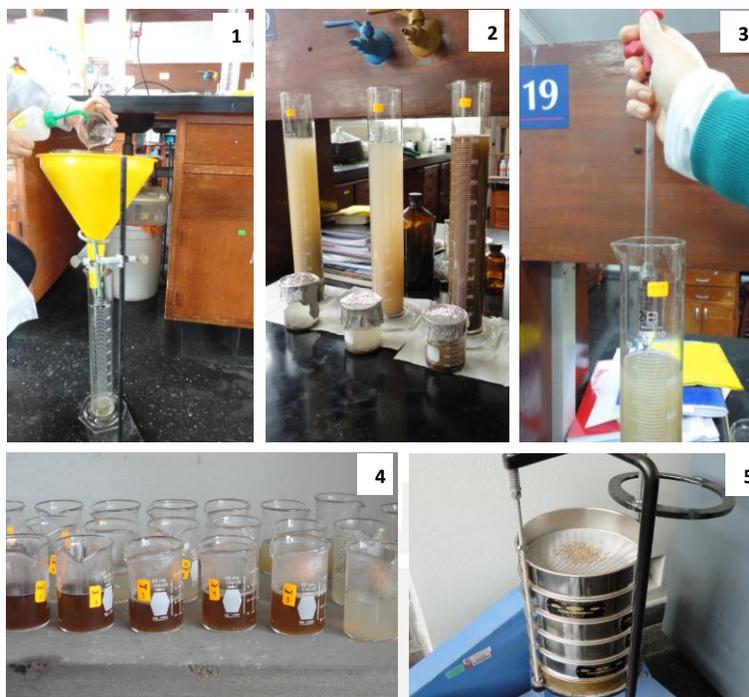


Figura 24. Procedimiento para el análisis granulométrico. 1. Tamizado en húmedo de la muestra en malla ASTM N°230 de 63 µm de abertura. 2. Probetas de 1L con muestras. 3. Extracción de alícuota de 20 mL con pipeta. 4. Evaporación de las fracciones obtenidas con pipeta. 5. Tamizado en seco con mallas ASTM desde 63 µm a 2 mm. Fuente propia

#### 2.4.2.6 Determinación de materia orgánica

La metodología utilizada para la determinación de materia orgánica está basada en el método estándar ASTM D2974-07a “Método de Ensayo Estándar para Determinación de Humedad, Ceniza y Materia Orgánica en Muestras de Suelo”.

Se secó previamente las muestras contenidas en los viales a 105°C en estufa por, al menos, 16 horas. Luego, 4 g de esta muestra seca fueron colocados en crisoles de porcelana pequeños. Antes de utilizar los crisoles se verificó que estos no vayan a sufrir daño al entrar en contacto con altas temperaturas, por ende, fueron sometidos a 400°C por unas horas. Para el análisis de las muestras se colocaron seis réplicas de cada una en la mufla a 440°C ± 22°C hasta peso constante. Luego de cuatro horas de calcinación y verificación, los crisoles fueron retirados de la mufla y colocados en desecadores. El pesado de cada crisol se realizó luego de un mínimo de seis horas. Según esta norma también se incluye el análisis de materia orgánica a 750°C ± 38°C, para lo cual se realizó el mismo procedimiento que para 440°C.



Figura 25. Mufla utilizada para análisis de materia orgánica. Fuente propia

#### 2.4.2.7 Determinación de fósforo disponible y total

En base a las pruebas preliminares se decidió aplicar la digestión triácida para la determinación de fósforo total y la extracción con mezcla de  $\text{NH}_4\text{F}/\text{HCl}$  para fósforo disponible. La digestión triácida consiste en agregar a 0.05 g de muestra seca, 3 mL de la mezcla de ácidos (5:1  $\text{HNO}_3:\text{HClO}_4$  60%) y 0.5 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  cc. La digestión se realiza en matraces de 125 mL, en plancha a una temperatura entre 100 y 150°C (ver figura 26). La digestión es controlada para evitar la pérdida rápida de ácido o calentamiento excesivo.

Los matraces son calentados levemente por 1 hora con solo una pérdida gradual de  $\text{HNO}_3$ . Luego, el calentamiento se incrementa un poco para remover los vapores perclóricos y continuar el calentamiento por 15 min hasta que sólo quede ácido sulfúrico. En este momento, el digestado es más viscoso pero no a sequedad. Al enfriar, se diluye en fiola de 50 mL, se homogeniza y se deja reposar para que sedimente. Por último, se filtra por papel Whatman N°40. Al mismo tiempo se digirieron unos blancos (sólo ácidos) en cada prueba. Una vez que se obtiene la solución en fiolas de 50 mL se lee el contenido de fósforo a 880 nm (método APHA 4500PB). Los ensayos se realizaron por triplicado.

Con la finalidad de determinar la influencia de la matriz y los reactivos se aplicó el mismo método a una muestra de arena de cuarzo considerada como blanco de matriz. Se corrió blanco de método que consiste en sólo digerir los ácidos bajo las mismas condiciones con las que se procesan las muestras.



**Figura 26. Digestión triácida de muestras en plancha de calentamiento. Fuente propia**

En el caso de la determinación de fósforo disponible se utilizó el método de extracción con mezcla de  $\text{NH}_4\text{F}/\text{HCl}$ , descrito anteriormente, seguido de lectura fotométrica. Se utilizó 1 g de muestra y 7 mL de solución extractora en matraz de 250 mL. Se homogenizó mediante agitador lineal durante 15 minutos. Luego, se vertió el extracto en tubos de ensayo y se centrifugó a 3000 rpm durante 15 minutos. Por último, se filtró con papel de filtro Whatman N°40 en matraces de 125 mL para luego ser preparados para análisis fotométrico. Para verificar la precisión se utilizó la muestra de prueba de la estación S1 de la primera campaña.

#### 2.4.2.8 Determinación de nitrógeno Kjeldahl

Una vez visto el resultado de las pruebas preliminares, se decidió utilizar las condiciones iniciales y optimizarlas. Estas condiciones se muestran en la tabla 8. Los ensayos se realizaron por triplicado.

**Tabla 8. Condiciones de ensayo para el análisis Kjeldahl de muestras de sedimento**

Condiciones de ensayo	Digestión	Destilación	Muestras
Monitoreo de temperatura: 290-310°C. Duración del ensayo: 3 horas y 30 min =armado del sistema, peso de reactivos, digestión, reposo, destilación, titulación y lavado de material.	2 g de muestra seca. 0.5 g de sulfato de cobre. 5 g de sulfato de potasio. 20 mL de ácido sulfúrico.	50 mL de NaOH al 30%. 25 mL de ácido sulfúrico 0.05 M. Titulación con NaOH 0.1 M. Indicador rojo de metilo.	Blanco: arena de sílice, agua, y sólo reactivos. Ensayos por triplicado.

Con relación a las fuentes de error, se pudo minimizar el tiempo de digestión, la cantidad y tipo de muestra, la apariencia final de la muestra digerida gracias al cambio en la fuente de calor (cambio de mecheros por manta eléctrica, ver figura 27) así como el lavado de

material y experiencia. Al igual que la determinación de fósforo, también se determinó la influencia de la matriz y reactivos mediante ensayos con blanco matriz (arena de cuarzo) y blanco de método (sólo reactivos).



Figura 27. Equipo de digestión Kjeldahl. Fuente propia

#### 2.4.2.9 Determinación de Ca, Mg y Na extraíbles

Para la determinación de estos tres metales se utilizó la norma APHA 3111B la cual se basa en la técnica de espectrometría de absorción atómica utilizando llama de aire/acetileno (Clesceri *et al*; 1998). Esta norma indica el procedimiento de preparación de estándares para construir la curva de calibración, pero no indica el método de extracción en el caso de matrices sólidas como la de sedimento. Es por ello que esta norma se complementó con una guía práctica para la extracción de estos tres metales en solución acuosa (Melgratti, 2005).

Así como en todos los análisis, las muestras utilizadas provienen de los viales cuarteados y separados para cada ensayo. En un tubo de centrífuga de plástico de 50 mL se agregó 4 g de muestra y 40 mL de solución extractora de cloruro de amonio 1 M (ver figura 28), la cual facilita la disolución e intercambio de estos iones y su posterior cuantificación por absorción atómica. Se agitó la mezcla mediante agitador lineal por 1 hora, se dejó reposar por unos minutos para que sedimente y se centrifugó a 4000 rpm por 15 min. El extracto obtenido fue vertido en matraces pequeños y llevado para su lectura por AAS. Este procedimiento fue realizado para los tres metales.

Para determinar la influencia que puede tener la solución del extracto en la cuantificación de estos tres metales se corrió blancos que sólo contenían la solución extractora.



**Figura 28.** Análisis de Ca, Mg, Na. Tubos de centrifuga de plástico de 50mL con muestras para agitación lineal (izquierda). Estándares y diluciones de muestras para su determinación por AAS. Fuente propia

Para la determinación de calcio se construyó una curva de calibración con el estándar de  $\text{CaCO}_3$  preparado ( $100 \mu\text{g/mL Ca}$ ) en el rango de 0.1 a 5 ppm. Cada grupo de muestras fue trabajado con su respectiva curva de calibración. Debido a que las absorbancias eran muy altas ( $> 1$ ) se diluyeron los extractos (1 mL en 100 mL). El factor de dilución fue considerado en los cálculos respectivos. Cada extracto fue leído por duplicado y se tomó el promedio de 4 lecturas.

Para la determinación de magnesio disponible se utilizó el mismo procedimiento de extracción detallado líneas arriba. Para el estándar se utilizó óxido de magnesio ( $\text{MgO}$ ) disuelto en  $\text{HNO}_3$  cc y diluido a 1 L ( $100 \mu\text{g/mL Mg}$ ). Para este caso, también se tuvo que hacer diluciones (2 mL en 100 mL). La curva de calibración utilizada se encuentra en el rango lineal de 0.05 a 0.5 ppm.

Para la determinación de sodio disponible se extrajo de similar forma. El estándar se hizo con  $\text{NaCl}$  disuelto en agua y preservado con 10 mL de  $\text{HNO}_3$  cc, ( $100 \mu\text{g/mL Na}$ ). En el caso de este metal, la detección era muy baja con los extractos de 4 g en 40 mL de  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , por ende, se realizó una nueva extracción utilizando esta vez 10 g en 20 mL de  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , siguiendo el mismo procedimiento. No se realizó ninguna dilución posterior y se leyó la absorbancia directamente de los extractos. La curva de calibración para sodio se encuentra en el rango lineal de 1 a 80 ppm.

#### **2.4.2.10 Determinación de Fe, Zn, Cd, Cu, Pb y Cr extraíbles**

Para la determinación de los siguientes metales se utilizó la norma ASTM D5198-09 “Práctica Estandarizada Para la Digestión de Residuos Sólidos con Ácido Nítrico” y la norma APHA 3111B que se basa en la técnica de espectrometría de absorción atómica con llama de aire/acetileno, mencionada anteriormente.

La norma ASTM en mención, comprende la determinación de la concentración de elementos recuperables o disponibles, que es diferente al contenido total del elemento. Es aplicable a matrices de suelo, sedimentos, lodos y residuos sólidos con la finalidad de poder determinar su grado de contaminación.

La práctica sugiere realizar la digestión con 5 g de muestra. En matraces de 125 mL se agregaron 25 mL de solución  $\text{HNO}_3$  1:1 a los 5 g de muestra. Luego, los matraces fueron colocados en coccinilla de calentamiento y cubiertos con lunas de reloj para generar reflujo. El rango de temperatura trabajado según norma fue controlado entre 90 - 95°C por 2 horas (ver figura 29). Terminado este tiempo se retiraron los matraces de la coccinilla y se dejó enfriar a temperatura ambiente. Luego se añadieron 50 mL de agua y se agitó manualmente para mezclar los contenidos. Por último, se filtró y se transfirió a una fiola de 200 mL. En algunos casos este filtrado fue turbio por lo que se decidió centrifugarlos a 4000 rpm durante 15 min antes de completar la dilución de 200 mL. Se hizo un blanco con sólo ácidos al mismo tiempo. Para la preparación de los estándares de estos seis metales, se siguió el procedimiento que detalla la norma APHA 3111 B.



**Figura 29. Matraces durante digestión en plancha de calentamiento (izquierda). Matraces en digestión en coccinilla y termómetro para control de temperatura (derecha). Fuente propia**

Para preparar el estándar de Fe se utilizó el estándar de 1000 ppm grado ICP. La curva de calibración para el hierro se encuentra entre 0.1 y 5 ppm. En el caso de hierro, las absorbancias obtenidas directamente de los extractos de 200 mL eran muy altas, por lo que se decidió diluir 1ml del extracto en fiola de 100 mL para obtener resultados dentro de la curva de calibración.

En el caso del cinc, se preparó la curva de calibración utilizando estándar de 1000 ppm grado ICP. La curva de calibración para cinc se encuentra en el rango de 0.05 a 1 ppm.

En este caso se tuvo que diluir 10 mL del extracto en fioles de 50 mL. En todos los casos se incluyó el factor de dilución en los cálculos para cada muestra.

Por otro lado, para las determinaciones de Cu, Pb, Cd y Cr se utilizaron las normas mencionadas anteriormente y se adicionó un accesorio al equipo de absorción atómica, denominado “impact bead”, el cual permite el ingreso lento de la solución a medir para poder tener mayor sensibilidad en la detección. Esto se aplicó debido a las bajas concentraciones de estos metales en las muestras.

Para la curva de calibración de cobre se utilizó 0.1 g de óxido de cobre (CuO) en polvo disuelto en 12 mL de HNO<sub>3</sub> cc y luego diluido a 1L con agua obteniendo (100 µg/mL Cu). La curva de calibración se encuentra en el rango de 0.5 a 2 ppm. Para el caso de cobre, no se realizó ninguna otra dilución y los extractos de 200 mL fueron leídos directamente.

En el caso de plomo se utilizó un estándar certificado grado ICP de 1000 ppm para preparar la curva de calibración. Esta se encuentra en el rango de 0.5 a 5 ppm. Para determinar plomo no se tuvo que hacer otra dilución adicional aparte del extracto.

Para cadmio también se utilizó un estándar certificado grado ICP para preparar la curva de calibración. El rango de la curva se encuentra entre 0.05 y 0.75 ppm. En este caso, debido a la poca absorbancia que mostraban las muestras al haber digerido 5 g en 25 mL HNO<sub>3</sub> 1:1, se decidió aumentar la proporción a 10 g en 20 mL de HNO<sub>3</sub> 1:1, y el proceso siguiente fue el mismo que para los demás metales pesados. Las lecturas se dieron directamente de los extractos sin ninguna otra dilución posterior.

En el caso de Cr también se utilizó un estándar certificado grado ICP de 1000 ppm para preparar la curva de calibración. Esta se encuentra en el rango de 0.05 a 3 ppm. Para este caso se siguió el mismo proceso de extracción para cadmio. Las lecturas también se hicieron directamente en el extracto sin ninguna dilución.

#### **2.4.2.11 Lavado de material**

La necesidad de descartar cualquier tipo de contaminación debido a la limpieza del material de vidrio permitió desarrollar un procedimiento de lavado basado en la norma ASTM D3974-09 “Práctica Para la Extracción de Elementos Traza en Sedimentos”. Este consistió en remojar el material de vidrio en baldes de 20 litros con detergente Extran® neutro libre de fosfatos durante más de 10 horas. Luego se lavó bien con agua potable y

se los remojó en otro balde del mismo volumen que contenía 100 mL de HCl 1:1 por un período entre 6 y 10 horas. Se enjuagó todo el material primero con agua potable y luego tres veces con agua destilada.

Este procedimiento fue realizado para todo el material de vidrio utilizado en todos los ensayos. Su uso continuo permitió descartar contaminación cruzada de los distintos reactivos y muestras utilizados.

#### **2.4.2.12 Disposición de residuos**

En el caso de las soluciones acuosas de calibración, estas fueron concentradas para reducir su volumen, luego se neutralizó para poder desecharlas a pH neutro. En el caso de los residuos muy ácidos, estos sólo fueron almacenados para evitar el consumo de grandes cantidades de agente neutralizante. Los residuos líquidos de los análisis fueron almacenados en botellas ámbar de 5 L con tapa hermética. Los residuos sólidos (sedimentos y precipitados) fueron almacenados en bolsas negras plásticas. En ambos casos, el contenedor estaba debidamente rotulado para su posterior disposición por el Almacén Central de la Sección Química. Esta unidad contrata un agente autorizado que recoge los residuos que no serán aprovechados por la Sección Química, los almacena en recipientes especiales y los transporta a una zona de confinamiento de residuos tóxicos autorizado en las afueras de la ciudad de Lima.

En el caso del material de vidrio fracturado o roto, se trató en lo posible de repararlo en el Taller de Vidrio de la Sección Química. De lo contrario, se colocó el material con cuidado en una caja para material de vidrio no recuperable para su posterior disposición por el Almacén Central de la sección.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Resultados de ensayos preliminares

##### 3.1.1 Ensayos para fósforo disponible y total

En primer lugar, se determinó la reproducibilidad y exactitud de la cuantificación mediante UV/Vis de fósforo soluble utilizando muestras de agua de la laguna de la refinería ubicada en Lurín. En segundo lugar, se determinó la reproducibilidad del método para fósforo disponible mediante ensayos de extracción que utiliza mezcla de  $\text{NH}_4\text{F}/\text{HCl}$ . Finalmente, el tercer grupo de ensayos permitió probar distintos tipos de digestiones para cuantificar fósforo total y escoger el más idóneo.

Los primeros resultados se presentan en la tabla 9. En el caso de las muestras de agua de la laguna se obtuvo un valor de referencia para fósforo disuelto y total, proporcionado por la empresa que monitorea directamente las aguas de la laguna, igual a 0.02 ppm y 0.04 ppm P, respectivamente. La curva de calibración utilizada se muestra en la figura 30.

**Tabla 9. Resultados del análisis de fósforo soluble y total en muestras de agua de la laguna de la Refinería Conchán en Lurín**

Muestra	Concentración, ppm	Observaciones	Condiciones de ensayo
Agua, Punto A	-Preservada: 0.0174 -Sin preservar: 0.0190 -P total: 0.0510	-Preservada con ácido sulfúrico concentrado hasta pH <2 y refrigerada.  -Para P total se usó la digestión con 0,4 g persulfato de amonio y 1mL de ácido sulfúrico. -20 min de reacción.	Parámetros de la muestra: <ul style="list-style-type: none"> <li>pH: 7.31</li> <li>conductividad: 2.64 mS/cm</li> <li>Valor P soluble de referencia: 0.02 ppm.</li> <li>Valor P total de referencia: 0.04 ppm.</li> </ul>
Agua, Punto B	-Preservada: 0.0230 -Sin preservar: 0.0245 -P total: 0.0439	-Para P total se usó la digestión con 0,4 g persulfato de amonio y 1mL de ácido sulfúrico. -20 min de reacción.	Parámetros de la muestra: <ul style="list-style-type: none"> <li>pH: 7.45</li> <li>conductividad: 2.38 mS/cm</li> <li>Valor P soluble de referencia: 0.02 ppm.</li> <li>Valor P total de referencia: 0.04 ppm.</li> </ul>

Los resultados del estudio de la influencia del tiempo de reacción y acomplejamiento, en los puntos A y B de la laguna se presentan en la tabla 10, cuyos valores son comparables con los del primer muestreo (ver tabla 9).

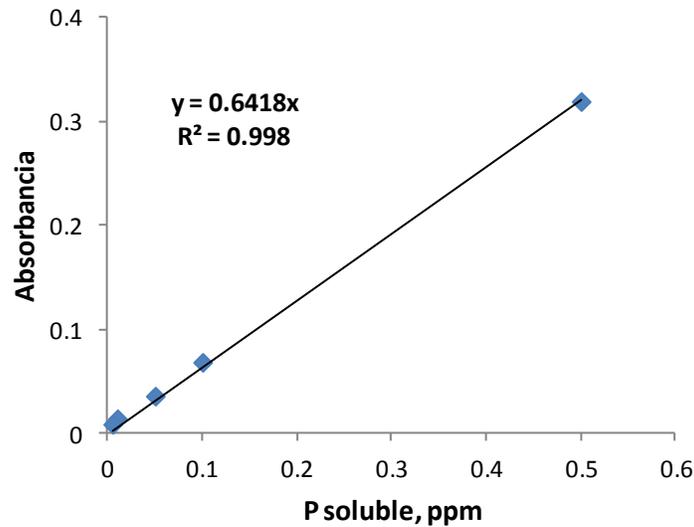


Figura 30. Curva de calibración para fósforo soluble en muestras acuosas. Rango: 0.005 ppm a 0.5 ppm.  $\lambda = 880 \text{ nm}$ .

Tabla 10. Resultados del análisis de fósforo soluble en muestras de agua de un segundo muestreo de la laguna de la refinera con diferentes tiempos de reacción

Muestra	Concentración 10 min de reacción, ppm	Concentración 25 min de reacción, ppm	Condiciones de ensayo
Agua, Punto A	$0.0057 \pm 1.414\text{E-}04$	$0.0133 \pm 9.832\text{E-}04$	Analizadas luego de 2 horas, sin preservar Parámetros de la muestra: <ul style="list-style-type: none"> <li>pH: 7.82</li> <li>Conductividad: 2.69 mS/cm</li> <li>Valor P soluble de referencia: 0.02 ppm.</li> <li>cuadruplicados</li> </ul>
Agua, Punto B	$0.0046 \pm 2.828\text{E-}04$	$0.0135 \pm 5.795\text{E-}04$	Analizadas luego de 2 horas, sin preservar Parámetros de la muestra: <ul style="list-style-type: none"> <li>pH: 7.82</li> <li>Conductividad: 2.55 mS/cm</li> <li>Valor P soluble de referencia: 0.02 ppm.</li> <li>cuadruplicados</li> </ul>

Respecto a los ensayos para fósforo disponible, se utilizó la muestra de prueba de la estación S5 para probar la extracción con mezcla  $\text{NH}_4\text{F}/\text{HCl}$ . Los resultados se muestran en la tabla 11. La curva de calibración utilizada se muestra en la figura 31.

Tabla 11. Resultado del análisis de fósforo disuelto en muestra de sedimento de la primera campaña de muestreo (agosto 2011) de la estación S5

Muestra, g	Absorbancia	Concentración mg/kg	Promedio	Desviación Estándar	% CV
1.0038	0.0033	0.1364	0.1270	0.0125	9.878
1.0036	0.0026	0.1181			
1.0032	0.0026	0.1182			
1.0029	0.0036	0.1444			
1.0038	0.0026	0.1181			

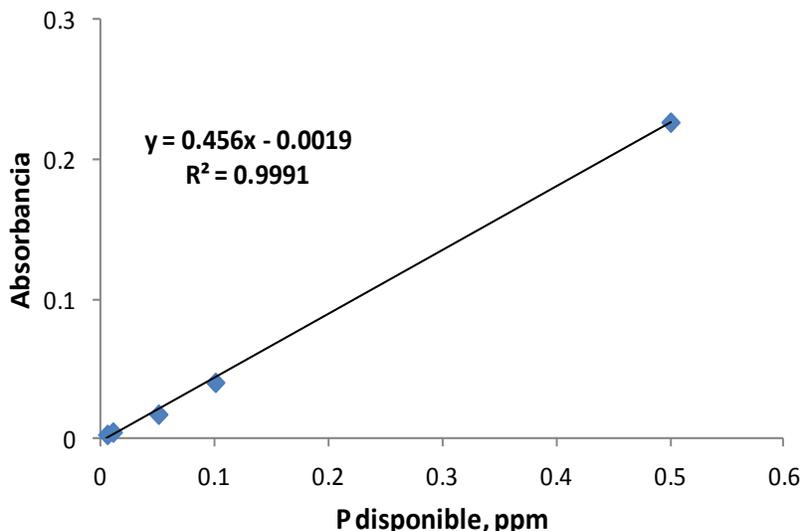


Figura 31. Curva de calibración para fósforo disponible. Rango: 0.005 ppm a 0.5 ppm.  $\lambda = 880 \text{ nm}$

Para el tercer grupo de ensayos se utilizó un fosfato poco soluble, el hidroxí trifosfato pentacalcio  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ , con la finalidad de determinar el tipo de digestión más adecuado para cuantificar el fósforo total. Se realizaron varias pruebas con la muestra de fosfato de calcio, en algunos casos se obtuvo resultados muy dispersos y lejanos al valor teórico, lo cual hizo que se descartara el uso de varios tipos de digestión descritos anteriormente (ver tabla 6).

En la tabla 12 se muestran los resultados del tipo de digestión con el cual se obtuvo el menor error. Se puede decir que la aplicación de la digestión triácida acoplada a la detección fotométrica permite determinar el contenido de fósforo con error de hasta 5 %. La curva de calibración utilizada se muestra en la figura 32.

Tabla 12. Resultado de pruebas de digestión triácida para fósforo total con fosfato de calcio

Muestra, g	A	Concentración, mg/kg	Concentración teórica calculada, mg/kg	% error
0.0107	0.3495	289.81	304.731	4.897
0.0122	0.4304	302.75	303.211	0.152
0.0121	0.3931	304.77	321.418	5.181
0.0142	0.4808	368.55	371.521	0.799

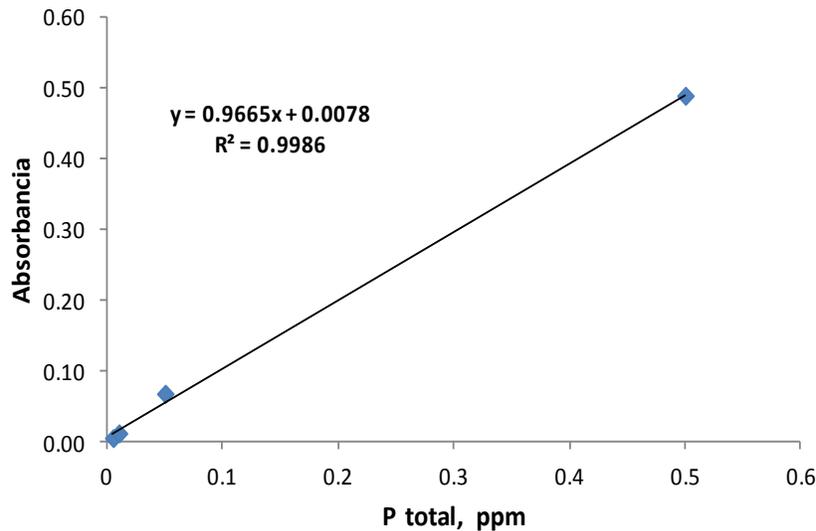


Figura 32. Curva de calibración para fósforo total en muestras de prueba de fosfato de calcio. Rango: 0.005 ppm a 0.5 ppm.  $\lambda = 880 \text{ nm}$

Luego de realizar estos ensayos para fósforo se pudo determinar que la aplicación de las digestiones tipo seca, húmeda y las basadas en las normas ASTM no son las más adecuadas para aplicarlas a las muestras de la represa debido a su poca reproducibilidad y alto error. La extracción con  $\text{NH}_4\text{F}/\text{HCl}$  es de mejor aplicación para la determinación de fósforo disponible. Por último, la digestión más adecuada para tratar las muestras obtenidas en campo y cuantificar el fósforo total es la digestión triácida.

### 3.1.2 Ensayos para nitrógeno Kjeldahl

En el caso de las muestras de agua de la laguna, se obtuvo un valor de referencia de 0.13 ppm N del informe del monitoreo del año 2011 que realiza SGS del Perú a las aguas de esta laguna. Para el agua del Punto A se obtuvo 0.237 ppm  $\pm$  82.3 % y para la muestra de agua del punto B se obtuvo 0.214 ppm  $\pm$  64.6 %. Errores altos como estos son característicos de la metodología Kjeldahl, pero pueden ser minimizados optimizando condiciones de ensayo y disminuyendo fuentes de error.

Se realizaron otros ensayos con arena de cuarzo (ensayos de reproducibilidad) y harina comercial sin preparar “Molitalia” (ensayos de exactitud). En la tabla 13 se presenta el promedio, desviación estándar y coeficiente de variación de nueve réplicas de análisis Kjeldahl con muestra de arena de cuarzo y harina comercial.

**Tabla 13. Resultado de análisis Kjeldahl en muestras de arena de cuarzo y harina comercial**

Matriz	Muestra, g	Promedio, %N	% CV
Arena de cuarzo	2.0223 ± 0.0047	0.003 ± 1.997E-04	6.62
Harina comercial	2.0159 ± 0.0011	1.2537 ± 0.0512 Valor teórico: 1.7544 % error: 28.54	4.08

### 3.1.3 Ensayos para materia orgánica

Los resultados de la aplicación del método ASTM D2974-07a para materia orgánica en distintos tipos de muestras se presentan en la tabla 14. Los métodos C y D de la norma descrita anteriormente fueron ensayados a todas las muestras de prueba.

**Tabla 14. Resultados del análisis de materia orgánica en muestras de sedimento y jardín**

Muestra	Materia Orgánica, %	
	Método C	Método D
Jardín Química	14.35 ± 0.35	8.60 ± 0.0
Jardín Laguna	17.80 ± 5.37	20.86 ± 0.28
Suelo Pabellón V	7.01 ± 0.028	17.69 ± 0.95
Sedimento Laguna	9.25 ± 0.07	27.45 ± 0.35
Sedimento S5 (primera campaña)	2.20 ± 0.10	13.85 ± 0.07

Los resultados obtenidos de los ensayos preliminares para nitrógeno Kjeldahl, fósforo soluble, disponible y total, y para materia orgánica permitieron determinar cuáles eran las metodologías más adecuadas a aplicar para el análisis de las muestras tomadas en las tres campañas de muestreo de la represa.

En el caso de nitrógeno Kjeldahl, se decidió continuar con la metodología adaptada de la norma ASTM D D2973-10e1, ya que se obtuvo valores coherentes, tanto para la prueba de blancos como para el uso de estándar. Se obtuvo desviaciones estándar del orden de  $10^{-2}$ , coeficientes de variación menores al 10%, pero el error obtenido es

considerablemente alto, lo cual indica que el método requiere mayor optimización. Esta adaptación permitió sustituir el catalizador de óxido de mercurio por uno menos tóxico como el sulfato de cobre; así mismo, se redujo las cantidades de reactivos a utilizar y volúmenes de residuos, lo cual lo hace un procedimiento acorde con los objetivos del presente trabajo.

En el caso de fósforo, los métodos probados no eran estandarizados por lo que debía ser confirmada su aplicabilidad para el tipo de muestras trabajadas. Para fósforo soluble, los resultados fueron óptimos, se obtuvo desviaciones estándar del orden de  $10^{-4}$  para cuatro réplicas, así como errores bajos de hasta 0.1 %. Estos ensayos permitieron determinar el tiempo adecuado de reacción (entre 20-25 min) para la formación del complejo a ser detectado por UV/Vis. En el caso de fósforo extraíble, se decidió continuar con la metodología basada en la extracción mediante  $\text{NH}_4\text{F}/\text{HCl}$ , con la cual se obtuvo desviaciones del orden de  $10^{-2}$  para cinco réplicas. Así mismo, los bajos volúmenes de soluciones y cantidades de reactivos a utilizar permitieron realizar un mayor número de réplicas y obtener c.a 1.5 L de residuos para el análisis de todas las muestras por este método, los cuales fueron neutralizados y dispuestos a pH neutro. Por último, para fósforo total, la serie de digestiones ensayadas permitió escoger la digestión tipo triácida ( $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-HNO}_3\text{-HClO}_4$ ) para aplicar a las muestras de represa, en base a la menor toxicidad de los reactivos, los bajos volúmenes de soluciones y cantidades de muestra y reactivos así como un menor porcentaje de error al ensayar con muestra de contenido conocido.

Finalmente, en el caso de materia orgánica, se decidió continuar aplicando el método C y D de la norma ASTM D2974-07a, con la cual se obtuvieron resultados reproducibles para distintos tipos de muestras.

## **3.2 Resultados de muestras de represa**

### **3.2.1 Características de los sedimentos**

#### **3.2.1.1 pH, conductividad, cloruros y carbonatos**

En la tabla 15 se presentan los resultados de las mediciones de pH, conductividad, cloruros y carbonatos para las muestras de sedimentos en soluciones acuosas en los tres muestreos. La desviación estándar proviene de dos réplicas.

Tabla 15. Valores de pH, conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), cloruros ( $\text{mg}/\text{kg}$ ) y carbonatos ( $\% \text{CaCO}_3$ )

Estación	Agosto 2011				Febrero 2012				Agosto 2012			
	pH	Conductividad	Cloruros	Carbonatos	pH	Conductividad	Cloruros	Carbonatos	pH	Conductividad	Cloruros	Carbonatos
S1	7.08 ± 0.03	223 ± 11.3	114.16	17.11 ± 0.69	7.55 ± 0.02	320 ± 2.1	168.72	15.18 ± 0.68	7.06 ± 0.01	170 ± 1.4	429.33	4.41 ± 0.35
S2									7.18 ± 0.02	141 ± 6.4	193.6	5.39 ± 0.69
S3					7.69 ± 0.01	233 ± 1.7	175.14	8.33 ± 0.01	7.11 ± 0.01	224 ± 3.5	104.24	3.67 ± 0.35
S4					7.75 ± 0.01	444 ± 2.3	84.34	18.37 ± 0.34	7.14 ± 0.01	431 ± 5.7	456.93	8.78 ± 0.35
S5	8.17 ± 0.04	650 ± 3.6	421.93	12 ± 0.35	7.61 ± 0.01	577 ± 2.8	144.06	21.71 ± 0.56	7.19 ± 0.03	207 ± 8.5	214.61	19.61 ± 0.69
S6					7.93 ± 0.04	1887 ± 4.9	1038.25	4.66 ± 0.17	7.03 ± 0.01	222 ± 2.1	110.68	7.83 ± 0.35

### 3.2.1.2 Granulometría

Los resultados del análisis granulométrico general (% de arena, limo y arcilla) se presentan en la tabla 16. En la figura 33 se muestra un ejemplo del análisis estadístico de estas fracciones y la clasificación y distribución del tamaño de partícula.

Tabla 16. Resultados del análisis de granulometría de sedimentos. Porcentajes de arena, limo y arcilla

Estación	Agosto 2011			Febrero 2012			Agosto 2012			
	Arena	Limo	Arcilla	Arena	Limo	Arcilla	Arena	Limo	Arcilla	
S1	70.0±0.04	27.1±3.04	2.9±0.01	78±0.02	18.8±0.24	3.2±0.02	74.1±0.01	22.3±0.16	3.6±0.52	
S2								61.7±0.10	35.6±0.54	2.7±0.06
S3					78.9±0.07	17.8±0.04	3.3±0.05	78.9±0.06	21.1±0.16	3.3±0.11
S4					56.2±0.01	39.6±0.58	4.2±0.06	69.7±0.06	26.8±4.01	3.5±0.63
S5	26.0±0.48	67.2±0.55	6.8±0.17	56.3±0.71	39.6±1.08	4.1±0.29	67.8±0.1	29.2±5.09	3.0±1.66	
S6					51.0±0.14	43.4±0.96	5.6±2.51	66.6±0.07	30.4±2.04	3.0±0.26

En la tabla 18 se muestran los resultados obtenidos del análisis estadístico de las fracciones obtenidas realizado con el programa GRADISTAT v8.0.

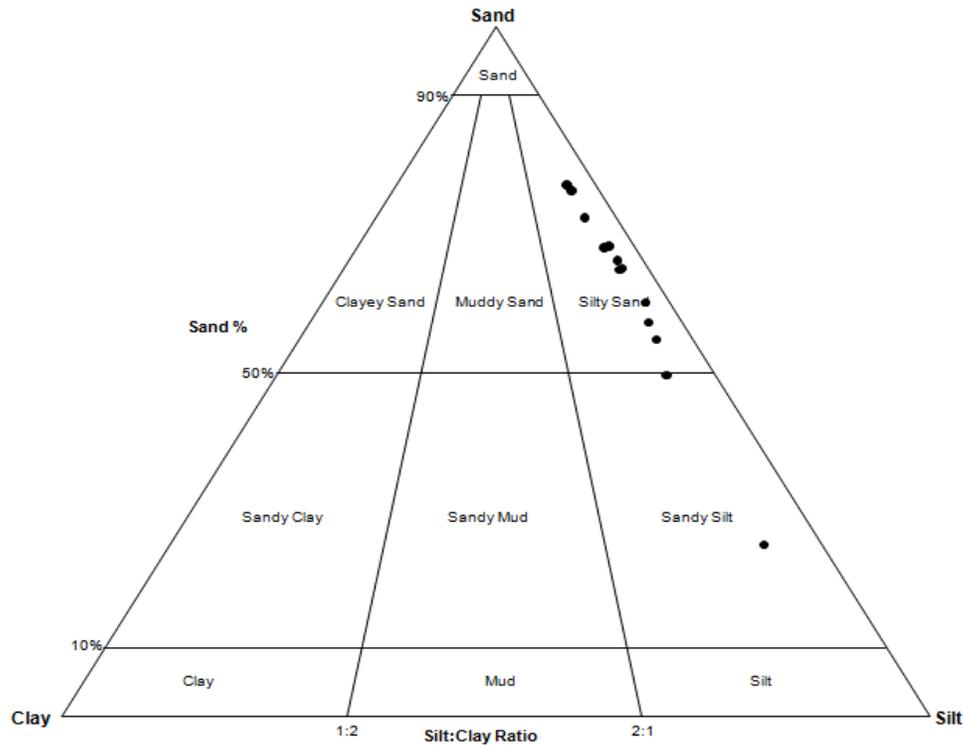


Figura 33. Diagrama de clasificación del tipo de sedimento según contenido de arena, limo y arcilla de todas las muestras estudiadas (puntos negros).

### 3.2.2 Nutrientes

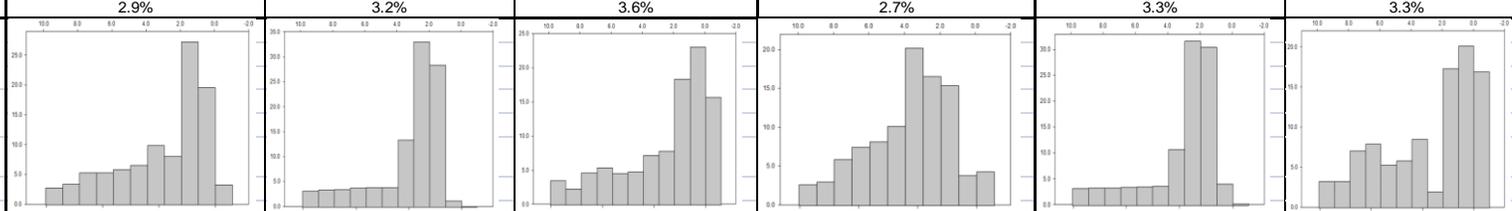
#### 3.2.2.1 Materia orgánica

Los resultados de materia orgánica a 440°C y 750°C en % se muestran en la tabla 17. El promedio y desviación estándar provienen de seis réplicas.

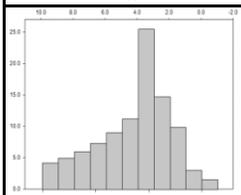
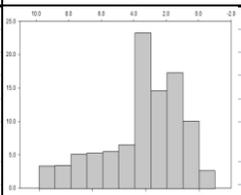
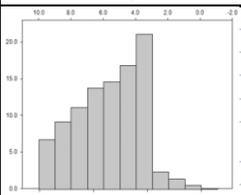
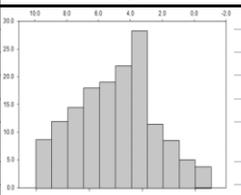
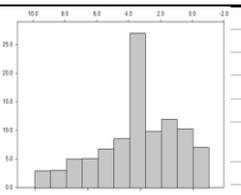
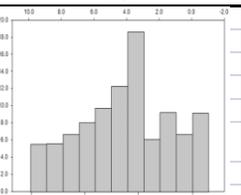
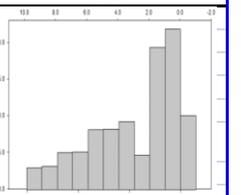
Tabla 17. Contenido porcentual de materia orgánica a 440°C y 750°C

Estación	Agosto 2011		Febrero 2012		Agosto 2012			
	440°C	750°C	440°C	750°C	440°C	750°C		
S1	2.34 ± 0.2	5.92 ± 0.18	1.92 ± 0.12	6.41 ± 0.2	1.94 ± 0.14	5.25 ± 0.30		
S2					2.62 ± 0.18	7 ± 0.12		
S3					1.7 ± 0.09	4.67 ± 0.06	2.22 ± 0.66	4.78 ± 0.47
S4					2.99 ± 0.06	7.27 ± 0.04	2.97 ± 0.18	6.19 ± 0.06
S5	2.3 ± 0.18	13.91 ± 0.08	3.08 ± 0.08	19.88 ± 0.11	3.44 ± 0.05	21.46 ± 0.03		
S6					12.04 ± 1.16	16.76 ± 2.08		
					1.73 ± 0.12	3.76 ± 0.14		

**TABLA 18. Evaluación estadística de parámetros granulométricos y distribución de tamaño de partícula para cada muestra de sedimento**

		S1			S2	S3	
Fecha de muestreo		Agosto 2011	Febrero 2012	Agosto 2012	Agosto 2012	Febrero 2012	Agosto 2012
Tipo de muestra		Bimodal, muy mal clasificada	Unimodal, muy mal clasificada	Trimodal, muy mal clasificada	Bimodal, muy mal clasificada	Unimodal, muy mal clasificada	Trimodal, muy mal clasificada
Grupo Textural		Arena lodo	Arena lodo	Arena lodo	Arena lodo	Arena lodo	Arena lodo
Tipo de sedimento		Arena limosa media muy gruesa	Arena limosa fina muy gruesa	Arena media limosa gruesa	Arena limosa muy fina muy gruesa	Arena limosa fina muy gruesa	Arena media limosa gruesa
Método FOLK	Media: ( $M_G$ ):	130.3	108.9	172.6	72.12	119.4	145.4
Y WARD	Selección ( $\sigma_G$ ):	6.338	4.329	7.448	5.550	4.410	8.590
( $\mu m$ )	Asimetría ( $Sk_G$ ):	-0.540	-0.535	-0.500	-0.204	-0.541	-0.484
	Curtosis ( $K_G$ ):	0.920	1.533	0.978	1.010	1.543	0.742
Método FOLK	Media:	Arena fina	Arena muy fina	Arena fina	Arena muy fina	Arena muy fina	Arena fina
Y WARD	Selección:	muy mal clasificado	muy mal clasificado	muy mal clasificado	muy mal clasificado	muy mal clasificado	muy mal clasificado
(Descripción)	Asimetría:	Sesgo muy fino	Sesgo muy fino	Sesgo muy fino	Sesgo fino	Sesgo muy fino	Sesgo muy fino
	Curtosis:	Mesocúrtica	Muy leptocúrtica	Mesocúrtica	Mesocúrtica	Muy leptocúrtica	Platicúrtica
PERCENTILES	D <sub>10</sub> ( $\mu m$ ):	6.184	7.564	6.975	6.304	7.577	5.354
	D <sub>50</sub> ( $\mu m$ ):	259.1	167.3	343.1	92.52	183.6	312.8
	D <sub>90</sub> ( $\mu m$ ):	796.0	405.6	1300.1	465.0	443.1	1341.7
	(D <sub>90</sub> / D <sub>10</sub> ) ( $\mu m$ ):	128.7	53.63	186.4	73.76	58.47	250.6
	(D <sub>90</sub> - D <sub>10</sub> ) ( $\mu m$ ):	789.8	398.1	1293.1	458.7	435.5	1336.3
	(D <sub>75</sub> / D <sub>25</sub> ) ( $\mu m$ ):	13.05	3.902	14.09	9.785	3.975	34.10
	(D <sub>75</sub> - D <sub>25</sub> ) ( $\mu m$ ):	444.8	211.2	715.8	216.3	237.3	751.0
DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTICULA	% GRAVA:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	% ARENA:	69.9%	78.0%	74.1%	61.7%	78.9%	66.5%
	% LODO (LIMO+ARCILLA):	30.1%	22.0%	25.9%	38.3%	21.1%	33.5%
	% ARENA MUY GRUESA:	3.4%	0.0%	16.1%	4.4%	0.3%	17.4%
	% ARENA GRUESA:	20.1%	1.2%	23.7%	4.0%	4.2%	20.6%
	% ARENA MEDIA:	28.0%	29.2%	18.8%	15.8%	31.1%	17.7%
	% ARENA FINA:	8.3%	33.9%	8.0%	16.9%	32.2%	2.0%
	% ARENA MUY FINA:	10.2%	13.7%	7.5%	20.7%	11.0%	8.7%
	% LIMO MUY GRUESO:	6.7%	4.0%	4.9%	10.4%	3.7%	6.0%
	% LIMO GRUESO:	6.0%	3.9%	4.7%	8.4%	3.7%	5.4%
	% LIMO MEDIO:	5.5%	3.9%	5.6%	7.6%	3.6%	8.1%
	% LIMO FINO:	5.4%	3.5%	4.8%	6.0%	3.4%	7.3%
% LIMO MUY FINO:	3.5%	3.4%	2.4%	3.1%	3.4%	3.4%	
% ARCILLA:	2.9%	3.2%	3.6%	2.7%	3.3%	3.3%	
<b>HISTOGRAMAS</b>							
Eje superior: diámetro de partícula en escala phi							
Eje inferior: diámetro de partícula en um							
Eje Y: Categoría de peso							

**TABLA 18. Evaluación estadística de parámetros granulométricos y distribución de tamaño de partícula para cada muestra de sedimento (continuación)**

	S4		S5			S6	
	Febrero 2012	Agosto 2012	Agosto 2011	Febrero 2012	Agosto 2012	Febrero 2012	Agosto 2012
	Unimodal, muy mal clasificada	Bimodal, muy mal clasificada	Unimodal, muy mal clasificada	Unimodal, muy mal clasificada	Bimodal, muy mal clasificada	Trimodal, muy mal clasificada	Bimodal, muy mal clasificada
	Arena lodo	Arena lodo	lodo arenoso	Arena lodo	Arena lodo	Arena lodo	Arena lodo
	Arena limosa muy fina muy gruesa	Arena limosa muy fina muy gruesa	Limo muy grueso arenoso muy fino	Arena muy fina limosa muy gruesa	Arena muy fina limosa muy gruesa	Arena muy fina limosa muy gruesa	Arena gruesa limosa muy gruesa
Método FOLK	52.22	85.09	19.63	58.51	92.72	59.12	148.3
Y WARD	5.277	5.899	4.192	5.862	6.200	8.228	7.034
( $\mu\text{m}$ )	-0.304	-0.257	-0.186	-0.209	-0.098	-0.070	-0.454
	1.029	1.100	0.780	1.160	1.098	0.924	0.841
Método FOLK	Limo muy grueso	Arena muy fina	Limo grueso	Limo muy grueso	Arena muy fina	Limo muy grueso	Arena fina
Y WARD	muy mal clasificado	muy mal clasificado	muy mal clasificado	muy mal clasificado	muy mal clasificado	muy mal clasificado	muy mal clasificado
(Descripción)	Sesgo muy fino	Sesgo muy fino	Sesgo muy fino	Sesgo muy fino	Simétrica	Simétrica	Sesgo muy fino
	Mesocúrtica	Mesocúrtica	Platicúrtica	Leptocúrtica	Mesocúrtica	Mesocúrtica	Platicúrtica
PERCENTILES	4.184	5.747	2.465	4.691	6.560	3.309	6.452
	73.58	110.9	22.89	76.92	97.65	64.78	271.3
	347.5	617.7	104.4	467.7	835.1	941.3	1018.7
	83.04	107.5	42.37	99.71	127.3	284.5	157.9
	343.3	612.0	102.0	463.0	828.6	938.0	1012.3
	8.670	8.673	9.701	8.103	9.417	19.03	20.19
	138.8	278.7	57.91	144.8	296.9	248.8	601.4
DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTICULA	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	56.2%	69.7%	26.0%	58.7%	67.8%	51.0%	66.6%
	43.8%	30.3%	74.0%	41.3%	32.2%	49.0%	33.4%
	1.6%	2.8%	0.1%	3.9%	7.3%	9.4%	10.3%
	3.1%	10.3%	0.5%	5.2%	10.5%	6.8%	22.3%
	10.2%	17.8%	1.4%	8.8%	12.2%	9.5%	19.8%
	15.1%	15.0%	2.4%	11.8%	10.1%	6.3%	4.8%
	26.2%	23.8%	21.6%	28.9%	27.6%	19.0%	9.5%
	11.5%	6.7%	17.3%	11.2%	8.8%	12.6%	8.4%
	9.3%	5.7%	15.0%	8.3%	6.9%	9.9%	8.3%
	7.5%	5.5%	14.1%	7.2%	5.2%	8.3%	5.2%
	6.1%	5.3%	11.4%	6.2%	5.2%	6.8%	5.2%
	5.1%	3.5%	9.4%	4.5%	3.1%	5.7%	3.3%
4.3%	3.5%	6.8%	3.9%	3.0%	5.6%	3.0%	
							

### 3.2.2.2 Fósforo disponible y total

Los resultados de las pruebas de blanco de matriz y de método para el análisis de fósforo total se presentan en la tabla 19 respectivamente. En ambos casos, se tiene el promedio del blanco, su desviación estándar y coeficiente de variación. Los resultados de las pruebas con blanco de método para el análisis de fósforo disponible se presentan en la tabla 20.

**Tabla 19. Resultados de blanco de matriz y de método para fósforo total**

<b>Blanco matriz: Arena de cuarzo marca COMACSA</b>				
Muestra	Concentración, mg/kg	Promedio	Desviación estándar	CV
0.0500	0.00807	0.008102	3.8987E-05	48.12%
0.0505	0.00813			
0.0507	0.00813			
0.0505	0.00813			
0.0500	0.00805			
<b>Blanco método: Mezcla triácida HNO<sub>3</sub>-HClO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>				
Muestra	Concentración, mg/kg	Promedio	Desviación estándar	CV
-	0.00782	0.00784	2.8284E-05	36.08%
-	0.00786			

**Tabla 20. Resultados de blanco de método para fósforo disponible**

<b>Blanco método: solución NH<sub>4</sub>F/HCl</b>					
n°	A	Concentración, mg/kg	Promedio	Desviación estándar	CV
1	0.0016	0.00768	0.00710	0.00036	5.046%
2	0.0012	0.00681			
3	0.0014	0.00725			
4	0.0012	0.00681			
5	0.0014	0.00725			
6	0.0012	0.00681			

El valor promedio de estos blancos fue restado a lo obtenido en el análisis de las muestras de la represa. Para el análisis de fósforo total en las muestras de la represa se utilizó la curva de calibración de la figura 32. Así mismo, para el análisis de fósforo disponible en las muestras de la represa se utilizó la curva de calibración de la figura 34.

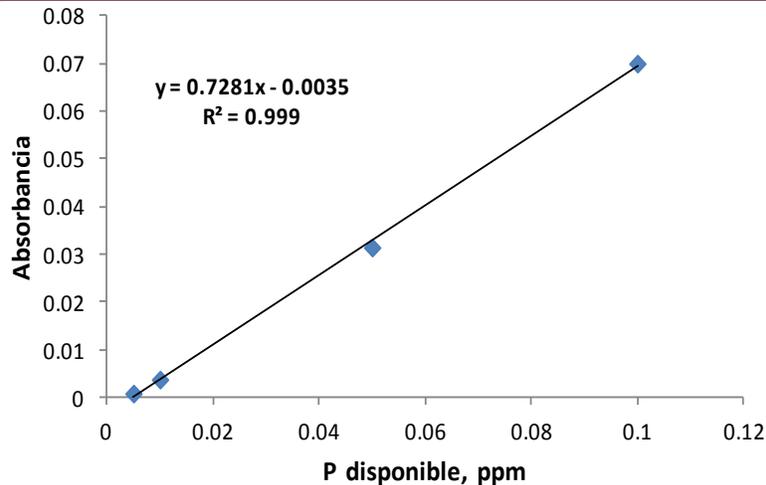


Figura 34. Curva de calibración para fósforo disponible en muestras de represa. Rango: 0.005 ppm a 0.5 ppm.  $\lambda = 880 \text{ nm}$

En la tabla 21 se presentan los resultados obtenidos en los análisis de fósforo total y disponible para los sedimentos de la represa. El promedio y desviación estándar provienen de tres réplicas.

Tabla 21. Resultado del análisis de fósforo disponible y total en sedimentos (mg/kg)

Estación	Agosto 2011		Febrero 2012		Agosto 2012			
	P disponible	P total	P disponible	P total	P disponible	P total		
S1	0.79 ± 0.48	17.54 ± 0.48	0.22 ± 0.02	6.09 ± 4.46	0.88 ± 0.14	20.33 ± 2.31		
S2					0.32 ± 0.17	18.52 ± 3.14		
S3					0.91 ± 0.12	60.60 ± 3.16	1.29 ± 0.10	5.77 ± 1.43
S4					0.23 ± 0.04	18.33 ± 4.56	4.72 ± 0.06	33.19 ± 0.52
S5	0.11 ± 0.02	6.11 ± 0.02	0.16 ± 0.02	18.28 ± 2.41	2.89 ± 0.39	43.13 ± 1.63		
S6			3.09 ± 0.69	107.19 ± 1.18	0.49 ± 0.16	15.82 ± 0.59		

### 3.2.2.3 Determinación de nitrógeno Kjeldahl

Los resultados de las pruebas de blanco de método y de matriz para el análisis de nitrógeno se presentan en la tabla 22. En ambos casos se tiene el promedio del blanco, su desviación estándar y coeficiente de variación. El promedio de las moles de N del blanco de método fueron restadas de las moles obtenidas de cada muestra de la represa.

Tabla 22. Resultados de blanco de método y blanco de matriz para nitrógeno Kjeldahl

Pruebas de blanco de método				
Muestra	Moles de N	Promedio	Desviación Estándar	CV
Sólo reactivos	0.00108	0.001124	5.12835E-05	4.56%
	0.00112			
	0.00119			
	0.00107			
	0.00116			
Pruebas de blanco de matriz				
Muestra	Moles de N	Promedio	Desviación Estándar	CV
Arena de Cuarzo	0.00123	0.001303	5.12348E-05	3.93%
	0.00131			
	0.00132			
	0.00135			

En la tabla 23 se presentan los resultados para nitrógeno Kjeldahl %N para las muestras de sedimento de la represa. El promedio y desviación estándar provienen de dos réplicas.

Tabla 23. Resultados del análisis de nitrógeno Kjeldahl en sedimentos (%N)

Estación	Agosto 2011	Febrero 2012	Agosto 2012
S1	0.158 ± 0.01	0.148 ± 0.01	0.149 ± 0.01
S2			0.151 ± 0.01
S3		0.098 ± 0.01	0.158 ± 0.01
S4		0.093 ± 0.02	0.149 ± 0.01
S5	0.206 ± 0.01	0.106 ± 0.01	0.169 ± 0.01
S6		0.160 ± 0.01	0.207 ± 0.03

### 3.2.3 Metales extraíbles

Las curvas de calibración utilizadas se muestran en la figura 34 y 35. En la tabla 24 se muestran los resultados de todos los metales estudiados.

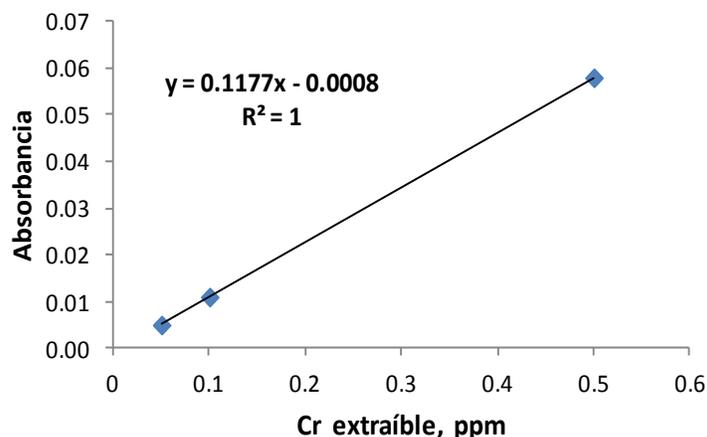


Figura 35. Curva de calibración para cromo extraíble.  $\lambda=357.9$  nm

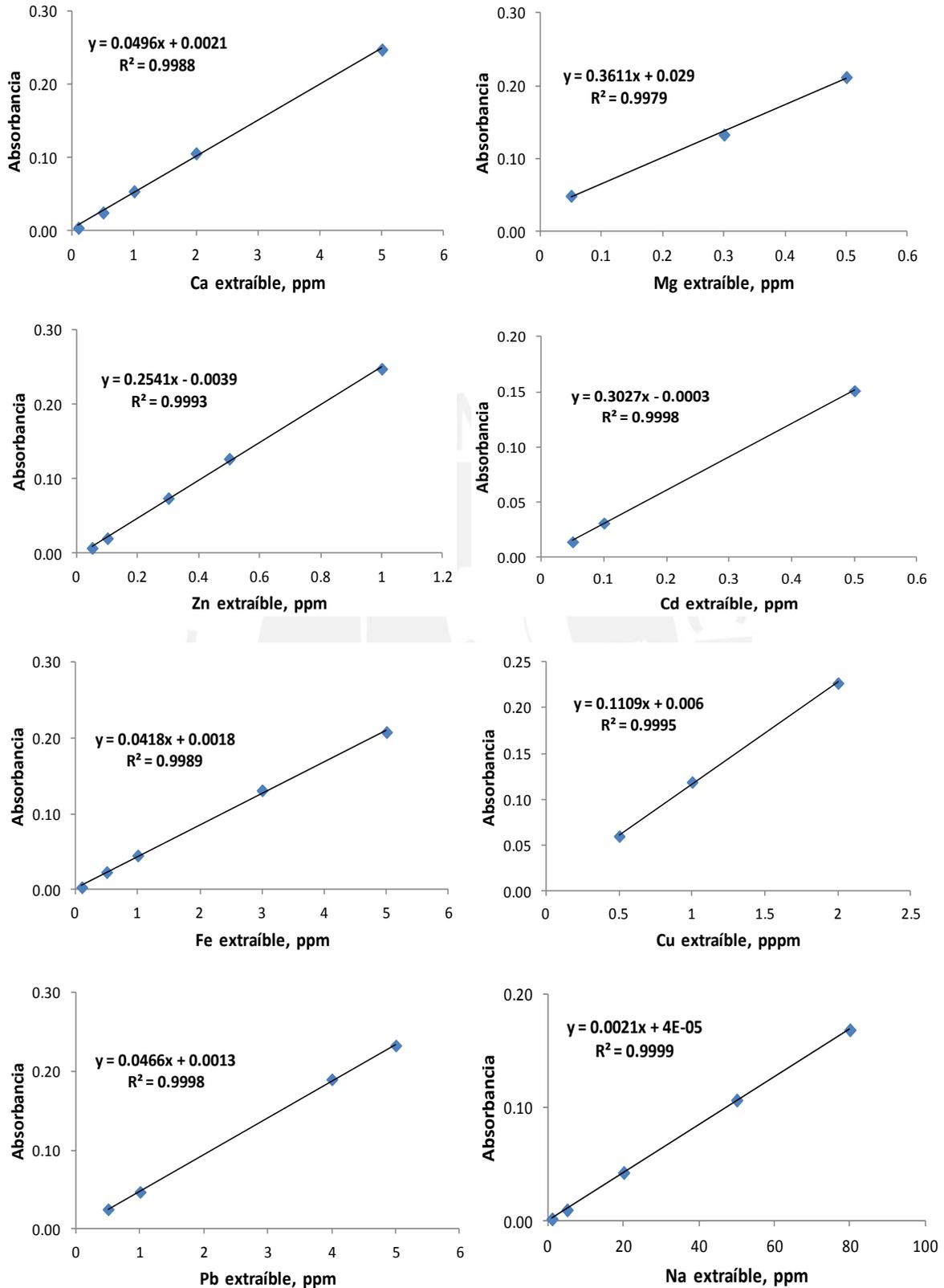


Figura 36. Curvas de calibración para Ca ( $\lambda=422.7$  nm), Mg ( $\lambda=285.3$  nm), Na ( $\lambda=330.2$  nm), Fe ( $\lambda=248.3$  nm), Zn ( $\lambda=213.9$  nm), Cu ( $\lambda=324.8$  nm), Pb ( $\lambda=217.0$  nm) y Cd ( $\lambda=228.8$  nm) extraíbles.

Tabla 24. Resultados del análisis de metales extraíbles (Ca, Mg, Na, Fe, Cd, Cu, Zn, Pb, Cr) en mg/kg

Mues treo	Metal	Estaciones						
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	
Agosto 2011	Ca	113.74 ± 0.003						202.1 ± 0.003
	Mg	3.29 ± 0.002						28.75 ± 0.008
	Na	19.75 ± 0.001						42.98 ± 0.001
	Fe	18358.6 ± 0.001						27650.3 ± 0.001
	Cd	0.142 ± 0.001						1.199 ± 0.001
	Cu	5.33 ± 0.004						28.37 ± 0.002
	Zn	55.75 ± 0.001						93.96 ± 0.001
	Pb	4.82 ± 0.001						31.37 ± 0.001
	Cr	1.00 ± 0.001						7.28 ± 0.001
Febrero 2012	Ca	119.01 ± 0.003		92.33 ± 0.001	134.54 ± 0.001	142.24 ± 0.002	177.44 ± 0.004	
	Mg	8.6 ± 0.002		7.3 ± 0.001	14.58 ± 0.003	11.83 ± 0.002	44.19 ± 0.003	
	Na	11.33 ± 0.004		13.19 ± 0.003	18.97 ± 0.004	47.42 ± 0.003	127.78 ± 0.001	
	Fe	18068.0 ± 0.001		12920.5 ± 0.001	18052.6 ± 0.001	19894.8 ± 0.002	17786.1 ± 0.001	
	Cd	0.769 ± 0.001		0.703 ± 0.001	1.923 ± 0.001	1.955 ± 0.001	0.109 ± 0.008	
	Cu	11.52 ± 0.003		10.57 ± 0.001	26.97 ± 0.001	18.37 ± 0.001	2.523 ± 0.003	
	Zn	56.48 ± 0.001		53.75 ± 0.002	130.98 ± 0.001	126.46 ± 0.001	60.47 ± 0.001	
	Pb	25.44 ± 0.001		22.39 ± 0.002	33.12 ± 0.001	27.17 ± 0.001	4.03 ± 0.001	
	Cr	3.04 ± 0.001		3.46 ± 0.001	7.02 ± 0.001	8.54 ± 0.001	1.42 ± 0.001	
Agosto 2012	Ca	70.29 ± 0.006	110.77 ± 0.005	95.71 ± 0.007	133.77 ± 0.003	153.23 ± 0.006	57.16 ± 0.006	
	Mg	2.85 ± 0.001	6.81 ± 0.001	3.46 ± 0.001	4.10 ± 0.002	7.81 ± 0.005	0.37 ± 0.004	
	Na	18.09 ± 0.001	31.54 ± 0.001	15.12 ± 0.001	14.12 ± 0.001	27.76 ± 0.001	11.36 ± 0.001	
	Fe	19664.9 ± 0.001	21590.2 ± 0.001	18692.3 ± 0.001	28916.9 ± 0.001	27749.9 ± 0.001	18007.5 ± 0.001	
	Cd	0.149 ± 0.001	0.208 ± 0.001	0.1387 ± 0.001	0.373 ± 0.001	0.472 ± 0.003	0.1354 ± 0.003	
	Cu	4.69 ± 0.001	6.473 ± 0.002	3.58 ± 0.002	11.37 ± 0.002	8.64 ± 0.002	4.688 ± 0.001	
	Zn	49.48 ± 0.001	57.99 ± 0.002	51.45 ± 0.001	140.99 ± 0.001	108.34 ± 0.001	47.14 ± 0.001	
	Pb	2.32 ± 0.001	4.88 ± 0.002	3.15 ± 0.002	10.74 ± 0.001	7.45 ± 0.001	3.18 ± 0.002	
	Cr	1.00 ± 0.001	1.00 ± 0.001	1.26 ± 0.001	2.95 ± 0.001	2.61 ± 0.001	1.26 ± 0.001	

Finalmente, en la tabla 25, se muestran las correlaciones entre todos los parámetros estudiados en las muestras de sedimento de la represa.

Tabla 25. Correlaciones entre parámetros estudiados en sedimentos

	pH	conductividad	cloruros	carbonatos	MO a 440°C	MO a 750°C	N org	P disp	P total	Mg	Ca	Na	Fe	Zn	Cu	Cd	Pb	Cr	Arena	Limo	
<b>pH</b>																					
<b>conductividad</b>	0.616																				
<b>cloruros</b>	0.391	<b>0.859</b>																			
<b>carbonatos</b>	0.192	-0.141	-0.418																		
<b>MO a 440°C</b>	0.398	<b>0.942</b>	<b>0.852</b>	-0.193																	
<b>MO a 750°C</b>	0.414	0.475	0.338	0.497	0.479																
<b>N org</b>	-0.163	0.055	0.221	-0.293	0.040	0.037															
<b>P disp</b>	-0.173	0.342	0.551	-0.214	0.462	0.215	0.100														
<b>P total</b>	0.310	0.734	0.744	-0.240	<b>0.831</b>	0.351	-0.146	0.558													
<b>Mg</b>	<b>0.817</b>	<b>0.918</b>	0.774	-0.054	<b>0.817</b>	0.543	0.097	0.147	0.603												
<b>Ca</b>	<b>0.727</b>	0.611	0.483	0.352	0.502	0.725	0.096	0.235	0.283	0.779											
<b>Na</b>	0.533	<b>0.946</b>	<b>0.833</b>	-0.144	<b>0.946</b>	0.596	0.093	0.272	0.737	<b>0.894</b>	0.603										
<b>Fe</b>	-0.048	-0.043	0.166	0.168	-0.051	0.412	<b>0.451</b>	<b>0.477</b>	-0.183	0.056	0.519	-0.015									
<b>Zn</b>	0.239	0.080	-0.026	0.585	0.008	0.462	-0.318	0.345	-0.055	0.106	0.521	-0.001	0.580								
<b>Cu</b>	0.661	0.006	-0.190	0.545	-0.228	0.246	-0.234	-0.320	-0.325	0.263	0.538	-0.093	0.275	0.653							
<b>Cd</b>	0.585	0.037	-0.283	0.687	-0.154	0.359	-0.532	-0.382	-0.239	0.190	0.395	-0.030	0.011	0.663	<b>0.876</b>						
<b>Pb</b>	0.729	0.032	-0.228	0.571	-0.212	0.194	-0.428	-0.390	-0.227	0.249	0.442	-0.096	-0.005	0.509	<b>0.910</b>	<b>0.899</b>					
<b>Cr</b>	0.665	0.115	-0.162	0.629	-0.119	0.442	-0.366	-0.291	-0.209	0.289	0.530	0.044	0.172	0.696	<b>0.915</b>	<b>0.960</b>	<b>0.896</b>				
<b>Arena</b>	-0.696	-0.501	-0.377	-0.172	-0.322	-0.510	-0.307	0.138	-0.053	-0.712	-0.761	-0.522	-0.412	-0.356	-0.634	-0.426	-0.417	-0.575			
<b>Limo</b>	0.671	0.478	0.346	0.164	0.304	0.504	0.322	-0.149	0.021	<b>0.691</b>	<b>0.752</b>	0.507	0.421	0.352	0.627	0.419	0.399	0.567	-0.998		
<b>Arcilla</b>	<b>0.837</b>	0.685	0.598	-0.015	0.462	0.430	0.208	-0.003	0.238	<b>0.847</b>	<b>0.754</b>	<b>0.615</b>	0.241	0.239	0.554	0.362	0.443	0.530	-0.856	<b>0.840</b>	

## 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1 Ensayos preliminares

La falta de métodos estandarizados para evaluar el contenido de nutrientes en matrices de sedimentos llevó a que se realizaran una serie de ensayos para asegurar que la aplicación de las metodologías propuestas permita obtener resultados confiables. Sobre todo, se buscó garantizar que los métodos a utilizar demuestren buena reproducibilidad y exactitud y que sean aplicables a este complicado tipo de matriz que, en muchos casos, produce sesgos debido a su variabilidad.

#### 4.1.1 Ensayos para fósforo disponible y total

Según los resultados mostrados en la tabla 9, para la muestra de agua de laguna en el punto A que fue preservada, se obtuvo un valor de 0.0174 ppm de P disuelto con un error de 13 %. Así mismo, para la muestra sin preservar se obtuvo 0.0190 ppm con un error del 5 %, en ambos casos los errores son respecto al valor de referencia de 0.02 ppm P. Para el agua en el punto B, se obtuvo 0.0230 ppm de P disuelto para la muestra preservada, con un error de 15 % y para la muestra sin preservar se obtuvo 0.0245 ppm con un error de 23 %. Se observa que los valores de P para las muestras sin preservar son mayores que para las preservadas; este incremento se puede deber a los procesos de descomposición que se llevan a cabo durante el traslado y análisis de las muestras sin preservar. Además, se observa que la diferencia entre ambas condiciones para ambos puntos es muy similar, una diferencia de 0.0015 ppm para las muestras del punto B y 0.0016 ppm para las muestras del punto A.

Si bien es cierto que la muestra en el punto B señala un mayor contenido de fósforo disuelto en ambas condiciones (preservada y sin preservar) que el punto A, esto es lo contrario para el contenido de fósforo total. Para el agua del punto A sin preservar, se obtuvo un valor de 0.051 ppm con un error de 27.5 % respecto al valor de referencia de 0.04 ppm de P total. En el punto B se obtuvo 0.0439 ppm con un error de 9.8 %.

Para poder explicar esta última situación se tiene que tener en cuenta otros factores como el pH y la conductividad del agua muestreada. Vale mencionar los valores de conductividad y pH que también se aprecian en la tabla 9. Se tiene un valor de 2.64 mS/cm para el agua del punto A y 2.38 mS/cm para el agua del punto B. En el punto A se

tiene un pH de 7.31 y de 7.45 en el punto B. Estos resultados pueden ayudar a decir que, debido a que el agua del punto A tiene un pH cercano al rango adecuado para la disponibilidad del fósforo (entre 5.5 y 7.0), el fósforo se encuentra más disponible en el punto A que en el B. Además, la mayor conductividad en el punto A se debe a que es un lugar de muestreo cercano a las bombas que succionan el agua para el abastecimiento de las operaciones en la refinería por lo que se remueven constantemente los sedimentos de la laguna y hacen que los nutrientes, como materia orgánica y fósforo, estén más disponibles en esas aguas.

Es importante señalar que se desconocen los lugares de muestreo en la laguna de los cuales se generan los valores de referencia de 0.02 ppm P para P disponible y 0.04 para P total. Sin embargo, estos valores brindan una idea general de la calidad de las aguas de esta laguna al suponerse que el muestreo de vigilancia se efectúa en lugares representativos con lo que se permite evaluar la correcta aplicación de los métodos a utilizar.

En un segundo muestreo a la semana siguiente, se tomaron muestras en los mismos puntos con la finalidad de determinar el adecuado tiempo de reacción para la formación del complejo de fosfomolibdato (color azul) antes de la detección por UV/Vis. En la tabla 10 se puede observar la influencia del tiempo de reacción en la cuantificación. Se observa que los valores para fósforo disuelto a los 10 minutos de reacción son aproximadamente entre 40-45% menores que los valores realizados a los 25 minutos de reacción.

A 25 minutos de reacción, para la muestra del punto A se obtuvo un valor promedio de  $0.0133 \pm 9.832E-04$  ppm con un error de 33.5 % respecto al 0.02 ppm de P de valor de referencia. Para la muestra del punto B se obtuvo una concentración promedio de  $0.0135 \pm 5.795E-04$  con un error de 32 % respecto al 0.02 ppm de referencia. Estos valores tienen porcentajes de error similares y altos respecto a los valores obtenidos en el primer muestreo, los cuales fueron analizados con 20 minutos de reacción. Esto se puede deber a que son diferentes muestras tomadas en distintos días y se desconocen las condiciones de operación de la laguna en esos instantes. No obstante, en base a los resultados (% error) se puede decir que un tiempo de reacción entre 20 y 25 minutos es adecuado para la correcta formación del complejo con fósforo. Tiempos de reacción menores podrían resultar en errores de alrededor del 75 % (10 minutos de reacción) y tiempos de reacción

mayores podrían llevar a descomposición del complejo por la luz (color azul muy intenso) y generación de otro tipo de complejos.

Además, los resultados muestran desviaciones estándar muy pequeñas provenientes de ensayos por cuadruplicado, lo cual indica la alta repetibilidad del método.

El segundo grupo de ensayos fue para determinar la correcta aplicación del método de extracción para fósforo disponible, el cual utiliza  $\text{NH}_4\text{F}/\text{HCl}$  para la extracción. En la tabla 11 se observa que, para cantidades de muestra similares (1.0000 g), se obtienen concentraciones similares con una desviación estándar de 0.0125. Estos ensayos también se realizaron en diferentes días obteniendo resultados consistentes. Los ensayos se hicieron con la muestra de la estación S5 que se tomó en el primer muestreo de reconocimiento del área de estudio que, conjuntamente con la muestra de la estación S1, fueron las dos únicas muestras que se tomaron en la primera salida.

Por último, para el tercer grupo de ensayos se utilizó el trifosfato de calcio para estudiar varios tipos de digestiones para determinar fósforo total. Se utilizó este compuesto debido a que es una de las sales de fósforo menos solubles en agua y ácido, lo que permite que pueda ser empleado como una muestra problema y pueda ser digerido. Las pruebas realizadas con las digestiones seca, húmeda y las otras dos basadas en normas ASTM no dieron resultados precisos ya que siempre se obtuvo valores distintos bajo las mismas condiciones de ensayo; en algunos casos no se llegaba a disolver la sal y en otros los resultados eran muy dispersos y alejados del valor teórico calculado. Luego, sólo se obtuvo buenos resultados con el tipo de digestión triácida. Según los resultados de la tabla 12, se puede decir que la aplicación de la digestión triácida acoplada a la detección fotométrica permite determinar el contenido de fósforo total con un error de hasta 5 %.

#### 4.1.2 Ensayos para nitrógeno Kjeldahl

Los ensayos consistieron en pruebas con diferentes matrices. Las pruebas con agua, sacarosa, cloruro de amonio y suelos permitieron familiarizarse con la metodología aunque en algunos casos los resultados tuvieron un alto porcentaje de error. En la tabla 22 se presenta el promedio, desviación estándar y coeficiente de variación de nueve replicas de análisis Kjeldahl con muestra de arena de cuarzo y harina comercial. Ambas muestras sólidas de fácil disponibilidad y acceso en el laboratorio. En el primer caso se

asume que la arena de cuarzo tiene un bajo contenido de nitrógeno ya que sólo está compuesta de  $\text{SiO}_2$ , sin embargo, se puede presentar contaminación en trazas. Se obtuvo un valor de  $0.003 \pm 1.997\text{E-}04$  % N. Esta pequeña desviación proviene de nueve réplicas. Por otro lado, las pruebas con harina comercial de contenido de proteína (nitrógeno Kjeldahl) conocido permite verificar la exactitud del método. Se obtuvo un valor de  $1.2537 \pm 0.0512$ , cuya desviación estándar proviene de cuatro réplicas. Respecto al valor teórico se tiene un 28.54 % de error. Ambos ensayos nos permitieron verificar que esta metodología es aplicable a muestras sólidas con una repetibilidad y exactitud considerables, sin embargo, en el caso del porcentaje de error, este requiere mayor optimización.

#### 4.1.3 Ensayos para materia orgánica

Las pruebas con muestras de sedimento y suelo se presentan en la tabla 14. Para el método C ( $440^\circ\text{C}$ ) el valor más alto (17.80 %) lo tiene la muestra de jardín contiguo a la laguna de donde se tomaron muestras de agua. Esto podría deberse a que es una zona de cultivo constantemente abonada. Algo similar puede ocurrir con el segundo valor más alto que pertenece a la muestra de jardín de la Sección Química. Por otro lado, en el caso del suelo del Pabellón V se tiene un promedio de  $7.01 \pm 0.028$  %, debido a que no es una zona de jardines y tiene un menor contenido de materia orgánica, lo que se evidencia en el alto contenido de carbono inorgánico a  $750^\circ\text{C}$ , de  $17.69 \pm 0.95$  %.

El sedimento de la laguna tiene el valor más alto para el método D,  $27.45 \pm 0.35$  %. Este es un valor esperado ya que a simple vista se pudo comprobar la alta carga orgánica que presentaba la laguna debido a los desechos de algunos animales que habitan allí (patos, peces y algunas aves). Por último, en el caso del sedimento de la estación S5 (muestra preliminar tomada en la primera campaña), se tiene el valor más bajo,  $2.20 \pm 0.10$  % usando el método C y  $13.85 \pm 0.07$  % con el método D. Esto indica que los sedimentos son pobres en materia orgánica y pueden tener mayor contenido de compuestos inorgánicos como carbonatos.

#### 4.2 Características de los sedimentos de la represa

Para analizar los resultados obtenidos se debe tener en cuenta que no existen normas o estándares de calidad de sedimentos en el Perú. Además, no existe información sobre monitoreo de sedimentos que se haya realizado por PEJEZA o alguna otra entidad en la misma zona de estudio. La información que se maneja sobre sedimentos no es

actualizada y en su mayoría se refiere al grado de colmatación (pérdida de volumen útil) que ocasionan los sedimentos, pero no se hace referencia a la calidad química y características físicas de estos.

La única información que puede permitir contrastar nuestros resultados es la que se obtuvo en un muestreo realizado en mayo del 2009 en la misma zona de estudio y cuyos resultados son parte de un trabajo de tesis que se cita en la bibliografía (Walter, 2010).

La información que se presenta en las siguientes tablas 27, 28, y 29, contiene los resultados de la evaluación de algunos parámetros comunes en ambos estudios que permitirán comparar la información obtenida. De todos los puntos de muestreo que se consideraron en ese estudio sólo los puntos denominados por Walter (2010) como Sed1, Sed2, Sed3 y Sed6 corresponden a muestras de orilla de la represa, más aún, son puntos cercanos a los puntos de muestreo del presente estudio. Se podría decir que el punto denominado Sed1 equivale al punto S1 de este estudio, así mismo, Sed2 es similar a los puntos S2 y S3, Sed3 a S4 y Sed6 a S5. Al final de cada tabla se incluye, en algunos casos, el promedio del análisis en todas las muestras del litoral tomadas en ese estudio.

Por otro lado, se consideró también para el análisis de los datos, la información actualizada que se tiene sobre el caudal del río y volumen de almacenamiento de la represa en los meses de febrero y agosto de los años 2011 y 2012.

Según el estudio y monitoreo de disponibilidad del recurso hídrico en las principales represas y reservorios de la costa norte y sur realizado por la Dirección General de Competitividad Agraria del Ministerio de Agricultura, el caudal del río Jequetepeque aumentó en cerca a un 300% de febrero 2011 (c.a  $18.8\text{m}^3/\text{s}$ ) a febrero 2012 (c.a  $83.56\text{m}^3/\text{s}$ ) (ver figura 2 y 3). Esto fue debido a las intensas lluvias de las partes altas del departamento de Cajamarca donde se encuentra la cabecera de cuenca. Así mismo, en febrero del 2012 se registraron las precipitaciones más altas (126.6 mm) superando las medias históricas. En el mes de agosto 2011 el caudal fue muy bajo alrededor de  $5\text{m}^3/\text{s}$ ; lamentablemente no se cuenta con información del caudal para agosto del 2012, pero es de esperar que haya seguido la misma tendencia a incrementarse como en febrero del 2012 ya que esto permitió que se pudieran tomar las muestras de sedimento en el punto S3 (inicio de represa) en el mes de agosto 2012, lo cual no pudo ser posible en agosto del 2011.

Además, en agosto del 2011 el volumen de agua almacenada en la represa se encontró alrededor de los 270 MMC y de unos 300 MMC c.a en el mismo mes del año 2010 (ver figura 7). En febrero del 2011 se tuvo un volumen de aprox. 120 MMC siendo esto superado en casi un 200 % en el mes de febrero 2012 con un volumen de 332.49 MMC (DGCA, 2012). Como se mencionó en el acápite 1.3.1, en el año 2012 se presentó mayor número de días con lluvia, un mayor caudal que difiere de las medias históricas, así como un alto volumen de agua almacenada en la represa que no se esperaría en el mes de febrero. Por lo tanto, el año 2012 puede ser considerado como atípico respecto a las tendencias de años anteriores, lo cual puede repercutir en los datos obtenidos en el presente estudio.

**Tabla 26. Características y resultados de pH, carbonatos y granulometría de sedimentos obtenidos en muestreo de mayo del 2009 (Walter, 2010).**

Sedimento	Coordenadas		Características	pH	Carbonatos %	Granulometría %			
	S	O				Grava	Arena	Limo	Arcilla
Sed1	0715178	7906268	material rocoso, piedras	7.7	6.6	0.1	59.3	30.1	10.5
Sed2	0715405	790768	tipo lodo	7.8	6.05	BLD	94.9	4.3	0.7
Sed3	0715483	7908200	mezcla de grava y sedimento fino	7.9	5.85	24.9	32	33.3	9.6
Sed6	0715933	7908483	substrato de piedras cubierto con algas	8.0	8.4	57	31.9	7.5	3.5

#### 4.2.1 pH

Los sedimentos pueden desempeñarse como un medio de transporte o servir de almacenamiento de nutrientes y contaminantes mediante una serie de procesos químicos como adsorción, intercambio iónico, coprecipitación o acomplejamiento. Estos procesos son dependientes del pH. Así, una disminución en el pH lleva a la disolución de carbonatos u otros hidróxidos de minerales, tal como un incremento de la desorción de cationes metálicos como hierro, manganeso, níquel, cobre, cobalto y cinc, componentes típicos de drenajes mineros (Golterman *et al*; 1983).

El aumento de caudal debido a las intensas lluvias (pH c.a 5.6) en la cabecera de cuenca y el consiguiente aumento de volumen de agua almacenada en la represa ocasiona el lavado de los sedimentos, lo cual hace que especies iónicas como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  pasen a la columna de agua. Esta condición permite que el aluminio intercambiable deje el sustrato y pase a la columna de agua donde sufre hidrólisis ácida disminuyendo de esa manera el pH del sedimento. Además, la carga orgánica que ingresa al cauce del río

proveniente de relaves domésticos puede disminuir el pH del sedimento debido a la precipitación de ácidos orgánicos (aniones de cadena corta) al acomplejarse con el aluminio disponible.

Es así, que los factores de aumento de caudal debido a lluvias, precipitación de hidróxidos, diluciones, relaves domésticos e industriales, mencionados anteriormente pueden ayudar a explicar los cambios en pH dentro de un sistema de embalse y en el cauce del río.

Según la tabla 15 y la figura 37, los valores de pH de sedimentos se encuentran entre 7.08 y 8.17, cayendo en el rango de neutros (de 6.5 a 7.5) y básicos (de 7.5 a 8.7). Lo cual es característico de aguas naturales de aceptable calidad si se trasladan estos valores a la columna de agua inmediata superior a los sedimentos. Más aún, los valores de pH obtenidos para el agua en los mismos puntos de muestreo de sedimentos no presentan grandes diferencias respecto al valor obtenido para sedimentos, esto debido a que el sistema amortiguador de ácido carbónico controla el pH del agua evitando condiciones muy ácidas o básicas.

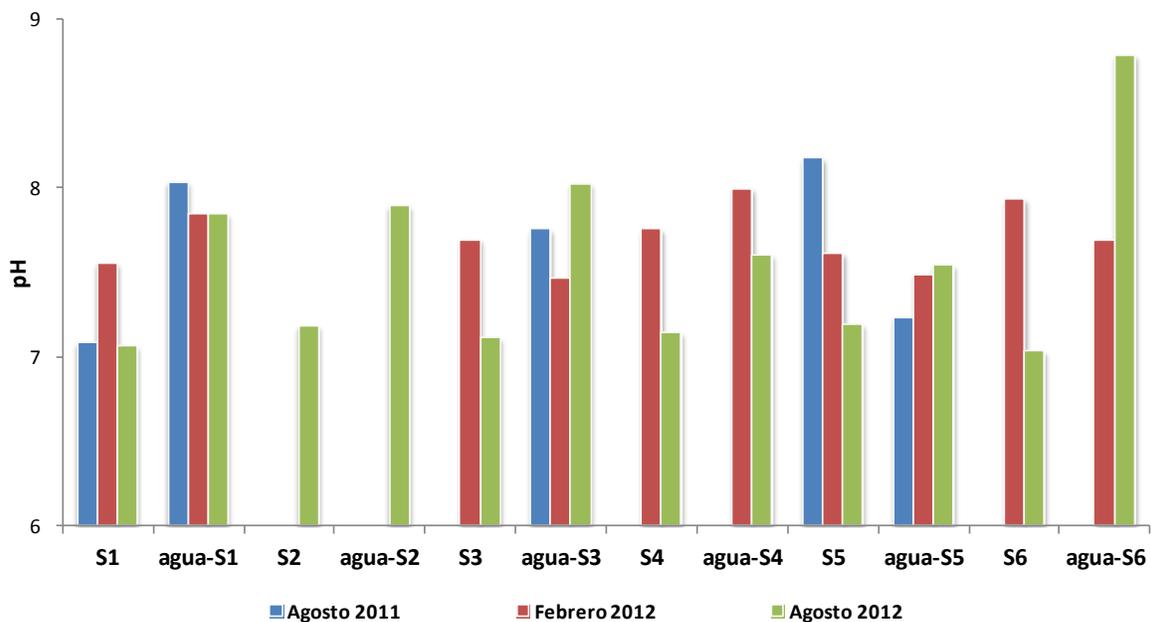


Figura 37. Monitoreo de pH por estaciones y campañas de muestreo

Por otro lado, altas cargas orgánicas, como las provenientes de desagües domésticos de la ciudad de Tembladera, pueden afectar el pH tanto del agua como de los sedimentos. En el caso de los sedimentos, los aniones orgánicos presentes en los relaves domésticos

pueden precipitar al acomplejarse con metales como aluminio, acidificando el sedimento. Por el contrario, para el agua, el ingreso de detergentes, aminos y fosfato pueden aumentar el pH de esta, como se observa en las estaciones para agua-S2, S3 y S6 de agosto 2012 cuyos valores 7.9, 8.0 y 8.8 respectivamente, son los más altos respecto a todas las muestras de agua.

El valor máximo de  $8.17 \pm 0.04$  corresponde a la estación S5 de agosto 2011. Este valor puede deberse al alto contenido de sales de Mg y Ca que presenta la zona de muestreo (ver figura 46). Podría deberse también a los procesos de descomposición sedimentaria y formación de hidróxidos. Según los valores de pH de la tabla 27, pertenecientes al muestreo de mayo 2009 realizado por Walter (2010), existe la tendencia a aumentar desde el punto Sed1 (7.7, pH alcalino) similar al punto S1 de este estudio hacia el punto Sed6 dentro de la represa, similar al punto S5 con un valor de 8.0. Así mismo, este punto posee un contenido alto de carbonatos por lo que puede ser la razón de ese pH. Por otro lado, el pH para sedimentos de fondo de la represa que reporta Walter (2010) es de 7.9 el cual no difiere en gran magnitud con los obtenidos para la orilla de la represa en ambos estudios.

Por lo tanto, se podría decir que los valores de pH en sedimentos se encuentran dentro del rango esperado (neutro ligeramente alcalino) y no varía significativamente en estaciones. Más aún, las pequeñas variaciones que se presentan en estaciones y en campañas de muestreo pueden ser debidas a la precisión de método ( $\pm 0.031$  unidades de pH) sumadas al error del instrumento.

#### 4.2.2 Conductividad

La conductividad es una propiedad de las soluciones relacionada con el tipo y valencia de los iones presentes, sus concentraciones, movilidad, temperatura del líquido y su contenido de sólidos disueltos. En el caso de sedimentos, la acumulación de sales solubles se atribuye al arrastre de material erosionado de la cuenca alta, relaves domésticos e industriales, así como a ciclos de inundación, evaporación y sequía.

La medida de la conductividad eléctrica del sedimento y de las aguas del embalse permite estimar la cantidad de sales que contienen. Este análisis permite establecer si las sales solubles se encuentran en cantidades suficientes como para afectar la germinación normal de las semillas, el crecimiento de las plantas o la absorción de agua por parte de

las mismas. Las sales solubles que se encuentran en los sedimentos están formadas principalmente por los cationes  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  asociados con los aniones  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{HCO}_3^-$ .

La medida de conductividad también se encuentra relacionada con la capacidad de intercambio iónico que poseen los sedimentos. La estimación del contenido de iones que provee la conductividad permite conocer la cantidad de estos iones que pueden ser adsorbidos reversiblemente sobre la superficie de los sedimentos, en especial de las fracciones de tamaño de partícula menor a  $63 \mu\text{m}$ , correspondientes a limo y arcilla.

En la tabla 15 y figura 39, se observa un valor máximo notorio de  $1887 \mu\text{S/cm}$  correspondiente al sedimento obtenido de la estación S6 en febrero 2012. Esto se debe a las características especiales de la muestra obtenida en ese punto de muestreo (ver figura 14). En febrero 2012, debido al aumento de caudal en el río, la accesibilidad a la orilla del río en la estación S6 (puente Las Varas) era complicada; entonces se decidió cruzar el puente y tomar la muestra en una zona cercana a la orilla, donde coincidentemente era lugar donde los pobladores llevaban a sus vacas a pastar. Es por ello que la muestra obtenida en este punto, como se observa en la figura 14, era principalmente bosta de vaca, algunos cantos rodados pequeños, ramas y tallos. El valor elevado de conductividad para esta muestra se debe a que la materia orgánica posee altos valores de capacidad de intercambio catiónico debido al gran número de grupos  $-\text{COOH}$  que pueden interactuar con cationes intercambiables en los sedimentos. La composición química en general de la bosta de vaca se presenta en la tabla 27.

Situación similar puede observarse en el agua de la estación S3 de agosto 2011, cuyo valor de conductividad  $3320 \mu\text{S/cm}$ , el más alto respecto a todas las muestras de agua y se debe que es agua obtenida directamente del tubo de desagüe de la ciudad de Tembladera, lo cual evidencia nuevamente la influencia que tiene la alta carga orgánica en la conductividad, además de tener un coeficiente de correlación de 0.94 para ambos parámetros.

**Tabla 27. Composición química porcentual de la bosta de vaca, pH 7.1**

Materia Orgánica	N	P	K	Ca	Mg
36.1	1.51	1.2	1.51	3.21	0.53

Fuente: García, *et al*; 2009

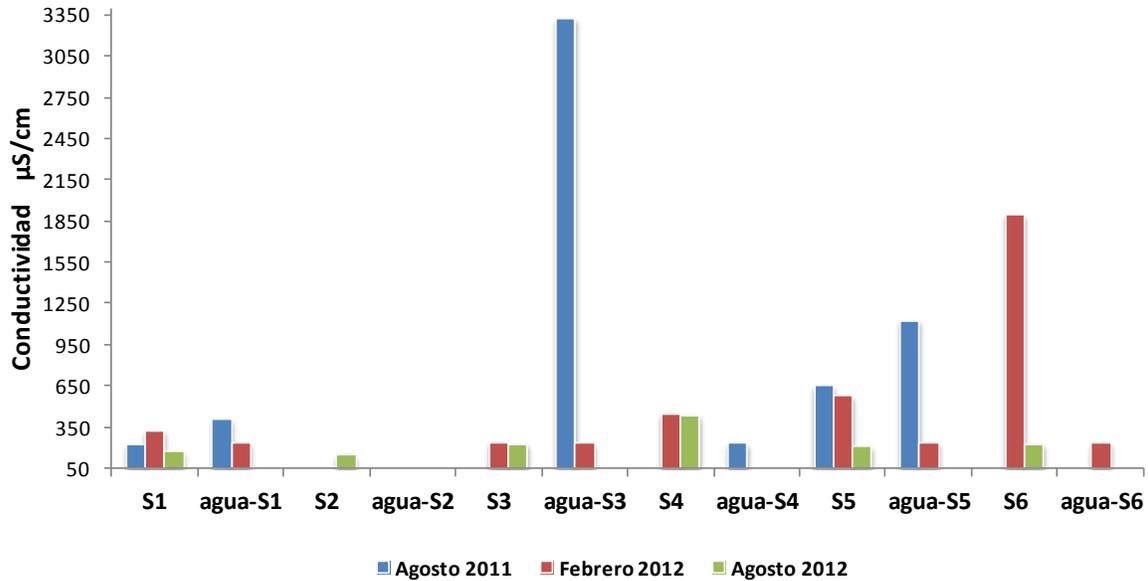


Figura 38. Monitoreo de conductividad por estaciones y campañas de muestreo

Si se hace a un lado los altos valores de conductividad debido a carga orgánica (agua-S3 en agosto 2011 y S6 en febrero 2012), se observa un valor máximo en S5 de agosto 2011 y un valor mínimo en S2 de agosto 2012. Estos valores se pueden deber a que poseen altos y bajos contenidos de arcillas respectivamente.

Como se mencionó anteriormente, las arcillas están muy relacionadas con la capacidad de intercambio iónico e influyen en el contenido de iones presentes en los sedimentos. Esta relación se demuestra con un valor de correlación considerable de 0.69 entre conductividad y el contenido de arcillas (ver tabla 26).

Para el caso S5, se tiene valor para arcilla de 6.8 % y para S2 se tiene un valor de 2.7 %. Al tener un mayor contenido de arcillas, se tendrá una mayor área superficial para poder adsorber iones tanto metálicos como orgánicos, lo cual aumentará la conductividad del sedimento. Lo contrario ocurrirá al tener un bajo contenido de arcillas. Además, el alto valor en S5 de agosto 2011 se puede deber al hecho de que la represa se constituye como un sumidero de especies iónicas como carbonatos, cloruros, y otras sales. La relación con los parámetros mencionados anteriormente se evidencia con los valores de correlación (ver tabla 26), entre los más altos se tiene, cloruros con 0.86, materia orgánica con 0.94, y metales como magnesio, calcio y sodio (0.92, 0.61 y 0.95 respectivamente).

Se podría decir que los valores de conductividad obtenidos en el presente estudio, no constituyen una situación fuera de lo normal. En general, los valores de conductividad se encuentran alrededor de 0.3 mS/cm, valores relativamente bajos si se compara por ejemplo con la conductividad de sedimentos de río, la cual se encuentra en el rango de 0.51-0.84 mS/cm (Royett, 2011). Así mismo, los valores de conductividad son altos en las estaciones dentro de la represa (S4 y S5), las cuales sirven como sumidero de iones, además, el valor alto de conductividad en Las Varas es debido a las características inherentes de la muestra, detalladas anteriormente.

#### 4.2.3 Cloruros

Los cloruros pueden provenir de diferentes fuentes, como descomposición de rocas ígneas, degradación de restos orgánicos, aportaciones realizadas por las lluvias, aporte de las aguas de riego, presencia de fertilizantes y plaguicidas.

Según la tabla 15 y figura 39, se observa un valor máximo en S6 de febrero 2012, al igual que con la conductividad, debido al tipo de muestra obtenida en esa fecha, con un alto contenido de materia orgánica. Los otros dos valores más altos son el de la estación S1 de agosto 2012 y S4 en ese mismo mes.

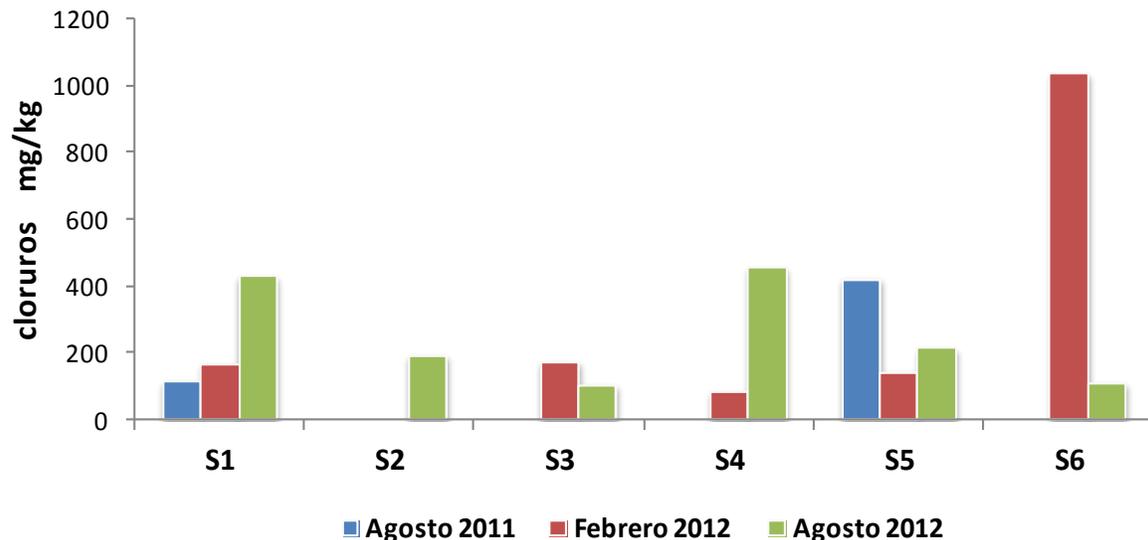


Figura 39. Monitoreo de cloruros por estaciones y campañas de muestreo

Al igual que la conductividad, el contenido de cloruros tiene alta correlación con materia orgánica (0.85), fósforo disponible (0.55), fósforo total (0.73), magnesio (0.77) y sodio (0.83), lo cual evidencia la influencia de estos parámetros en el contenido de iones disponibles en los sedimentos.

Por consiguiente se puede decir que el contenido de cloruros obtenido en estos muestreos no presenta valores críticos. Más aún, se encuentran en general, alrededor de 200 ppm, muy por debajo por ejemplo, del límite de tolerancia para la concentración de cloruros en la solución del suelo para cultivos de arroz que es de 1050 ppm (AES, 1996).

#### 4.2.4 Carbonatos

Los carbonatos y bicarbonatos presentes en cuerpos naturales de agua dulce se originan generalmente del desgaste y disolución de rocas en la cuenca que contienen carbonatos; tales como la piedra caliza. A pesar de que la piedra caliza no es muy soluble en agua pura, su disolución es promovida por la presencia de  $\text{CO}_2$  disuelto en el agua ( $\text{CO}_2$  atmosférico o  $\text{CO}_2$  generado en sedimentos ricos en materia orgánica). El  $\text{CO}_2$  reacciona con el agua para generar pequeñas cantidades de ácido carbónico, el cual disuelve entonces las rocas de carbonato en la cuenca, lo que a su vez contribuye a la alcalinidad del agua. Como se mencionó en el acápite 1.4, cuando el carbonato de calcio es abundante, especialmente en la forma de partículas muy finas, su superficie induce una reactividad particularmente alta y puede combinarse con la fase orgánica modificando procesos de descomposición.

Respecto al contenido de carbonatos, los valores según la tabla 15 y figura 40 se encuentran entre 3.67 y 21.71 %. Los valores máximos presentes en las estaciones S1, S4 y S5 en febrero 2012, se pueden deber a los mayores aportes de materiales desde la cuenca debido a las lluvias en la cabecera, o al substrato característico con altos contenido de iones alcalinos ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) que pueden reaccionar con el  $\text{CO}_2$  disuelto. El alto contenido de carbonatos en la estación S5 se evidencia también con el alto contenido de carbono inorgánico presente en la muestra. La correlación entre carbonato y carbono a  $750^\circ\text{C}$  es de 0.5.

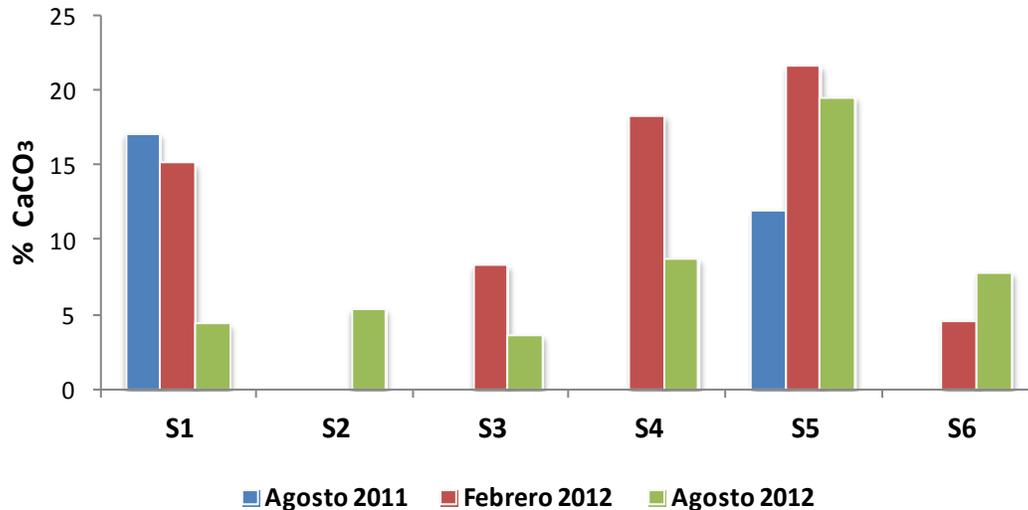


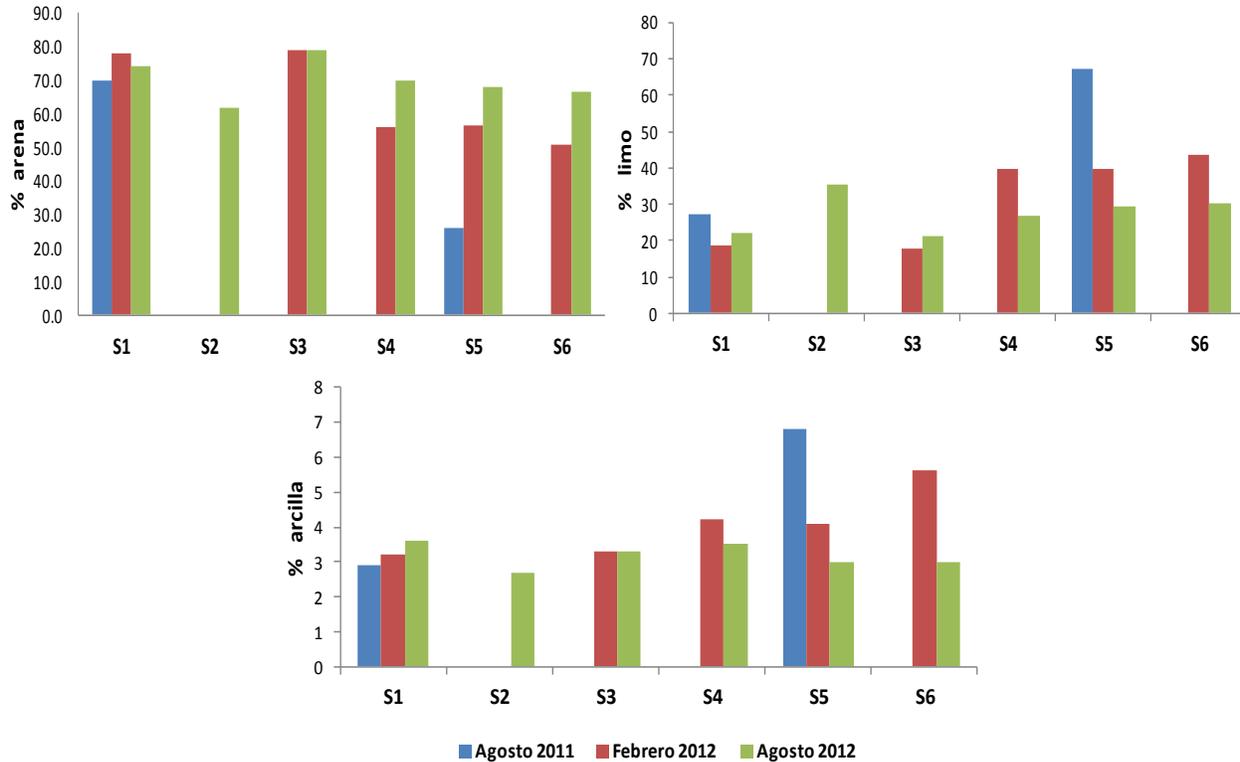
Figura 40. Monitoreo de carbonatos por estaciones y campañas de muestreo

Según la tabla 27, el contenido de carbonatos en el muestreo de mayo 2009 (Walter, 2010), se encuentra entre 6.6 % (Sed1) y 8.4 % (Sed6), con disminución en los puntos intermedios. Se observa la misma tendencia que se tiene en el muestreo de agosto 2012, la cual señala al punto S5 (similar a Sed6), como el lugar donde se concentran más los carbonatos, justamente debido a la función de sumidero que constituye la represa. En el caso de sedimentos de fondo tomados en el estudio de Walter (2010), el contenido de carbonatos se encuentra entre 4.75 y 13.35 %, lo que no difiere en gran medida de lo obtenido en la orilla en ambos estudios. Esto puede llevar a la conclusión de que no hay una situación fuera de lo esperado respecto al contenido de carbonatos, comparando la información obtenida con los valores del año 2009.

#### 4.2.5 Granulometría

El análisis granulométrico es esencial, no sólo porque permite diferenciar características física sino también porque algunas propiedades químicas, como la capacidad de adsorción, dependen mucho del tamaño de partícula.

En la figura 41 se observan varias tendencias. Una de ellas es que en todas las muestras predomina el contenido de arenas. Sin embargo, se ve que hay más % en peso de arena en las estaciones antes de la represa que las que se encuentran después de ella. Esto se debe a la menor turbulencia que existe en un sistema léntico como la represa respecto al sistema dinámico del río.



**Figura 41. Monitoreo arena limo y arcilla por estaciones y campañas de muestreo**

Los valores de la estación S1 se mantienen constantes en los tres muestreos. Tampoco hay notable variación en la estación S3 en los dos muestreos. En las tres últimas estaciones hay tendencia a incrementar el contenido de arenas de febrero 2012 a agosto 2012. Esto podría deberse al aumento de caudal y al arrastre de mayor cantidad de material grueso como arenas desde el lecho del río hacia la represa.

La estación S5 tiene el valor mínimo de arena 26 % en agosto 2011; esto podría deberse a que se obtuvo una muestra compuesta como se menciona en la metodología, en la cual se incluyó mayor contenido de limo de una zona a mayor profundidad. En el caso de las muestras de fondo obtenidas por Walter (2010), se tuvo una granulometría entre limo grueso y arcilla, según detalla, no se encontró material mayor a 2 mm de diámetro de partícula en todas las muestras de fondo recolectadas.

Según la tabla 27, para el muestreo de mayo 2009 Walter (2010), clasifica a las muestras de litoral como arenosas y ligeramente limosas. El contenido de arena aumenta de 59.3 % en Sed1 a 94.9 % en Sed2 para luego disminuir al llegar a la represa (Sed3 y Sed6) con un valor alrededor de 32 %. Este primer aumento y disminución también se observa en los

tres muestreos realizados en el presente estudio. El aumento en S3 (febrero y agosto 2012) similar a Sed2, se debe principalmente a que es una zona que depende mucho del caudal del río, este punto se encuentra al inicio de la represa y los sedimentos cambian en su composición constantemente. El 78.9 % que se tiene en el 2012 (febrero y agosto) puede deberse a que el aumento del caudal permitió que las arenas que en el muestreo del 2011 no eran disponibles ahora lo sean, y predomine su contenido respecto al limo y arcilla.

Respecto al contenido de limo, se observa que el valor máximo de 67.2 % es para la estación S5, debido principalmente al tipo de muestra compuesta que se obtuvo. Se observa un mayor contenido de limo en febrero 2012 en los tres últimos puntos que en agosto 2012. Esto podría deberse a que en agosto no aumenta el caudal, y hay poco movimiento en las aguas de la represa, lo cual hace que las partículas tengan el tiempo suficiente de sedimentar. Además, según la información del 2009 para el contenido de limo, se observa que las muestras de litoral contenían valores muy por debajo de lo encontrado actualmente. Por ejemplo el punto Sed2 tiene un 4.3 % de limo y predominan las arenas, este punto es similar a S3 donde se tiene 17 % en febrero 2012 y 21 % en agosto 2012. Esto puede ser evidencia de la acumulación de finos en la zona inmediata después del río e inicio de represa. Algo similar se observa en Sed6 (similar a S5), donde se tiene un 7.5 % de limo en el 2009 y este aumenta en casi un 300 % a lo que se tiene en el 2012.

Por último, el valor máximo para el contenido de arcillas es de 6.8 % de S5 en agosto 2011, debido a la muestra compuesta mencionada anteriormente. Existe una disminución marcada en S6 de febrero 2012 a agosto 2012. Básicamente por el cambio en el tipo de muestra (febrero 2012 muestras más fina, con más materia orgánica, y en agosto 2012, muestra de orillas del río con mayor cantidad de piedras y arena). Contrastando lo obtenido respecto a arcillas con la información del 2009, se observa que el contenido se mantiene bajo, alrededor de 7 %. Además, se observa que el valor más bajo es para Sed2 (0.7 %) al igual que en el presente muestreo para la zona de similares característica que es Tembladera 1 con 2.7 %. Se podría decir que, luego de comparar las fracciones de arena, limo y arcilla en tres años (2009 y 2012), el contenido de arenas en las zonas de litoral se mantiene constante, el contenido de limo ha aumentado en casi un 300 % y las arcillas mantienen un contenido similar bajo.

Por otro lado, según la información de la tabla 18, el análisis estadístico de las fracciones clasifica a los sedimentos en su mayoría como arena limosa fina muy gruesa. La clasificación según la media estadística de cada estación señala que los puntos antes de la represa son de arena muy fina (S1, S2 y S3), lo cual cambia al entrar en la represa obteniendo una clasificación del limo muy fino y limo grueso para los puntos S4 y S5. Por último, al salir de la represa (S6) se tiene una clasificación entre arena fina y limo grueso, es decir la combinación de las características precedentes.

En la tabla 18 también se encuentra la descripción de las distribuciones de sedimentos según algunos parámetros granulométricos como asimetría curtosis y selección. Todas las muestras se encuentran en el grupo textural de arena limosa, excepto por la muestra de S5 de agosto 2011, en la cual predomina el limo con un menor porcentaje de arena.

Los valores obtenidos para asimetría (entre -0.07 y -0.5) indican que todas las muestras poseen un sesgo muy fino (valores negativos altos) a excepción de las muestra de S5 y S6 ambas de febrero 2012 cuyos valores de asimetría son cercanos a cero. Lo cual indica poca dispersión de la media con los valores de las colas (más finos y más gruesos). La asimetría de una curva de frecuencia es un indicio de la contaminación de un sedimento por otro. Así, las muestras fuertemente asimétricas son el resultado de la mezcla de ambientes sedimentario. El estudio del grado y sentido de asimetría de una curva de frecuencia, permite inferir que tipo de granulometría, es la dominante y cuál es la subordinada en un determinado sedimento (Golterman, 1983). Un ejemplo de esto es la muestras de la estación S1, las cuáles poseen un valor de asimetría de -0.5 en los tres muestreos, esto nos indica que se tiene un tipo de granulometría dominante, que según se observa en los histogramas, es la fracción de arena entre 100 y 1000  $\mu\text{m}$  de tipo arena media y gruesa. El conocimiento del tipo de granulometría de los sedimentos es importante ya que afecta el hábitat de macroinvertebrados, la calidad de grava para incubación de peces y el hábitat para el crecimiento de estos.

Como se mencionó anteriormente, sedimentos ricos en arcilla y materia orgánica son potenciales a adsorber y disponer nutrientes y contaminantes en su superficie. En este caso, se comprueba mediante las correlaciones entre P, materia orgánica y arcillas. La correlación de materia orgánica a 440°C con P es de 0.83 y con arcilla es de 0.46.

En conclusión, las muestras obtenidas en los tres muestreos tienen un contenido predominante de arenas mayor a 50 % del total, un contenido de limo alrededor del 40 %

y un contenido de arcilla que supera el 5 % en algunos casos. Cabe señalar que las fracciones obtenidas dependen mucho de la dinámica del litoral y de los aumentos de caudal en épocas de lluvias. Por otro lado, el bajo contenido de arcilla nos puede indicar la poca disponibilidad de nutrientes que ofrecen los sedimentos. Sin embargo, esto tiene que corroborarse con el análisis de nutrientes que se presenta en el acápite 4.3.

#### 4.3 Nutrientes

El enriquecimiento de las aguas con nutrientes inorgánicos, particularmente el fósforo, tiene como consecuencia un aumento en la producción primaria. Es lo que se conoce como eutrofización cultural, que consiste en una aceleración, provocada por el hombre, del proceso natural de eutrofización que se observa en todos los lagos impuestos por la sobrealimentación derivada del entorno. Entre las causas del progresivo aumento de la contaminación por nutrientes, se incluyen la intensificación de relaves provenientes de actividades agrícolas e industriales, la descarga de aguas cloacales, entre otras. El análisis de los sedimentos del embalse, de vital importancia para evaluar las condiciones tróficas del lago.

Los acápites siguientes corresponden a la evaluación del contenido de nutrientes (materia orgánica, fósforo disponible y total y nitrógeno Kjeldahl) en los sedimentos. Así mismo, se presentan en la tabla 28 con fines comparativos, los resultados del análisis de estos parámetros en el muestreo realizado por Walter (2010) en mayo del 2009. Además, si bien es cierto que en la tabla 28 se muestra las características de sólo algunas de las estaciones de muestreo que son similares a las del presente estudio, también se decidió incluir el promedio litoral, referido a todas las muestras obtenidas a orillas de todas la represa y no sólo del margen derecho como se realizó en este estudio.

**Tabla 28. Resultados de nutrientes (materia orgánica, P disponible y P total) de sedimentos obtenidos en muestreo de mayo del 2009 (Walter, 2010)**

Sedimento	MO 500°C %	P disponible mg/kg	P total mg/kg
Sed1	3.69	0.18	122.59
Sed2	1.54	0.09	105.12
Sed3	3.20	0.47	120.62
Sed6	2.38	0.22	125.36
Promedio litoral	3.19 ± 1.31	0.42 ± 0.36	114.47 ± 12.3

### 4.3.1 Materia orgánica

La materia orgánica de un sedimento es el conjunto de materiales más o menos alterados químicamente, denominados sustancias húmicas, que poseen la capacidad de complejación de los metales pesados. Así mismo, tiene una gran influencia en las propiedades químicas y físicas de los sedimentos, tales como la capacidad de retención de agua, capacidad de intercambio iónico, etc. Una de las características fundamentales de las sustancias húmicas es su habilidad de interactuar con la arcilla, iones metálicos, óxidos, hidróxidos, para formar asociaciones solubles o insolubles.

La materia orgánica existente en un sedimento lacustre puede tener dos orígenes diferentes, uno procedente del fitoplancton (origen autóctono), y otro procedente de las plantas superiores (origen alóctono). Así, los principales aportes de materia orgánica al sistema lacustre ocurren en periodos con elevado régimen pluviométrico, ya que la erosión hídrica transporta hacia el embalse mayores cantidades de materia orgánica preexistente en la cuenca hidrográfica. De esta forma, durante periodos húmedos, existe más aporte de materia orgánica alóctona al sistema; en cambio, durante periodos secos, la cantidad de materia alóctona aportada es menor. Es importante remarcar que la materia orgánica de origen alóctona constituye siempre la proporción mayoritaria con respecto a la autóctona.

Someter las muestras a 440°C permite conocer la cantidad de compuestos húmicos de bajo peso molecular, orgánicos volátiles tanto de origen alóctono como autóctono que pudieran estar presentes en los sedimentos. Por otro lado, someter la muestra a 750°C brinda información, no sólo de los compuestos mencionados, sino también de la cantidad de carbono inorgánico presente en la muestra. Obtener diferencias drásticas entre ambas cuantificaciones permite determinar la procedencia del carbono (orgánico e inorgánico).

Respecto a los resultados de materia orgánica a 440°C, presentados en la figura 42 y tabla 17, se observa un valor máximo de 12.04 % en la estación S6 en febrero 2012. Todos los valores son menores a 4 %. No hay tendencias drásticas a aumentar o disminuir entre períodos de muestreo, salvo en S6 que disminuye en casi 85 % de febrero 2012 a agosto 2012, principalmente debido a las características de la muestra en febrero comentadas anteriormente. Si se descarta el valor máximo en S6, no existen tendencias marcadas en los valores obtenidos para las demás estaciones.

Por otro lado, el valor mínimo se encuentra en la estación S6 de 1.7 % en agosto 2012. Este valor es similar al que se tiene en las estaciones S1, S2 y S3 (1.9 %, 2.6 % y 2.2 % respectivamente), puede indicar la presencia de un ambiente o lecho característico del río, el cual cambia al ingresar a la represa (aumento de materia orgánica en c.a 40 %) para luego disminuir al salir de esta al encontrarse nuevamente con el cauce del río.

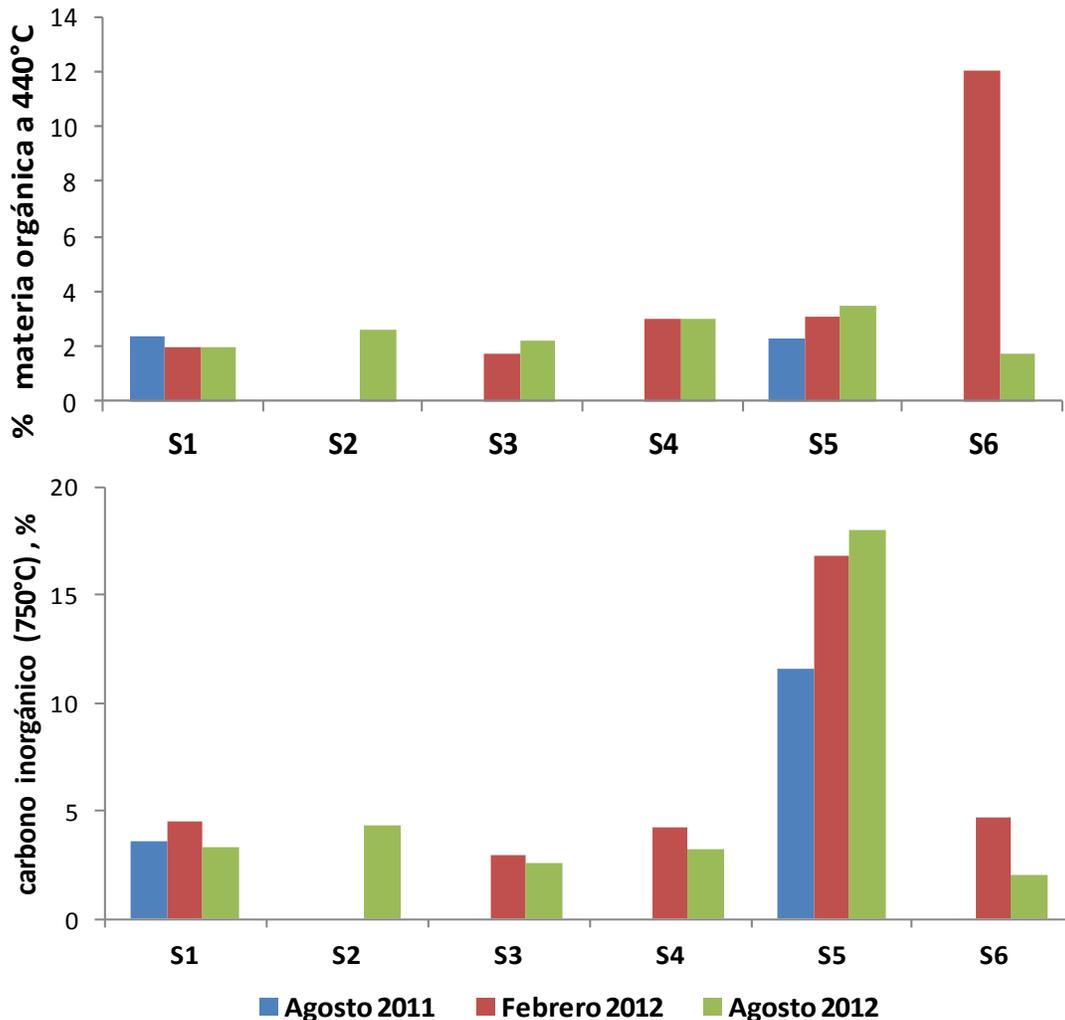


Figura 42. Monitoreo de materia orgánica por estaciones y campañas de muestreo

Si se compara con la información de mayo del 2009 (Walter, 2010) según la tabla 28, los datos de materia orgánica a 500°C para las muestras de litoral es en promedio  $3.19 \pm 1.31$  %. Este valor que muy similar a lo obtenido en los tres muestreos realizados en el presente estudio, lo cual permite decir que el sistema de represa más alrededores ha asimilado, por ejemplo, las descargas de efluentes de la ciudad de Tembladera, al no presentar zonas con alta carga orgánica en sedimentos. Además, para los sedimentos de

fondo tomados en ese muestreo, se tiene un contenido de materia orgánica en el rango de 2.6-5.2 %, el menor valor corresponde a una zona cercana a las estación S3 y el valor más alto (5.2 %) corresponde a una zona cercana a S5, dentro de la represa. Esta tendencia a aumentar al acercarse a la represa recalca una vez más, la función de sumidero que cumple la represa.

Los valores obtenidos a 750°C se encuentran entre 3.76 % y 21.46 %. Se observan altos valores para la estación S5 con aumento gradual de agosto 2011 a agosto 2012 (14.0 %, 20.0% y 21.4 % respectivamente). Esta zona de la represa es la que posee el mayor contenido de carbonatos los cuáles se descomponen (emisión de CO<sub>2</sub>) a temperaturas mayores a 700°C. El color rojizo que presentaron las muestras analizadas por este método se debe principalmente a los óxidos de hierro que cambian su fase cristalina a altas temperaturas.

Cabe mencionar que se observan altas correlaciones con fósforo total (0.83), magnesio (0.82), calcio (0.50) y sodio (0.95) para materia orgánica a 440°C. Esto es debido a la gran afinidad que poseen los compuestos húmicos de la materia orgánica para adsorber, en su superficie, a los iones metálicos.

Se podría decir que el contenido de materia orgánica a 440°C es característico de la zona de estudio ya que tanto en el 2009 (Walter, 2010), 2011 y 2012, los resultados obtenidos no demuestran variaciones drásticas ni tendencias marcadas. Resalta la influencia de la muestra en S6 debido a su alto contenido de materia orgánica del cual se descarta su origen como consecuencia de la salida de la represa. Los valores de materia orgánica a 750°C indican un alto contenido de compuestos inorgánicos (metales, carbonatos) en la zona de la represa.

#### **4.3.2 Fósforo disponible y total**

Según la figura 43 y tabla 21, el contenido de fósforo disponible se encuentra entre 0.11 y 4.72 mg/kg. Se observa una tendencia a aumentar en más de 100% los valores de febrero 2012 a agosto 2012 en todas las estaciones excepto en S6 que disminuye de 3.09 mg/kg a 0.49 mg/kg. El aumento de febrero a agosto 2012 se puede deber a que en agosto hay menos lluvias, menor lavado de nutrientes, y los valores de pH se encuentran cercanos al neutro y constantes en todas las zonas de muestreo, lo cual hace que el fósforo esté más

disponible, ya que se debe recordar que la disponibilidad de fósforo es mayor a pH entre 5.5 y 7.0.

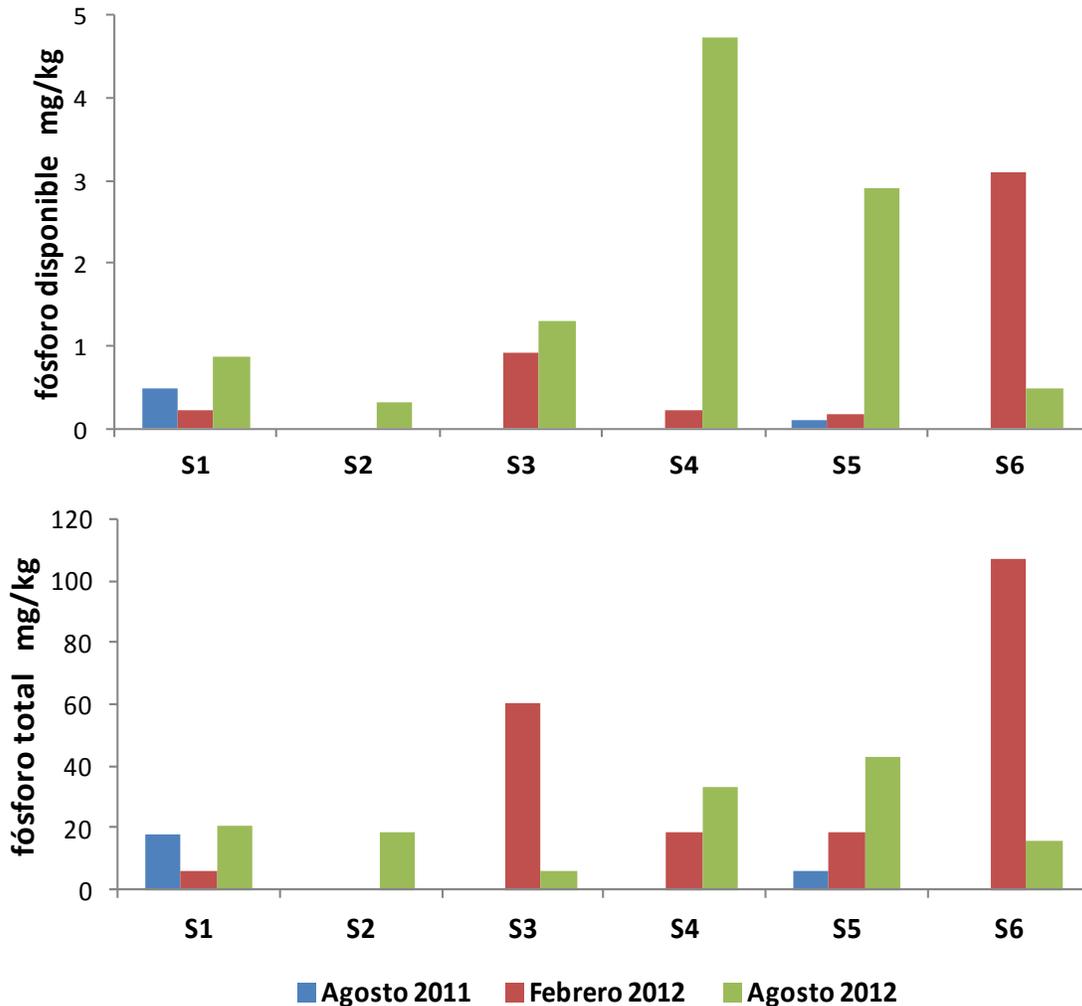


Figura 43. Monitoreo de fósforo disponible y total por estaciones y campañas de muestreo

Se tiene un valor máximo de 4.72 mg/kg de P disponible en la estación S4 en agosto 2012. Otros dos valores altos mayores a 1mg/kg son S5 en agosto 2012 y S6 en febrero 2012. La razón por la cual el contenido de fósforo disponible es alto en agosto 2012 en estas zonas (S4 y S5) no es sólo debido al pH como se mencionó anteriormente, sino también al alto contenido de hierro presente. Se sabe que a pesar que la sedimentación de fósforo incluye la descomposición de plantas (algas), la mayoría de veces es debida a la precipitación de fósforo con hidróxido férrico hidratado, carbonato de calcio o apatita, y adsorción en arcilla, minerales y otras partículas finas. Estos mecanismos son competitivos y dependen de la concentración del adsorbente y de la velocidad de reacción

(Golterman, 1983). Esta relación se corrobora con la correlación que existe entre fósforo disponible y hierro de 0.48. Por otro lado, el valor alto para P disponible y P total en S6 febrero 2012 se debe principalmente a las características de la muestra, detalladas anteriormente. Existe una alta correlación entre P total y materia orgánica de 0.83.

Según Walter (2010), el valor ideal de P disponible para suelos agrícolas está entre 45-90 mg/kg. En este caso, el contenido de fósforo disponible en sedimentos se encuentra muy por debajo de este rango, al igual que lo obtenido en mayo 2009. Al comparar con los valores reportados en el muestreo de mayo 2009 (ver tabla 28), el contenido de fósforo disponible en el 2012 no difiere mucho de la encontrada en el 2009. Se observa que los valores para Sed1 (similar a S1) y Sed2 (similar a S3) son menores al 1 mg/kg al igual que en el 2012. Así mismo, se tiene un máximo de 0,47 mg/kg en Sed3, punto similar a S4, en el cual también se ha tenido un valor máximo en el 2012. Similar situación con el punto Sed6 cuyo contenido es menor que Sed3 lo mismo que S5. En el caso de los sedimentos de fondo tomados en el muestreo de Walter, el contenido de P disponible está en el rango de 2-6 mg/kg. Valores mucho más altos que los obtenidos en el borde, tanto en el estudio del 2009, como en el presente estudio. Lo cual es de esperar debido a la función de sumidero que cumple la represa.

También se observa un aumento gradual en S5 de agosto 2011 a agosto 2012, posiblemente debido a la disminución del pH, al aumento de materia orgánica a 440°C y 750°C y mayor presencia de compuestos inorgánicos de fósforo, lo cual podría corroborarse con la buena correlación que existe entre fósforo total con magnesio (0.60), sodio (0.74).

#### 4.3.3 Nitrógeno Kjeldahl

El nitrógeno puede llegar al sedimento gracias a los aportes de materia orgánica y a la fijación bacteriana a partir del aire. El nitrógeno amoniacal sigue 4 caminos posibles, ya sea que es consumido por la materia orgánica, por plantas superiores, por su fijación por arcillas, o se puede nitrificar (oxidación del amonio). Los iones de amonio de carga positiva se unen a partículas y materias orgánicas que tienen carga negativa, evitando ser lixiviado. El ion nitrato de carga negativa no se mantiene en las partículas del sedimento y puede ser lavado del perfil. Esto, por ejemplo, puede llevar a una disminución de la fertilidad del suelo y a un enriquecimiento de nitrato en aguas superficiales y

subsuperficiales (USDA, 1999). Normalmente, el contenido de nitrógeno en los suelos varía de 0.05 a 2 % en sus diferentes formas (CEPA, 2011).

Según la información mostrada en la tabla 22 y figura 44, los valores para el contenido de nitrógeno van desde 0.09 % a 0.21 %, lo cual está dentro del rango esperado (0.05-2 %).

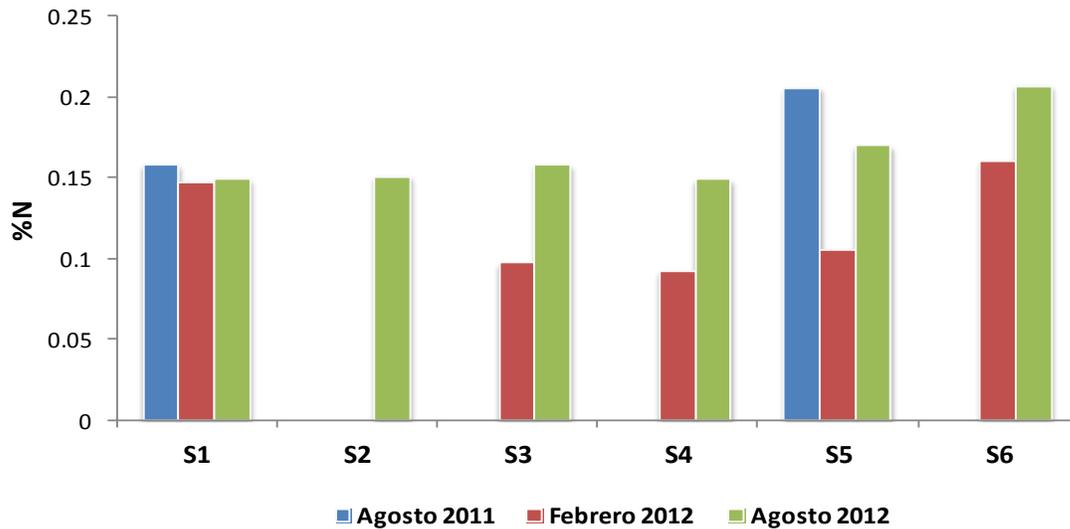


Figura 44. Monitoreo de nitrógeno Kjeldahl por estaciones y campañas de muestreo

La disminución de nitrógeno en febrero 2012 en casi todas las estaciones se puede deber a dilución por aumento del caudal y a la posible incorporación del nitrógeno en aguas superficiales como nitrato. Así mismo, en los meses de agosto (menos lluvias), se observa una ligera tendencia a incrementar desde el punto cero S1 hasta S6.

Como se mencionó al inicio, el contenido de nitrógeno como amonio no excede el rango habitual en suelo, ni se observa alguna tendencia fuera de lo normal.

#### 4.4 Metales

El contenido en elementos metálicos de un suelo libre de interferencias humanas, depende en primer grado de la composición de la roca madre originaria y de los procesos erosivos sufridos por los materiales que lo conforman. La acción de factores ambientales sobre las rocas y los suelos derivados son los determinantes de las diferentes concentraciones basales (niveles de fondo) de metales pesados en los sistemas fluviales (aguas, sedimentos y biota). Las diferencias en la composición fisicoquímica de los sedimentos como el tamaño de las partículas, distribución y mineralogía afectan a las

concentraciones de los metales pesados de origen natural. Un alto contenido de metales en sedimentos puede resultar en ciertos casos de su material geológico sin que haya sufrido una contaminación puntual (Pansu *et al*; 2006).

Por otro lado, las actividades humanas producen diferentes tipos de vertidos que incrementan la concentración de metales pesados en los sedimentos fluviales. Según su forma de asociación, los metales son susceptibles o no de solubilizarse durante las modificaciones fisicoquímicas estacionales como estiaje, crecida, etc.

Los sedimentos pueden actuar como portadores y posibles fuentes de contaminación ya que los metales pesados no se quedan permanentemente y pueden ser liberados a la columna de agua por medio de cambios en las condiciones ambientales tales como pH, potencial redox, oxígeno disuelto o la presencia de quelatos orgánicos. También, ciertos componentes de residuos domésticos como detergentes, tensoactivos, agentes blanqueadores, pueden participar en la movilización de los metales pesados (Royett, 2011).

El análisis de metales pesados en sedimentos permite detectar la contaminación que puede escapar al análisis de agua y proporciona información acerca de las zonas críticas del sistema acuático.

Los acápites siguientes corresponden a la evaluación del contenido de metales en sedimentos con la finalidad de identificar situaciones fuera de lo normal y tipos de contaminación.

#### 4.4.1 Ca, Mg y Na extraíbles

El calcio es un nutriente gobernado por los fenómenos del intercambio catiónico al igual que el magnesio y sodio. Se mantiene adherido como  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable en la superficie de los coloides cargados negativamente. Generalmente es el catión dominante en el suelo, aun a valores de pH bajos y forma parte de muchos tipos de arcillas.

En el caso del magnesio, la proporción de  $\text{Mg}^{2+}$  intercambiable es generalmente menor a la de  $\text{Ca}^{2+}$ . Los suelos generalmente contienen menos Mg que Ca debido a que el Mg no es absorbido tan fuertemente como el Ca por los coloides del suelo y puede perderse más fácilmente por lixiviación (CEPA, 2011). Por otro lado, la ocurrencia de exceso de sodio puede estar relacionada al origen del substrato o al manejo de este como problemas de

aguas de riego. Además, el contenido de calcio, magnesio y sodio dependen principalmente del material parental y del contenido de arcilla y materia orgánica presentes en el sustrato.

Según los resultados para calcio presentados en la tabla 15 y figura 46, se observa un valor máximo de 202.1 mg/kg en S5 en agosto 2011, esto debido a su alto contenido de limo y arcillas así como de carbonatos. Hay un valor mínimo de 57.16 mg/kg en S6 en agosto 2012 posiblemente debido a su mayor contenido de arena que de arcilla, a diferencia de S6 de febrero 2012 cuyo contenido de calcio es alto (177.4mg/kg) debido a su mayor contenido de arcilla y materia orgánica. Esto debido a que tanto las arcillas como algunos compuestos orgánicos tienen facilidad para absorber en sus superficies algunos cationes intercambiables, ya que poseen numerosos grupos  $-\text{COOH}$ ,  $-\text{OH}$  los cuáles interactúan con estos cationes.

Debido a que el reservorio constituye un sumidero de muchos compuestos químicos, se observa que los valores para Ca, Mg y Na, aumentan en el reservorio. Se tiene valores máximos en S4 y S5 (133.7 y 153.2 mg/kg respectivamente en agosto 2012) y disminuyen al salir de la represa (S6).

Respecto a los valores obtenidos por Walter (2010) para calcio, estos se encuentran en el rango de 842 mg/kg a 2676 mg/kg. Valores c.a 500% superiores a lo obtenido en el presente muestreo. Misma situación para magnesio (74.4-210 mg/kg) y sodio (16.1-82.8 mg/kg). Para los sedimentos de fondo en ese muestreo, se obtuvo para calcio (2076-3358 mg/kg), magnesio (169.2-439.2 mg/kg) y sodio (27.6-50.6 mg/kg). Se observa el gran aumento que existe al pasar de la orilla a mayores profundidades en la represa. Sólo en el caso de sodio se tienen valores similares a lo obtenido en el presente estudio.

En agosto 2012, se observa que hay un menor contenido de calcio al salir de la represa (S6) respecto al punto cero (S1), precisamente por la acumulación de iones en la represa. La represa constituye un sumidero de muchos compuestos químicos.

Respecto al contenido de magnesio, este varía entre 0.37 y 44.2 mg/kg, ambos valores pertenecientes a la misma estación (S6) de febrero y agosto 2012, respectivamente. Esta disminución drástica de febrero a agosto 2012 en S6 se debe al alto contenido de materia orgánica de la muestra de febrero.

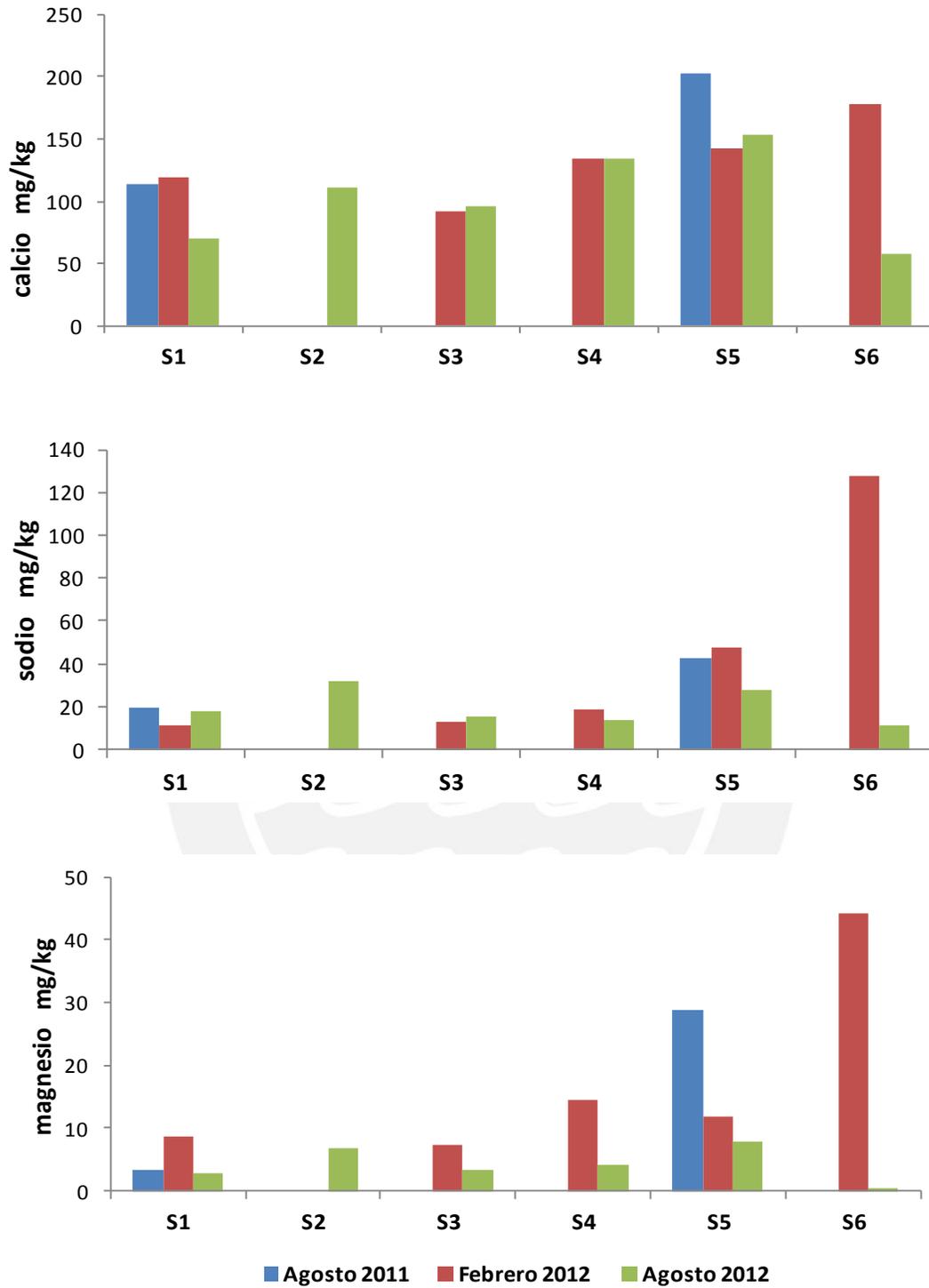


Figura 45. Monitoreo de calcio, sodio y magnesio extraíbles por estaciones y campañas de muestreo

Los valores de calcio y magnesio para la estación S2 de agosto 2012 son mayores que los de S3 a pesar de que esta última se encuentra más cerca al segundo tubo de desagüe de descarga directa a la represa. La misma situación se presenta con el contenido de materia orgánica. Esto se podría deber a que S2 se encuentra en zonas de cultivo y cercano a otro tubo de desagüe que también descarga en el río.

Para sodio, existe un valor máximo notorio en S6 en febrero 2012 de 127.78 mg/kg, debido a las características de la muestra detalladas anteriormente. Se observa una caída drástica en S6 de 127.78 mg/kg en febrero 2012 a 11.36 mg/kg en agosto 2012, como la observada para calcio y magnesio, debido al alto contenido de materia orgánica que presentó la muestra de febrero 2012.

Se tiene también altas correlaciones de magnesio, calcio y sodio con el contenido de materia orgánica (0.5 a 0.7) y fósforo total (0.6 a 0.7) y el contenido de limo y arcilla (0.5 a 0.8). Lo cual evidencia la estrecha relación que tiene la química de las arcillas con la disponibilidad de nutrientes.

#### **4.4.2 Metales pesados extraíbles**

Los metales pesados se depositan en el sedimento por medio de tres vías principales. Una de ellas es la adsorción en la superficie de partículas minerales como las arcillas debido a las cargas negativas de éstas, las cuales atraen fácilmente a los iones metálicos en solución. Otra vía es mediante el acomplejamiento de estos iones con las sustancias húmicas que poseen las partículas orgánicas. Y la tercera vía es por reacciones de precipitación controladas, por ejemplo, por cambios de pH, entre otros factores (WCD, 2000).

Los metales pesados pueden derivar de la adición de sustancias agrícolas al suelo u otras procedentes de desechos domésticos e industriales. La movilización del metal adsorbido en el sedimento se puede dar ante un aumento de la concentración de otros cationes más afines a las partículas que constituyen el sedimento. Además, la descomposición de la materia orgánica origina ligandos que pueden formar complejos estables solubles con los metales, retirándolos de esa manera de los sedimentos.

En el presente estudio se pudo analizar el contenido de algunos metales pesados en los sedimentos de la represa. Los acápites siguientes evalúan los resultados obtenidos para

cada metal. Como se mencionó anteriormente, en el Perú aún no existe legislación que establezca estándares para la calidad de los sedimentos, por lo cual los resultados de este estudio se han comparado con los estándares recomendados por las Canadian Environmental Quality Guidelines. Estas guías establecen dos tipos de estándares; Interim Sediment Quality Guidelines (ISQG), por debajo de los cuales no se esperan efectos biológicos adversos; y Probable Effect Level (PEL), sobre los cuales los efectos biológicos adversos se encuentran con frecuencia. En la tabla 29 se presentan los valores de ISQG y PEL para algunos de los metales pesados analizados.

**Tabla 29. Estándares de calidad de sedimentos según Canadian Environmental Quality Guidelines para algunos metales pesados**

Metal	ISQG (mg/kg)	PEL (mg/kg)
Cd	0.6	3.5
Cr total	37.3	90.0
Cu	35.7	197.0
Pb	35.0	91.3
Zn	123.0	315.0

Así mismo, se presentan en la tabla 30 con fines comparativos, los resultados del análisis de estos parámetros en el muestreo realizado por Walter en mayo del 2009.

**Tabla 30. Resultados de metales pesados en sedimentos obtenidos en muestreo de mayo del 2009 (Walter, 2010)**

Sedimento	Fe mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
Sed1	33000	0.19	41	24	27	143
Sed2	31000	0.07	31	24	20	99
Sed3	37000	0.08	76	30	36	122
Sed6	41000	0.83	127	36	30	272
Promedio litoral	39E3 ± 6E3	0.23 ± 0.25	81 ± 32	31 ± 6	36 ± 19	265.62 ± 292

#### 4.4.2.1 Hierro

Según la información presentada en la tabla 24 y figura 46, los valores para hierro extraíble se encuentran entre 12920.5 mg/kg y 28916.9 mg/kg. Se observa que en los tres muestreos, los valores más altos se encuentran en los puntos de la represa (S4 y S5); esto es debido al alto contenido de carbonatos, y de materia orgánica a 750°C que

presentan estas dos estaciones. Las estaciones S1 y S6 no presentan cambios significativos en los tres muestreos.

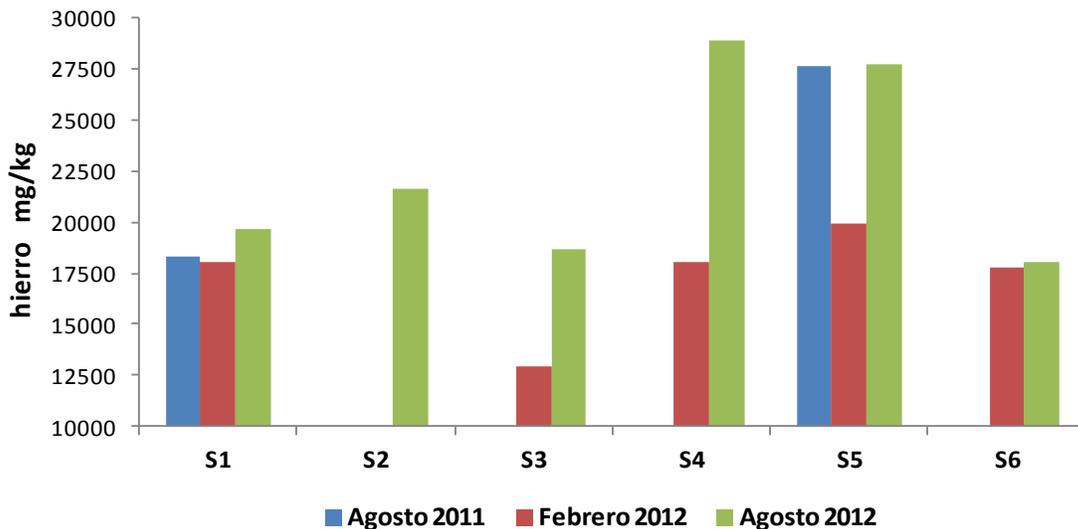


Figura 46. Monitoreo de hierro extraíble por estaciones y campañas de muestreo

Según la tabla 29, para el muestreo de mayo 2009, se observa una tendencia similar; los valores aumentan desde Sed1 (similar a S1) hacia la represa Sed3 y Sed6 (similares a S4 y S5). El promedio de las muestras de litoral es de 39000 mg/kg. En el caso de sedimento profundo, los valores se encuentran entre 32000-41000 mg/kg. Lo cual es superior a lo obtenido en el 2012, cuyo valor máximo es de 28916.9 mg/kg.

#### 4.4.2.2 Cinc

Sus compuestos poco solubles como hidróxidos y carbonatos tienen capacidad de adsorberse fuertemente sobre sedimentos y lodos en el fondo del lecho de los cauces hídricos. Este elemento puede presentar niveles significativos en el medio acuático debido a las deyecciones de animales y personas. El cinc es un elemento esencial para el hombre, sin ser tóxico a altas dosis y dado que suele estar asociado al cadmio, elemento muy tóxico, su incremento en una corriente fluvial puede informar sobre la potencial presencia de este último en el agua (Royett, 2011).

Los valores más altos para cinc, ver figura 47, se encuentran en S4 con 130.98 mg/kg en febrero 2012 y 140.99 mg/kg en agosto 2012. Así mismo, S5 posee valores cercanos a estos máximos, lo cual comprueba la función de almacén que posee la represa, por lo cual la salida tiene un menor contenido respecto a los puntos iniciales.

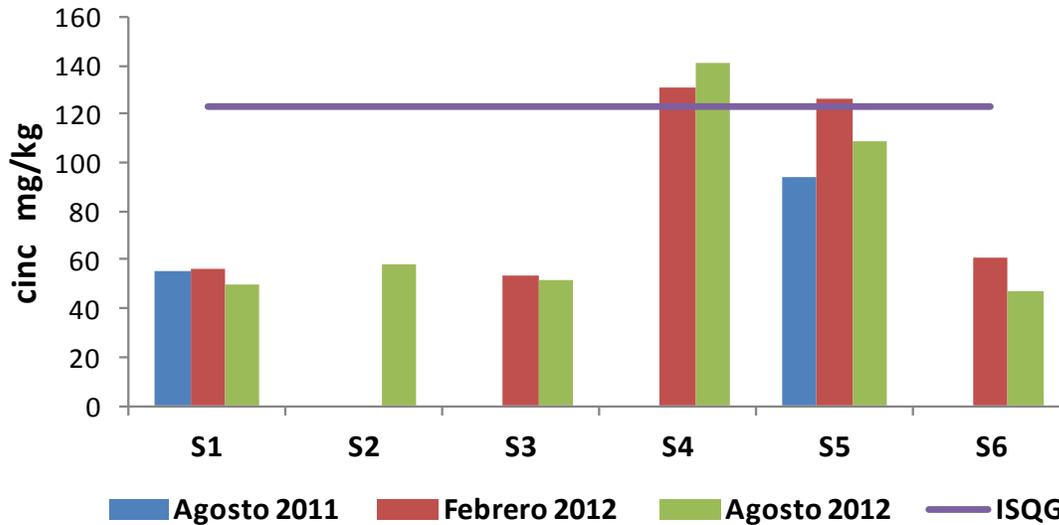


Figura 47. Monitoreo de cinc extraíble por estaciones y campañas de muestreo

Según lo reportado en la tabla 29 del muestreo de mayo 2009 (Walter, 2010), se observa que los valores de cinc nuevamente tienen la tendencia a aumentar al llegar a la represa. El promedio de cinc para las muestras de litoral es de 265.6 mg/kg. Este valor es el doble del máximo obtenido en el 2012, lo cual puede decir que ha habido una disminución de este contenido en un período de tres años, posiblemente debido al constante lavado de los sedimentos de litoral por las constantes lluvias. Por otro lado, cabe resaltar que los valores en las estaciones de la represa (S4 y S5) superan el valor de ISQG (123 mg/kg), lo cual indica que se podría esperar efectos biológicos adversos en esas zonas de la represa. Así mismo, los sedimentos de fondo tomados en el muestreo de Walter, se encuentran en el rango de 134-154 mg/kg, rango que también supera el valor ISQG.

#### 4.4.2.3 Cobre

Se presenta como sulfatos, carbonatos y sulfuros. Posee la facilidad para adsorberse sobre partículas sólidas en suspensión e incorporarse rápidamente al sedimento. La movilidad y biodisponibilidad en sedimentos depende del pH. La biodisponibilidad se reduce en sedimentos a  $\text{pH} > 7$ , y es fácilmente disponible  $\text{pH} < 6$ . La materia orgánica tiene alta capacidad de adsorber Cu (USDA, 1999).

Para el cobre, ver figura 48, se muestra un valor máximo en S5 en agosto 2011 y S4 en febrero 2012 con 28.37 mg/kg y 26.97 mg/kg respectivamente. Esto es debido a la zona característica de la represa (alto contenido de carbonatos) y la acumulación de compuestos que se da en ella.

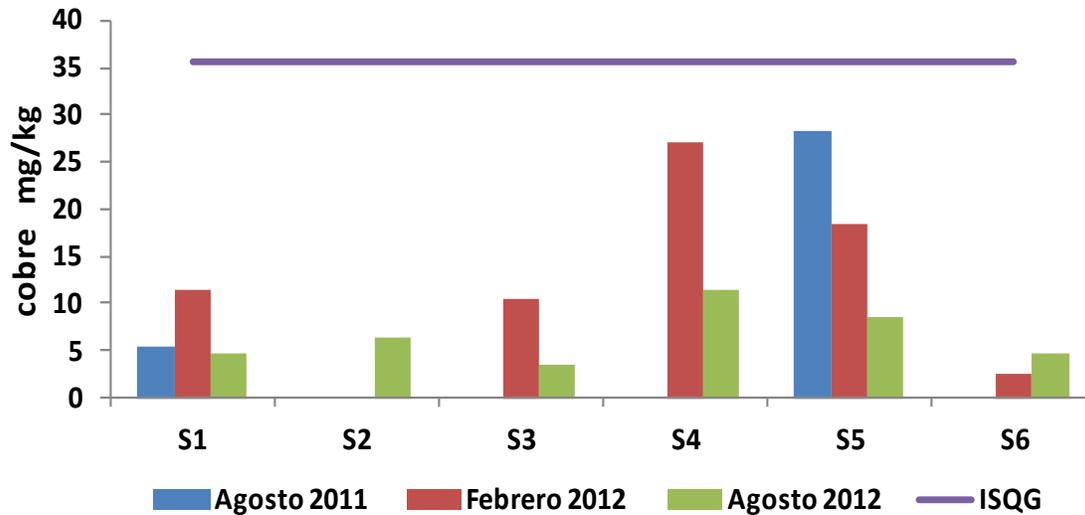


Figura 48. Monitoreo de cobre extraíble por estaciones y campañas de muestreo

Estos valores son casi el 10% de lo obtenido para cinc. Esto puede ser debido a que en la fase sólida del suelo el cobre se encuentra bajo forma cúprica ( $\text{Cu}^{2+}$ ), formando parte de las estructuras cristalinas de minerales primarios y secundarios. En menor porcentaje se encuentra en la materia orgánica, fijado como catión intercambiable al complejo coloidal arcilloso (Golterman, 1983).

Para el caso de cobre en mayo 2009, se observa la misma situación que para el cinc, el aumento en la represa (Sed3 y Sed6). El valor promedio de litoral es de 31 mg/kg, valor similar a lo obtenido en el 2012, cuyo máximo es de 28.4 mg/kg. Lo cual nos indica poca variación en un período de tres años. Para las muestras de fondo del muestreo de mayo 2009, el contenido de cobre está en el rango de 26-35 mg/kg; los cuáles son similares a lo obtenido en las estaciones de la represa (S4 y S5).

Respecto al ISQG, el contenido de cobre de los sedimentos analizados en el presente muestreo se encuentra por debajo de este límite. Lo cual permite decir que no se esperan efectos biológicos adversos en la zona de litoral de la represa. Sin embargo, en los fondos de la represa, es posible que si se presenten debido a que lo obtenido en el 2009 está muy cerca de superar el valor de ISQG (35.7 mg/kg).

#### 4.4.2.4 Cadmio

Respecto al contenido de cadmio en sedimentos (ver figura 49), se tiene valores máximos en S4 y S5 en febrero 2012, así como un valor mínimo para S6 en febrero 2012 y agosto

2012. Los valores no sobrepasan el 0.5 en las estaciones fuera de la represa (S1, S2, S3 y S6), lo cual evidencia nuevamente el sumidero de compuestos que constituye la represa.

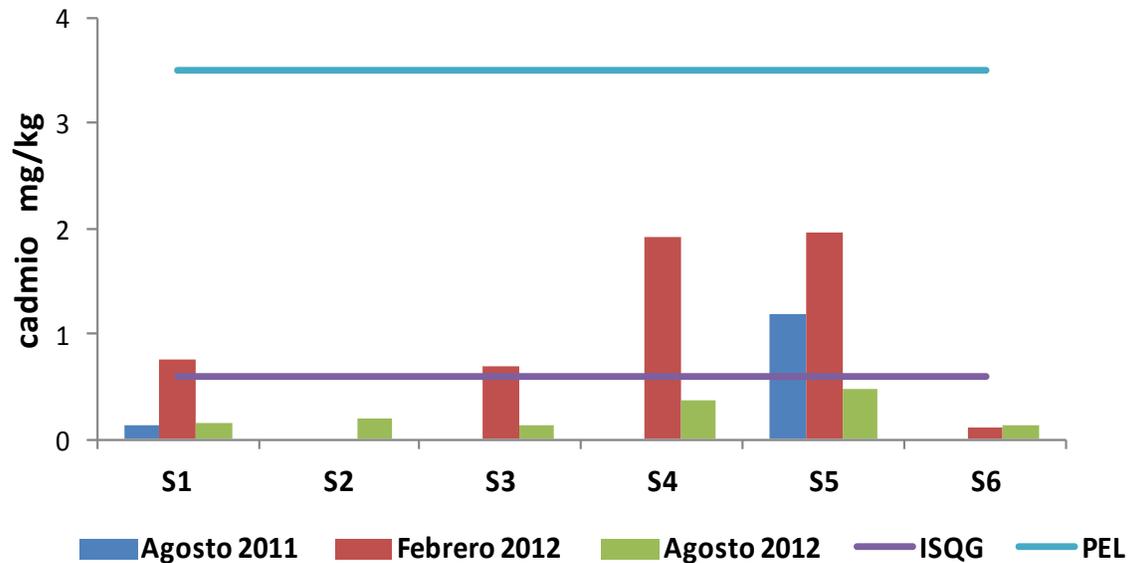


Figura 49. Monitoreo de cadmio extraíble por estaciones y campañas de muestreo

Cabe resaltar que todos los valores obtenidos en febrero 2012 superan el límite ISQG (0.6 mg/kg), con un grado mayor en la zona de la represa, como es de esperar. No obstante, los valores para sedimentos de orilla reportados por Walter son c.a 0.23 mg/kg en promedio litoral, el cual está muy por debajo del ISQG; lo mismo se presenta en los sedimentos de fondo del mismo estudio cuyo promedio es de 0.1 mg/kg. Comparando resultados de ambos estudios (2009, 2011, 2012), se puede decir que ha habido un aumento de carga contaminante tanto doméstica como industrial en los últimos años en la zona y se ha almacenado en la represa altos contenidos de compuestos de cadmio, los cuales, dependiendo del pH y de la adsorción a partículas en suspensión, pueden incorporarse a la columna de agua y trasladarse a las zonas de cultivo del valle.

#### 4.4.2.5 Plomo

El  $Pb^{2+}$  puede sufrir varios procesos químicos, tales como absorción en arcillas, materiales orgánicos y/u óxidos de Fe/Mn, precipitación como compuesto insoluble y formar complejos con ligandos orgánicos e inorgánicos. Algunos de los compuestos de plomo encontrados en los sedimentos son  $PbS$ ,  $PbSO_4$  y  $PbCO_3$ . Estos compuestos sólidos se

alteran con las propiedades redox del sedimento. Además, se encuentra como ión libre en agua a pH entre 7-9. A pH entre 5-7 se adsorbe sobre arcilla (Waters, 1995).

En el caso de plomo (ver figura 50), como es de esperar, se tienen valores máximos en S4 en febrero 2012 de 33.12 mg/kg y en S5 en agosto 2011 de 31.37 mg/kg. Los valores mínimos están en S6 en agosto 2012 con 3.18 mg/kg y en S3 en agosto 12 con 3.15 mg/kg. El valor en agosto 2011 es similar al promedio de muestras de litoral tomadas en mayo 2009 que fue de 36 mg/kg. Para muestras de fondo del estudio de Walter (2010), se tiene un rango de 31-34 mg/kg.

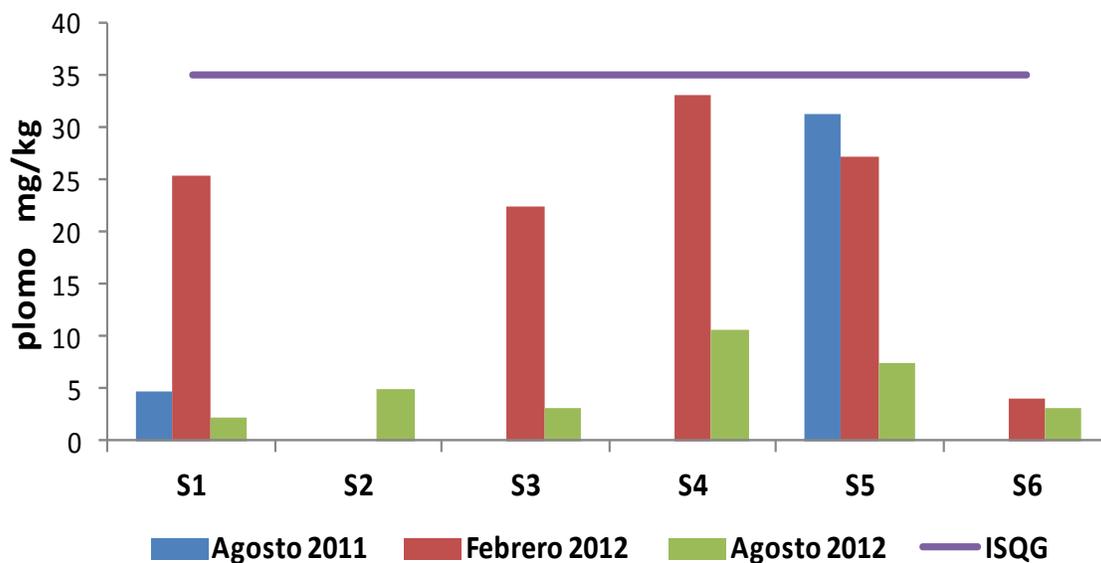


Figura 50. Monitoreo de plomo extraíble por estaciones y campañas de muestreo

Según lo obtenido se puede decir que tanto para sedimentos de orilla como de fondo de la represa, los valores para plomo están muy cerca a superar el estándar ISQG (35 mg/kg), tanto en el 2009 como 2011 y 2012. Esto evidencia un ingreso continuo de contaminantes tanto industriales como domésticos en estos tres años y que podría incrementarse si no se toman acciones para mitigar su ingreso.

#### 4.4.2.6 Cromo

Según la figura 51, el contenido de cromo se encuentra entre 1.0 y 8.5 mg/kg, cuyos puntos máximos alrededor de este último valor se encuentran en la represa. Este rango es aproximadamente la décima parte de lo obtenido en el 2009 (ver tabla 29), cuyos valores en represa, por ejemplo, fueron de 76mg/kg (en Sed3) y 127mg/kg (en Sed6). El

rango para sedimentos de fondo en ese estudio, es de 56-111 mg/kg. Esto indica que en el 2009 los valores obtenidos, tanto para sedimentos de litoral como de fondo superaron los estándares ISQG y PEL. No obstante, en el 2012, estos valores disminuyeron en casi un 90%, lo cual no garantiza que debido a altas descargas industriales y domésticas, estos valores no vuelvan a incrementarse, ni que los efectos adversos que se presentaron, hayan desaparecido.

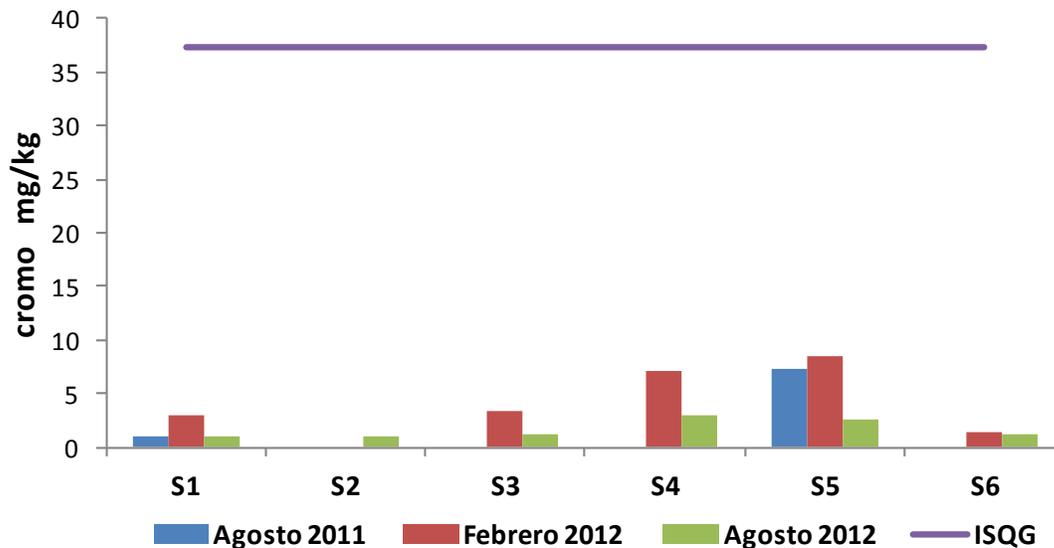


Figura 51. Monitoreo de cromo extraíble por estaciones y campañas de muestreo

Según la tabla 26, existen altas correlaciones de los valores de pH con los correspondientes de metales como magnesio, calcio, sodio, cobre, cromo y plomo (entre 0.55 y 0.87) como con el contenido de arcilla y limo (0.83 y 0.67 respectivamente) y el de materia orgánica (0.41).

Es importante mencionar que las correlaciones entre cadmio, cobre, plomo y cobre se encuentran entre 0.87 y 0.96. Esto puede ser evidencia de que estos metales tienen un mismo origen geológico o provienen de las mismas fuentes de contaminación (minera o urbana) desde la cabecera de cuenca.

## 5. CONCLUSIONES

- En base al análisis granulométrico, todas las muestras obtenidas pertenecen al grupo textural de arena limosa. Además, los porcentajes de arena, limo y arcilla son similares a los encontrados en el estudio de mayo 2009. Esto indica pocos cambios en composición granulométrica de la zona de la represa en los últimos tres años. Los rangos obtenidos fueron; arena (26.0-78.9 %), limo (17.8-67.2 %) y arcilla (2.7-6.8 %).
- Los valores de pH se encuentran en el rango de neutro a básico, lo cual permite la adecuada disponibilidad de nutrientes. Por otro lado, los rangos obtenidos para todas las muestras a excepción de la muestra de S6 de febrero 2012 son; conductividad (141-650  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ), cloruros (84.3-456.9  $\text{mg}/\text{kg}$ ), carbonatos (3.67-21.7 %), materia orgánica (1.7-3.4 %), carbono inorgánico (2.0-18.0 %), nitrógeno (0.09-0.20 %), fósforo disponible (0.1-4.7  $\text{mg}/\text{kg}$ ), fósforo total (5.8-60.6  $\text{mg}/\text{kg}$ ).
- La posibilidad de utilizar los sedimentos como fertilizante natural en los cultivos de la zona es descartada hasta el momento debido al bajo contenido de nutrientes, tanto de materia orgánica, fósforo disponible y total y nitrógeno en las estaciones de muestreo en la represa (S4 y S5). Conclusión similar es reportada en la literatura en un muestreo en mayo 2009.
- Se pudo comprobar la función que cumple la represa como depósito temporal. Las estaciones en la represa (S4 y S5) muestran mayores contenidos de carbonatos, calcio, magnesio, sodio, hierro, cinc, cobre, cadmio, plomo y cromo y, en la mayoría de casos, los valores disminuyen al salir de la represa pero son ligeramente mayores que en la estación de control.
- Así mismo, los rangos para metales son; calcio (57.2-153.2  $\text{mg}/\text{kg}$ ), magnesio (0.4-7.8  $\text{mg}/\text{kg}$ ), sodio (11.3-47.4  $\text{mg}/\text{kg}$ ), hierro (12920.5-28917.0  $\text{mg}/\text{kg}$ ), cinc (47.1-141  $\text{mg}/\text{kg}$ ), cobre (3.6-28.4  $\text{mg}/\text{kg}$ ), cadmio (0.14-1.9  $\text{mg}/\text{kg}$ ), plomo (2.3-33.1  $\text{mg}/\text{kg}$ ) y cromo (1.0-8.5  $\text{mg}/\text{kg}$ ). La alta correlación ( $>0.8$ ) entre los metales cadmio, cobre, plomo y cromo pueden indicar un mismo origen o procedencia. Cabe la posibilidad de que sean característicos de la cuenca en estudio, ya que se obtuvo valores similares en el 2009, o que provengan de la misma fuente contaminante (minera o doméstica). Así mismo, los valores obtenidos

para cadmio y cinc superan los límites calidad de sedimentos, y los contenidos de plomo y cobre están muy cercanos a estos límites.

## 6. RECOMENDACIONES

- Es recomendable asegurar una adecuada toma de muestra debido a que la matriz de sedimento es de alta variabilidad y depende mucho de las características de la zona en estudio. Más aún, se debe tener muy en cuenta los datos climatológicos e hidrológicos de la zona, para evitar realizar una campaña de muestreo en años atípicos.
- Debido a su alta variabilidad en composición, las muestras de sedimento son complicadas de analizar, por ende es recomendable dar al conjunto de muestras, una adecuada preparación que permita su homogenización y fácil tratamiento. Así mismo, es necesario establecer un adecuado procedimiento de lavado de material de vidrio para evitar contaminación cruzada de los distintos tipos de ensayos.
- Los analitos estudiados en el presente trabajo han permitido obtener información valiosa para determinar el estado fisicoquímico de los sedimentos de la represa y áreas de influencia. No obstante, es necesario incluir otros parámetros como capacidad de intercambio iónico, otros metales como aluminio, potasio, manganeso, mercurio, arsénico, que brinden mayor información sobre la química del sedimento y las fuentes de contaminación en la zona. Más aún, que los datos obtenidos en sedimentos, puedan ser contrastados con el análisis de la columna de agua inmediata superior al sedimento obtenido.
- Para el análisis de metales, se recomienda utilizar la fracción de granulometría menor a 63  $\mu\text{m}$ , ya que en ésta fracción (limo y arcilla) hay mayor afinidad iónica por la materia orgánica y metales pesados. Más aún, es la fracción más abundante en los sedimentos de fondo de represa.
- Se recomienda realizar este tipo de estudios en sedimentos de otras represas de la costa peruana con la finalidad de identificar impactos y tendencias encontrados en el sistema de represas. Además, es importante la toma de muestras de sedimento de fondo ya que es la zona de mayor acumulación de compuestos químicos, que podrían ser retirados para su uso agrícola, sin conocer los impactos que podrían tener al ser utilizados.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agricultural Extension Service of Texas. "Irrigation Water Quality Standards and Salinity Management Strategies". The Texas A&M University System, 1996.  
[http://www.fcca.es/static\\_media/file\\_uploads/TOXICIDADES\\_ESPECIFICAS1.pdf](http://www.fcca.es/static_media/file_uploads/TOXICIDADES_ESPECIFICAS1.pdf)  
Consulta: 26/04/2013
- American Society for Testing and Materials. "D2974-07a: Standard Test Method for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils". ASTM International. 2007.
- American Society for Testing and Materials. "D3976-92(2010): Standard Practice for Preparation of Sediment Samples for Chemical Analysis". ASTM International. 2010.
- American Society for Testing and Materials. "D4972-01(2007): Standard Test Method for pH of Soils". ASTM International. 2007.
- American Society for Testing and Materials. ASTM D2973-10e1: Standard Test Method for Total Nitrogen in Peat Materials". ASTM International. 2010.
- APHA (1998). Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater. 20 Ed. American Public Health Association.
- Aspajo, Fernando. Modelamiento hidrológico de la cuenca del río Jequetepeque. Biblioteca en línea del Instituto del Bien Común, 2007. [www.ibcperu.org/doc/isis/8302.pdf](http://www.ibcperu.org/doc/isis/8302.pdf).  
Consulta: 18/02/2013
- Biswas, A. K., 1992. Water for Sustainable Development in the 21st Century: A Global Perspective, *Water International*. 219-224.
- Blott, Simon. (2010) Grain Size Analysis Program. GRADISTAT v8.0
- Boschetti, Graciela; Quintero, Cesar; Díaz-Zorita, Martín; Barraco, Miriam. "Determinación del fósforo disponible en el suelo por el método de Bray". Facultad de Ciencias Agropecuarias UNER. Argentina. 2003
- Centro Peruano de Estudios Sociales (CEPES). Diagnóstico de la calidad de aguas del Río Jequetepeque.1994  
[http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/diagnostico\\_calidad\\_aguatomo1/diagnostico\\_calidad\\_agua\\_cuenca\\_rio\\_jequetepeque.pdf](http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/diagnostico_calidad_aguatomo1/diagnostico_calidad_agua_cuenca_rio_jequetepeque.pdf). Consulta: 19/02/2013
- Chapman, M. A. (1996). Human impacts on the Waikato river system, New Zealand. *Geojournal*. 85–99.

- Clesceri, Lenore S., Greenberg, Arnold E. and Eaton, Andrew D. (1998) Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, Washington.
- Comisión Mundial de Represas, WCD. “Represas y Desarrollo: Un Nuevo Marco para la Toma de Decisiones”. 2000. [http://www.ecosistemas.cl/1776/articles-73173\\_recurso\\_1.pdf](http://www.ecosistemas.cl/1776/articles-73173_recurso_1.pdf)  
Consulta: 17/02/2013.
- Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Eco región Andina (CONDESAN). Temas de Investigación y Desarrollo: Cuenca del Jequetepeque (1993)  
<http://www.condesan.org/memoria/jequetepeque/index.htm> Consulta: 18/02/2013
- Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN). Página oficial del proyecto Cuencas Andinas. 2003.  
<http://www.condesan.org/cuencasandinas/jequetepeque.htm#aspectossocioeconomicos>  
Consulta: 18/06/2011
- Cultivos Ecológicos y Protección Ambiental, CEPA. Nutrientes del Suelo pdf. 2011.  
<http://edafologia.fcien.edu.uy/archivos/Nutrientes%20del%20suelo.pdf>  
Consulta: 22/02/2013
- Delgado Loayza, Rafaela. “Estudio inicial de aporte de sedimentos del río Jequetepeque al embalse Gallito Ciego”. CONDESAN, Perú. 1999.  
<http://www.condesan.org/memoria/Caj1399.pdf> Consulta: 15/05/2011.
- Dirección General de Competitividad Agraria, DGCA. Disponibilidad del recurso hídrico en las principales represas y reservorios de la Costa Norte y Sur.  
[http://www.ana.gob.pe/media/459206/volumen%20de%20agua%20almacenamiento%20en%20reservorio%2024\\_02\\_2012.pdf](http://www.ana.gob.pe/media/459206/volumen%20de%20agua%20almacenamiento%20en%20reservorio%2024_02_2012.pdf)
- El-Din El-Zarka, S. (1973). Kainji Lake, Nigeria. In Man-made Lakes: Their Problems and Environmental Effects. Ackermann, W. C., White, G. F. & Worthington, E. B. (eds). (Geophysical Monograph 17). American Geophysical Union, Washington, DC. 197–219
- Estudio de evaluación ambiental territorial y de planteamientos para la reducción de la contaminación de origen minera en la cuenca del río Jequetepeque. UNI, Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica. 2000. Archivo pdf, p 77-91
- Fayanás, Edmundo. “Turquía: Agua y nacionalismo”. Madrid, 2011.  
<http://www.nuevatribuna.es/articulo/medio-ambiente/turquia-agua-y-nacionalismo/20110321111858042628.html> Consulta: 02/03/2013.

- García, Lisbet; Suárez, Yolanda; Hernández, Rodolfo; Betancourt, Alexander. "Estiercol Bovino, Mitos y Realidades". Artículos técnicos, Asociación Cubana de Producción Animal (ACPA). Facultad de Medicina Veterinaria, UNAH. Revista ACPA 4. 2009.
- Gencel, Zivko. Sedimentación del Reservorio Poechos y medidas de prolongación de su vida útil. Memorias del Quinto Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos. Argentina, 2011.  
[http://irhfce.unse.edu.ar/R11/TC/TC\\_B09\\_Gencel\\_sedimentacion\\_reservorio\\_Poechos.pdf](http://irhfce.unse.edu.ar/R11/TC/TC_B09_Gencel_sedimentacion_reservorio_Poechos.pdf)  
Consulta: 19/02/2013.
- Golterman, H; Sly, G; Thomas, L. UNESCO. 1983, Study of the relationship between water quality and sediment transport. Technical papers in Hydrology.
- Grimshaw, H.M. The Determination of total phosphorus in soils by acid digestion. Chemical analysis in environmental research, NERC symposium. 1987.  
<http://nora.nerc.ac.uk/5224/> Consulta: 12/02/2012
- Hollis, G. E., Adams, W. M. & Kano, M. A. "The Hadejia–Nguru Wetlands: Environment, Economy and Sustainable Development of a Sahelian Floodplain Wetland" 1993.IUCN, Gland, Switzerland. 244.
- Instituto del Mar Peruano. IMARPE. Informe de Represas. 2007.  
[http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/archivos/informes/imarpe\\_27\)\\_infomerepresas2007\\_web.pdf](http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/archivos/informes/imarpe_27)_infomerepresas2007_web.pdf) Consulta: 22/02/2013.
- Instituto Nacional de Desarrollo. INADE. "Plan Estratégico para el Desarrollo al 2006- Cuencas de Jequetepeque y Zaña". Perú. 2003.  
<http://es.scribd.com/doc/38611276/pejeza-indicadores> Consulta: /13/05/2011
- Instituto Nacional de Estadística e Informática, INEI. Censos Nacionales XI de Población y VI de Vivienda: Resultados definitivos. Lima. 2007.  
<http://www.inei.gob.pe/biblioineipub/bancopub/Est/Lib0862/tomol.pdf> Consulta: 12/05/2012
- Instituto Nacional de Recursos Naturales. INRENA. "Diagnóstico calidad de agua-cuenca del Río Jequetepeque". Perú. 1994. Archivo pdf página 21-45
- Khafagy, A. A., and Fanos, A. M., 1993. "Impacts of Irrigation Control Works on the Nile Delta Coast," pp. 307-325. *High Aswan Dam: Vital Achievement Fully Controlled* Egyptian National Committee on Large Dams, Cairo.
- Layzer, J. B., Gordon, M. E. & Anderson, R. M. (1993). Mussels: the forgotten fauna of regulated rivers—a case study of the Caney Fork River. *Regulated Rivers: Research & Management*, 8. 63–71.

- Mahmood, K. (1987). Reservoir Sedimentation—Impact, extent and mitigation. *World Bank Technical Paper No. 71*. World Bank, Washington, DC.
- Martínez, Gloria C; Píccoli, Analía B; Ortiz, María L; Schroeder, María A. Comparación de procedimientos de oxidación de materia orgánica para la determinación de fósforo en material vegetal. Departamento de Física-Química - Facultad de Cs. Agrarias –UNNE. Argentina. 2002. <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/2002/05-Agrarias/A-032.pdf> Consulta: 20/01/2012
- McCartney, Matthew. 2009. “Living in dams: managing the environmental impacts”. *Water Policy* 11. 121-139.
- Melgratti, M. Procedimientos Analíticos para suelos normales y salinos. Estación Experimental Agropecuaria. Laboratorio de Suelos y Agua. 2005. <http://www.biblioteca.org.ar/libros/210827.pdf> Consulta: 22/01/2012
- Montoya, Oscar. Manual de técnicas de análisis de suelos. Capítulo 4. Análisis físicos y químicos en suelo. 2007. <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/509/analisis.pdf> Consulta: 07/12/2012
- Negre, María Isabel. “La presa de Tres Gargantas: Una obra monumental”. Revista Observatorio de la Economía y la Sociedad China, Número 2. Buenos Aires, 2007. <http://www.eumed.net/rev/china/02/min02b.htm> Consulta: 22/02/2013.
- Oracle Think Quest. “The Living Africa”. Página web interactiva. Derechos reservados 1998. [http://library.thinkquest.org/16645/the\\_land/nile\\_dr.shtml](http://library.thinkquest.org/16645/the_land/nile_dr.shtml). Consulta: 18/02/2013.
- Organización Mundial de la Salud WHO. Water Quality Monitoring- A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes. 1996. ISBN, (Hbk) 419-730
- Owens, P.; Walling, D. (2002). The phosphorus content of fluvial sediment in rural and industrialized river basins. *Water Research*. 36: 685–701.
- Panreac Company. Determinación de nitrógeno por el método Kjeldahl. 2011. [http://www.panreac.es/pdf/determinacion\\_nitrogeno\\_esp.pdf](http://www.panreac.es/pdf/determinacion_nitrogeno_esp.pdf) Consulta: 27/03/2012
- Pansu, Marc; Gautheyrou, James, (2006). Handbook of Soil Analysis. Springer. Berlin. 432-689
- Project Management Institute, Caso de estudio: La represa de Guri. 2012. <http://americalatina.pmi.org/latam/KnowledgeCenter/~media/89EC0F88D7D3413EB949A08B88DB9768.ashx> Consulta: 04/03/2013.
- Proyecto Especial Jequetepeque - Zaña, PEJEZA. Página web oficial del proyecto. <http://www.pejeza.gob.pe> Copyright 2012. Consulta: 17/02/2013

- Rocha, Arturo. "La problemática de la sedimentación de embalses en el aprovechamiento de los ríos peruanos, aplicada al embalse de Poechos". Primer Congreso Internacional de Hidráulica, Hidrología, Saneamiento y Medio Ambiente HIDRO. 2006. [http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas\\_interes/ROCHA/Sedimentacion\\_de\\_embalses\\_cas\\_%20Poechos.pdf](http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/ROCHA/Sedimentacion_de_embalses_cas_%20Poechos.pdf) Consulta: 15/05/2011
- Royett, J; Maza, I. "Salinización y acidificación de los sedimentos del dragado del río San Juan en Caripito, Estado de Monagas". Congreso de Suelos. Universidad de Oriente, Núcleo Monagas. 2011. [http://www.sian.inia.gov.ve/repositorio/congresos/CVCS19/propiedades\\_procesos/PPS12.pdf](http://www.sian.inia.gov.ve/repositorio/congresos/CVCS19/propiedades_procesos/PPS12.pdf) Consulta: 26/04/2013
- Saltveit, S. V. (1990). "Effect of decreased temperature on growth and smoltification of juvenile Atlantic Salmon (*Salmo Salar*) and brown trout (*Salmo Trutta*) in a Norwegian regulated river. Regulated Rivers: Research & Management. 295–303.
- Schreiber, J. D.; Rausch, D. L. (1979). "Suspended sediment - phosphorous relationships for the inflow and outflow of a flood detention reservoir". *Journal of Environmental Quality*, 8, 510–514.
- Sistema de Información Ambiental EVAT (2000). Consulta: 15/05/2011 <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/publicaciones/evats/jequetepeque/JEQUETEP.gif> Consulta: 20/05/2011
- SN POWER. Gallito Ciego Fact Sheet. (2010). [http://www.snpower.com/images/Peru\\_GALLITO\\_factsheet%5B1%5D\\_tcm82-11993.pdf](http://www.snpower.com/images/Peru_GALLITO_factsheet%5B1%5D_tcm82-11993.pdf). Consulta: 23/02/2013
- St Louis, V. L., Kelly, C. A., Duchemin, E., Rudd, J. W. M. & Rosenburg, D. M. (2000). Reservoir surfaces as sources of greenhouse gases to the atmosphere: a global estimate. *BioScience*, 50. 766–775.
- United States Department of Agriculture. Soil Conservation Service. "Sedimentation". National Engineering Handbook. 1983. 20-229
- UNPSJB. Determinación de Parámetros granulométricos. Cátedra de Sedimentología. Geología. 2005. <http://es.scribd.com/doc/115027171/-TPN%C2%BA2-Granulometria-Apunte-pdf-1>
- USDA. Departamento de agricultura. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. 1999. [http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf](http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf) Consulta: 12/08/2012

- USEPA. Recommended Protocols for Measuring Conventional Sediment Variables in Puget Sound. 2003. 1-15
- Walter, Katja. Managing sediments of the Gallito Ciego reservoir, Peru: Possible agricultural use of sediments in the Jequetepeque river basin. Diplomarbeit. Universidad Técnica de Berlín. 2010.
- Waters, Thomas. Sediment in Streams, Sources, Biological Effects and Control. American Fisheries Society Monograph 7. Maryland. 1995. 17-33
- Yáñez Fuenzalida, Nancy; Poats, Susan. Análisis preliminar de riesgos - Cuenca del Jequetepeque. 2006.  
<http://190.144.167.33/Agroecosystems/incoming/MarcelaQ/publicaciones/riesgos%20jequetepeque.pdf>. Consulta: 25/05/2011
- Yao Yonghui; Zhang Baiping; Ma Xiaoding; Ma Peng. Large-scale Hydroelectric Projects and Mountain Development on the Upper Yang. Mountain Research and Development; May 2006; 26. 109.  
[http://www.internationalrivers.org/files/attached-files/yao\\_et\\_al.\\_2006.pdf](http://www.internationalrivers.org/files/attached-files/yao_et_al._2006.pdf)  
Consulta: 17/02/2013.