

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

Análisis de la influencia de la represa de Gallito Ciego en la calidad
del agua del curso inferior del río Jequetepeque

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

Renzo Alberto Matienzo Bernabé

ASESORA: Dra. Nadia Rosa Gamboa Fuentes

Lima, noviembre del 2014

RESUMEN

La presencia de una represa permite una gestión eficiente de los recursos hídricos en una determinada área geográfica, de manera que el embalse de agua pueda contribuir a satisfacer las necesidades de la región. Sin embargo; este tipo de infraestructura representa una modificación en la cuenca hidrográfica y, como consecuencia, se observan diversos impactos ambientales.

El río Jequetepeque constituye la principal fuente de abastecimiento de los centros poblados ubicados a lo largo de la cuenca, tanto para consumo doméstico como para el desarrollo de la ganadería y agricultura, siendo el cultivo del arroz el predominante en el valle. El uso de fertilizantes en la actividad agrícola influye en la calidad de suelos, mientras que los residuos acuosos generados por las actividades antropogénicas así como los efluentes domésticos alteran la calidad del agua del río. Es importante considerar que por efecto de erosión hídrica los sedimentos entran en contacto con el agua y se posibilita el intercambio de compuestos orgánicos, iónicos, etc.

El objetivo del presente trabajo es estudiar la calidad del agua en la cuenca baja del río Jequetepeque, en base a parámetros seleccionados, para así comprender mejor la problemática ambiental después del embalse. Además de los parámetros químicos, se tomó en consideración parámetros tales como la estación climatológica o la geomorfología del lugar, y se establecieron estaciones de muestreo de acuerdo a su ubicación, accesibilidad, influencia antropogénica y parámetros fisicoquímicos de tal manera que garanticen representatividad.

Se establecieron tres campañas de muestreo: agosto del 2011, febrero del 2012 y la tercera en agosto del 2012. Las muestras fueron preservadas y almacenadas de acuerdo a las normas y consideraciones respecto al tipo de análisis y el parámetro a analizar.

La información fue generada en el marco del proyecto interdisciplinario “Diagnóstico Ambiental de Represas en la Costa Peruana. Caso de Estudio: La Represa de Gallito Ciego” financiado por la DGI-PUCP.

El pH, conductividad y temperatura fueron tomados *in situ* debido a su susceptibilidad respecto a las condiciones ambientales. Los análisis realizados en laboratorio fueron: determinación de dureza total (APHA, 2340 C), determinación de sulfatos (APHA 427

A), determinación de cloruros por titulación argentométrica (ASTM D 512-89, TEST METHOD B), demanda química de oxígeno (ASTM 1252-00, TEST METHOD A), nitrógeno total Kjeldahl (ASTM D 3590 – 89, TEST METHOD A), sólidos totales en suspensión (APHA 2540 D), sólidos totales disueltos (APHA 2540 C), y determinación de Na,Ca,Fe,Mg,Zn,Cu,Pb,Cd,Cr y Ag por espectrometría de absorción atómica a la llama (APHA 3500)

Los resultados revelan que el pH del agua es neutro con tendencia a la basicidad; los cloruros así como los cationes Ca^{2+} y Mg^{2+} , influyen prioritariamente sobre la conductividad eléctrica. La carga orgánica correlacionada con la concentración de sulfatos así como con el nitrógeno total se encuentra dentro de los rangos permitidos, mientras que la DQO es elevada sobre todo en la zona inmediata al embalse lo cual podría favorecer la eutrofización. Respecto a la concentración de metales, se observó que los contenidos de Ca, Na, Fe, Mg y Zn se encuentran dentro de los rangos permitidos por la legislación peruana, mientras que la concentración de metales como Cu, Pb, Cd, Cr y Ag se encontraba por debajo del límite de detección de la metodología utilizada.

Finalmente los sólidos totales disueltos tienden a aumentar, como consecuencia del incremento de la carga de material orgánico y por acción del caudal del río conforme nos acercamos a la desembocadura en el mar.

A partir de los resultados obtenidos, se concluyó la relevancia de las actividades antropogénicas sobre la calidad de agua del río, así como también el papel que cumple el río Jequetepeque como vía de transporte de nutrientes y material orgánico cuya concentración tiende a incrementar por efecto de la colmatación en la represa y que finalmente pueden estimular procesos de eutrofización.

FACULTAD DE
 CIENCIAS E
 INGENIERÍA

 PONTIFICIA
 UNIVERSIDAD
 CATÓLICA
 DEL PERÚ

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE LICENCIADO EN QUÍMICA

TÍTULO : Análisis de la influencia de la Represa de Gallito Ciego en la calidad del agua del curso inferior del río Jequetepeque.

ÁREA : Química Ambiental

ASESORA : Dra. Nadia Gamboa Fuentes

ALUMNO : Renzo Alberto Matienzo Bernabé

CÓDIGO : 2006.4572.412

FECHA : 11 de diciembre de 2012

NUMERO : 190


DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS:

Una represa permite una gestión eficiente de los recursos hídricos aunque este tipo de infraestructuras es una modificación en la cuenca hidrográfica así como una modificación total o parcial del ecosistema y, como consecuencia, se observan diversos problemas ambientales. El bloqueo del flujo natural causa un incremento en la sedimentación, acumulación de nutrientes y proliferación de algas pudiendo cubrir la superficie del embalse e inutilizar el agua para uso doméstico, lo que conduce a la variación de la calidad y salubridad de los recursos hídricos. Además, ocurre degradación de ecosistemas ribereños, impacto sobre la biodiversidad, aumento de emisión de gases de invernadero. De igual manera, el cambio climático puede afectar la productividad de la represa, requiriendo medidas alternas para poder afrontar épocas de bajas precipitaciones.

Considerada como una de las más representativas del país, la represa de Gallito Ciego cobra importancia debido a que está localizada en una región donde existe una alta tasa de productividad agrícola. Dicha represa tiene una capacidad útil de almacenamiento de hasta 404,4 millones de m³ y permite regular el flujo de los recursos hídricos provenientes de la cuenca del río Jequetepeque, lo cual es primordial para el abastecimiento en campos de regadíos así como centros poblados.

El objetivo del presente trabajo consiste en determinar cuál es la calidad actual del agua en la cuenca baja del río Jequetepeque, en base a parámetros seleccionados, para así comprender la problemática después del embalse. Por esto, este estudio se enfoca en evaluar puntos seleccionados a lo largo del río en su camino a la desembocadura, muestreo acorde al régimen hidrológico y parámetros fisicoquímicos representativos que permitan determinar la calidad del agua de este importante recurso aguas debajo de la represa.

Máximo: 100 páginas

FIRMA DEL ASESOR:

FIRMA DEL COORDINADOR:



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a mis padres, Carlos y Betty, por su constante apoyo a lo largo de mi desarrollo personal y profesional y cuyas palabras de aliento son mi principal motivación para alcanzar mis metas. También agradezco a mi hermana Alessandra, por su apoyo y aliento durante el desarrollo de la tesis.

A la Dra. Nadia Gamboa Fuentes y al Dr. Carlos Tavares Corrêa, por la oportunidad de ser parte del presente proyecto así como también por el apoyo y su apertura constante para compartir sus experiencias, conocimientos durante el desarrollo del trabajo de tesis. Además agradecer a la DGI por el financiamiento del Proyecto interdisciplinario PUCP – DGI 70245.0110 “Diagnóstico Ambiental de Represas en la Costa Peruana. Caso de estudio: Represa de Gallito Ciego” ganado por el grupo GRIDES PUCP.

Agradecer a los miembros del proyecto por las experiencias compartidas durante las campañas de monitoreo así como la oportunidad de intercambiar conocimiento con personas de distintas disciplinas.

Asimismo debo agradecer a mis compañeros del Laboratorio de Química Ambiental de la sección Química PUCP, cuyo apoyo y palabras de aliento fueron indispensables durante la elaboración de la tesis. También, agradecer el apoyo de mis compañeros de la sección Química por los consejos así como por la compañía durante las prologadas estadías en el laboratorio.

Al Laboratorio de Análisis Instrumental de la Sección Química de la PUCP, así como también al personal de la sección por el apoyo logístico y sugerencias durante el desarrollo del trabajo de tesis.

Finalmente agradecer a Dios, por las oportunidades brindadas.

ÍNDICE GENERAL

1. Introducción.....	1
1.1 Impacto ambiental de las represas.....	3
1.2 Área de estudio.....	5
1.2.1 La cuenca del río Jequetepeque.....	5
1.2.2 La represa de Gallito Ciego.....	10
1.3 Calidad del agua.....	14
1.4 Objetivos.....	17
1.4.1 Objetivo general.....	17
1.4.2 Objetivos específicos.....	17
2. Parte Experimental.....	18
2.1 Frecuencia de muestreo.....	18
2.2. Estaciones de muestreo.....	18
2.2.1 Estación E-1: Santa Catalina.....	21
2.2.2 Estación E-2: Tembladera I.....	21
2.2.3 Estación E-3: Tembladera II.....	22
2.2.4 Estación E-4: Las Huacas.....	22
2.2.5 Estación E-5: Garita 7.....	23
2.2.6 Estación E-6: Las Varas.....	24
2.2.7 Estación E-7: Bocatoma.....	24
2.2.8 Estación E-8: Puente Libertad.....	25
2.2.9 Estación E-9: Desembocadura.....	26
2.3 Métodos de muestreo.....	26
2.4 Medición de parámetros <i>in-situ</i>	29
2.4.1 Temperatura.....	29
2.4.2 Conductividad eléctrica y pH.....	29
2.4.3 Velocidad del flujo.....	29
2.5 Metodologías analíticas.....	30
2.5.1 Equipos e instrumentos.....	31
2.5.2 Reactivos utilizados.....	32
2.5.3 Determinación de dureza total.....	34
2.5.4 Determinación de sólidos totales.....	34
2.5.4.1 Determinación de sólidos disueltos totales.....	34
2.5.4.2 Determinación de sólidos en suspensión.....	34
2.5.5 Determinación de demanda química de oxígeno.....	35
2.5.6 Determinación del contenido total de nitrógeno.....	36
2.5.7 Determinación de sulfatos.....	38
2.5.8 Determinación de cloruros.....	38
2.5.9. Determinación de metales disueltos.....	39
2.6 Lavado de material.....	39
2.7 Disposición de residuos.....	39
3. Resultados.....	41
3.1 Resultados de parámetros <i>in situ</i>	41
3.2 Resultados de parámetros químicos.....	42
3.2.1 Cloruros.....	42
3.2.2 Dureza total.....	42
3.2.3 Sólidos totales, disueltos y en suspensión.....	43
3.2.4 Demanda química de oxígeno.....	45
3.2.5 Sulfatos.....	45

3.2.6 Nitrógeno total Kjeldahl.....	46
3.2.7 Metales.....	47
4. Discusión de resultados.....	50
4.1 pH.....	50
4.2 Conductividad.....	52
4.3 Sólidos totales disueltos y en suspensión.....	56
4.4 Dureza total.....	59
4.5 Cloruros.....	63
4.6 Sulfatos.....	65
4.7 Nitrógeno total Kjeldahl.....	68
4.8 Demanda química de oxígeno.....	72
4.9 Metales.....	75
4.9.1 Sodio.....	75
4.9.2 Calcio.....	78
4.9.3 Magnesio.....	80
4.9.4 Cinc.....	82
4.9.5 Hierro.....	84
5. Conclusiones.....	86
6. Recomendaciones.....	88
7. Bibliografía.....	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución mundial y uso de grandes reservorios.....	2
Figura 2. Caudal histórico en la estación Yonán para el periodo 2012-2013.....	6
Figura 3. Mapa hipsométrico de la cuenca del Jequetepeque.....	7
Figura 4. Embalse y aliviadero de la represa de Gallito Ciego.....	11
Figura 5. Central hidroeléctrica Gallito Ciego.....	12
Figura 6. Variación del volumen de almacenamiento en la represa para el periodo 2009-2013.....	13
Figura 7. Esquema batimétrico del embalse para el año 2013.....	14
Figura 8. Mapa de ubicación de las estaciones de muestreo.....	20
Figura 9. Estación E1, Santa Catalina.....	21
Figura 10. Estación E3, Tembladera.....	22
Figura 11. Estación E4, Las Huacas.....	23
Figura 12. Estación E5, Garita 7.....	23
Figura 13. Estación E6, Las Varas.....	24
Figura 14. Estación E7, Bocatoma.....	25
Figura 15. Estación E8, Puente Libertad.....	25
Figura 16. Estación E9, Desembocadura.....	26
Figura 17. Muestreo de agua con botella Van Dorn.....	28
Figura 18. Preservación y almacenamiento de muestras.....	28
Figura 19. Esquema del método de flotación.....	30
Figura 20. Determinación de sólidos en suspensión.....	35
Figura 21. Análisis de DQO.....	36
Figura 22. Análisis de nitrógeno Kjeldahl.....	37
Figura 23. Datos de pH obtenidos durante las tres campañas de muestreo.....	51
Figura 24. Datos de conductividad en uS/cm.....	53
Figura 25. Observaciones correspondientes a la estación E9.....	54
Figura 26. Muestra de la estación E9 posterior a la evaporación.....	54
Figura 27. Sólidos en suspensión por campaña y estación de muestreo.....	56
Figura 28. Sólidos disueltos por campaña y estación de muestreo.....	57
Figura 29. Dureza total por campaña y estación de muestreo.....	60
Figura 30. Cloruros por campaña y estación de muestreo.....	63
Figura 31. Sulfatos por campaña y estación de muestreo.....	66
Figura 32. Nitrógeno total por campaña y estación de muestreo.....	70

Figura 33. DQO por campaña y estación de muestreo.....	73
Figura 34. Concentración de Na por campaña y estación de muestreo.....	76
Figura 35. Concentración de Ca por campaña y estación de muestreo.....	79
Figura 36. Concentración de Mg por campaña y estación de muestreo.....	81
Figura 37. Concentración de Zn por campaña y estación de muestreo.....	83
Figura 38. Concentración de Fe por campaña y estación de muestreo.....	85



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Las diez principales represas a nivel nacional de acuerdo a su capacidad útil máxima.....	5
Tabla 2. Descarga máxima y mínima promedio durante 1969-1998.....	6
Tabla 3. Superficie en el valle de Jequetepeque de acuerdo a la actividad y al uso.....	9
Tabla 4. Fechas de los muestreos realizados durante las tres campañas.....	18
Tabla 5. Ubicación de las estaciones de muestreo.....	19
Tabla 6. Parámetros fisicoquímicos realizados.....	27
Tabla 7. Requerimientos para el almacenamiento de las muestras.....	31
Tabla 8. Equipos y/o instrumentos de acuerdo a su marca y modelo.....	32
Tabla 9. Reactivos utilizados durante los análisis fisicoquímicos y analíticos.....	33
Tabla 10. Resultados de análisis de conductividad, pH y temperatura.....	41
Tabla 11. Resultados de análisis de cloruros en aguas.....	42
Tabla 12. Resultados de análisis de dureza total en aguas.....	43
Tabla 13. Resultados de análisis de sólidos totales disueltos y en suspensión...	44
Tabla 14. Resultados de análisis de demanda química de oxígeno.....	45
Tabla 15. Resultados de análisis de sulfatos en aguas.....	46
Tabla 16. Resultado de análisis de nitrógeno total Kjeldahl en aguas.....	46
Tabla 17. Resultado de análisis de metales disueltos	48
Tabla 18. Correlaciones entre parámetros analizados.....	49
Tabla 19. Principales componentes de aguas residuales domésticas.....	55
Tabla 20. Valores aproximados de sólidos disueltos a partir de valores experimentales de conductividad.....	58
Tabla 21. Cálculo de dureza total a partir de las concentraciones de Ca y Mg....	62

ABREVIATURAS

EM	Evaluación de los Ecosistemas del Milenio
ONERN	Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales, Perú
MW	MegaWatts
ANA	Autoridad Nacional del Agua, Perú
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática, Perú
INRENA	Instituto Nacional de Recursos Naturales, Peru
GWh	GigaWatt/hora
EPA	Environmental Protection Agency, USA
APHA	American Public Health Association, USA
MINAM	Ministerio del Ambiente, Perú
DQO	Demanda química de oxígeno
ASTM	American Society for Testing and Materials, USA
PEJEZA	Proyecto Especial Jequetepeque Zaña
cc.	Concentrado
ECA	Estándares de calidad ambiental

1. INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad, la humanidad se ha beneficiado de los ecosistemas que ahora le son indispensables. Una de las principales preocupaciones actuales es la explotación indiscriminada de recursos naturales, principalmente el agua, debido a su alta importancia en sectores de salud, industria, economía, etc. Uno de los principales desafíos del siglo XXI es combatir la escasez de este recurso.^[1] En coherencia con esto, en el año 2005 fue presentada la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EM) que propone monitorear los cambios en los ecosistemas e identificar opciones y prioridades para tomar medidas de mejora de su administración y contribuir al bienestar humano.^[2] Los resultados de la EM también señalan que los costos económicos y de salud pública vinculados a los servicios del ecosistema pueden ser sustanciales. Esto quedó demostrado para muchas regiones del mundo en las que se habían eliminado con anterioridad los sistemas de contención de impactos ambientales.^[3]

Perú es un país afortunadamente rico en recursos hídricos; dispone de un volumen anual promedio de 2 046 287 m³ de agua que lo ubica como uno de los 20 países de mayor riqueza hídrica a nivel mundial con un promedio de 72 510 m³/habitante/año. Los humedales, lagos y ríos se originan por acción de las precipitaciones sobre la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes durante el verano, la principal fuente de agua para la zona costera.^[4]

De acuerdo a los principios contemplados en el artículo III de la Ley de Recursos Hídricos, el agua es valiosa en los niveles sociocultural, económico y ambiental, por ello, es importante gestionar adecuada y equilibradamente su uso. Un adecuado monitoreo y la permanente evaluación de los volúmenes y su distribución geográfica permite ordenar y planificar el uso así como mejorar la calidad de los recursos hídricos del país. En este sentido, se han elaborado inventarios y estudios, como aquellos realizados por la ONERN en 1984, y la Dirección General de Aguas y Suelos en 1992, en los que se establece que el consumo nacional de agua alcanza los 20 072 Mm³/año. De este total, el sector agrícola consume 80%, el uso poblacional e industrial alcanza 18% y el sector minero el 2% restante. Mientras, el aprovechamiento consuntivo del sector energético alcanza 11 139 Mm³/año.^[4] Debido al amplio consumo del agua, es necesario aplicar una gestión eficiente de manera que se pueda satisfacer las necesidades en cada uno de dichos sectores.

Desde tiempos antiguos las represas sirven para gestionar el consumo del agua. Por ejemplo, los incas construyeron presas de gravedad con la finalidad de administrar el agua utilizada para el riego. Las últimas grandes represas en sudamérica fueron construidas en los años 70 con la finalidad de regular y distribuir, de una manera adecuada, los recursos hidrológicos así como generar energía hidroeléctrica [5] En la figura 1 se puede observar la distribución actual de los grandes reservorios de acuerdo al uso que se le da en las distintas regiones del planeta.

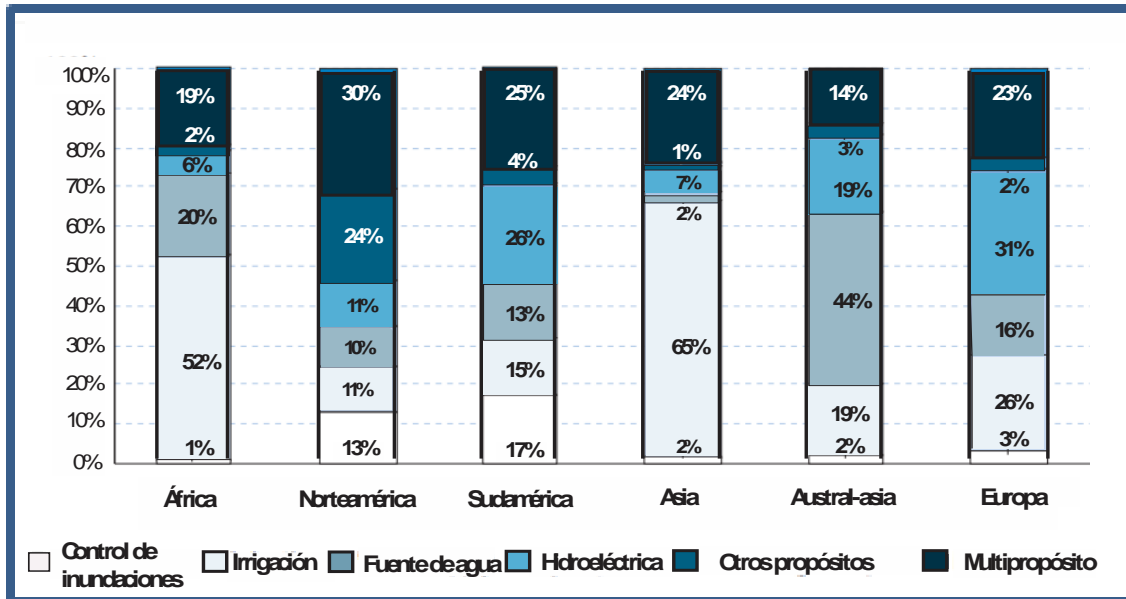


Figura 1. Distribución de grandes reservorios de acuerdo a la región y a su uso. [a]
[a]The Report of the World Commission on Dams, 2000

En general, estas estructuras permiten embalsar el agua en el cauce fluvial. Así, no solo se controlará el volumen de agua que abastecerá a la población sino que también garantizará una reserva disponible según el diseño del proyecto. La capacidad de una represa depende [6] principalmente de tres parámetros:

- la cantidad de descarga del río,
- el área de la represa, y
- las dimensiones del reservorio según la geomorfología del valle.

Un ejemplo de los beneficios de estas infraestructuras es el de la represa de Itaipú, ubicada en la frontera de Brasil y Paraguay en el cauce del río Paraná. La obra fue entregada en 1991; posee un volumen total de 29 000 hm³ y una capacidad de generación hidroeléctrica anual promedio de 14 000 MW, por la cual es considerada como una de las centrales hidroeléctricas más grandes del hemisferio sur y occidental de acuerdo a la International Hydropower Association. [7] Además es considerada por la American Society of Civil Engineers como una de las siete maravillas del mundo

moderno, lo cual ha impulsado el turismo y se ha recibido en promedio hasta 15 millones de visitantes incluso desde el inicio de las obras en 1977.^[8] En contraste, el proyecto de represa hidroeléctrica de Belo Monte ubicado en el cauce del río Xingú (Brasil), con capacidad planeada de 11 000MW y área c.a. 500 km², segunda mayor hidroeléctrica brasileña (después de la gigantesca Itaipú de 14 000 MW), y la tercera del mundo detrás de Tres Gargantas (China), representa 11% de la potencia instalada de Brasil.^[9] La propuesta es desviar casi toda el agua del Xingú para generar el embalse. Esto involucraría la destrucción de los ecosistemas fluviales, restricción al acceso del recurso hídrico para las comunidades aledañas para consumo o vía de transporte. Además, el proyecto contempla inundar vastas áreas de selva y la emisión de metano y otros gases.^[10] La controversia que rodea al proyecto Belo Monte sigue el trágico patrón de las grandes represas en Latinoamérica: se las construye sin haber realizado previos estudios de impactos sociales y ambientales que sustenten la viabilidad del proyecto. Además, en zonas tropicales pueden llegar a emitir tantos gases de efecto invernadero como una planta de ciclo combinado de gas natural (78 000 toneladas de dióxido de carbono).^[9]

1.1. Impacto ambiental de las represas

La implementación así como la operación de infraestructuras que emplazan a sus ecosistemas circundantes, total o parcialmente, implican consecuencias tanto beneficiosas como perjudiciales en distintos aspectos como hidrológicos, atmosféricos, biológicos o sociales.^[11] A pesar de esto, no se habla de proyectos no viables o perjudiciales sino que el enfoque de la viabilidad de un proyecto está fundamentado en la capacidad que posee el ambiente, ya sea por medios naturales o externos, para contrarrestar adecuadamente los impactos involucrados.^[12]

De acuerdo con la Comisión Mundial de Represas, “las grandes represas en general producen una serie de impactos y, en muchos casos, han conducido a la pérdida irreversible de especies y ecosistemas”.^[14] Incluso, se ha intentado promover medidas de mitigación que hasta ahora no son suficientes para contrarrestarlos. Por este motivo, en el año 2009 la Asociación Interamericana para la Defensa del Ambiente analizó cinco grandes represas de Latinoamérica: Yacyretá (en Argentina y Paraguay), Río Madeira (entre Bolivia y Brasil)^[13], Baba (Ecuador), La Parota (en México) y Chan-75 (Panamá). Entre los resultados del análisis podemos destacar una lista de los impactos ambientales más frecuentes asociados a grandes represas^[14]:

- El bloqueo del flujo natural causa incremento en la sedimentación, aumento de nutrientes y *bloom* de algas cubriendo la superficie del embalse e inutilizándolo para uso doméstico.
- Degradación de ecosistemas ribereños.
- Impacto sobre la biodiversidad, principalmente la reproducción de los peces.
- Aumento de gases de invernadero por descomposición de materia orgánica producida como consecuencia del proceso de implementación de la infraestructura.
- El cambio climático puede afectar la productividad de la represa requiriéndose medidas alternas para afrontar épocas de bajas precipitaciones.
- Efectos sísmicos, ya que se puede producir una alta presión de agua que permitiría la lubricación de fallas tectónicas y se reduciría el rozamiento entre las placas subterráneas.

Se ha generado un amplio debate sobre la conveniencia de las represas con alta capacidad de embalse o aquellas de menor volumen como medida para reducir el impacto ambiental. Sin embargo, aún no se ha encontrado un factor determinante que culmine con el debate. ^[15] Como ejemplo, el proyecto hidroeléctrico Diquis (Costa Rica), el cual puede ser considerado como el mayor dentro del área de Centroamérica: la presa se ubicaría aproximadamente a 4 km aguas arriba del río General Superior y el embalse abarcaría unas 6800 ha de terreno que debe ser inundado, incluidos 4 km de la carretera Interamericana Sur y la desaparición de la laguna Carci. Además, se debe considerar el impacto social puesto que parte del terreno a inundar es considerado patrimonio cultural y religioso por las comunidades nativas. Diversos estudios se están realizando para prevenir y/o reducir los impactos ambientales. ^[16]^[17] Las clasificaciones de estas estructuras se basan en diversos parámetros, principalmente en sus capacidades hidroeléctricas. En el ámbito peruano, se considera a las represas de acuerdo a su capacidad útil máxima. ^[5] Las más importantes son:

Tabla 1. Las diez principales represas a nivel nacional de acuerdo a su capacidad útil máxima. ^[b]

N°	Nombre	Ubicación	Cuenca	Capacidad útil máxima (10 ⁶ m ³)
1	Lagunillas	Puno	Ramis	875
2	Aricota	Tacna	Quilahuasi	804
3	Poechos	Piura	Chira	488
4	Gallito Ciego	Cajamarca	Jequetepeque	427

5	Condorama	Arequipa	Colca	285
6	San Lorenzo	Piura	Chipillico	258
7	Tinajones	Lambayeque	Chancay	214
8	El Fraile	Arequipa	Blanco	208
9	Pasto Grande	Moquegua	Tambo	185
10	Limón (2da fase)	Cajamarca	Huancabamba	191

^[10] Adaptado de "Desarrollo histórico, tipología, inventario y técnica de las presas y embalses en el Perú".
Revista de Obras Públicas, N° 3.480. Septiembre 2007

Durante los últimos años ha surgido una serie de instrumentos que permiten gestionar y monitorear el recurso hídrico así como los impactos ambientales durante la operación de represas. La herramienta más destacada es la Evaluación de Impacto Ambiental, que no solo permite predecir los impactos de la infraestructura sino proponer acciones correctivas.^[11]

1.2. Área de Estudio

1.2.1. La cuenca del río Jequetepeque

La cuenca hidrográfica del río Jequetepeque se ubica en la zona norte del país, entre los paralelos 7° 6' y 7° 30' de latitud sur y los meridianos 78° 30' y 79° 40' de longitud este. Comprende un área de 4372,50 km² y se encuentra distribuida entre las provincias de San Miguel, San Pablo, Cajamarca (en la región Cajamarca; y Chepén y Pacasmayo (correspondientes a La Libertad), y se le puede considerar como un macroecosistema que se encuentra bajo la influencia de las vertientes del Pacífico así como de la Altoandina Oriental.^[18]

Los principales ríos tributarios son San Miguel y Magdalena con una masa anual conjunta de 932 Mm³, otros tributarios a menor escala son los ríos Pallac, Llapa, Yanahuanga, Huacraruco, Chilete y San Juan.^[19] El sistema hidrográfico incluye una red de más de 30 ríos secundarios así como un elevado número de riachuelos y quebradas de menor relevancia; en la figura 3 se presenta el mapa hipsométrico de la cuenca.^[20]

La cuenca del río Jequetepeque cuenta con seis estaciones de monitoreo de descargas establecidas por el ANA, de los cuales 4 se encuentran aguas arriba con respecto a la represa de Gallito Ciego y las restantes ubicadas en la cuenca baja. Uno de los puntos referenciales es el que se encuentra ubicado en el Puente Yonán, que permite controlar el caudal previo al ingreso a la represa. Se levantó un registro en dicha estación entre los años 1969 y 1998 obteniéndose los siguientes consensos hidrológicos^[21]:

Tabla 2. Descarga máxima y mínima promedio del río Jequetepeque durante 1969-1998^[21]

Masa media anual	825 Mm ³
Máxima descarga media mensual (m ³ /s)	321,45
Mínima descarga media mensual (m ³ /s)	0,17

Los datos recogidos de la misma estación por la ANA dieron como resultado que entre los meses de marzo y abril del 2013 se registró un mayor caudal en el Jequetepeque, con valor máximo 320 m³/s y mínima descarga media mensual cercana a 0. La evolución del parámetro se observa en la siguiente figura:

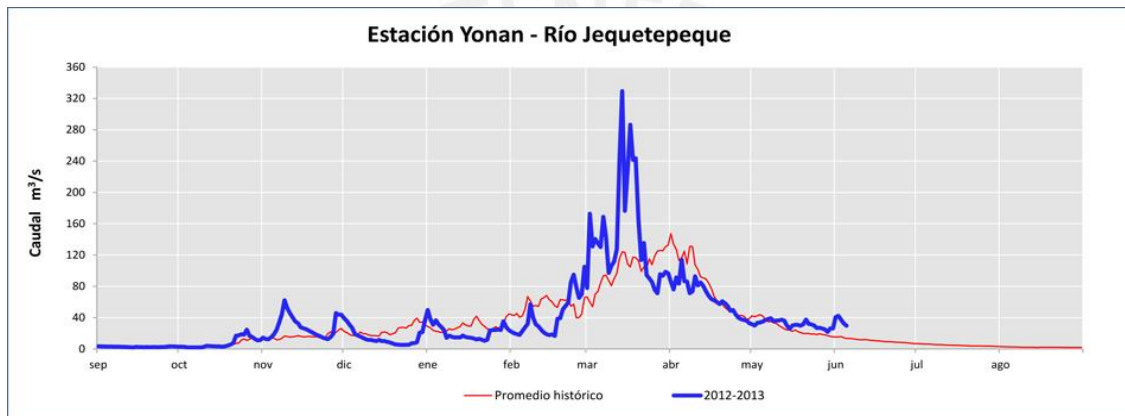


Figura 2. Caudal histórico en la estación Yonán para el periodo 2012- 2013^{[c][c]} ANA, 2013

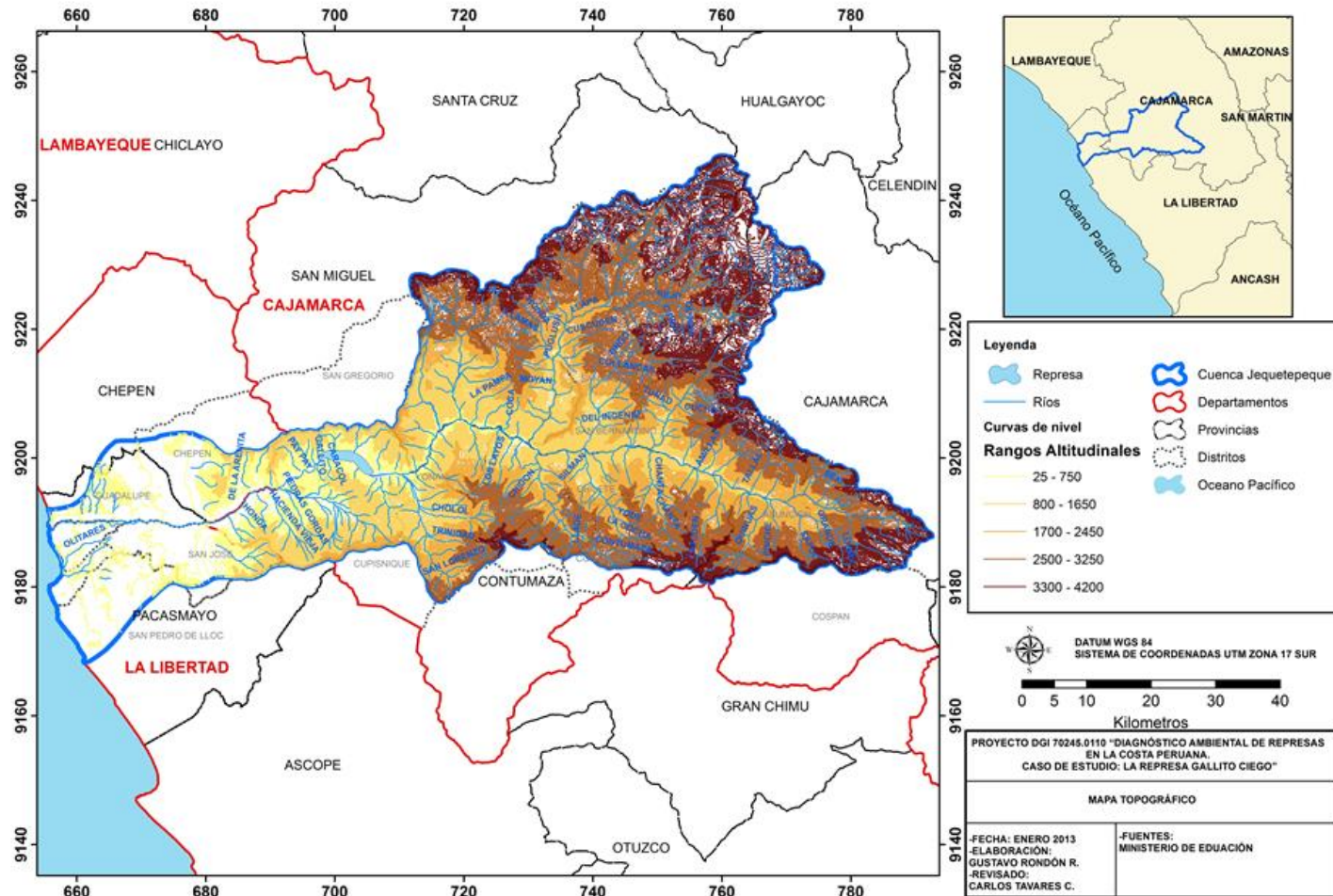


Figura 3. Mapa hipsométrico de la cuenca del Jequetepeque. Fuente: Proyecto DGI PUCP 70245.0110

La cuenca se caracteriza por ríos de fuerte pendiente, secciones transversales en forma de V y profundas zanjas de erosión en sus laderas con pendientes hasta de 20%.^[20] Geomorfológicamente se pueden identificar tres regiones macromorfoestructurales diversas; la región marina litoral, la repisa continental y la cordillera andina.^[22]

Debido a su régimen irregular y torrencioso, el río Jequetepeque es considerado como uno de los ríos de la vertiente del Pacífico que mayor sedimento transporta. Esta característica está asociada principalmente al estado de juventud de la cuenca en el proceso de levantamiento de la Cordillera Occidental, a los procesos morfodinámicos, de los suelos que constituyen la cuenca hidrográfica, así como a los eventos climáticos normales promedio y eventos climáticos extraordinarios como el Fenómeno El Niño.^[20] Las zonas de alta inestabilidad y el desarrollo de numerosos procesos morfodinámicos dan origen a una variedad de unidades litológicas tales como calizas, areniscas, lutitas, sedimentos aluviales, aluviónicos, coluviales, de intemperismos y otros similares.^[18]

Todo el material que transporta el río Jequetepeque (gruesos y finos) es acumulado en el embalse Gallito Ciego, en forma gradual y seleccionado. Los materiales más gruesos (bloques, gravas), así como los materiales de granulometría media (gravas y arenas limosas), son acumulados en el proximal y en la cola del embalse; los sedimentos finos (arenas y arcillas) son acumulados en la parte media superior del embalse; los sedimentos muy finos y en suspensión (arcillas y precipitados) se acumulan en la parte baja del embalse.^[20]

La cuenca presenta unidades bioclimáticas y una diversidad ecológica acorde a la complejidad del clima y del relieve de la zona en cuestión, el cual varía desde zonas desérticas hasta zonas per-húmedas. Los fenómenos meteorológicos se deben principalmente a la influencia del Océano Pacífico y la corriente de Humboldt, mientras que en las zonas altas de la cuenca hay influencia parcial del Atlántico. La temperatura y niveles de humedad también muestran una alta diversidad, desde aquellas típicas de clima caluroso y seco característico de costa desértica (23°C en zonas de 400- 800 msnm), hasta las frías y húmedas de Jalca (3°C en zonas de hasta 4000 msnm). Por otro lado, el promedio de precipitación varía desde los 15 mm en el desierto costero hasta los 1100 mm en el páramo pluvial andino. Las precipitaciones mayores se observan durante los meses de enero a mayo, disminuyen hasta sus valores mínimos entre julio y setiembre y vuelven a incrementarse a partir de octubre.^[20]

La demanda del recurso hídrico de la cuenca del Jequetepeque se encuentra distribuida entre los sectores poblacional, pecuario, industrial, hidroenergético, agrícola. Además, cabe destacar que en los distritos del valle de Jequetepeque las actividades económicas predominantes son la agricultura, ganadería, silvicultura y representan 60% del principal ingreso económico de las comunidades urbanas del valle. Otras actividades complementarias son el comercio de bienes y servicios principalmente asociados con vehículos y productos de primera necesidad así como la actividad industrial. ^[23]

Cerca del 70 % de la población es campesina y los más beneficiados son aquellos que habitan aguas abajo de la represa, ya que este sistema les permite abastecerse adecuadamente del recurso hídrico. ^[24] En la tabla 3 se observa detalladamente la distribución de la superficie total del valle destinada para cada una de las principales actividades antropogénica.

Tabla 3. Superficie en el valle de Jequetepeque, de acuerdo a la actividad y uso^[d].

Actividad	Tipo de uso	Superficie	
		Ha.	%
AGRÍCOLA	Cultivos en zonas frías	20 473,13	5,92
	Cultivos en zonas templada y ganadería de vacunos	55 173,94	15,95
	Cultivos en zonas cálidas	3943,60	1,15
PECUARIO	Pastos perennes y ganadería de vacunos	70 825,20	20,47
	Pastos temporales y ganadería de caprinos	141 538,06	40,91
	Pastos cultivados y ganadería de vacunos	8809,98	2,55
FORESTAL	Bosques caducifolios	13 644,55	3,94
	Bosques para reforestación	12 829,24	3,71
	Matorrales perennifolios	12 812,07	3,70
	Matorrales caducifolios	822,48	0,24
MINERO	Minas a tajo abierto	2604,05	0,75
POBLACIONAL	Centros urbanos	237,19	0,07
	Centros poblados rurales	-	-
OTRAS APLICACIONES			
	Lagunas - piscicultura (truchas)	178,01	0,05
	Ríos- riego y cuerpo receptor de residuos	599,15	0,17
	Islas - materiales de construcción	133,20	0,04
	Reservorio - regulación de la cuenca	1324,45	0,38
AREA TOTAL		345 948,30	100

^[d]Convenio INRENA-PEJEZA ,2004

Las zonas agrícolas predominan en la cuenca alta y, dependiendo de diversos factores climatológicos y morfológicos, se cultiva papa, trigo, cebada, arveja, lenteja, maíz amarillo, caña de azúcar, frutales, arroz, camote y yuca. En la cuenca baja destaca el cultivo transitorio, principalmente de arroz y maíz, los cuales son altamente dependientes de la disponibilidad de recursos hídricos. Mediante el riego regulado, durante los años 1989 a 2004, se logró cultivar arroz en 23 357 ha, lo que corresponde a 67,5% de área de cultivada en promedio y cuyo consumo de agua representa 80% del agua utilizada. El segundo cultivo más importante del valle, el maíz, alcanzó 6789 ha que representan en promedio un 19,6% del área cultivada.

De acuerdo al censo nacional del año 2013, la población de la región La Libertad era de 1 617 050 habitantes, es decir, 1,27% de incremento de la población respecto al año 1993. Además, de acuerdo a las proyecciones del INEI para el periodo 2010-2015 se espera que el crecimiento anual de la región La Libertad sea de 25 371 habitantes con una tasa 1,41 %.^[25] La población abastecida por el recurso hídrico representa 30,6% del total de pobladores asentados en las riberas de la cuenca, y el centro poblado de mayor demanda es Chepén, que consume 78,5% del recurso de uso poblacional total. El uso pecuario es poco significativo en la cuenca y solo representa un 0,30%.^[20]

1.2.2. La represa de Gallito Ciego

Considerada una de las más representativas del país y la cuarta represa más importante gracias a su volumen útil, la represa de Gallito Ciego cobra importancia debido a que está localizada en una región donde existe una alta tasa de productividad agrícola. Se encuentra ubicada en la región de Cajamarca, a aproximadamente 350 msnm y a 7° 13' latitud sur y 79° 10' oeste.^[26] Posee una capacidad útil de almacenamiento de hasta 404,4 millones Mm³ con una extensión de 14 km², que comprende parte de la carretera a Cajamarca hasta la localidad de Tembladera, distrito de Yonán, provincia de Contumazá.^[18] Permite regular el flujo en la cuenca del río Jequetepeque, lo cual es primordial para el abastecimiento y mejoramiento en campos de regadíos de arroz, maíz y caña de azúcar y, además, permite tener una reserva permanente disponible durante la época de bajas precipitaciones.



Figura 4. Represa de Gallito Ciego
Izquierda: el embalse. Derecha: Aliviadero. Fotografías del Proyecto DGI 2010.0110

Gallito Ciego también es considerada como una de las represa de tierra zonificada más altas de Latinoamérica, posee una configuración simétrica, núcleo central de impermeabilización de concreto armado y presenta un enrocado protector del tipo rip rap distribuido en la zona de operación así como alrededores para proteger los taludes de la acción erosiva del caudal aguas arriba y el efecto de agentes atmosféricos aguas abajo.^[20] La máxima altura de la presa asciende a 105 m, con ancho de la cresta de 15 m, ancho de base de 473 m y longitud de cresta 797 m. La corona de la presa está a 413 msnm y dispone de un borde libre de diseño de 2,70 m; en el nivel 404 msnm se encuentra el umbral del aliviadero de crecidas cuya capacidad máxima de descarga es 1630 m³/s. muy por debajo de la descarga máxima de 3230,00 m³/s con período de retorno de 2000 años.^[26]

Ubicado en la margen derecha del embalse y en la zona media del valle de Jequetepeque, se encuentra el pueblo de Tembladera con una población de 5579 habitantes que ocupan un área de 547,25 km². La zona se caracteriza por ser pantanosa y por contar con un riachuelo permanente lo cual favoreció el desarrollo de la agricultura.^[27] Al encontrarse próximo al embalse, los efluentes provenientes de las actividades antropogénicas podrían favorecer los procesos de eutrofización y la consecuente variación de la calidad de agua del embalse.

Cerca a 30,1 % de la superficie del territorio nacional (125 008 has) se dedica a la actividad agropecuaria ^[23], la cual aumentó en 9,5% en comparación al censo 1994. Aproximadamente 58% de esta extensión es productiva y el resto es barbecho o área no trabajada. ^[25] En la costa se consigue 23,7% de la producción agrícola nacional, siendo un 7,57 % de la superficie costeña apta para la producción agrícola. La razón principal de áreas no trabajadas en la costa se debe a la falta de acceso al recurso hídrico, mientras

que 57% de las áreas de producción agrícola dependen del cultivo bajo riego. En la región La Libertad, 273 481,8 ha de la superficie agrícola total dependen del riego.^[23]

La provincia de Pacasmayo cuenta con 7760 parcelas que cubren un área de 23 496,07 ha (20,9 % del territorio total); en el caso específico del distrito de Jequetepeque se cuenta con 13 parcelas que cubren un área de 3007,39 has (59% del territorio)^[23]. El 90% de las parcelas ubicadas en la zona de Pacasmayo es regado con agua del reservorio de Gallito Ciego, el resto se abastece de agua proveniente principalmente de pozos. Desde sus inicios la represa ha impulsado la actividad agrícola de la zona, incluso el mismo año en que comenzó a operar se generó un aumento en la producción de hasta 50%.

A partir del año 1997 comenzó a operar la Central Hidroeléctrica Gallito Ciego la cual fue adquirida en el 2003 por la empresa SN POWER PERU. Esta central tiene una potencia instalada de hasta 37,40 MW, potencia efectiva de 38,14 MW,^[28] y anualmente genera 150 GWh (Figura 5). Gracias a esto es reconocida como la hidroeléctrica de mayor capacidad entre las ubicadas a lo largo del cauce del río Jequetepeque.^[29]



Figura 5. Central hidroeléctrica Gallito Ciego.
Fotografía del proyecto DGI 2010.0110

De acuerdo a la actualización del Plan de Ordenamiento Ambiental de la cuenca del río Jequetepeque para la protección del Reservorio Gallito Ciego y su valle agrícola^[20], se ha identificado una serie de áreas ambientales críticas cuyas consecuencias podrían afectar el equilibrio del ecosistema de la cuenca. Entre estas se destaca la influencia del río Jequetepeque, cuya dinámica fluvial da paso a procesos de erosión, transporte, sedimentación y destrucción de sedimentos mientras que la represa de Gallito Ciego se comporta como gran receptor de este dicho material.

El embalse fue diseñado para una vida útil de 50 años, con un volumen útil de $400,4 \text{ Mm}^3$ y un volumen para sedimentos de 86 Mm^3 . Además, por la ubicación de las canteras del material de presa, un volumen adicional de 17 Mm^3 se sumó al volumen total del embalse.^[26] Un control realizado en el año 2000 mostró que el volumen total sedimentado fue $65,50 \text{ Mm}^3$, $34,78 \text{ Mm}^3$ se encuentran en el volumen útil en la zona próxima a la cola del embalse mientras que $30,72 \text{ Mm}^3$ en el volumen inactivo por cota de operación; de este volumen, 20 Mm^3 en la zona próxima a la captación de servicio se encuentra sepultado con una altura de relleno de 20 m.^[30] Dichas mediciones cuestionan las estimaciones realizadas durante el estudio de factibilidad del proyecto, que estimó que la tasa de pérdida de volumen debido a material sedimentable debería ser de $1,7 \text{ Mm}^3/\text{año}$; sin embargo; se reporta una pérdida de hasta 8,15 % del volumen útil lo cual equivaldría a un promedio de $4,68 \text{ Mm}^3/\text{año}$. En el siguiente gráfico se observa la variación del volumen de almacenamiento entre los años 2009 y 2013.^[32]

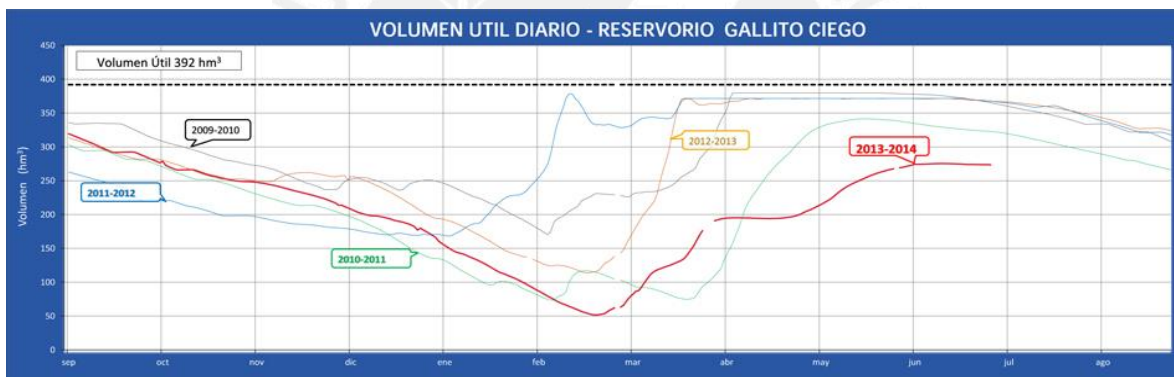


Figura 6. Variación del volumen de almacenamiento en la represa para el periodo 2009-2013^[e].

^[e] Autoridad Nacional del Agua, 2014

También se presenta a continuación un esquema de la distribución del embalse de Gallito Ciego de acuerdo a los datos batimétricos correspondientes al año 2013 y valores promedios del material sedimentado (figura 7).

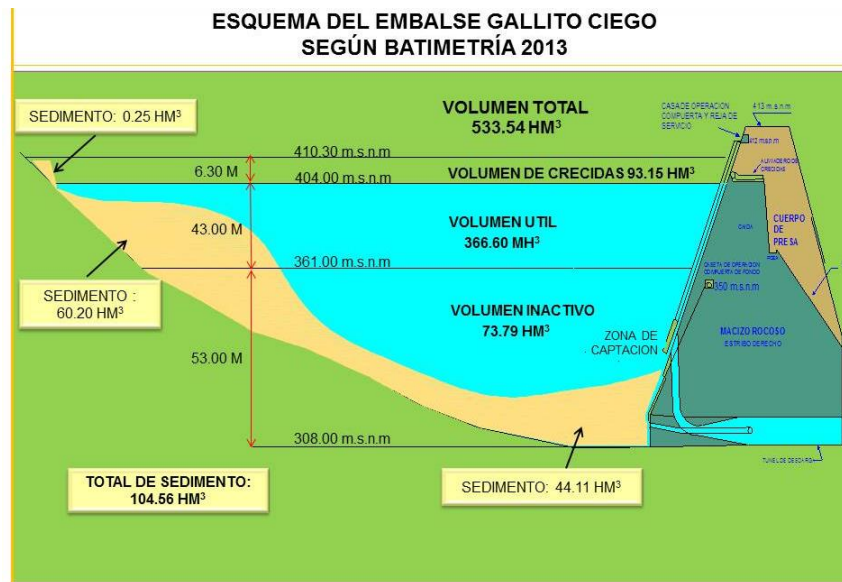


Figura 7. Esquema batimétrico del embalse para el año 2013^[20].

Un caso similar se ha observado en la represa de Poechos, considerada el reservorio más grande del Perú y cuya capacidad efectiva de almacenamiento fue, en un primer momento, de hasta 865 Mm³. Sin embargo, se ha reportado que en la actualidad sólo está rindiendo la mitad de su capacidad real debido a la sedimentación acelerada y su capacidad de almacenamiento se ha visto reducida hasta en 43 %.^[31]

1.3. Calidad del agua

Todos los cuerpos de agua se encuentran interrelacionados con los océanos, la atmósfera y formas de vida por medio del ciclo hidrológico. Mediante este proceso el recurso hídrico, así como los minerales y nutrientes que lo utilizan como vía de distribución, se encuentran a disponibilidad de los diversos ecosistemas y sociedades. Sin embargo, también se transporta contaminantes cuyos efectos pueden aumentar en su severidad debido a diversos procesos fisicoquímicos.

En la actualidad, el desarrollo urbano y las grandes infraestructuras alteran de diversas maneras los ecosistemas acuáticos afectando la calidad de agua y la disponibilidad del recurso. Por tanto, es fundamental establecer un régimen de monitoreo de la calidad de agua que permita determinar si esta se ajusta a las necesidades de la población y su ecosistema circundante, identificar focos potenciales de contaminación y que los entes reguladores tomen medidas para mitigar los impactos ambientales y sociales.^[33] Por esta razón, la EPA recomienda que cada 3 años los estados, comunidades y/o centros

poblados establezcan una audiencia pública para revisar los estándares de calidad de agua establecidos y asegurar que estos lineamientos estén correctamente asociados a las herramientas disponibles para el análisis así como también al tipo específico de uso de los cuerpos de agua. ^[34] En el caso peruano, se establecieron y aprobaron los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua mediante el decreto supremo N°002-2008-MINAM. Estos parámetros se ajustan a los distintos usos que se le da al recurso hídrico como poblacional y recreacional, actividades marino costeras, agricultura y ganadería, conservación del ecosistema acuático. ^[35]

La contaminación de fuentes acuíferas en el país ha sido analizada por entidades como INGETEC y Stratus Consulting, y se han obtenido diversos resultados de monitoreo de calidad de aguas como aquellos de la Dirección Regional de la Producción. Entre las conclusiones del estudio hidrológico realizado por Stratus Consulting se destaca: “A pesar de que las alteraciones en la calidad del agua no significan daño inminente para la gente, los estándares internacionales del agua para beber, para el ganado y para los sembríos fueron excedidos en algunos lugares. Esta es una preocupación para el largo plazo.” ^[36] Por este motivo, es importante analizar la composición de la fuente para identificar sustancias tóxicas (que pueden causar envenenamiento crónico dentro del ecosistema), sustancias que generen interferencia (por ejemplo, metales), sustancias que favorezcan procesos de degradación (compuestos que reducen el contenido de oxígeno), y nutrientes que generan procesos de eutrofización y estancamiento del agua (medidos mediante análisis de demanda de oxígeno). ^[37]

Adicionalmente, se debe considerar el importante papel de los ríos como principal vía de transporte de materiales particulados y solubles provenientes de lixiviados y escorrentía o como resultado de procesos de erosión. Dicho material tiende a acumularse naturalmente en los reservorios a una velocidad que depende de la morfología de la zona, del tipo y operación de la represa, y del uso de los suelos de la zona. De acuerdo a la FAO, el material sedimentable puede ser transportado en suspensión así como por arrastre de fondo. Los sedimentos en suspensión están constituidos por partículas finas suspendidas por acción del flujo y los remolinos que se originan a lo largo del cauce, y estos se asientan solo cuando la velocidad de corriente tiende a disminuir. Las partículas transportadas por arrastre de fondos son de mayor tamaño y arrastradas a lo largo del

lecho por la corriente. Las cantidades pueden variar de acuerdo a las características geomorfológicas de la cuenca hidrográfica.^[38]

La variación de la carga de minerales y nutrientes en ríos muestra una fuerte correlación con el desarrollo poblacional y las actividades antropológicas, así como también de los aportes residuales de zonas urbanas y agrícolas.^[39] Para esto, la EPA y APHA han diseñado metodologías estandarizadas y normalizadas que pueden ser adaptadas de acuerdo a cada tipo de muestra y permiten caracterizar la calidad de agua y contrastar los resultados obtenidos con los rangos establecidos por el estado para cada parámetro en específico.^[40]

En particular, existen estudios de organismos gubernamentales sobre la calidad de agua de la cuenca del Jequetepeque, como el realizado por INRENA en 1984 con la finalidad de determinar si el agua de la cuenca era apta para el consumo humano y agrícola. En dicho estudio se analizaron parámetros como pH, temperatura, mineralización (a partir de la salinidad, dureza total, alcalinidad, TDS), toxicidad (metales disueltos como bario, cadmio, cobre, cromo, mercurio, plomo, plata, y cianuro).^[21] En el 2013 el Ministerio de Agricultura y Riego y la OPEMA como parte del proyecto especial Jequetepeque- Zaña monitorearon la concentración de metales disueltos (tales como plomo, cinc, cadmio, manganeso, etc.), así como también cianuros, y poder determinar si el agua de la cuenca se mantiene dentro de los LMP de la Ley General de Aguas vigente actualmente.^[41]

Otros estudios se enfocan en monitorear el impacto de la actividad minera. Uno de ellos es el realizado por la Universidad Nacional de Ingeniería (2000), cuyo objetivo fue evaluar las condiciones ambientales y proponer planes para mitigar la contaminación por metales disueltos y cianuros de origen minero.^[22]

Es necesario considerar la presencia del embalse de Gallito Ciego y su efecto sobre la cuenca baja del río Jequetepeque. No ha sido posible, a la fecha de este reporte, encontrar información específica para esta pregunta. Por este motivo, el presente trabajo se enfoca en estudiar el efecto de la represa sobre la calidad de agua para lo cual se requiere diseñar un plan de monitoreo de aguas en estaciones seleccionadas, y que permitan dar un alcance del perfil de calidad desde la salida de la represa hasta la desembocadura en el mar.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

El objetivo del presente trabajo consiste en determinar la calidad de agua en la cuenca baja del río Jequetepeque después de la represa Gallito Ciego, para identificar y evaluar los impactos ambientales más significativos. Para el estudio de la problemática se hará una selección de estaciones de monitoreo de acuerdo a parámetros que garanticen su representatividad ; y las muestras serán analizadas en parámetros seleccionados : DQO, nitrógeno total, sulfatos, dureza, cloruros, sólidos totales disueltos y suspendidos, así como lecturas *in situ* de pH, conductividad y temperatura. Esto contribuye a ampliar los estudios previos realizados en el área de Jequetepeque.

1.4.2. Objetivos específicos

- Identificar y cuantificar la presencia de determinados contaminantes en las aguas de la cuenca baja mediante análisis de la demanda química de oxígeno, concentración de metales, contenido total de nitrógeno, contenido de sulfatos, dureza.
- Determinar el aporte de nutrientes provenientes del proceso de sedimentación dentro de la represa de Gallito Ciego.
- Identificar las principales fuentes antropogénicas (agricultura, ganadería, etc.) que afectan la calidad del recurso hídrico.
- La información obtenida contribuye al proyecto interdisciplinario PUCP-DGI-2010-0110 Diagnóstico Ambiental de Represas en la Costa Peruana. Caso de Estudio: La Represa de Gallito Ciego.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1. Frecuencia de muestreo

El programa de muestreo consiste en tres campañas coincidentes con el régimen hidrológico de la cuenca, (que es consecuencia de las estaciones del año y del clima) y las campañas de cultivos. La primera se realizó en agosto del 2011 con la finalidad de reconocer el área de estudio, identificar y establecer estaciones de muestreo representativas. Posteriormente, se realizaron dos campañas de muestreo, acorde al volumen del caudal del río Jequetepeque y coincidentemente con las épocas de mayor y menor precipitación del año 2012. La segunda campaña de muestreo se llevó a cabo en febrero del 2012 (altas precipitaciones), y la tercera en agosto del 2012 (bajas precipitaciones). En la tabla 4 se presentan los periodos de muestreo realizados.

Tabla 4. Fechas de los muestreos realizados durante las tres campañas

Estación	CAMPAÑAS DE MUESTREO		
	ago-11	feb-12	ago-12
E1	01/08/2011	27/02/2012	06/08/2012
E2	---	---	06/08/2012
E3	02/08/2011	27/02/2012	06/08/2012
E4	---	27/02/2012	06/08/2012
E5	01/08/2011	27/02/2012	06/08/2012
E6	---	28/02/2012	07/08/2012
E7	02/08/2011	28/02/2012	06/08/2012
E8	---	28/02/2012	07/08/2012
E9	01/08/2011	28/02/2012	07/08/2012

2.2. Estaciones de muestreo

Se seleccionaron lugares representativos del área de estudio, tanto en sus parámetros físicos (clima, recursos naturales), geográficos (morfología, tipo de ecosistemas), así como sociales (uso del agua y suelo en actividades productivas, centros poblados). Es importante que las estaciones de muestreo sean además zonas de fácil acceso y seguras para garantizar su permanencia en la red de monitoreo diseñada.

En una primera campaña de muestreo se seleccionaron cinco estaciones base y luego se aumentó el número para complementar y disponer de más información para este caso de

estudio, llegándose a un total de nueve estaciones. De esta manera se podría estudiar la existencia de tendencias entre estaciones y además asegurar el análisis estadístico.

En la siguiente tabla se presentan las estaciones de muestreo así como su ubicación exacta (información obtenida mediante uso de GPS GARMIN e-TREX).

Tabla 5 .Ubicación y coordenadas de las estaciones de muestreo.

Estación	Nombre de la estación	Coordenadas UTM		Zona
		Este	Norte	
E1	Santa Catalina	709665	9197601	17
E2	Tembladera I (*)	705854	9197792	17
E3	Tembladera II (**)	706574	9197413	17
E4	La Huaca	705854	9201130	17
E5	Garita 7	697380	9200357	17
E6	Puente Las Varas	696006	9197873	17
E7	Bocatoma	679874	9190204	17
E8	Puente Libertad	668093	9190217	17
E9	Desembocadura	655698	9189207	17

(*)Adicionalmente se realizó un muestreo en otro punto de Tembladera durante la tercera campaña de muestreo. (**)La muestra fue tomada directamente de la boca del desagüe durante la primera campaña.

En la figura 8 se observa el mapa con la ubicación de las nueve estaciones de muestreo.

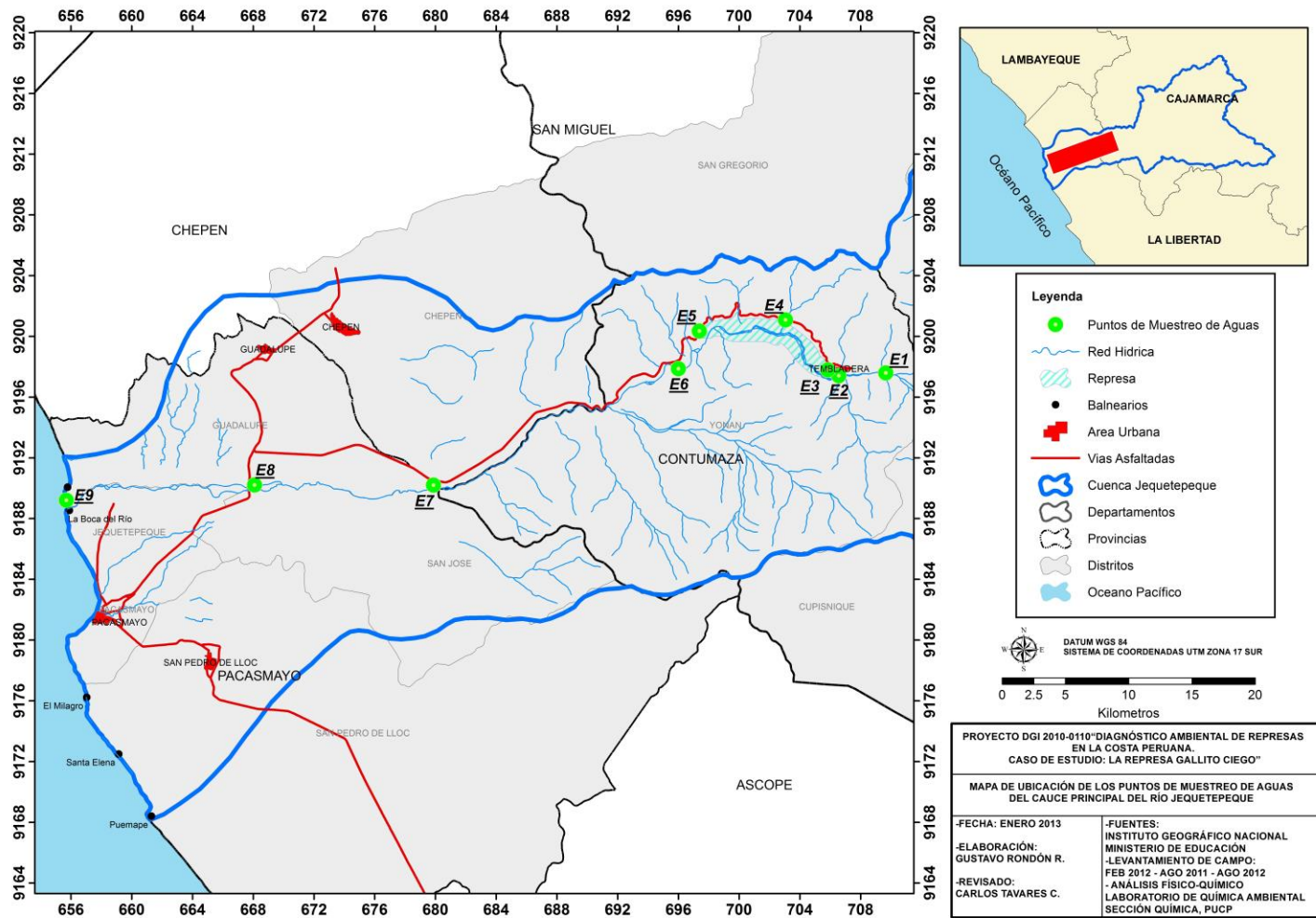


Figura 8. Mapa de ubicación de las estaciones de muestreo. Fuente: Proyecto DGI PUCP 70245.0110

2.2.1. Estación E1 Santa Catalina

La información que se obtiene permite tener conocimiento de las características que presenta el agua del río previa a su llegada a Gallito Ciego. Dicho análisis referencial es relevante puesto que permite realizar una comparación de la calidad del agua que ingresa al reservorio y de la que sale para así estudiar la influencia que tiene la estructura de la represa, especialmente en cuanto al material sedimentado acumulado.

Esta estación de muestreo se ubica en el distrito de Yonán, en la provincia de Contumazá y pertenece a la región de Cajamarca. La estación es de referencia o control y se encuentra localizada c.a. 5 km aguas arriba de la represa de Gallito Ciego. El área está rodeada de vegetación mientras que en las laderas del río se observan zonas pedregosas con presencia de algas así como acumulación de material sedimentable (Ver Figura 9). El caudal observado durante los muestreos fue moderado y poco turbulento, y las condiciones climáticas no presentan variaciones significativas durante las distintas estaciones del año.



Figura 9. Estación E1 Puente Santa Catalina
Agosto– 2011. Fotografías del Proyecto DGI 2010.0110

2.2.2. Estación E2 Tembladera I

Este punto fue implementado durante la tercera campaña para obtener información adicional sobre el aporte de los efluentes de dicho poblado y su potencial influencia sobre el embalse. Tembladera es la capital del distrito de Yonán, se ubica en la zona aledaña a la parte alta del embalse de la represa a 6,3 km aproximadamente respecto a la estación E1. El punto de muestreo se encuentra cercano al primer tubo de desagüe de la ciudad, en una zona rodeada de campos agrícolas donde predominan los cultivos de

arroz. Se observa canaletas que desvían el agua necesaria para mantener los campos de cultivo inundados.

2.2.3. Estación E3 Tembladera II

La zona es principalmente agrícola-ganadera y se abastece del agua del río Jequetepeque. También se practica la pesca artesanal de especies como lifes, cascaves, tilapia, mojarra, etc. El muestreo se realizó directamente en la salida del tubo de desagüe del sistema de drenaje del centro poblado, c.a. 1 km de la ciudad y 700 m de la estación anterior. El terreno circundante es arenoso con presencia de matorrales. El área se encuentra rodeada de residuos domésticos. El agua presenta una particular tonalidad verduzca en las zonas cercanas a la ribera, lo cual se puede observar en la Figuras 10.



Figura 10. Estación E3: Desagüe de Tembladera
Vista del embalse desde el punto de muestreo (izquierda). El tubo de desagüe (derecha).
Febrero 2012. Fotografías del Proyecto DGI 2010.0110

2.2.4. Estación E4 Las Huacas

Este punto fue implementado a partir de la segunda salida de campo para complementar la información obtenida de la calidad del agua de la represa. La estación se encuentra en el caserío homónimo adyacente al embalse, c.a. 4,8 km de Tembladera. Cerca se aprecian vestigios arqueológicos en deterioro y formaciones rocosas en los alrededores. Se observa la presencia de algas y vegetación en la orilla del embalse, la cual se desarrolla aprovechando los nutrientes disponibles aparentemente en exceso. El agua presenta la misma tonalidad verduzca observada en los anteriores puntos ubicados en la ribera del embalse.



Figura 11. Estación E4: Las Huacas
Vista de la ribera (izquierda). Vista general de la zona de muestreo (derecha). Febrero 2012. Fotografías del Proyecto DGI 2010.0110

2.2.5. Estación E5 Garita 7

Está ubicada a 5,1 km de la estación anterior, y es una de las estaciones de monitoreo ubicadas en el embalse. Este punto de muestreo se eligió debido a su fácil acceso; a diferencia del anterior, aquí se observa una alta población de arbustos. En la segunda campaña de muestreo, el área se encontraba parcialmente inundada, y en la tercera se observó la presencia de abundante vegetación en las zonas cercanas a la ribera.



Figura 12. Estación E5 Garita 7.
Vista del punto de muestreo (izquierda). Caseta del cuarto de máquinas en la garita 7 (derecha). Febrero 2012. Fotografías del Proyecto DGI 2010.0110

2.2.6. Estación E6 Puente Las Varas

Se eligió dicha estación debido a que es uno de los primeros poblados que se encuentran aguas debajo, por tanto, contribuirá en el análisis de la influencia de la actividad antropogénica. Además, permitirá evaluar algunos parámetros de calidad del agua que sale de la represa. Está ubicada a unos 3,5 km de la estación E5 y a 2 km del dique; el puente se encuentra cercano al centro poblado del mismo nombre y sirve como ruta de acceso. La zona es predominantemente agrícola y ganadera, principalmente del tipo vacuno el que, por lo general, se observa pastando durante las primeras horas del día en los alrededores.



Figura 13. Estación E6: Las Varas
Febrero 2012. Fotografía del Proyecto DGI 2010.0110

2.2.7. Estación E7 Bocatoma

La estación permite estudiar la calidad de agua destinada específicamente para la agricultura y la ganadería. Ubicada aproximadamente a 16,4 km respecto a la estación anterior y a unos veinte km de la represa, esta estructura capta el agua del río Jequetepeque y la distribuye a través del canal de San Pedro hacia distintos centros poblados, pero principalmente para el abastecimiento del distrito de San Pedro de Lloc. En los alrededores se pudo notar la presencia de vida acuática, principalmente peces así como algas y vegetación en las riberas del río. Durante la tercera campaña, el acceso al área de la bocatoma se vio impedido debido a la crecida del río; por este motivo, las muestras de agua se tomaron aguas abajo respecto a la estructura. (ver Figura 14)



Figura 14. Estación E7: Bocatoma de San Pedro de Lloc.
Vista de la bocatoma, agosto 2011 (izquierda). Área de muestreo aguas abajo durante la época de crecida, agosto 2012 (derecha). Fotografías del Proyecto DGI 2010.0110

2.2.8. Estación E8 Puente Libertad

Ubicada a 12,8 km respecto a la estación anterior y a 2 km del distrito de Ciudad de Dios en la provincia de Pacasmayo, en una zona principalmente agrícola, esta estación permitirá estudiar la influencia de dicha actividad, que se extiende a lo largo del valle, antes de ingresar a la desembocadura. En esta zona confluyen los efluentes provenientes de diversos centros poblados. Cada fuente aporta una carga orgánica que va a afectar la calidad del agua en este punto. Esta estación de muestreo se implementó durante la segunda campaña. Se aprovechó un muro enrocado para acceder a la zona.



Figura 15. Estación E8 Puente Libertad.
Vista del punto de muestreo (izquierda). Zona aguas arriba con respecto al puente (derecha). Febrero 2012. Fotografías del Proyecto DGI 2010.0110

2.2.9. Estación E9 Desembocadura

La estación se ubica en el balneario de Magdalena, en el área terminal del río Jequetepeque, en la desembocadura hacia el Océano Pacífico, y se encuentra aproximadamente a 11,9 km respecto a la estación E8. El área se caracteriza por una extensa vegetación en las orillas del río, así como residuos urbanos. Se observa la presencia de aves en la zona, atraídas por la cantidad de materia orgánica y desperdicios acumulados en dicha zona. El muestreo en la zona permitirá determinar el grado de contaminación con la cual llegan las aguas al mar.



Figura 16. Estación E9 Desembocadura.

Vista del río Jequetepeque previa a su llegada al océano (izquierda). Vista del balneario (derecha). Agosto 2012. Fotografías del Proyecto DGI 2010.0110

2.3. Métodos de muestreo

Los análisis ejecutados fueron *in situ* y en el laboratorio. Los métodos, ya sean estandarizados, adaptados o validados, se reportan para cada parámetro en el acápite correspondiente.

Tabla 6. Parámetros fisicoquímicos analizados

Parámetro	Tipo de análisis
pH	<i>In situ</i>
Conductividad	<i>In situ</i>
Temperatura	<i>In situ</i>
Cloruros	ASTM D 512-89, TEST METHOD B
Dureza Total	APHA 2340 C
Nitrógeno Total	ASTM 3590-89, TEST METHOD A
Demanda química de oxígeno	ASTM 1252-00, TEST METHOD A
Sólidos totales disueltos	APHA 2540 C
Sólidos totales en suspensión	APHA 2540 D
Sulfatos	APHA 427 A
Sodio disuelto	EPA 273.1
Hierro disuelto	EPA 236.1
Magnesio disuelto	EPA 242.1
Calcio disuelto	APHA 3500-Ca B
Cinc disuelto	APHA 3500-Zn

Para el muestreo de agua durante la segunda y tercera campaña se utilizó una botella muestreadora horizontal tipo Van Dorn, previamente enjuagada con agua del río. La toma se realizó sumergiendo la botella unos 20 cm por debajo de la superficie del agua, convenientemente se sujetó el muestreador con una soga y se buscó una ubicación intermedia del cauce del río. (ver Figura 17)



Figura 17. Muestreo de agua con botella Van Dorn. Disposición de la botella de Van Dorn para los muestreos (izquierda). Muestreo de agua en la estación E1 desde la zona intermedia del puente (derecha). Fotografías del Proyecto DGI 2010.0110

El contenido del muestreador se distribuye en botellas de polietileno de 1 L limpias y selladas con Parafilm®. Primero se procedió a enjuagar cada una de las botellas tres veces con las muestras correspondientes y finalmente se completa el volumen del recipiente. Cada una de estas botellas posteriormente fue sellada con un precinto de seguridad, tapa rosca y Parafilm® para evitar que la muestra se contamine o derrame. Para la identificación de las muestras se utilizaron etiquetas con información tal como el código de la estación, hora y fecha de muestreo, analito, e información de las condiciones climáticas. Para evitar la pérdida de esta información, la cual se completó con marcador indeleble, se procedió a proteger la etiqueta con cinta de embalaje. (Figura 18) Luego, las muestras se almacenan en una caja térmica con gel refrigerante para evitar alteración por cambios de temperatura.



Figura 18. Preservación y almacenamiento de muestras. Materiales utilizados para la preservación de muestras (izquierda). Disposición y preservación de las muestras mediante la metodología correspondiente (derecha). Fotografías del Proyecto DGI 2010.0110

Para los distintos análisis seleccionados se requiere un volumen total de 4 L. La preservación de dichas muestras se realiza de acuerdo a los parámetros escogidos para su análisis en laboratorio.

- 1 L de muestra preservada con HNO_3 concentrado hasta pH 2.5 para minimizar la precipitación y la adsorción de metales en las paredes interiores del recipiente. Esta muestra se utiliza para la determinación de dureza total y metales.
- 1L de muestra, preservada con H_2SO_4 concentrado hasta pH 2.5 para inhibir la actividad microbiana y analizar los contenidos de nitratos, fósforo total y materia orgánica.
- 2 L de muestra sin preservar para verificación de pH y conductividad en el laboratorio y análisis de sólidos totales y cloruros.

2.4. Medición de parámetros *in situ*

2.4.1. Temperatura

Se usa un multiparámetro WTW MULTILINE P4 debidamente calibrado en laboratorio y verificado en campo. La medición se realizará inmediatamente en cada muestreo.

2.4.2. Conductividad eléctrica y pH

En campo se utiliza el pHmetro HANNA HI98127 y el conductímetro HANNA HI8314. Las mediciones se realizan con el multi-parámetro WTW MULTILINE P4 empleando el electrodo correspondiente. El equipo se calibra con solución buffer de pH=4, pH= 7 y pH= 10, y para el electrodo de conductividad se calibra con solución estándar de KCl 0.3M.

2.4.3. Velocidad de flujo

Para medir este parámetro se aplica el principio de flotación, mediante el cual se registra el tiempo que demora el desplazamiento de un determinado objeto a lo largo de una distancia conocida. (Ver Figura 19)^[42]

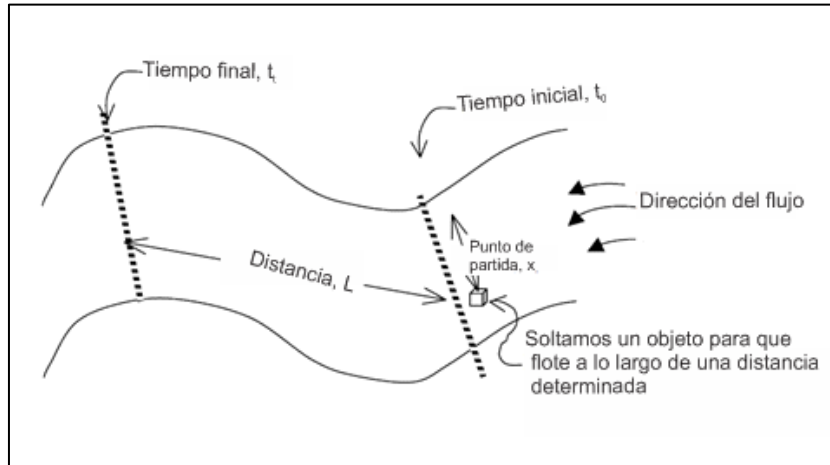


Figura 19. Esquema del método de flotación ^[42].

El valor de la velocidad se obtendrá mediante la siguiente relación:

$$v = d/t$$

donde d es la distancia recorrida (en metros) y t es el tiempo (en segundos)

2.5. Metodologías analíticas

Es necesario tener en cuenta que algunos parámetros pueden ser sensibles a variaciones de temperatura, pH, degradación por actividad microbiológica, oxidación, adsorción en las paredes del recipiente, precipitación de compuestos inorgánicos (e.g., hidróxidos metálicos), etc. ^[43] Por esto, es necesario respetar el tiempo máximo recomendado para el almacenamiento de la muestra. Dicha información así como las consideraciones para preservar la muestra, se encuentran indicadas en la tabla 7. Los análisis se realizaron en los laboratorios de Química Ambiental y de Análisis Instrumental de la Sección Química durante el año 2012.

Tabla 7. Requerimientos para el almacenamiento de las muestras

PARÁMETRO	MÉTODO DE PRESERVACIÓN	PERÍODO MÁXIMO DE ALMACENAMIENTO
Conductividad	Refrigerar a 4°C	28 días
Sólidos totales	Refrigerar a 4°C	7 días
Metales disueltos	Adicionar HNO _{3(cc)} hasta pH <2	6 meses
Cloruros	No se requiere	28 días
Dureza Total	Adicionar HNO _{3(cc)} hasta pH <2	6 meses
Nitrógeno (Kjeldahl)	Adicionar H ₂ SO _{4(cc)} hasta pH <2 y refrigerar.	28 días
Sulfatos	Refrigerar a 4°C	28 días
Materia orgánica (DQO)	Adicionar H ₂ SO _{4(cc)} hasta pH <2 y refrigerar.	28 días

2.5.1. Equipos e instrumentos

En la tabla 8 se presenta el listado de equipos y/o instrumentos utilizados para los análisis fisicoquímicos. Los equipos espectrométricos se encuentran en el Laboratorio de Análisis Instrumental de la Sección Química PUCP, el equipo de destilación se ubica en el laboratorio de docencia mientras que los demás equipos de la lista se encuentran en el Laboratoriode Química Ambiental.

Tabla 8. Equipos o instrumentos utilizados de acuerdo a su marca y modelo

EQUIPO/ INSTRUMENTO	MARCA/MODELO
Espectrómetro de absorción atómica de llama	Perkin Elmer® modelo 3100
Multiparámetro con electrodos para pH, conductividad y temperatura	Multiline WTW P4
pH-metro	HANNA HI98127
Sistema de digestión y destilación Kjeldahl	Construido en el Taller de Vidrio de la Sección Química PUCP
Manta de calentamiento	MI D250 SERCAL S.R.L.
Detector infrarrojo de temperatura	UNI-T modelo 302C
Sistema de posición global (GPS)	GARMIN e-TREX Vista
Estufa (de 0 a 120°C)	Cimatec S.A. modelo Memmert
Mufla (de 0 a 1000°C)	NaberIndustrieofenbau
Agitador lineal	Diseñado por la Sección Ing. Electrónica PUCP
Plancha de calentamiento rectangular	Thermolyne®corp
Cocinilla	ThermoScientific® CIMAREC
Ultrasonido	Cole-Palmer® modelo 08891-26
Lámparas de cátodo hueco de Ca,Na,Fe, Zn,Cd	Perkin Elmer®LuminaLamp
Sistema de purificación de agua	Millipore®
Balanza analítica digital calibrada	OHAUS® modelo Adventurer (capacidad máxima 210 g y sensibilidad de 0,0001 g)

2.5.2. Reactivos utilizados

En la tabla 9 se presenta la lista de reactivos utilizados en el presente estudio.

Tabla 9. Reactivos utilizados durante los análisis fisicoquímicos y analíticos

Nombre	Fórmula química	N° CAS	Marca	Grado
Ácido sulfúrico concentrado(*)	H ₂ SO ₄	7664-93-9	Merck	96-98 %
Ácido nítrico concentrado(*)	HNO ₃	7697-37-2	Merck	68-70 %
Carbonato de calcio	CaCO ₃	471-34-1	Scharlau	99.99%
Cloruro de amonio	NH ₄ Cl	12125-02-9	Merck	99.99%
Cromato de potasio	K ₂ CrO ₄	7778-50-9	Merck	99.99%
Detergente Extran® neutro	---	----	Merck	---
Fenoltaleína	C ₂₀ H ₁₄ O ₄	77-09-8	Fisher	99.99%
Ftalato ácido de potasio	KHC ₈ H ₄ O ₄	877-24-7	Mallinckrodt	99.99%
Hidróxido de sodio	NaOH	1310-73-2	J. T. Baker	≥ 98.00%
Indicador rojo de metilo	C ₁₅ H ₁₅ N ₃ O ₄	493-52-7	Fisher	99.99%
Buffer pH 4	Ác. cítrico /NaOH/HCl	---	Merck	---
Buffer pH 7	Na ₂ HPO ₄ /KH ₂ PO ₄	---	Merck	---
Buffer pH 10	H ₃ BO ₃ /KCl/NaOH	---	Merck	---
Peróxido de hidrógeno	H ₂ O ₂	7722-84-1	Merck	≥ 90.00%
Dicromato de potasio	K ₂ Cr ₂ O ₇	7789-00-6	Merck	99.50 %
Cloruro de sodio	NaCl	7440-23-5	J. T. Baker	99.99 %
Sulfato de plata	Ag ₂ SO ₄	10294-26-5	Merck	99.80 %
Nitrato de plata	AgNO ₃	7761-88-8	Merck	99.80 %
Sulfato ferroso heptahidratado	FeSO ₄ .7H ₂ O	7782-63-0	J. T. Baker	98.00 %
1,10 ortofenantrolina monohidratada	C ₁₂ H ₈ N ₂ .H ₂ O	5144-89-8	Merck	98.00 %
Sulfato ferroso amoniacal hexahidratado	FeSO ₄ .(NH ₄)SO ₄ .6H ₂ O	7783-85-9	J.T. Baker	99.99 %
Ácido bórico	H ₃ BO ₃	10043-35-3	J.T. Baker	99.99 %
Oxido de mercurio(*)	HgO	21908-53-2	Merck	99.99 %
Indicador azul de metileno	C ₁₆ H ₁₈ ClN ₃ S	7220-79-3	Merck	≥ 97.00%
Tiosulfato de sodio pentahidratado	Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O	10102-17-7	Merck	99.99 %
Sulfato de potasio	K ₂ SO ₄	7778-80-5	Merck	99.99 %
Sulfato de bario	BaSO ₄	7727-43-7	Merck	≥ 97.00%
Ácido clorhídrico fumante(*)	HCl	7647-01-0	Merck	37%
Solución de calibración de conductividad	KCl	----	Hanna	99.99%
Estándar de cinc 1000 ppm	Zn(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	----	Panreac	ICP
Estándar de hierro 1000 ppm	Fe(NO ₃) ₃	---	Merck	ICP

(*) Reactivos fiscalizados por la SUNAT.

2.5.3. Determinación de dureza total

La dureza total se determina por titulación con EDTA de acuerdo a la norma APHA, 2340 C. ^[44] El principio de este método consiste en la formación de complejos por efecto quelato entre el EDTA y ciertos cationes metálicos, principalmente son Mg^{2+} y Ca^{2+} . Al adicionar negro de eriocromo T a la muestra, esta se torna de color rojo vino en presencia de los cationes mencionados y, posteriormente, adquiere una tonalidad azul cuando se ha alcanzado el punto final o de equivalencia. El resultado es expresado en miligramos de carbonato de calcio por litro de muestra. Se hace uso de una solución de carbonato de calcio, para estandarizar el EDTA.

2.5.4. Determinación de sólidos totales

Los sólidos totales hacen referencia al material residual que se obtiene como resultado de la evaporación y subsecuente secado de la muestra. En esta categoría se incluye a los sólidos en suspensión y a los sólidos disueltos, los cuales se diferencian en la posibilidad de ser retenidos mediante el uso de filtros. Además tenemos a los sólidos sedimentables que son los materiales que sedimentan a partir de una suspensión en un período de definido. En el presente trabajo se hace uso de métodos aprobados por la APHA.

2.5.4.1. Análisis de sólidos disueltos totales

Para determinar la cantidad de sólidos disueltos totales se hace uso del método APHA 2540 C. ^[45] Se toma una alícuota representativa de la muestra, se separa mediante filtro Millipore®; y, posteriormente, se coloca la solución en un crisol de porcelana previamente pesado. Este es colocado sobre una plancha con la finalidad de lograr la evaporación a sequedad cuidadosamente cubierto con una luna de reloj para evitar salpicaduras. El punto final se determina una vez que el peso del contenido del crisol se mantenga constante. La diferencia entre el peso obtenido y el del crisol vacío será equivalente a la cantidad de sólidos disueltos totales. El límite superior de detección de este método es de 200 mg de residuo debido a la posibilidad de formación de costras en el crisol.

2.5.4.2. Análisis de sólidos en suspensión

Para este parámetro se hace uso del método APHA 2540 D ^[46], el cual consiste en evaporar a sequedad el material retenido mediante el proceso de filtración. Esto se da de manera similar al método anterior, pero a un rango de temperatura entre 103 y 105°C y colocando las muestras en una estufa (Figura 20). Como en el caso anterior, el resultado

final se encuentra expresado como la diferencia en peso entre el papel seco y el papel con sólido. El límite de detección es de 4 a 20 000 mg/L.

Es necesario acondicionar el papel filtro para minimizar la presencia de contaminantes; para esto, se lava el papel con agua destilada y bajo succión mediante el uso de una trampa para filtrar. Una vez concluido este proceso se lleva el papel a la estufa hasta que al pesarlo no exista variación significativa. Para asegurar que no se pierde material suspendido dentro del recipiente, se procede a lavarlo unas 3 veces y así arrastrar el sólido que se encuentre alojado en la zona inferior del recipiente.

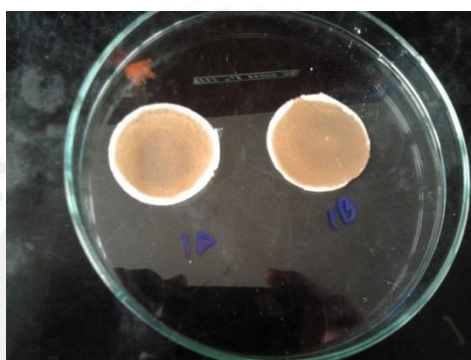
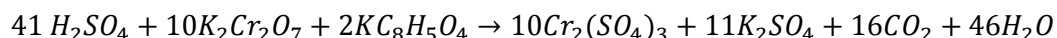


Figura 20. Determinación de sólidos en suspensión
Muestra filtrada al vacío y secada en estufa. Fotografía del Proyecto DGI 2010.0110

2.5.5. Determinación de demanda química de oxígeno (DQO)

Este parámetro permite medir los equivalentes de oxígeno (contenidos en la materia orgánica) susceptibles a procesos oxidativos. Teóricamente, entre 95 y 100 % de los compuestos orgánicos comunes en fuentes acuíferas son oxidados. Se usa el método ASTM 1252-00, TEST METHOD A ^[47], mediante el cual los compuestos orgánicos presentes son oxidados por una solución de dicromato de potasio en medio ácido. Se utiliza sulfato de plata como catalizador de la reacción. Adicionalmente, se debe considerar la presencia de compuestos volátiles por lo que es necesario iniciar el proceso de digestión a bajas temperaturas (40 °C aproximadamente), lo cual permitirá que dichos compuestos reaccionen con el dicromato y se oxiden. Posteriormente, se incrementa la temperatura del baño y, una vez que inicie el reflujo, se mantiene el balón de reacción a temperatura constante de 100°C por un periodo de 2 horas (figura 21). Para asegurar que el calentamiento durante el proceso de reflujo sea homogéneo se hace uso de un baño de aceite cuya temperatura se controla mediante un sensor infrarrojo.

Para la cuantificación de dicromato se realiza una titulación con sal de Mohr (solución de sulfato ferroso amoniacal 0,25N) en presencia de indicador de fenantrolina. Para fines comparativos se hace uso de un estándar de biftalato de potasio de concentración conocida. La reacción general del proceso para el caso de dicho estándar es:



El límite de detección del método se encuentra entre 10 y 800 mg de O_2/L para muestras con contenido de cloruro menor que 1000 mg/L. El DQO se calcula determinando la cantidad de dicromato consumido durante el proceso de digestión de la muestra.



Figura 21. Análisis de DQO.

Sistema de digestión de la muestra (izquierda). Punto inicial de titulación (centro). Punto final de la titulación con sal de Mohr (derecha). Fotografías del autor

2.5.6. Determinación del contenido total de nitrógeno

El contenido de nitrógeno Kjeldahl se determina por digestión y destilación descritos en la norma ASTM D 3590 – 89, TEST METHOD A. ^[48] El nitrógeno total por Kjeldahl hace referencia a la suma del contenido de dicho elemento, el cual puede presentarse como amonio libre o derivados de la conversión de sales de amonio de origen biológico (por ejemplo, a partir de aminoácidos o proteínas). Mediante este método dichos compuestos pasan a sulfato de amonio $[(NH_4)_2SO_4]$ mediante digestión de la muestra.

La solución de digestión está compuesta por K_2SO_4 , agua, H_2SO_4 y sulfato de mercurio. La muestra se somete a ebullición vigorosa hasta que se vuelva incolora y/o se observe formación de vapores. Al enfriarse se observa la formación de un sólido de tonalidad blanquecina (sulfato de amonio) el cual debe ser disuelto para su posterior

procesamiento. Luego, se adiciona una mezcla de hidróxido de sodio y tiosulfato para alcalinizar la mezcla de digestión. Posteriormente, se destila el amoniaco, el cual será colectado sobre una solución en ácido bórico (H_3BO_3) con gotas de indicador mixto (rojo de metilo y azul de metileno) para, finalmente, determinar la cantidad de nitrógeno presente en dicha solución (figura 22). Para la determinación cuantitativa se titula con H_2SO_4 0,02N estandarizado con una solución patrón de carbonato de calcio.



Figura 22. Digestión para el análisis de Kjeldahl.
Sistema de digestión (superior). Sulfato de amonio resultante del proceso de digestión (izquierda). Sistema de destilación (derecha). Fotografías del autor

Tanto el proceso de digestión así como la destilación se optimizan con el uso de chaquetas de calentamiento (mantas), lo cual reduce el tiempo de la reacción y permiten que el calentamiento sea homogéneo. Adicionalmente, es necesario acotar que se elige el método para micro-escala ya que permite una mayor reproducibilidad y trabajar con volúmenes menores de muestra. La norma ASTM indica que el método es aplicable a muestras a partir de 1 hasta 200 mg N/L. Por encima de este rango se observan interferencias poco significativas debido a la presencia de nitratos.

2.5.7. Determinación de sulfatos

Los cuerpos de agua son el principal medio de difusión del anión sulfato, y entre los principales contribuyentes son los efluentes provenientes de la minería, principalmente residuos del proceso oxidativo de la pirita (drenaje ácido de minas). Se hace uso del método gravimétrico de acuerdo a la norma APHA 427 A.^[49] Este consiste en precipitar el contenido de sulfatos en medio ácido por adición de una solución de cloruro de bario. Luego de un periodo de digestión, la solución es filtrada con papel de filtro libre de cenizas que es lavado con agua destilada para minimizar la presencia de cloruros. Finalmente, el papel filtro es calcinado a 800 °C y la cantidad de sulfato de bario se obtiene por diferencia de peso.

Para asegurar que el filtrado se encuentre libre de cloruros se realiza una prueba cualitativa con nitrato de plata. Si se observa la aparición de precipitado blanquecino de AgCl se debe continuar lavando; caso contrario, se continúa con el método. Además, se debe considerar que se usa papel filtro libre de cenizas que no genera contaminantes que alteren el peso final. Se debe tener sumo cuidado durante el proceso de calcinación ya que el papel puede inflamarse rápidamente; por este motivo se quema previamente sobre un crisol con tapa y con la ayuda de un mechero. Después se ingresa la muestra a una mufla Naber Industrieofenbau y se procede a incrementar la temperatura hasta la indicada en el método. La muestra se deja por dos horas de manera que la calcinación sea completa, y se da una hora adicional para asegurar que el peso final se mantenga constante. El límite de detección del método se encuentra sobre 10 mg SO₄²⁻/L, y este método resulta práctico y reproducible en comparación con métodos instrumentales.

2.5.8. Determinación de cloruros

El ión cloruro es uno de los principales aniones inorgánicos disponibles en fuentes acuíferas. Su importancia es mayor cuando se trata de aguas residuales debido a que el NaCl es uno de los principales constituyentes de la dieta y es excretado sin sufrir cambios considerables.^[40] En este trabajo se hace uso del método de titulación con nitrato de plata (ASTM D 512-89, TEST METHOD B).^[50] Se utiliza principalmente para muestras de agua donde la concentración de iones cloruro es mayor que 5 mg/L y ha sido validado por la ASTM dentro del rango de 8 a 250 mg Cl⁻/L. El pH de la alícuota de la muestra debe ser ajustado hasta un valor cercano a 8,3 (pH del punto final de la fenolftaleína). Luego se adiciona indicador de K₂CrO₄ y se titula con AgNO₃ 0,025N (estandarizado con NaCl). El

punto de equivalencia se alcanza cuando se presenta una tonalidad rojo ladrillo persistente. Para disminuir una posible interferencia por iones sulfito, se adiciona H_2O_2 30% previo a la titulación. En caso de muestras que presenten turbidez, lo recomendable es realizar un filtrado previo.

2.5.9. Determinación de metales disueltos

En este trabajo se estudia de la concentración de metales presentes por unidad de volumen de muestra. Los elementos que se analizan son Fe (método EPA 236.1)^[51], Na (método EPA 273.1)^[52], Ca (método APHA 3500-Ca B)^[53], Zn (método APHA 3500-Zn)^[54] y Mg (método EPA 242.1).^[55] En cada caso, la metodología es similar y el análisis del contenido de cada metal se realiza por espectrometría de absorción atómica de llama en un equipo Perkin Elmer modelo 3100. Para cada uno de los parámetros es importante realizar una curva de calibración a partir de las correspondientes soluciones estándares.

2.6. Lavado de material

Para la limpieza de material de vidrio, se adaptó la metodología de lavado establecida en la norma ASTM-D3974-09 “Práctica para la extracción de elementos de traza en sedimentos”. Se tomaron las precauciones debidas de acuerdo al uso y al análisis que se le dio al material de manera que se minimice el riesgo de generar interferencias. El material se remoja en baldes con solución de Extrán® de pH neutro por un tiempo aproximado de 24 horas. Luego se lava con agua potable y agua desionizada, y se coloca en un balde con solución de HCl 1:1 por un periodo de 12 horas. Finalmente se procede a enjuagar el material con agua desionizada de 3 a 4 veces.

2.7. Disposición de residuos

La disposición de residuos se llevó a cabo de acuerdo a los lineamientos establecidos por la Sección Química de la PUCP y en cumplimiento de las normas de seguridad pertinentes. En lo que respecta a residuos acuosos generados para la calibración de métodos analíticos, fueron diluidos, neutralizados y posteriormente desechados.

En el caso de residuos acuosos de titulación, se procedió a neutralizarlos y almacenarlos en frascos ámbar de 5 L con tapa hermética. Los residuos de elevada acidez fueron almacenados en frascos ámbar de 5 L rotulados de acuerdo al análisis de procedencia, estos fueron separados de las sustancias incompatibles. En este caso no se realizó la

neutralización debido a que implicaría un elevado consumo de agente neutralizante y el proceso es exotérmico.

Los residuos sólidos generados de los análisis de sedimentos en suspensión y disueltos fueron dispuestos como desechos generales debido a que los análisis no implicaron el uso de reactivos químicos. En el caso de desechos de vidrio debido a fractura o rotura, se separó el material no recuperable y/o contaminado para su posterior disposición por el Almacén Central de la sección. Finalmente, los residuos generados de los distintos análisis fueron puestos a disposición del Almacén Central de la Sección Química, previo rotulado de los recipientes.



3. RESULTADOS

3.1. Resultados obtenidos *in situ*

Se observan valores mayores durante la primera y tercera campaña; en el mes de marzo hay una disminución promedio de 0,3 en el valor del pH con respecto a las demás campañas de muestreo. Por otro lado, la conductividad no presenta una tendencia definida conforme los muestreos se acercan a la desembocadura. Sin embargo; se puede afirmar que durante la campaña de febrero se obtuvieron valores menores con respecto a las otras fechas de muestreo. Además, se observó un valor superior a 1900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la estación E9 durante la tercera campaña de muestreo.

Con respecto a la temperatura, se observa uniformidad en los valores de las distintas estaciones de muestreo y la variación es dependiente de las condiciones ambientales características de la época del año.

Tabla 10. Resultados de análisis de conductividad, pH y temperatura

Estación	pH			CONDUCTIVIDAD ($\mu\text{S}/\text{cm}$)			TEMPERATURA ($^{\circ}\text{C}$)		
	ago-11	feb-12	ago-12	ago-11	feb-12	ago-12	ago-11	feb-12	ago-12
E1	8,03	7,84	7,84	405	226	400	17,1	25,0	19,6
E2			7,89			150			19,7
E3	7,75	7,46	8,02	> 1900	229	200	16,7	24,4	19,8
E4		7,99	7,6		229	400		24,4	19,9
E5	7,23	7,48	7,54	1123	236	500	16,0	24,4	19,8
E6		7,69	8,78		235	100		24,5	19,7
E7	7,01	6,88	8,34	246	244	200	15,8	24,6	19,8
E8		7,44	8,29		267,1	700		24,7	19,8
E9	7,41	7,97	8,46	310	449	> 1900	16,4	24,8	19,9
Rango de ECAs									
Perú aguas categoría 3									
6,5 – 8,4			< 2000						

3.2. Resultados de parámetros fisicoquímicos

A continuación se presentan los resultados de los análisis realizados de acuerdo a la metodología señalada para cada analito.

3.2.1. Cloruros

En general, se observó una tendencia al incremento conforme las estaciones de muestreo se acercan a E9. En el caso particular de dicha estación, el valor reportado durante la tercera campaña de muestreo podría indicar mezcla de aguas fluvial y marina. Además debemos considerar que en el litoral podemos encontrar sales suspendidas (cloruros de sodio y/o de magnesio) en el aire por acción del spray marino. También se observa que los valores más altos corresponden a la primera y tercera campaña, ambas realizadas durante el mes de agosto y coincidente con la época de vientos fuertes. Los valores más altos se observan en las estaciones E1, E3 y E9. Además, los valores menores corresponden principalmente las estaciones ubicadas dentro del área del embalse.

Tabla 11. Resultados de análisis de cloruros en aguas

Estación	CLORUROS (ppm)		
	ago-11	feb-12	ago-12
E1	14,29 ± 9,91	5,71 ± 4,95	38,47 ± 0,0
E2			12,82± 8,88
E3	60,07 ± 17,16	17,16 ± 12,13	17,95 ± 8,88
E4		8,58 ± 0,0	15,39 ± 10,88
E5	25,74 ± 0,0	ND	7,69 ± 0,0
E6		14,29 ± 9,91	30,77 ± 10,88
E7	ND	8,57 ± 0,0	7,69 ± 0,0
E8		8,57 ± 0,0	12,82 ± 8,88
E9	1003,81 ± 0,0	34,81 ± 8,58	16 661,75 ± 206,72
Rango de ECAs Perú aguas categoría 3	100 – 700		

ND= no detectable

3.2.2. Dureza total

Los valores máximos corresponden a la estación E9 durante las tres campañas de muestreo, sobre todo durante la primera y tercera donde el incremento es considerable comparada con la segunda campaña. En general, a lo largo de la cuenca se observa

valores similares de dureza, los cuales se ven ligeramente incrementados en las estaciones ubicadas luego del embalse de la represa. Se puede notar además que el incremento en el valor de la dureza, tanto en la primera y tercera campaña de muestreo respecto a la segunda, es aproximadamente el doble.

Tabla 12. Resultados de análisis de dureza total en aguas

Estación	DUREZA TOTAL (ppm de CaCO ₃)		
	ago-11	feb-12	ago-12
E1	256,19 ± 28,04	118,91 ± 18,72	272,37 ± 28,04
E2			304,59 ± 27,77
E3	432,84 ± 0,0	129,72 ± 28,08	352,68 ± 27,77
E4		145,91 ± 0,0	368,71 ± 27,77
E5	240,0 ± 0,0	105,30 ± 14,03	176,34 ± 27,77
E6		137,82 ± 14,04	192,37 ± 0,0
E7	240,0 ± 0,0	129,72 ± 14,04	224,12 ± 27,49
E8		113,50 ± 0,0	336,65 ± 0,0
E9	737,43 ± 27,77	149,04 ± 11,22	5723,09 ± 48,09
<p>Escala de dureza total de acuerdo a la EPA (Quality Criteria for Water-1986)</p> <p>0-75 ppm : agua blanda 75-150 ppm : moderadamente dura 150-300 ppm : dura > 300 ppm : muy dura</p>			

3.2.3. Sólidos totales disueltos y sólidos en suspensión

En general, se registraron valores máximos para las estaciones E9 y E3, esto se debe a la presencia de colectores de desagüe en las zonas aledañas sobre todo en la estación E9. Además, se observó que en dichas estaciones los valores de sólidos en suspensión son mayores por estar ubicadas en áreas donde abundan los desechos domésticos.

La cantidad de sólidos disueltos no presenta una diferencia muy marcada a lo largo de la cuenca del río, y los valores no varían entre sí significativamente, excepto en los puntos previamente mencionados. La variación se observa en los datos correspondientes a los sólidos en suspensión, ya que dicho parámetro depende de factores diversos como el lugar de muestreo, la cercanía de factores que aporten sedimentos, etc. Por este motivo hay diversificación en los valores de sólidos totales.

Tabla 13. Resultados de análisis de sólidos totales disueltos y en suspensión

Estación	Ago-11		Feb-12		Ago-12	
	STD	STS	STD	STS	STD	STS
E1	410,00 ± 1,41	8,67 ± 8,62	81,00 ± 0,00	255,00 ± 26,87	278,50 ± 14,85	16,50 ± 9,19
E2					299,33 ± 7,77	7,67 ± 3,20
E3	1255,50 ± 10,00	202,67 ± 26,95	112,00 ± 16,97	975,00 ± 4,24	190,00 ± 8,48	98,00 ± 15,72
E4			486,50 ± 64,35	88,50 ± 2,12	194,00 ± 4,24	64,33 ± 9,07
E5	291,00 ± 4,24	15,00 ± 2,83	129,00 ± 5,66	51,50 ± 3,54	152,50 ± 2,12	4,33 ± 2,31
E6			125,50 ± 2,12	26,00 ± 5,19	191,50 ± 24,75	13,67 ± 4,04
E7	375,00 ± 5,66	14,00 ± 1,41	138,00 ± 8,49	17,33 ± 2,31	262,00 ± 5,29	20,50 ± 2,12
E8			125,67 ± 15,28	56,67 ± 0,58	212,50 ± 16,26	20,00 ± 3,61
E9	2781,50 ± 41,72	17,50 ± 0,71	190,50 ± 3,54	39,33 ± 5,13	30382,00	13,61 ± 6,51

STD: Sólidos totales disueltos

STS: sólidos totales en suspensión

3.2.4 Demanda química de oxígeno (DQO)

Se registraron valores máximos para las estaciones E9 y E3, ambas influenciadas principalmente por la alta carga orgánica que aportan los vertimientos domésticos. En general, se observa que los valores de DQO van aumentando conforme la cercanía a la desembocadura en el mar. Se obtuvieron valores mayores durante la primera y tercera campaña de muestreo, mientras que los valores correspondientes a la segunda campaña son similares en casi todos los puntos de muestreo.

Tabla 14. Resultados de análisis de demanda química de oxígeno

Estación	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (ppm)		
	ago-11	feb-12	ago-12
E1	256,19 ± 28,04	118,91 ± 18,72	272,37 ± 28,04
E2			304,59 ± 27,77
E3	432,84 ± 0,00	129,72 ± 28,08	352,68 ± 27,77
E4		145,91 ± 0,00	368,71 ± 27,77
E5	240,00 ± 0,00	105,30 ± 14,03	176,34 ± 27,77
E6		137,82 ± 14,04	192,37 ± 0,00
E7	240,00 ± 0,00	129,72 ± 14,04	224,12 ± 27,49
E8		113,50 ± 0,00	336,65 ± 0,00
E9	737,43 ± 27,77	149,04 ± 11,22	5723,09 ± 48,09
Rango de ECAs Perú aguas categoría 3	< 18		

3.2.5 Determinación de sulfatos

Se registró un valor máximo en la estación E9 correspondiente a la tercera salida de campo. Los valores obtenidos para el resto de estaciones oscilan entre 8,23 y 177,97ppm, y no se logra observar una tendencia definida sino que los valores se muestran independientes de su ubicación así como de las condiciones meteorológicas correspondientes a cada una de las campañas de muestreo.

Tabla 15. Resultados de análisis de sulfatos en aguas

Estación	SULFATOS (ppm)		
	ago-11	feb-12	ago-12
E1	84,36 ± 2,91	21,60 ± 1,45	73,04 ± 27,64
E2			73,04 ± 27,64
E3	177,97 ± 7,27	53,31 ± 0,07	23,33 ± 0,05
E4		128,25 ± 3,14	8,23 ± 8,73
E5	129,62 ± 7,42	107,68 ± 13,69	79,21 ± 16,00
E6		21,60 ± 1,45	58,64 ± 7,27
E7	76,13 ± 18,91	30,86 ± 2,91	33,95 ± 27,64
E8		28,81 ± 5,82	82,30 ± 8,73
E9	177,54 ± 28,25	29,83 ± 18,91	853,86 ± 11,64
Rango de ECAs Perú aguas categoría 3	< 300		

3.2.6 Determinación de nitrógeno total Kjeldahl

Se observó un valor máximo en la estación E9 correspondiente a la tercera salida de campo; además, en el caso de la estación E1 correspondiente a la segunda salida se observó que la cantidad de nitrógeno fue mínima pues no pudo ser detectada mediante la metodología utilizada. Los valores obtenidos para el resto de estaciones oscila entre 3,13 y 30,39 ppm; adicionalmente, se observa que dichos valores se van incrementando de acuerdo a la cercanía de la estación a la desembocadura en el océano.

Tabla 16. Resultados de análisis de nitrógeno total Kjeldahl en aguas

Estación	Nitrógeno total (ppm)		
	ago-11	feb-12	ago-12
E1	29,24 ± 11,20	ND	12,16 ± 3,79
E2			13,61 ± 4,28
E3	12,54 ± 0,00	3,45 ± 3,99	19,48 ± 10,09
E4		3,13 ± 0,89	17,66 ± 5,91
E5	2,19 ± 0,44	11,28 ± 6,21	14,33 ± 0,61
E6		6,76 ± 0,79	24,61 ± 7,39
E7	16,15 ± 3,69	15,67 ± 0,89	30,39 ± 9,67
E8		4,70 ± 5,77	30,11 ± 2,65
E9	15,25 ± 3,09	2,82 ± 1,33	58,19 ± 13,51
Límite de detección	Nitrógeno total : ≥1 mg/L		
Rango de ECAs Perú aguas categoría 3	Nitratos : < 1 mg/L Nitritos: < 0,06 mg/L		

ND: no detectable

3.2.7 Determinación de metales

De los cinco metales elegidos, se observó una mayor presencia de calcio y sodio, mientras que la presencia de Fe, Mg y Zn fue menor a 1 ppm y, en algunos casos, valores casi indetectables.

En el caso del sodio, se observó una mayor concentración en las muestras recolectadas durante la primera y tercera salida de campo, mientras que en el caso del calcio se obtuvo valores mayores durante la primera salida de campo. Se resalta la ausencia de una tendencia definida con respecto a la estación de muestreo, e incluso en algunos casos los valores obtenidos se mantienen casi constantes.



Tabla 17. Resultados de análisis de metales disueltos

ESTACIÓN	DETERMINACIÓN DE METALES (ppm)														
	Na(ppm)			Ca(ppm)			Mg(ppm)			Fe(ppm)			Zn(ppm)		
	ago-11	feb-12	ago-12	ago-11	feb-12	ago-12	ago-11	feb-12	ago-12	ago-11	feb-12	ago-12	ago-11	feb-12	ago-12
E1	18,070	16,578	55,022	14,126	9,417	6,511	0,014	0,003	0,030	0,100	0,682	0,130	0,054	0,289	0,078
E2			55,911			4,786			0,030			0,102			0,121
E3	45,620	17,689	42,133	30,000	8,242	7,038	0,047	0,044	0,008	0,121	0,612	0,176	0,108	0,167	0,119
E4		15,022	39,911		4,923	4,692		0,007	0,010		0,131	0,144		0,131	0,264
E5	17,240	14,800	38,800	9,626	5,000	4,341	0,048	0,017	0,023	0,100	0,802	0,113	0,114	0,101	0,202
E6		13,244	91,244		4,923	4,148		0,023	0,005		0,531	0,310		0,064	0,508
E7	18,580	12,133	25,022	14,538	2,346	4,286	0,044	0,022	0,006	0,103	0,557	0,113	0,094	0,061	0,455
E8		8,133	62,578		1,502	7,236		0,015	0,011		0,578	0,117		0,054	0,234
E9	268,760	61,022	1000,00	29,538	4,945	4,604	0,058	0,005	0,023	0,095	0,547	0,136	0,101	0,107	0,107
Rango de ECAs Perú-aguas categoría 3	< 200 ppm			< 200 ppm			< 150 ppm			< 1 ppm			< 2 ppm		

Tabla 18. Correlaciones entre parámetros analizados

	<i>pH</i>	<i>Conductividad</i>	<i>Dureza Total</i>	<i>Cloruros</i>	<i>Sulfatos</i>	<i>DQO</i>	<i>N, Kjeldahl</i>	<i>Sólidos disueltos</i>	<i>Sólidos en suspensión</i>	<i>Na</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Zn</i>	<i>Fe</i>
pH														
Conductividad	-0,118													
Dureza Total	0,216	0,756												
Cloruros	0,213	0,778	0,997											
Sulfatos	0,108	0,834	0,981	0,981										
DQO	0,271	0,449	0,542	0,580	0,463									
N, Kjeldahl	0,177	0,429	0,714	0,729	0,611	0,854								
Sólidos disueltos	0,207	0,770	0,998	1,000	0,982	0,565	0,723							
Sólidos en suspensión	-0,057	-0,251	-0,119	-0,161	-0,123	-0,392	-0,322	-0,136						
Na	0,280	0,745	0,995	0,996	0,973	0,581	0,726	0,995	-0,167					
Ca	-0,055	0,299	0,515	0,491	0,514	-0,010	0,243	0,511	0,694	0,471				
Mg	-0,383	0,173	0,310	0,285	0,381	-0,126	0,096	0,298	0,326	0,288	0,558			
Zn	0,237	0,154	-0,142	-0,094	-0,157	0,561	0,147	-0,111	-0,034	-0,097	-0,137	-0,365		
Fe	0,050	-0,458	-0,414	-0,368	-0,479	0,323	0,073	-0,380	-0,281	-0,371	-0,477	-0,453	0,387	

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. pH

El pH es un indicador de calidad que permite determinar el carácter ácido o básico del agua; e identificar de manera preliminar focos presentes y potenciales de contaminación del agua. Una variación de pH puede afectar de diversas maneras a los ecosistemas acuáticos y, en casos extremos, dificultar la reproducción y otros procesos biológicos en ciertas especies. En general, los organismos acuáticos se desarrollan de preferencia en ecosistemas cuyo pH oscila entre 6,5 y 8. Cuando el pH se aproxima a 5, se corre el riesgo de que proliferen especies de fitopláncton y algas y se provoca enturbiamiento del agua, lo cual impide que la luz penetre hasta el fondo del cuerpo acuático. Como consecuencia, se interfiere en la fotosíntesis, principal fuente de oxígeno libre y, a la vez, aumenta la actividad metabólica consumidora de oxígeno (respiración aerobia). El incremento del consumo del oxígeno conduce a una disminución del oxígeno disuelto y un incremento de la demanda biológica de oxígeno. Así, el oxígeno disponible se limita, en el fondo se agota y este se vuelve anóxico, haciendo inviable la existencia de las especies que existían previamente en el ecosistema.^[56]

El pH puede afectar la solubilidad de compuestos orgánicos, metales y sales, así como determinar la especiación química. La variación en el pH influenciará en la reactividad, la biodisponibilidad así como en la toxicidad de algunos componentes presentes en el agua. Por ejemplo, en el caso de valores por debajo de 4,5, ciertos elementos y compuestos tóxicos pueden aumentar su capacidad de movilizarse y, por ende, encontrarse disponibles para su absorción por plantas acuáticas y animales. En particular, el amoníaco, que es un compuesto tóxico de presencia común en el agua, se encuentra en equilibrio entre las especies NH_3 y NH_4^+ y, dependiendo de las condiciones de pH y temperatura, este equilibrio va a verse desplazado hacia una de las formas. Por ejemplo, si el pH aumenta, la proporción de NH_3 incrementa y, como consecuencia, su presencia en el agua es de mayor toxicidad para los ecosistemas acuáticos.^[57] En el caso de metales, conforme disminuye el pH se incrementa la biodisponibilidad de estos como cationes libres. Se debe tomar en cuenta -durante la época de mayores precipitaciones- la potencial influencia de la lluvia ácida, la cual puede ingresar al sistema hidrológico por vía directa así como por el relave de suelos cuya capacidad neutralizante sea deficiente, esto puede favorecer reacciones en medio ácido y permitir el ingreso de compuestos que puedan afectar el ciclo de vida de los organismos que conforman el ecosistema. Por ejemplo, el agua permite el desprendimiento

del aluminio de los suelos que al ingresar a cuerpos de agua como ríos o lagos puede bioacumularse en los tejidos de peces, y podría conllevar a la disminución de la población.^[58]

En la tabla 10 se presentan los resultados obtenidos durante las 3 salidas de campo. Además, en la figura 23 se observa la tendencia del parámetro a lo largo de la cuenca del Jequetepeque. Se observa que los valores de pH se encuentran dentro del rango de 6,88 – 8,78, de manera que en las primeras campañas el pH se encuentra próximo a la neutralidad y, en la tercera, a la basicidad, sobre todo en las estaciones posteriores al embalse. Dichos valores se encuentran cercanos al rango de 6,50- 8,50 que se encuentra establecido en los estándares nacionales de calidad de agua para fuentes acuíferas de categoría 3 (destinadas para el riego y bebida de animales).

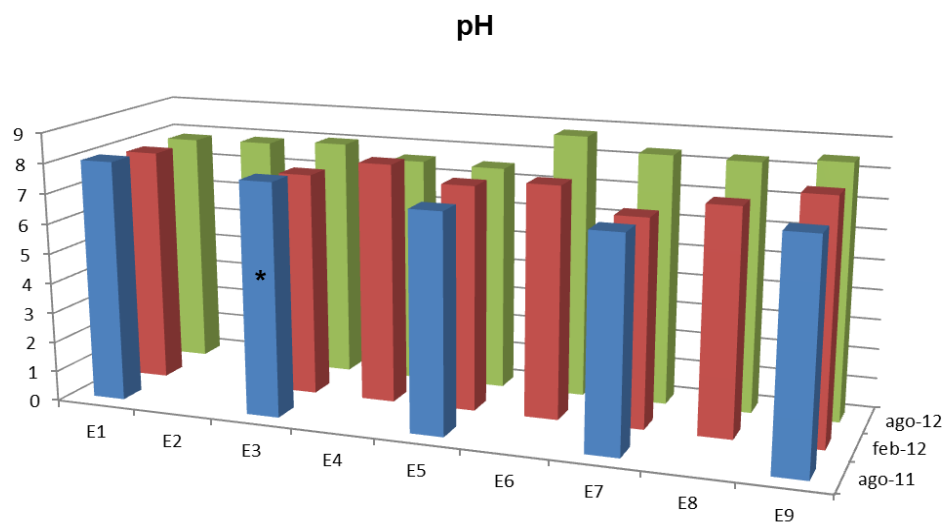


Figura 23. Datos de pH obtenidos durante las tres campañas de muestreo. (*)Muestra directa del tubo de desagüe.

El valor máximo de 8,78 corresponde a la estación E6 durante la tercera campaña de muestreo. Esto puede deberse debido al arrastre de material acumulado en el embalse de la represa el cual sufre procesos de descomposición y disolución alterando probablemente el sistema de amortiguación carbonato-bicarbonato del cuerpo de agua. La tendencia en las dos primeras campañas es incrementar su basicidad conforme se acerca a la desembocadura, aunque en estaciones como E1, E3 y E7 se observan valores altos debido a la proximidad de estos puntos a centros poblados que aportan alta carga orgánica así como fosfatos que estimulan el desarrollo de algas. Como consecuencia se da una mayor

actividad fotosintética en el cuerpo de agua, lo cual favorece la remoción del CO_2 del medio y por ende se dará en su aumento de basicidad. Adicionalmente, se deben considerar los aportes de detergentes domésticos los cuales contribuyen al incremento de la concentración de fosfatos e incluso favorecen la eutrofización, y a que en las estaciones E1, E3 y E6 se observe una tendencia a la basicidad. En contraste, los fertilizantes utilizados para la agricultura que aportan principalmente compuestos nitrogenados como nitratos y amonio contribuyen a la acidificación del cuerpo de agua mediante escorrentías; esto podría influir en la disminución del pH tal como se observa durante la segunda campaña en la estación E7. Durante la tercera campaña, los valores más altos corresponden a las estaciones E6, E7, E8 y E9 por influencia de la carga orgánica que aportan los centros poblados ubicados en la cuenca baja; además, los valores correspondientes a esta campaña son superiores debido a que el transporte de nutrientes se ve favorecido por el incremento del caudal.

En el estudio realizado en el año 2013 por la OPEMA Jequetepeque^[41] se obtuvo valores entre 8,44 y 8,91 en estaciones de muestreo posteriores al embalse de Gallito Ciego, lo cual permite corroborar que el valor del pH en la cuenca baja del río presenta una tendencia a la basicidad.

Si se busca establecer una relación entre agua y sedimento en la cuenca baja, sería necesario contar con datos de pH correspondientes a muestras de sedimento en las estaciones de muestreo establecidas. Esto permitiría esclarecer el grado de influencia de la carga de sedimentos de los borderos sobre la calidad de agua.

4.2. CONDUCTIVIDAD

La conductividad está asociada a la presencia, movilidad, al estado de oxidación y a la concentración de compuestos iónicos, principalmente aniones de origen inorgánico y cationes tales como calcio, magnesio, sodio, hierro. En el caso del agua, los sólidos disueltos son la principal fuente de iones, por tanto, la caracterización de la composición de los sedimentos será de importancia debido a su correlación con los valores de conductividad que presentará el medio acuífero.^[57]

Es importante indicar que las mediciones se realizan a 25°C ya que la conductividad es sensible a variaciones de temperatura. De esta manera, a mayores temperaturas la energía cinética de los iones se incrementará pues aumenta la frecuencia de colisiones entre dichas partículas, y como consecuencia el flujo de iones a través del medio pasa a ser irregular.

Mientras que en condiciones normales el flujo tiende a ser uniforme lo que nos asegura una mayor precisión en los resultados.

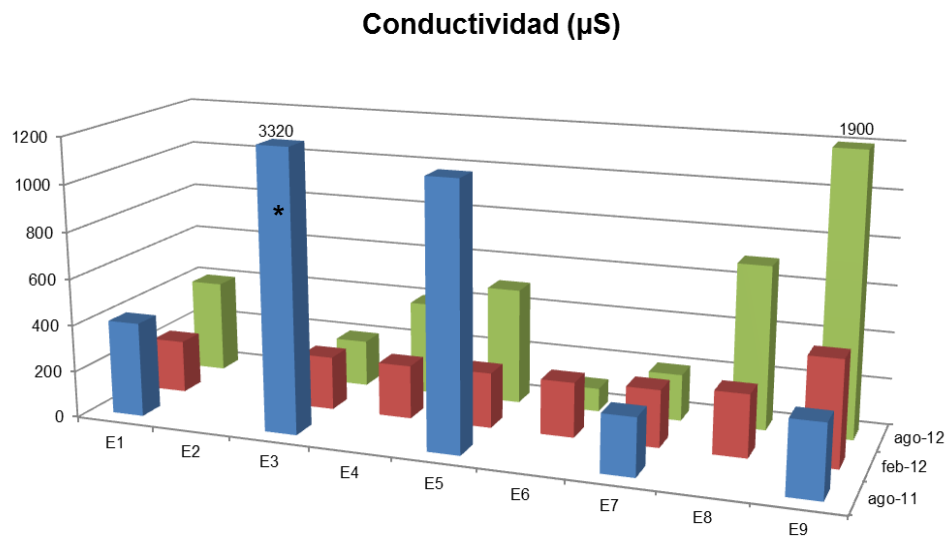


Figura 24. Datos de conductividad en $\mu\text{S}/\text{cm}$. (*) Muestra directa del tubo de desagüe de Tembladera. Se observa en la figura 24 el valor máximo en la estación E9 durante la segunda y tercera campaña de muestreo. Durante la tercera campaña el incremento de la conductividad fue notorio, alcanzando un valor de $1900 \mu\text{S}/\text{cm}$. Esto se debe a que E9 se encuentra en la desembocadura y es susceptible a un intercambio de sales por influencia marina.

El agua de mar se caracteriza por su alto contenido de sales, predominantemente de iones Cl^- , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , SO_4^{2-} . En la tabla 11 se observa que los niveles de cloruros son elevados en E9. Esto va a favorecer un incremento del valor de la conductividad y corrobora la influencia del intercambio estuarino. Asimismo, se observa en la tabla 12 que la dureza total en dicha estación presenta un valor considerablemente superior en comparación con lo obtenido para otras estaciones. Además debemos considerar el efecto del spray marino sobre las muestras de la desembocadura, el cual favorece el incremento de la concentración de los iones presentes en el agua de mar. Ambas situaciones pueden ser considerada como un factor influyente sobre los valores de conductividad correspondientes a la estación E9.



Figura 25. Observaciones correspondientes a la estación E9. Pez muerto y en proceso de descomposición. (Izquierda). Material acumulado en las zonas aledañas a la estación. (Derecha)

Adicionalmente, se debe considerar la influencia de la alta carga orgánica de la zona de desembocadura donde abundan desperdicios domésticos, acumulación de materia orgánica en descomposición como moluscos y peces muertos. (Figura 25) Durante la última campaña se observó que debido al incremento del caudal, los pobladores utilizan el área tanto como zona de esparcimiento cuanto para el lavado de sus prendas de vestir. Los desechos vertidos en la zona pueden influenciar en la carga iónica total en forma de sólidos disueltos. Cuando se desarrolló la metodología correspondiente se observó la formación de un material cristalino de características similares al NaCl (figura 26).



Figura 26. Muestra de la estación E9 posterior a la evaporación.

En la figura 24 se observa un valor máximo de conductividad en la estación E3 solo durante la primera campaña de muestreo. En este caso la variación se debe principalmente a que, al no hallar un punto de acceso disponible, la muestra fue tomada posterior a la salida del colector de desagüe proveniente del pueblo de Tembladera. La muestra presentaba una tonalidad marrón oscura debido a la elevada carga orgánica proveniente de los desechos municipales. Además, se observó la presencia de ramas y material sedimentable

arrastrados por la corriente que se origina a la salida del tubo colector. El valor reportado en este caso es de 3320 $\mu\text{S}/\text{cm}$ el cual es incluso tres veces mayor que lo registrado en la estación E9, debido a que la mezcla entre el agua residual y la de la represa no es proporcional y depende de factores como la velocidad de descarga y la composición salina de los desechos. En la tabla 19 se encuentran los principales componentes de aguas residuales de origen doméstico de acuerdo a la FAO.^[59] La alta carga de sales así como de materia orgánica es característica de este tipo de aguas. Por tanto, se tiene una mezcla de estas aguas residuales con el agua del embalse en dicho punto.

Tabla 19. Principales componentes de aguas residuales doméstica según la FAO.

Componente	Rango de concentración, mg/L
Sólidos totales	1200-350
Sólidos disueltos (TDS)	850-250
Sólidos suspendidos	350-100
Nitrógeno	85-20
Cloruros	100-30
Alcalinidad (como CaCO_3)	200-50
Grasa	150-50
BOD_5	300-100

En la figura 24 no se observa una tendencia definida para la conductividad, excepto en la segunda campaña donde se aprecia uniformidad entre los valores obtenidos en el rango de 200 y 260 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aproximadamente. Dicha similitud puede deberse al aumento del caudal del río durante la época de lluvias que favorece la erosión hídrica y aumenta la carga orgánica del medio. Además, se puede observar que, en el caso de las estaciones en el área de la represa de Gallito Ciego (E4 y E5), el incremento de la conductividad en la primera y tercera campaña se da por influencia del sedimento acumulado, el cual ejerce acción de sumidero de sales tales como cloruros, carbonatos y otras. Por tanto, pueden ser ionizadas y como consecuencia favorecer el incremento de la conductividad del agua.

En general, y con excepción de los casos descritos para la estación E9 y el primer muestreo en la estación E3, se observa que los valores de conductividad se encuentran por debajo de 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, es decir, se encuentran en el rango establecido por los ECAs nacionales para agua de categoría 3. A pesar de que la diferencia de conductividad no es drástica en las estaciones ubicadas en el embalse de la represa, esto puede evidenciar el efecto del proceso de colmatación por efecto de acumulación de material sedimentable.

4.3. SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS Y EN SUSPENSIÓN

El análisis de sólidos en agua permite evaluar la posible influencia que puedan tener los residuos sólidos sobre la calidad del agua de acuerdo a su carga orgánica y mineral. Los sólidos totales se definen como todo material residual que resulta del proceso de evaporación de la muestra y su posterior secado en estufa. La diferenciación entre tipos de sólidos se debe al tamaño de las partículas; sólidos disueltos los que pasen a través de un filtro cuya porosidad es menor a 2,0 μm , caso contrario serán clasificados como sólidos en suspensión.^[45]

En la figura 27 se observa que la estación E3 reportó en promedio valores mayores de sólidos suspendidos, e incluso durante la segunda campaña de muestreo se obtuvo un valor de 975 ppm, considerablemente elevado con respecto a lo obtenido. Esto puede deberse a la cercanía de dicha estación al tubo de desagüe de Tembladera; por tanto, la mezcla con el agua de la represa no será del todo homogénea. Además, se debe considerar que por acción del flujo generado por la descarga de desechos municipales, puede haber remoción de sedimento de fondo que pudo ser captado al momento de la toma de muestra. En este caso, la presencia de material voluminoso de características fangosas y de residuos de ramas secas, generaron interferencias para el análisis y, para minimizar esto, se retiraron los residuos de las ramas con la ayuda de pinzas durante la filtración.

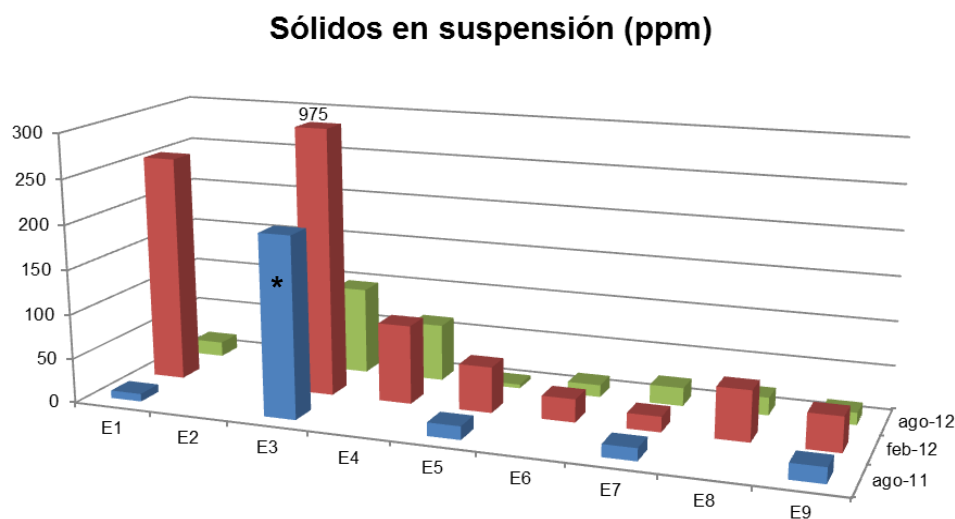


Figura 27. Datos de sólidos en suspensión correspondientes a las tres campañas de muestreo.
 (*)Muestra directa del tubo de desagüe de Tembladera.

La estación E1 reportó un valor superior durante la segunda campaña de muestreo. Esto se debe principalmente a su ubicación geográfica y al aumento de las precipitaciones durante dicha época, sobre todo en el área de la cuenca alta del Jequetepeque. El incremento del caudal trae consigo un aumento en la carga de material sedimentable, pero, al existir una estructura con capacidad de almacenamiento como la represa de Gallito Ciego, dicha carga tenderá a depositarse y la carga de sólidos en la zona de la cuenca baja del río tenderá a disminuir. Dicho efecto se puede observar en la figura 27 a partir de la estación E5.

Para el caso de sólidos disueltos y de acuerdo a la figura 28 durante la primera y tercera campaña se observa una mayor concentración de sólidos disueltos en comparación con la segunda, esto debido a que el caudal es mayor en el mes de febrero lo cual favorece que los sedimentos se mantenga en suspensión.

Además en la figura 28 se observa que la estación E9 presenta valores elevados de hasta 30 382 ppm registrado durante la tercera campaña de muestreo. Este valor anómalo puede deberse a ciertas interferencias tanto en el muestreo como en el análisis en laboratorio. Uno de los principales factores es la alta presencia de agua con una alta mineralización, que afectó no solo en la composición de la muestra sino que también, debido al posible carácter higroscópico de compuestos de calcio, magnesio, cloruros y/o sulfatos, se requirió de un tiempo prolongado para lograr la evaporación a sequedad de la muestra, e incluso se observó la presencia de incrustaciones blanquecinas de características similares al carbonato de calcio. Esta situación se encuentra respaldada con los resultados de dureza total de la tabla 12 que corresponden a dicha estación de muestreo.

Sólidos disueltos (ppm)

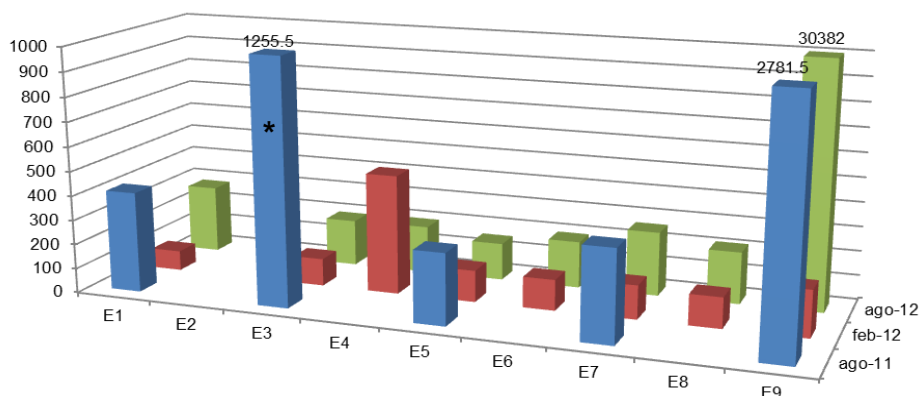


Figura 28. Resultados de sólidos disueltos correspondientes a las tres campañas de muestreo. (*)Muestra directa del tubo de desagüe de Tembladera.

Además, de acuerdo a la Water Quality Association, se estableció una escala para clasificar el tipo de agua de acuerdo a la cantidad de sólidos disueltos presentes. En el caso de la muestra E9, estaría en la categoría de agua salina cuyo rango va de 15 000 – 30 000 ppm.^[60] Esto podría respaldar la hipótesis de que dicha muestra es una mezcla de agua proveniente de la desembocadura del río con el agua del océano. En las demás estaciones de muestreo los resultados se mantienen por debajo de 500 ppm, y de acuerdo a la clasificación citada, la muestra se trata de agua dulce lo que concuerda con las características del agua del Jequetepeque. La carga de sólidos disueltos no presenta variaciones considerables con respecto a la época de muestreo ni su ubicación geográfica, ya que a diferencia de los sólidos en suspensión dependen de la composición del material sedimentable. Usualmente, se puede aproximar el valor de los sólidos disueltos de una muestra a partir de mediciones de conductividad eléctrica. Para esto se utiliza un factor de conversión que depende de la composición de la muestra, principalmente de las concentraciones de iones Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- . Dicho factor puede variar entre un rango de 0,54 a 0,96; sin embargo, para muestras cuya composición es desconocida se utiliza un factor referencial de 0,67. Al considerar los valores obtenidos para la conductividad que se muestran en la tabla 10 y aplicar el factor referencial de 0,67 para aproximar la cantidad de sólidos disueltos, se obtuvo los valores que se observan en la tabla 20.

Tabla 20. Valores aproximados de sólidos disueltos a partir de los valores experimentales de conductividad

TDS (por factor = 0.67)			
	Ago-11	Feb-12	Ago-12
E1	271,35	151,42	268,00
E2			100,50
E3	2224,40	153,43	134,00
E4		153,43	268,00
E5	752,41	158,12	335,00
E6		157,45	67,00
E7	164,82	163,48	134,00
E8		178,89	469,00
E9	207,70	300,83	1273,00

Se observa que ciertos valores de la tabla 20 coinciden con los resultados experimentales de la tabla 13. Las variaciones están influenciadas por la diversidad en la composición del

material sedimentable en las distintas estaciones de la cuenca del Jequetepeque. Experimentalmente se obtuvo que la correlación entre conductividad y los sólidos disueltos sea de 0,77, lo cual evidencia la influencia de la carga de sólidos sobre la concentración de iones que favorece la conductividad de la muestra. Además, tal como se observó en la tabla 18, los coeficientes de correlación de los sólidos disueltos con respecto a parámetros como dureza total, cloruros, sulfatos, sodio y magnesio permiten respaldar la hipótesis sobre la influencia directa de la concentración de sales disueltas sobre la cantidad de sólidos disueltos presentes.

En el presente estudio, no se logró analizar sólidos sedimentables en la muestra ya que la metodología correspondiente requiere el uso de un volumen no menor de 1 L lo cual no fue factible debido a que los volúmenes muestreados en cada estación estaban destinados a los análisis establecidos durante el planteamiento inicial y no fueron suficientes para poder realizar dicha metodología adicional.

4.4. DUREZA TOTAL

La dureza total está constituida principalmente por los cationes polivalentes disueltos susceptibles a formar compuestos de coordinación de mayor estabilidad ante presencia de ligandos del tipo quelato. De acuerdo a la American Water Works Association, los cationes de mayor ocurrencia en el agua son calcio y magnesio y, en menor proporción, hierro, estroncio y manganeso, los cuales pueden analizarse por acomplejamiento con EDTA.^[61]

En la figura 29 se observa que los valores de dureza total son variables y no se distingue una tendencia. Los valores correspondientes a la segunda campaña son menores con respecto a las otras campañas; esta tendencia se observa de manera similar en todas las estaciones de muestreo contrario a las suposiciones iniciales de un posible incremento de este parámetro debido a las altas precipitaciones en la cuenca alta del Jequetepeque durante los meses iniciales del año. El valor máximo corresponde a la estación E9 tanto en la primera como en tercera campaña y con un valor máximo de 5723,09 ppm de CaCO_3 . Debido a este último valor, la muestra de la tercera campaña se analizó aplicándole un factor de dilución ya que en condiciones normales y en base a los cálculos teóricos se requeriría un gasto mayor del reactivo titulante. Además, debido a que en apariencia dicha muestra presentaba cierta turbidez (debido a una mayor alta carga de sedimento) podría hacer difícil la visualización del punto de equilibrio durante la titulación llevando a resultados erróneos. También la materia orgánica en la muestra es una fuente de interferencia para

poder visualizar el punto de equilibrio. Para poder reducir dicho efecto se procedió a filtrar la muestra por gravedad.

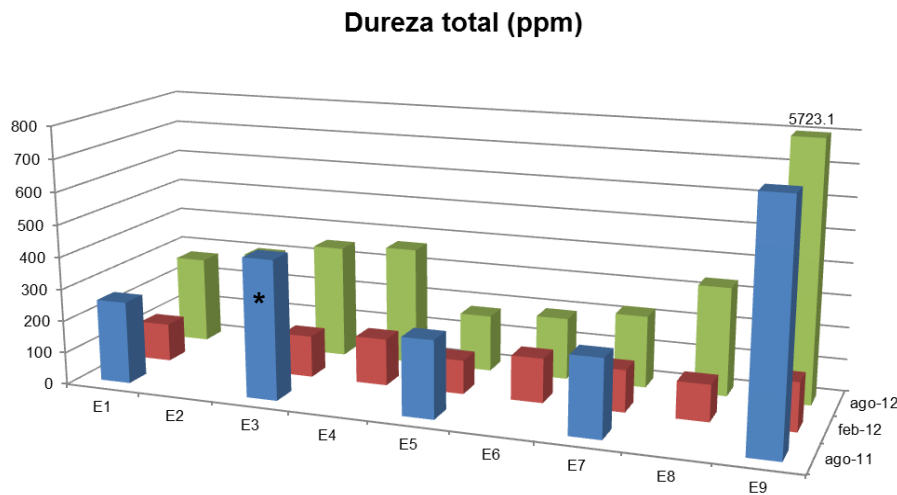


Figura 29. Resultados de dureza total correspondientes a las tres campañas de muestreo. (*) Muestra directa del tubo de desagüe de Tembladera.

El incremento de la dureza en dicho punto podría estar relacionado a lo postulado como equilibrio dinámico con el océano. Para esto la situación de la desembocadura puede ser asociada a lo que sucede en un estuario, que es un sistema ubicado en la desembocadura de un río grande y profundo donde se da un intercambio entre agua salada y agua dulce por acción de la marea.^[62] En regiones secas como en el caso del norte del Perú, el agua de mar puede evaporarse y aumentar la carga de sales en la zona estuarina; esto último podría encontrarse relacionado al incremento de la dureza en la estación E9.

Durante el tercer muestreo se obtuvo que los valores correspondientes a las primeras cuatro estaciones se mantienen similares dentro del rango de 272,37 a 368,71 ppm. Luego, en la estación E5 el valor disminuye debido a deposición de los iones como parte del material sedimentable que se acumula a la llegada de la represa. Esto aliviará la carga tanto orgánica como salina del río a la salida de Gallito Ciego; por esto, el valor registrado en dicha estación es casi la mitad respecto a lo obtenido en las estaciones de muestreo ubicadas en la misma represa.

A partir de la estación E5 se observó que la dureza se incrementa gradualmente conforme se acerca a la desembocadura. Esto se debe a la influencia de efluentes urbanos los cuales son ricos en material orgánico y cuyos principales compuestos como fosfatos o carbonatos están asociados al calcio y al magnesio. Además, los residuos de las actividades agrícolas

pueden contribuir al incremento de la dureza. Como se ha mencionado previamente, en la zona predomina el cultivo del arroz y cuya técnica consiste en inundar los campos de cultivo. Esto arrastra material sedimentable hacia el cauce del río el cual puede tener cierta capacidad de intercambio catiónico y retener en su composición Ca^{2+} y/o Mg^{2+} . De acuerdo a los resultados obtenidos por Ríos (2013) ^[63], los sedimentos de la estación E5 reportan un contenido de limo equivalente a 67,2%. El limo se caracteriza por su gran capacidad de intercambio catiónico, lo cual puede favorecer al incremento de la concentración de cationes que son transportados de retorno al río.

Al utilizar la clasificación general de agua de acuerdo a su grado de dureza ^[64] que se encuentra avalada por la EPA, se puede establecer que, de las muestras tomadas durante la primera campaña, correspondientes a las estaciones E1, E5 y E7 se encuentran dentro del rango de 150 – 300 ppm, y por tanto estas son duras, mientras que las estaciones E3 y E9 presentan valores superiores a 300 ppm y son consideradas muy duras. En cambio, durante la segunda campaña de muestreo, los valores correspondientes a las estaciones se encuentran en el rango de 75-150 ppm lo cual indica que estas muestras son moderadamente duras. Durante la tercera campaña de muestreo, las muestras correspondientes a las estaciones E1, E5, E6 y E7 son duras, mientras que en las otras estaciones la dureza supera los 300 ppm y por tanto son muy duras. Esta clasificación es referencial ya que, como se ha mencionado previamente, el comportamiento de los minerales disueltos en las muestras dependerá de otros parámetros como el pH y la temperatura. Esto último se tomó en consideración para el análisis en laboratorio debido a que para la preservación las muestras se mantuvieron en congeladores. Por tanto, previo al análisis estas fueron retiradas para su descongelamiento hasta alcanzar una temperatura similar a la ambiental tal como se recomienda en la metodología.

El agua de la cuenca del Jequetepeque se encuentra dentro de la clasificación 3 de acuerdo a la ley peruana, pues su principal destino es el riego de los campos de cultivo y, en general, el agua que se requiere debe caracterizarse por tener una dureza no mayor a 250 ppm. En cambio, si se tiene agua con un rango elevado de dureza podría generar obturaciones en el sistema de drenaje por efecto de la precipitación de sales calizas en forma de incrustaciones. También, la presencia de iones Ca^{2+} y Mg^{2+} puede afectar la acción de los herbicidas, los cuales son utilizados hasta en un 50% en la zona de Jequetepeque de acuerdo con el IV Censo Agropecuario del 2012. Dichos iones pueden reaccionar con las sales y surfactantes, como el glifosfato, 2,4D-sal, 2,4DB, y formar sales insolubles que al precipitar remueven el herbicida de la solución. Lo contrario se observa en suelos con gran

capacidad de intercambio catiónico, para lo cual es recomendable el uso de agua enriquecida con calcio puesto que permite regular la salinización de suelos debido al sodio.

La APHA establece de acuerdo a la metodología 2340 B, una alternativa para calcular el valor de la dureza total a partir de análisis independientes de magnesio y de calcio. En este caso se hizo uso de los resultados obtenidos vía absorción atómica que se encuentran en la tabla 17. Para esto se aplica la siguiente fórmula:

$$Dureza, mg\ de\ \frac{CaCO_3}{L} = 2,497 \left[Ca, \frac{mg}{L} \right] + 4,118 \left[Mg, \frac{mg}{L} \right]$$

Los resultados se observan a continuación en la tabla 21.

Tabla 21. Calculo de dureza total a partir de las concentraciones de Ca y Mg

Estación	DUREZA (ppm)		
	ago-11	mar-12	ago-12
E1	35,330	23,527	16,382
E2			12,074
E3	75,104	20,761	17,607
E4		12,322	11,757
E5	24,234	12555	10,934
E6		12,387	10,378
E7	36,483	5,949	10,727
E8		3,812	18,114
E9	73,995	12,368	11,591

Los resultados son menores en comparación con lo obtenido por el método de titulación con EDTA, pues como se ha mencionado previamente, el método puede ser susceptible a interferencias, por este motivo cada muestra debe ser tratada con las precauciones del caso para minimizar las fuentes de error.

De acuerdo a las índices de correlación entre parámetros se observa que los valores de dureza total obtenidos por el método elegido se encuentran correlacionados con los cloruros en 0,997, sulfatos en 0,981, sólidos disueltos totales en 0,998, conductividad en 0,756, nitrógeno 0,714, DQO en 0,542, sodio en 0,995, calcio en 0,515 y magnesio en 0,310. Experimentalmente existe una fuerte relación con los iones asociados a la salinidad así como también con el calcio.

4.5. CLORUROS

Los cloruros son de los principales aniones presentes en aguas naturales que provienen de la disociación de sales como el NaCl y/o CaCl₂ cuyas concentraciones dependen de minerales naturales, efluentes urbanos y actividades antropogénicas, principalmente la agricultura. Otras fuentes naturales de cloruros pueden ser el KCl el cual es comúnmente utilizado en la elaboración de fertilizantes, MgCl₂ el cual se obtiene a partir de salmueras naturales.^[65] Debido a su alta movilidad, el anión cloruro puede ser transportado debido a que puede ser fácilmente solvatado por las moléculas de agua.

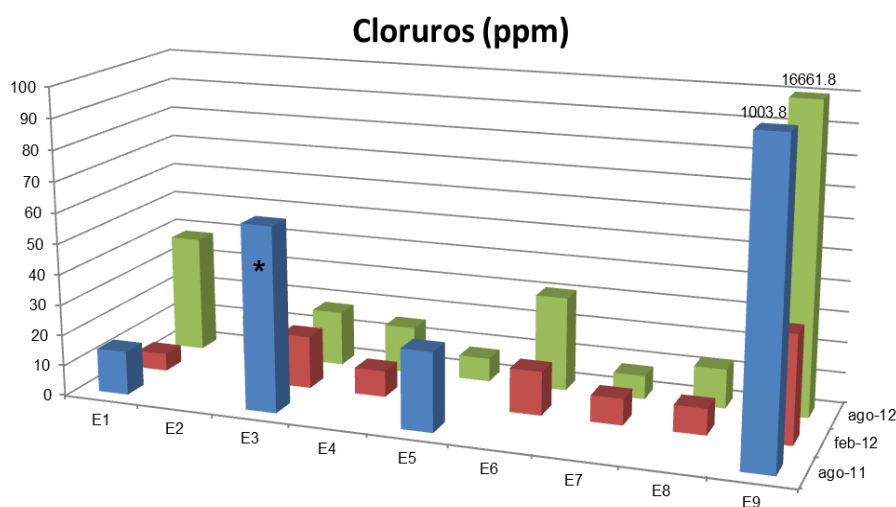


Figura 30. Resultados del análisis de cloruros durante las tres campañas de muestreo. (*) Muestra directa del tubo de desagüe de Tembladera.

En la figura 30 se observa que los valores más altos registrados corresponden a la estación E9, principalmente durante la primera y la tercera campaña, e incluso en este último muestreo se obtuvo un valor de 16 661,75 ppm. Este valor se encuentra asociado a la zona del muestreo, y al efecto del equilibrio dinámico entre la desembocadura del río y el océano ya que por efecto de la marea se da una mezcla no homogénea entre el agua salina y el agua dulce, lo que favorece el incremento de la salinidad en esta zona. A diferencia de las otras campañas, en la tercera se observó que la zona estaba inundada posiblemente por acción del incremento de la marea. Esto favorecerá que el intercambio entre agua salina y agua dulce en la zona de muestreo sea más frecuente. Durante la primera y segunda campaña, los valores máximos de cloruros se obtuvieron en la estación E9, lo cual refuerza la posibilidad de dicho intercambio entre el mar y el río, a pesar de que la influencia de la marea sea menor en estos casos. Además debemos considerar el efecto del spray marino,

el cual podría contribuir al incremento de cloruros en la muestra, pues en su composición predomina el cloruro de sodio el cual es transportado acción del viento y cuya intensidad incrementa durante el mes de agosto.

El valor de la estación E3 correspondiente a la primera campaña se debe al muestreo en la zona próxima al tubo de desagüe. La concentración de cloruros en aguas residuales es elevada, sobretodo debido a los aportes de salinidad de los desechos urbanos, ya que diversos compuestos de cloruros son de indispensable consumo dentro de la dieta humana. Sin embargo, estos pasan a través del sistema digestivo sin sufrir cambios químicos y finalmente su excreción enriquece la concentración en aguas residuales. En las siguientes campañas, se tomó la muestra como mezcla del agua del desagüe y la proveniente del río, lo que dio resultados de aproximadamente 18 ppm de Cl⁻.

Las descargas en la cuenca baja están reguladas por la represa, aunque estas pueden ser más frecuentes en época de lluvia lo que favorecerá el incremento del caudal aguas abajo de la represa. Por ejemplo, en el caso de la estación E6, se observa que la concentración se duplica en la tercera campaña respecto a la anterior, tal como se espera.

Con respecto a las estaciones E7 y E8, se observa que conforme se acerca a la desembocadura, los valores se ven incrementados. Esto se debe al aporte de cloruros por influencia de los efluentes provenientes de los centros poblados cercanos a las estaciones de muestreo. Además al comparar lo obtenido para la estación E7 en la segunda y tercera campaña, se observa que la concentración de cloruros en la última campaña es menor a pesar de que el caudal del río disminuye en esa época del año. Esto podría deberse a que la toma de muestra se realizó aguas abajo respecto a la bocatoma, pues el acceso a esta se encontraba inundado.

Cada una de las campañas de muestreo presenta una tendencia diferente entre sí. La primera campaña fue referencial y la información obtenida de las estaciones E1, E5 y E9 permite predecir que la concentración de cloruros incrementa conforme se acerca a la estación E9. La segunda campaña de muestreo presenta valores menores con respecto a los otros muestreos, e incluso en este caso el valor correspondiente a la estación E1 es menor mientras que en los demás casos dicho valor es incluso mayor a los obtenidos en las estaciones E2, E3, E4 y E5. Finalmente en la tercera campaña, se observan valores superiores con respecto a las dos anteriores campañas.

Para la estación E5 observamos una disminución en la concentración de cloruros entre la muestra obtenida en la primera y tercer campaña a pesar de haberse tomado en

condiciones similares. Esta variación podría estar influenciada por errores en el muestreo durante la primera campaña, cuya finalidad fue de reconocimiento.

De acuerdo al índice de correlación, es de esperarse una muy estrecha relación entre los cloruros y el sodio con un valor de 0,996, puesto que la principal forma en la que se encuentran los cloruros tiene su origen en el cloruro de sodio proveniente de la salinidad del material sedimentable así como de la carga salina de los desechos urbanos y/o agrícolas. Al ser uno de los principales iones presentes también habrá una alta correlación de 0,778 con respecto a la conductividad. Además se observa una alta correlación entre cloruros con sulfatos (0,981) y nitrógeno total (0,729). Esto podría estar asociado a compuestos presentes en los herbicidas y fertilizantes químicos utilizados en la agricultura los cuales tendrían un efecto importante en el incremento de la carga de iones cloruro en el agua del río.

De acuerdo a los ECAs nacionales para aguas de categoría 3, los cloruros se deben encontrar idealmente en el rango de 100 – 700 ppm. Sin embargo, se observa que los resultados se encuentran por debajo de dicho rango con un valor máximo 38,46 ppm si se excluye los resultados dependientes de factores externos, como los correspondientes a la estación E9 o al primer muestreo en la estación E3.

4.6. SULFATOS

Los sulfatos se encuentran comúnmente en fuentes de agua naturales e incluso pueden encontrarse en grandes concentraciones de acuerdo al tipo de suelo así como al tipo de efluentes. Debido a su alta solubilidad en el agua, el transporte de sulfatos a lo largo de la cuenca es favorable.^[66] Los sulfatos como tal no tienen efectos adversos ni tóxicos en el agua; sin embargo, una alta carga de sulfatos puede afectar el balance del ciclo natural del azufre. En aguas duras, los sulfatos pueden formar compuestos con sodio y magnesio, los cuales tienden a precipitar y formar incrustaciones que podrían afectar los sistemas de riego así como de drenaje de los poblados a los que se abastece.^{[67] [68]}

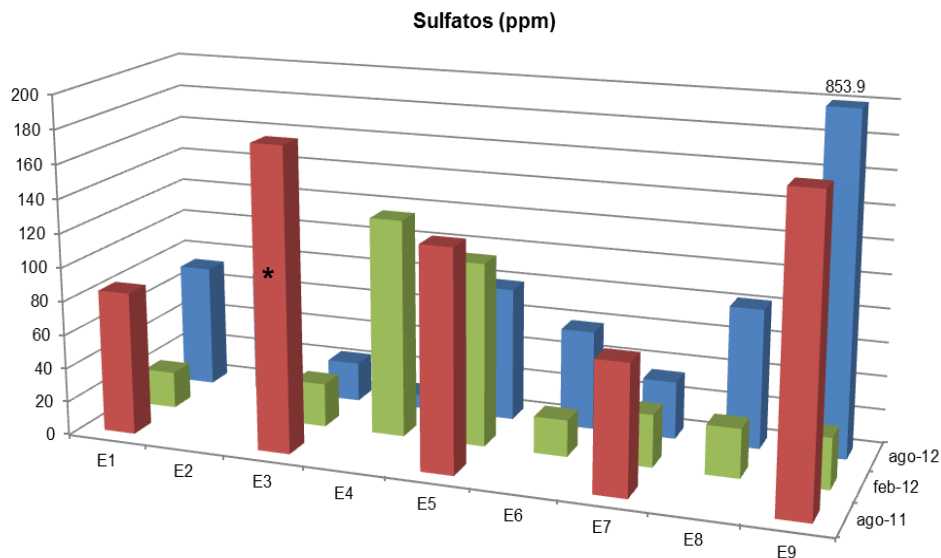


Figura 31. Resultados del análisis de sulfatos durante las tres campañas de muestreo. (*)Muestra directa del tubo de desagüe de Tembladera.

Según la figura 31, los valores máximos corresponden a la estación E9, de hasta 853,86 ppm registrado en la última campaña. En este caso va a predominar la influencia de la carga orgánica acumulada en la zona de la desembocadura donde se observaron desechos de esqueleto de peces y aves, desperdicios orgánicos dado el que la zona al convertirse en una especie de piscina natural era utilizada por los pobladores para sus actividades de esparcimiento e incluso se había instalado un baño improvisado en la zona cercana. Además, se tiene que considerar que la zona también era aprovechada por los pobladores para realizar el lavado de prendas de vestir. El uso de detergentes tiende a formar sulfatos de calcio y de magnesio que son de fácil solubilidad en el agua. Entonces esto también favorecería el incremento de la carga de sulfatos en el área. Se observa además que el valor obtenido durante la primera campaña es 177,54 ppm, mayor que lo obtenido durante la segunda, posiblemente debido a que durante el mes de agosto el caudal del río es menor y, por tanto, habrá un mayor estancamiento en la desembocadura lo que favorecería el incremento de la concentración de la carga de sulfatos.

El valor correspondiente a la estación E3 durante la primera campaña permite evidenciar la influencia de los aportes de sulfatos provenientes de efluentes domésticos en este caso del pueblo de Tembladera. Este valor de 177,97 ppm es similar al obtenido para la estación E9 durante la misma campaña, lo que respalda la importancia de los efluentes urbanos sobre la concentración de sulfatos en el agua.

Al comparar los resultados obtenidos durante el primer muestreo, se observó que el valor correspondiente a la estación E5 es mayor que la E1 y la E7. Esto puede estar influenciado por la acumulación de sedimentos en el área correspondiente al embalse de Gallito Ciego. Esta tendencia se puede asociar con los resultados obtenidos para la estación E5 y E4 durante la segunda campaña donde incluso se observa que estos valores son mayores que los registrados en la estación E1. Por tanto, se podría suponer que la influencia de los aportes de la cuenca alta es menor comparado con el incremento de sulfatos provenientes del material sedimentable acumulado en el embalse. La acumulación de sulfatos en la represa podría traer como consecuencia la activación de bacterias afines las cuales tienden a favorecer la proliferación de algas y fitoplancton. Esto podría conllevar a un incremento en la tendencia a la eutrofización a largo plazo, además dichas bacterias al aprovechar el oxígeno de los sulfatos forman como coproducto H_2S , el cual se caracteriza por su olor desagradable y que favorecería la toxicidad del agua del embalse.

Al tomar el caso de la estación E1, se observaron valores similares durante la primera y tercera campaña, mientras que en el segundo muestreo se observó un valor de 21,603 ppm el que se llevó a cabo en época de mayor caudal.

En general, las estaciones E6, E7 y E8 presentan valores menores que los obtenidos en las estaciones ubicadas en la represa. Entonces, la influencia de los centros poblados aguas arriba a la represa no es considerable en la concentración de sulfatos.

Durante la primera campaña de muestreo, la estación E7 registra un valor de 76,12 ppm el cual tiene como principal factor de influencia el poblado de San Pedro de Lloc y sus actividades tanto agrícolas como ganaderas. Durante esta campaña el punto de muestreo se realizó antes de la entrada a la bocatoma donde el agua se acumulaba y, por tanto, la carga de sulfatos puede verse incrementada. En la segunda campaña, la muestra fue tomada aguas abajo respecto a la bocatoma y se obtuvo un valor de 30,86 ppm y, finalmente, en la tercera campaña, debido a que el acceso a la bocatoma se encontraba inundado, se muestreó aguas abajo a dicha estructura y la concentración de sulfatos fue de 33,94 ppm. Esta similitud en los valores obtenidos durante el segundo y tercer muestreos indica que antes de la bocatoma la acumulación del agua podría influenciar en la concentración de los sulfatos.

Durante la segunda campaña los valores obtenidos en las estaciones aguas abajo a la represa, es decir a partir de la estación E6, se mantienen dentro de 21 a 30 ppm e incluso la concentración se mantiene casi uniforme entre las tres últimas estaciones.

Respecto a la tercera campaña, los valores obtenidos fueron dispersos y no se observó una tendencia definida conforme se acerca al océano. Debido a la elevada concentración de cloruros presente en la muestra de la estación E9, se decidió utilizar un volumen menor de muestra para evitar interferencias.

De acuerdo a los índices de correlación obtenidos, los sulfatos se encuentran asociados principalmente a los sólidos disueltos totales (0,982) como principal medio de transporte, con el sodio (0,973), nitrógeno total (0,611) y con el calcio (0,514), posiblemente por la formación de sulfatos de calcio durante el uso de detergentes en lavado de ropa en distintos puntos del río.

Según los ECAs nacionales, el valor de sulfatos no debe ser mayor a 300 ppm. Los resultados obtenidos se encuentran dentro de este rango a excepción del caso de la estación E9 durante la tercera campaña de muestreo.

4.7. NITROGENO TOTAL KJELDAHL

El nitrógeno total, o Kjeldahl, consiste en determinar el contenido total de amonio libre, compuestos nitrogenados, compuestos biológicos, tales como aminoácidos, proteínas, péptidos que son susceptibles a su conversión a nitratos mediante un proceso de digestión ácida. La importancia de los compuestos orgánicos de nitrógeno y los amoniacaes es su rol como nutriente para el crecimiento y desarrollo de distintas especies que componen la biota. Además, el análisis de estos compuestos es de relevancia para realizar un monitoreo y control de descargas de efluentes sobre un cuerpo de agua, ya que dichos compuestos se encuentran entre los principales nutrientes para organismos fotosintéticos.

El amonio se encuentra en equilibrio entre la forma no protonada (NH_3) y la forma protonada (NH_4^+); sin embargo, esta situación puede variar de acuerdo a las condiciones del cuerpo de agua respecto a temperatura, pH, etc. Por ejemplo, el incremento del pH va a favorecer que el equilibrio se desplace hacia la forma no protonada la cual es más tóxica y puede afectar el crecimiento, desarrollo de órganos, y el sistema linfático principalmente de peces. ^[69]

Las principales fuentes de estos compuestos son el uso de fertilizantes, productos de limpieza, residuos domésticos, residuos de procesos naturales, etc. La acumulación de compuestos nitrogenados en sedimentos está asociada a procesos de descomposición bacteriana natural, así como también a acumulación de materia orgánica de fuentes antropogénicas.

El exceso de compuestos nitrogenados en agua es considerado tóxico y tiende a desplazar al oxígeno disuelto. El incremento de estos compuestos proviene de la reducción de nitratos y en condiciones anóxicas el proceso se hace favorable debido a que se inhibe la nitrificación en sedimentos, lo cual podría incrementar la toxicidad de aguas superficiales.^[70] Posteriormente, el incremento de compuestos amoniacales en cuerpos de agua receptores tiende a favorecer la demanda bioquímica de oxígeno pues se estimula el consumo de oxígeno disuelto para que bacterias y otros microorganismos puedan oxidar dichos compuestos a nitratos y nitritos.^[71] También puede ser utilizado como nutrientes de especies vegetales, tales como algas y fitoplancton, cuya proliferación favorece el proceso de eutrofización. Además, la reducción de oxígeno disuelto trae como consecuencia la reducción de diversas especies de peces.^[72]

En la figura 32 se observan los resultados obtenidos del análisis de nitrógeno total Kjeldahl mediante la metodología de digestión y destilación. De acuerdo a la tabla 16, el valor correspondiente a la estación E-1 durante el segundo muestreo no fue detectable ya que luego de repetir el análisis se obtuvieron valores iguales o menores que cero. Esto podría estar asociado a que, de acuerdo a la norma, si el valor de nitratos presentes en la muestra es superior a 200 ppm podría interferir en la conversión de los compuestos nitrogenados presentes e incluso inhibir la conversión a sulfatos de amonio.

Según Walter (2010)^[73], una estación de muestreo de ubicación similar a la estación E2 del presente trabajo, tiene una concentración de 0,76 ppm de nitrógeno total Kjeldahl, mientras que la concentración de nitratos se encuentra entre 0,90 y 0,93 ppm. Entonces, la concentración de nitratos en la zona es superior a la del nitrógeno total y podría interferir en el desarrollo de la metodología sobre todo en este caso donde los valores esperados tienden a cero.

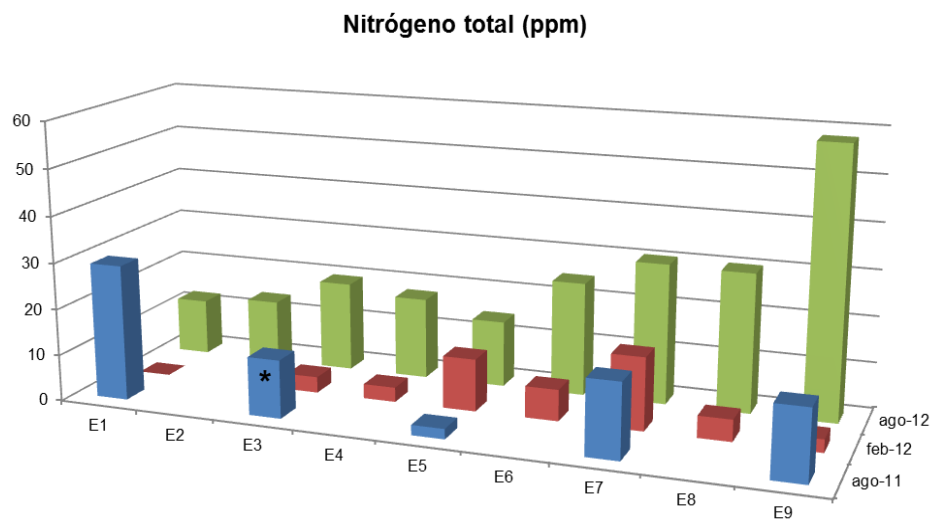


Figura 32. Resultados del análisis de nitrógeno total correspondiente a las tres campañas de muestreo. (*) Muestra directa del tubo de desagüe de Tembladera.

El valor más alto se obtuvo durante la tercera campaña correspondiente a la estación E9. Dicho valor fue de 58,194 ppm, el cual podría verse afectado por la alta carga orgánica acumulada en la zona de la desembocadura proveniente tanto de residuos de productos de lavado, residuos domésticos desechados como también los que son arrastrados por el río como material sedimentable. También, como se ha propuesto anteriormente, el incremento de la concentración puede verse afectado por la acumulación estuarina.

En el caso de la primera campaña, se registró el valor más elevado de 29,24 ppm en la estación E1. Posteriormente, los valores tienden a disminuir en los puntos correspondientes a la represa e incluso lo obtenido de la muestra de tubo del desagüe en la estación E3 es menor respecto a E1. Esto podría evidenciar que la influencia de los desechos domésticos en la concentración de compuestos nitrogenados no es un factor determinante, entonces se podría asumir que las principales fuentes dentro del embalse de la represa son naturales por reducción de nitratos. En la estación E7, el valor de nitrógeno se ve incrementado por acción de la acumulación de materia orgánica en las zonas aledañas a la estructura de la bocatoma así como por influencia del uso de fertilizante en las actividades agrícolas de San Pedro de Lloc. Este último valor se mantiene casi constante en la estación E9; esto podría deberse a que en la fecha de muestreo la actividad agrícola era de menor intensidad.

De acuerdo a Quispe (2009), las campañas de muestreo son de tres tipos: campaña agrícola principal donde predomina el cultivo del arroz y se da entre los meses de septiembre y abril, campaña complementaria entre febrero y julio, y la campaña agrícola

chica en el cual se cultiva el maíz amarillo entre los meses de abril y agosto. Por tanto los fertilizantes estarían favoreciendo el incremento de la concentración en el agua principalmente durante la segunda campaña de muestreo que coincide con la campaña agrícola principal.^[74]

En la segunda campaña de muestreo se observa que los valores de las estaciones E3 y E4 presentan similitud de aproximadamente 3 ppm, y en la estación E5 se observa un incremento de la concentración. Además, se observó en las zonas cercanas a la ribera de este punto de muestreo la presencia de algas. Estas tienden a beneficiarse debido a que utilizan los compuestos nitrogenados como nutrientes para su desarrollo y proliferación. Como en el caso de la anterior campaña, se observa que de las estaciones posteriores a la represa la E7 tiene un valor superior debido a la influencia directa del centro poblado así como de las actividades agrícolas cuya campaña principal se lleva a cabo entre los meses de septiembre y abril. En las estaciones E8 y E9 se observa que los valores tienden a disminuir conforme a la cercanía con la desembocadura. Esto podría deberse al aprovechamiento como nutrientes por microorganismos que tienden a oxidar los compuestos nitrogenados a nitratos y nitritos.

Para la tercera campaña, los valores correspondientes a las cinco primeras estaciones de muestreo se encuentran entre 12,16 y 19,47 ppm, y no presentan una tendencia definida aunque existe una similitud entre ellos. En el caso de la estación E3, se podría atribuir el incremento a que la zona de muestreo se encuentra rodeada de desperdicios y desechos orgánicos los cuales están acumulados como material sedimentable en la zona de la ribera. En cambio, la estación E2, que también se encuentra en Tembladera, presenta un valor menor debido a que en esta zona predominaban los campos agrícolas y se encontraba alejada de la zona de descarga de efluentes por tanto predomina la influencia del uso de fertilizantes. A partir de la estación E6 hasta la desembocadura se observa una tendencia de incremento de la concentración de nitrógeno total por influencia antropogénica.

De acuerdo a los índices de correlación, la concentración de nitrógeno total por el método de Kjeldahl está altamente correlacionada con los sólidos totales disueltos (0,723) debido a que los compuestos nitrogenados forman parte de su composición, con el sodio (0,726) debido a que los compuestos amoniacales pueden favorecer la disolución de dicho metal, con la dureza total (0,714), los cloruros (0,726) debido a su influencia con los iones presentes en disolución, y en un menor grado con los sulfatos (0,611) debido a que ambos están relacionados con la composición de fertilizantes.

Los ECAs nacionales no establecen una regulación estricta sobre la concentración de compuestos nitrogenados, sino que principalmente se enfocan en regular los productos de oxidación por incremento de la demanda bioquímica de oxígeno. De acuerdo con los resultados obtenidos por Walter (2010)^[73], se estaría dentro del rango permitido de nitratos (< 10 ppm) ya que el valor máximo reportado de nitratos durante dicho estudio fue de 0,96 ppm.

4.8. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

La demanda química de oxígeno hace referencia al consumo de oxígeno por parte de ciertas impurezas presentes en el medio. Estas impurezas son en general compuestos orgánicos e inorgánicos susceptibles a oxidación artificial por acción del dicromato de potasio. Esta metodología es utilizada principalmente como un indicador de calidad y como parte integral de planes de manejo ambiental, e incluso en situaciones de composición constante puede ser utilizada para estimar la demanda bioquímica de oxígeno. En el presente trabajo, esto es muy complicado debido al que la calidad de agua en la cuenca va a depender de las variaciones en los factores antropogénicos así como en los procesos naturales.^[47] Sin embargo, la DQO es solo una manera indirecta de estimar la cantidad de compuestos orgánicos presentes y la contaminación asociada a estos, mas no es un método para determinar la concentración de compuestos específicos. El comportamiento de dichos compuestos variará de acuerdo a las condiciones y al tipo de compuestos predominantes en el medio. Además, su efecto sobre la calidad del agua no es directo sino que la concentración de estos compuestos como nutrientes va a favorecer el consumo del oxígeno disuelto y, por ende, va a restringir la disponibilidad de este para muchos organismos vivos cuya existencia puede verse amenazada.

De acuerdo a la norma, la reactividad de los compuestos orgánicos es variable y experimentalmente se ha comprobado el alto grado de recuperación de compuestos como acetona, ácido acético, ácido butírico, dextrosa, dietilenglicol, ácido benzoico, anilina, etc. La metodología también especifica que no todos los compuestos orgánicos logran oxidarse completamente, e incluso se debe iniciar a una temperatura menor ya que la temperatura de reacción de los compuestos es distinta y se debe tener en cuenta para evitar la descomposición de estos. Debido a la corta estabilidad de las muestras, es de importancia realizar los análisis lo antes posible. Las variaciones en los datos de la tabla 14 evidencian

la susceptibilidad del parámetro con respecto al tiempo, y por este motivo los resultados de cada campaña de muestreo se tratarán independientemente.

Respecto a la primera campaña de muestreo, solo se obtuvieron valores para las estaciones E1, E7 y E9 debido a que las muestras correspondientes a las estaciones E3 y E5 no fueron contempladas durante el análisis inicial y, además, debido a la susceptibilidad del parámetro de acuerdo el tiempo dichas muestras no pudieron ser analizadas posteriormente. Se debe añadir que los resultados obtenidos de DQO durante esta campaña de muestreo son referenciales debido a que el análisis se llevó a cabo luego del tiempo sugerido por la metodología.

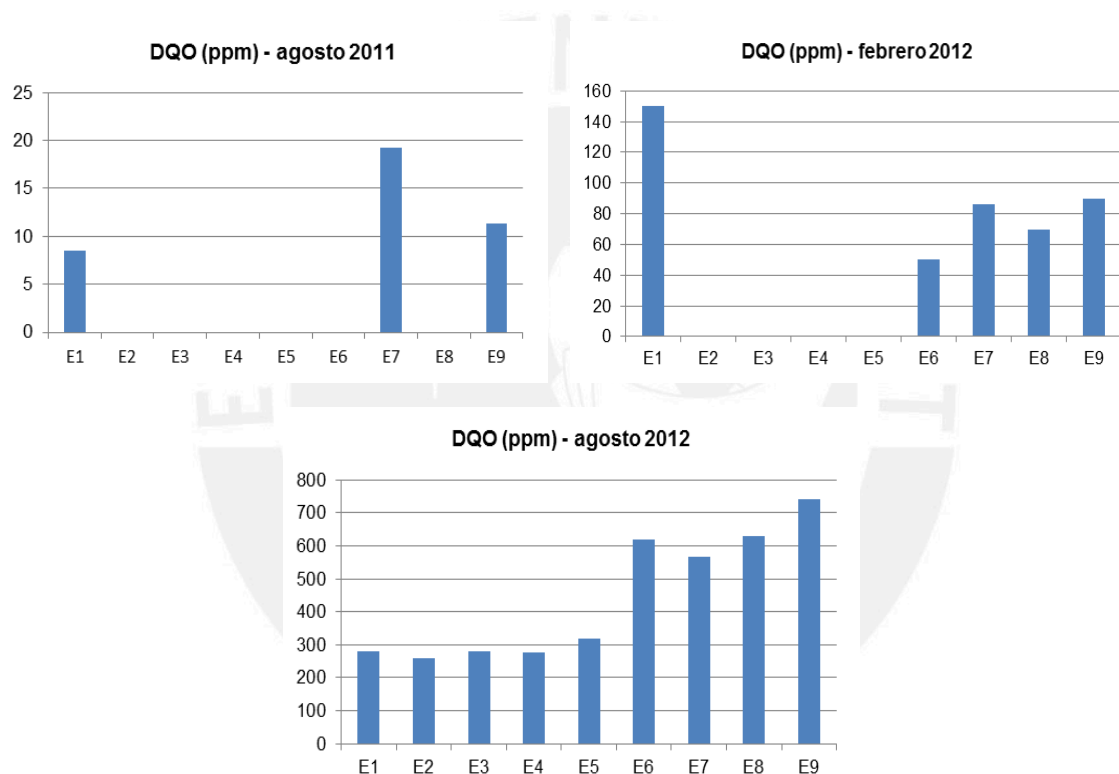


Figura 33. Resultados de los análisis de DQO. (superior-izquierda) Resultados correspondientes a la primera campaña. (superior-derecha) Resultados correspondientes a la segunda campaña (central). Resultados correspondientes a la tercera campaña de muestreo.

El valor máximo registrado (figura 33) durante la primera campaña corresponde a la estación E7. Esto puede deberse a la acumulación de materia orgánica en la zona de muestreo previa a la bocatoma de San Pedro de Lloc así como por intervención de los efluentes provenientes del centro poblado que estimulan el incremento en la carga orgánica. Se puede suponer que la muestra de la estación E3 pudo haber dado un valor más alto debido al elevado aporte de material orgánico proveniente de los efluentes domésticos.

Durante la segunda campaña de muestreo se observa que el máximo valor corresponde a la estación E1. Esto se atribuye al incremento del caudal del río durante la fecha de muestreo como consecuencia de las altas precipitaciones en la cuenca alta del Jequetepeque. Entonces habrá un mayor arrastre de material orgánico así como también un incremento en concentración debido a fenómenos naturales como deslizamientos y erosión hídrica. En el caso de la estación E6 se observa una disminución en la DQO lo cual podría indicar que parte de la materia orgánica tiende a depositarse como sedimento en la estructura de la represa. Posterior a la represa hay una tendencia al incremento en la DQO, la cual es notoria en la estación E7 por su cercanía a San Pedro de Lloc y en la estación E9 por acumulación en la desembocadura así como por desechos orgánicos vertidos en esta zona. En la estación E8, la zona de muestreo estaba ubicada en un área predominantemente agrícola por lo que la carga orgánica puede estar determinada principalmente por compuestos nitrogenados y sulfatos provenientes del uso de fertilizantes en el área.

Las muestras de la tercera campaña fueron procesadas durante los 28 días posteriores a la fecha de muestreo de acuerdo a lo propuesto por la ASTM y la APHA. El valor más elevado corresponde a la estación E9 que fue de 739,848 ppm, lo cual se debe a las distintas actividades antropogénicas realizadas en el área que fue tomada por los pobladores como lugar de recreación. Además la acumulación de desperdicios, así como los efluentes sin tratar provenientes de la cuenca favorecen el incremento de la carga orgánica en la zona de desembocadura. En los demás puntos se observa una tendencia general a incrementar la demanda química de oxígeno conforme la cercanía a la desembocadura, e incluso se observa que los valores de las estaciones posteriores a la represa se incrementan al doble de la magnitud que lo obtenido para las estaciones ubicadas dentro de Gallito Ciego.

De acuerdo a las correlaciones obtenidas la demanda química de oxígeno está relacionada experimentalmente con el nitrógeno total (0,854), sólidos disueltos (0,565) dentro de cuya composición se puede encontrar a diversos compuestos orgánicos oxidables y, en menor grado, con los sulfatos (0,463) cuya relación está asociada con la composición de los efluentes urbanos. En el caso de metales observamos una correlación predominante con el sodio (0,581) y con el cinc (0,561), así como también se observa una correlación de 0,71 con la dureza total.

De acuerdo a los ECA nacionales, la demanda química de oxígeno debe mantenerse por debajo de 40 ppm. Sin embargo, de acuerdo a lo obtenido en los análisis y excluyendo lo

obtenido durante la primera campaña, se observa que en toda la cuenca se excede este límite.

4.9. METALES

En general, el tipo y las concentraciones de metales en fuentes acuíferas son distintos para cada caso específico. Comúnmente, se encuentran en concentraciones que no representan condiciones tóxicas o peligrosas para la biota. Hay una fuerte y estrecha relación con el tipo de suelo y sedimentos de la cuenca hidrográfica los cuales, de acuerdo a las condiciones fisicoquímicas, pueden ser transportados al cuerpo de agua.^[75] Metales como manganeso, hierro, cobre y cinc son micronutrientes esenciales pero que, en concentraciones elevadas, pueden ser tóxicos. Algunos de estos metales pesados se encuentran principalmente en aguas superficiales; sin embargo, su concentración en solución es menor y dependerá del pH, del comportamiento del metal, de la concentración de ligandos acomplejantes, así como también del estado de oxidación y el potencial redox del sistema en cuestión.^[76]

En el presente trabajo se analizó Na, Ca, Mg, Fe y Zn debido a su frecuente presencia en cuerpos de agua tanto por acción de procesos geológicos como por influencia de las distintas actividades antropogénicas de la zona. Adicionalmente, se hizo pruebas para Cu, Pb, Cd, Cr y Ag, pero la absorbancia de estos mediante la espectrometría de absorción atómica a la llama era baja, incluso al concentrar la muestra. Concentrar un mayor volumen de muestra se consideró poco práctico pues solo se cuenta con 1 L de muestra y además que la repetitividad del análisis estaría limitada.

4.9.1. SODIO

El sodio es el sexto elemento más abundante y se encuentra principalmente en depósitos de sales minerales, efluentes domésticos, minerales. Debido a su reactividad, el sodio no se encuentra en su forma elemental sino como catión de sales de cloruros, carbonatos, hipoclorito y silicatos.^[40] La concentración de sodio en cuerpos de agua está favorecida por la alta solubilidad de las sales de sodio y determinada por las condiciones geológicas y por los aportes de las actividades antropogénicas.^[70]

En la figura 34 se observa que el valor máximo corresponde a la estación E9 en la tercera campaña, con un valor de 1000 ppm. Como se ha mencionado antes dicha muestra corresponde a una mezcla no homogénea de agua del río y agua de mar. Esto hará que la concentración de cloruro de sodio se incremente en la zona donde se realizó el muestreo. De acuerdo con la EPA, referencialmente el agua de mar contiene aproximadamente 30000

ppm de cloruros de sodio en su composición lo cual incrementa la posibilidad de que el aporte de agua de mar tenga influencia sobre la concentración de este elemento en la zona de desembocadura.^[76] Otro de los factores que puede influenciar es la acumulación de sales en el material sedimentable de la zona debido a la descarga de desechos urbanos de la cuenca así como los generados por el uso inadecuado en actividades antropogénicas.

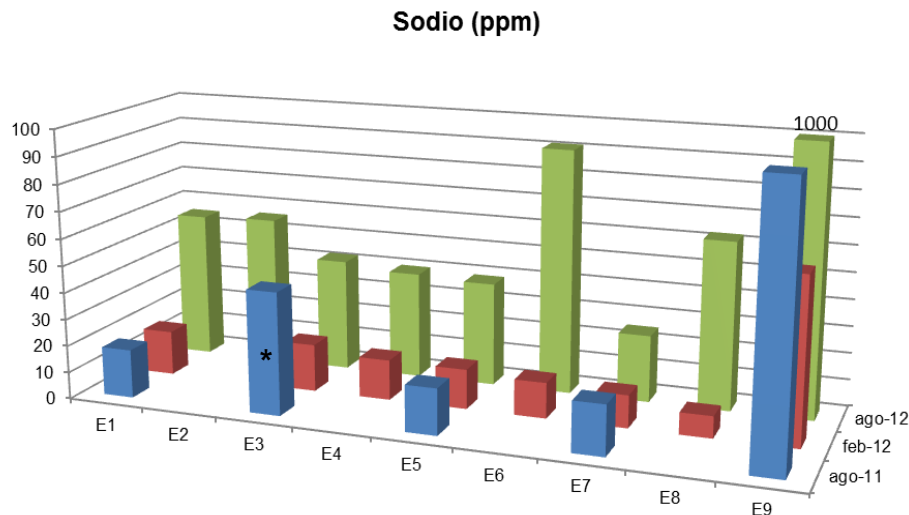


Figura 34. Resultados de sodio en ppm obtenidos durante las tres campañas de muestreo. (*) Muestra directa del tubo de desagüe de Tembladera.

En general, los valores más altos se registran en la estación E9 con 61,02 ppm durante la segunda campaña y 268,76 ppm durante la primera. En ambos casos el factor principal de las altas concentraciones de calcio está relacionado con los aportes de los efluentes a lo largo de la cuenca, y cuyas aguas tienden a acumularse en la zona de desembocadura. El bajo caudal favoreció el estancamiento del agua durante la primera campaña por esto es que observamos un valor superior con respecto a la segunda campaña llevada a cabo durante la época de mayor caudal.

Durante la primera campaña de muestreo se observan valores similares en los correspondientes a la estación E1, E5 y E7. La concentración de sodio va a presentar una ligera variación entre la estación E1 y E5; esto puede deberse a procesos de adsorción y un consecuente enriquecimiento del material sedimentario de fondo en la represa. Respecto a la estación E3, el valor de 45,62 ppm corresponde a la muestra directa del tubo de desagüe, por tanto, la dependencia de dicha concentración está relacionada con la salinidad de los

desechos urbanos. La estación E7 presenta un incremento en la concentración de sodio con respecto a la anterior por influencia de las actividades antropogénicas en la zona.

Los valores obtenidos de la segunda campaña de muestreo presentan cierta similitud respecto a los del primero mas no se observa una tendencia definida en la cuenca. La muestra de la estación E1 tiene una concentración de 16,57 ppm, al llegar a la estación E2 ubicada en la represa dicho valor se incrementa por acción antropogénica en el distrito de Tembladera, y conforme se avanzó en dirección a la desembocadura se obtuvo valores descendientes hasta alcanzar los 8,13 ppm en la estación E8. Dicha tendencia se observó también para el caso de los cloruros durante la segunda campaña, esto podría llevar a plantear que podría haber precipitación del cloruro de sodio.

Durante la tercera campaña, la dispersión de los valores obtenidos es alta. Las estaciones E1 y E2 presentan valores similares de aproximadamente 55 ppm. Por tanto, se podría suponer que la variación en la concentración de sodio proveniente de la cuenca alta es mínima al ingresar a la represa.

En las estaciones E3, E4 y E5, ubicada en los márgenes de Gallito Ciego, se observa una disminución en la concentración de sodio, mientras que Ríos (2013)^[56] reporta para sedimentos un incremento en la concentración del sodio para las estaciones ubicadas dentro de la represa, lo cual podría deberse a intercambios catiónicos en la superficie del sedimento.

En las estaciones E6 y E8 se observa un incremento en la concentración con respecto a la anterior campaña, así como también respecto a lo obtenido para la represa en la tercera campaña. En el caso de la estación E6, el incremento puede verse afectado por el uso del área en la ganadería, lo cual incrementa el aporte orgánico así como salino en el material sedimentable, el cual es desplazado hacia la columna de agua.

De acuerdo a los coeficientes de correlación la concentración de sodio está altamente relacionada con la dureza total (0,995), cloruros (0,996), sulfatos (0,973) estos últimos debido a que se encuentran formando compuestos tanto en los sedimentos como en el material orgánico proveniente de los residuos de actividades antropogénicas lo cual también está corroborado con un 0,995 de correlación respecto a los sólidos disueltos. La alta reactividad del sodio favorece el incremento de la conductividad eléctrica en el medio y experimentalmente dicho efecto se observó con una correlación 0,744.

Los ECA nacionales para agua de categoría 3 establecen un máximo de 200 ppm de sodio. En la mayoría de las estaciones se está dentro de los valores permitidos. Solo en el caso de la estación E9 durante la primera campaña de muestreo se obtuvo un valor por encima del máximo permitido.

4.9.2. CALCIO

El calcio se encuentra comúnmente en agua como Ca^{2+} el cual es disuelto a partir de minerales como calcita, dolomita, tiza, etc., y cuya concentración dependerá del tipo de la roca madre así como de los procesos de erosión en la cuenca. Dichos cationes se mantienen, en general, adheridos en superficies coloidales electronegativas y susceptibles a procesos de intercambio catiónico de manera similar que el magnesio y el sodio.^[53] Los compuestos de calcio de mayor abundancia en la naturaleza son los carbonatos e incluso en algunos casos como carbonatos de calcio-magnesio (dolomitas) su solubilidad está regulada por el pH y la cantidad de CO_2 disuelto presentes en el medio. La reacción de erosión de carbonatos de calcio da como coproducto HCO_3^- , que en equilibrio con el CO_2 y el CO_3^{2-} , forman parte del principal mecanismo buffer en aguas naturales. Se estima que la concentración de calcio en ríos se encuentra entre 1 y 2 ppm. Sin embargo en cuencas donde predomina la presencia de calizas se puede llegar a alcanzar los 100 ppm.^[77]

En la figura 35 se observa que los resultados más elevados corresponden a la estación E3 y a la E9 de la primera campaña. La estación E3 presenta un valor de 30,00 ppm; en este caso la muestra que corresponde al tubo de desagüe de Tembladera que evidencia la influencia de los efluentes de la ciudad. Además, el calcio es uno de los principales minerales presentes en mayor abundancia en el organismo humano (1,2 kg aprox); lo que no se logra aprovechar es excretado enriqueciendo los efluentes urbanos, es decir, guarda relación con el elevado valor de dureza obtenido para la muestra donde el mayor contribuyente son los cationes de Ca^{2+} . También se debe considerar que el calcio puede precipitar y acumularse en los sistemas de drenaje como calcita, la cual por acción del caudal del efluente puede ser arrastrado hacia la represa incrementando el aporte de cationes de calcio.

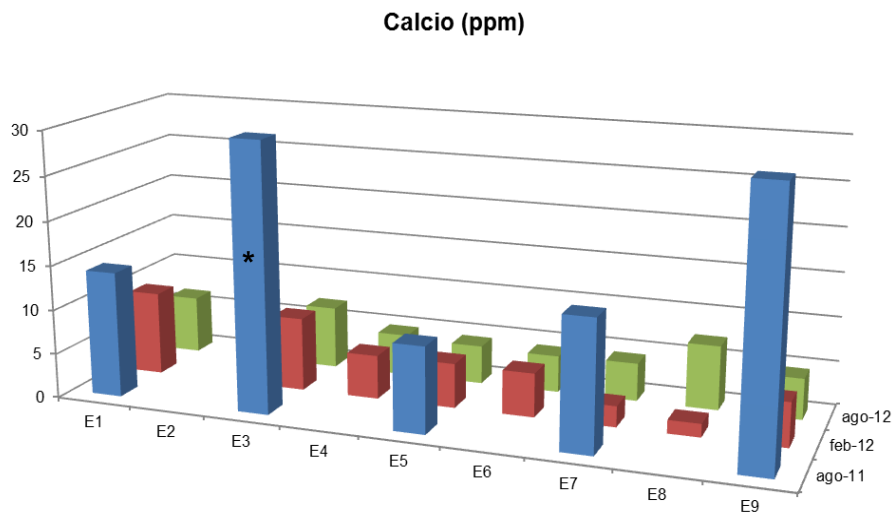


Figura 35. Resultados correspondientes al análisis de calcio en las distintas campañas de muestreo.

(*) Muestra directa del tubo de desagüe de Tembladera.

En la estación E9 se reportó un valor máximo de 29,53 ppm durante la primera campaña; esto como efecto de la acumulación de materia orgánica con una carga alta de minerales. Además, se debe considerar el aporte de los desechos vertidos en la zona de desembocadura así como de esqueletos de animales en proceso de descomposición que se encontraban en zonas aledañas.

Respecto a la primera campaña de muestreo, se obtuvo un valor de 14,126 ppm para la estación E1 cuya concentración de calcio se asocia a procesos de erosión hídrica en la cuenca alta del Jequetepeque y, en parte, por acción de fertilizantes agrícolas que contienen lastre de sulfatos y fosfatos de calcio como el superfosfato. En la estación E5 correspondiente al área de la represa se obtuvo un valor menor debido a la posible precipitación de sales de calcio, pues para la represa actúa como sumidero de material sedimentable. En este caso, Ríos (2013) ^[63] reportó un incremento en la concentración de calcio de 202,10 ppm por efecto de intercambio catiónico. Luego del embalse, se observó en la estación E7 un incremento en la concentración de calcio por efecto de las actividades antropogénicas del distrito de San Pedro de Lloc.

Los valores reportados durante la segunda campaña de muestreo se encuentran entre 1,5 y 9,41 ppm aproximadamente. Los valores de la estación E1 y E3 son similares, mientras que en las siguientes estaciones que corresponden a la zona de la represa se observa que las concentraciones tienden a disminuir como consecuencia de la acumulación como sedimento de fondo. Los sedimentos también presentan una caída con respecto a lo obtenido durante

la primera campaña de muestreo con un valor máximo de 47,42 ppm correspondiente a la estación E5 de acuerdo a Ríos (2013).^[63] La tendencia a disminuir continúa en las estaciones posteriores a la represa.

Con respecto a la tercera campaña (agosto 2012) se obtuvo valores entre 4,14 y 7,23 ppm, menores que los correspondientes a las campañas previas. En general, no se observa una tendencia definida y los valores entre las estaciones E4 y E7 son similares y sin variaciones significativas de entre ellos.

De acuerdo con Walter (2010)^[73], las concentraciones de calcio dentro de la represa varían entre 32 y 47 ppm que, en general, son hasta 4 veces mayores a las obtenidos durante el presente muestreo.

La concentración de calcio en agua se encuentra correlacionada experimentalmente con los sólidos totales disueltos (0,511) como parte de su composición, la dureza total (0,515), sulfatos (0,514) y el magnesio (0,558) por su aporte en conjunto a la dureza de la muestra.

El ECA para calcio en agua de categoría 3 es de hasta 200 ppm y, de acuerdo a lo obtenido en los distintos muestreos, no se sobrepasó dicho límite.

4.9.3. MAGNESIO

Las principales fuentes naturales de magnesio son la magnesita ($MgCO_3$) y la dolomita ($CaMg(CO_3)_2$); sin embargo, las reacciones de erosión de carbonatos así como las condiciones que favorezcan la precipitación del magnesio son poco comunes. Solo la mayor solubilidad de los carbonatos con respecto a otros compuestos hace que sean las principales fuentes de dicho metal.^[40] El magnesio no se encuentra comúnmente en su forma elemental sino como Mg^{2+} y es uno de los principales contribuyentes a la dureza del agua. Además, los ríos permiten la dispersión de dicho catión en el ecosistema y se puede encontrar en una concentración de aproximadamente 4 ppm. La concentración de dicho metal puede variar debido a procesos de intercambio catiónico asociados al Na^+ y al Ca^{2+} . También su presencia importante en el agua de mar.

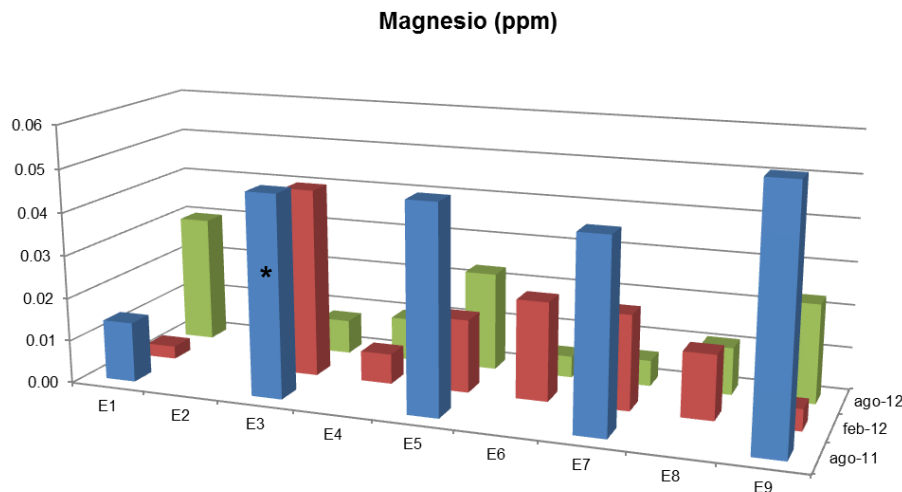


Figura 36. Resultados correspondientes al análisis de magnesio en las muestras correspondientes a las tres campañas de muestreo. (*) Muestra directa del tubo de desagüe de Tembladera.

Como se observa en la figura 36, los resultados obtenidos de la concentración de magnesio se encuentran dentro de un rango de 0,003 y 0,058 ppm. Estos valores son menores que los obtenidos en el análisis del calcio; por esto, el principal factor influyente sobre la dureza total de las muestras analizadas sería prioritariamente dicho metal y, en una bastante menor proporción, el magnesio.

Con respecto a la primera campaña, se observó una tendencia al incremento de la concentración al acercarnos hacia la zona de desembocadura. Además, lo obtenido para las estaciones E3 y E5 es similar, a pesar de que la primera de estas corresponde a la muestra del tubo de desagüe. Esto se debe a la limitada presencia del magnesio en residuos urbanos.

Los valores de la segunda campaña de muestreo no presentan una tendencia definida, tienden a aumentar hacia la estación E3, y con respecto a las estaciones E4 y E5 hay una disminución de la concentración, posiblemente por precipitación de carbonatos de magnesio y/o intercambio catiónico con el medio. Esto puede ser respaldado por el incremento en la concentración de dicho metal observado en el análisis de sedimentos de las estaciones E3 a E5 reportado por Ríos (2013).^[63]

En las estaciones posteriores se observó que la concentración disminuye conforme se acerca a la estación E9, por efecto de precipitación.

En la tercera campaña de muestreo se observó valores similares en las dos primeras estaciones de muestreo y, tal como lo observado con la concentración del calcio, la

influencia antropogénica así como geológica en la zona de ingreso a la represa es mínima. En las estaciones E3, E4 y E5 se obtuvo valores menores en comparación con la primera y segunda campaña; dicha disminución también se refleja para los sedimentos por Ríos (2013) ^[63] que desciende hasta en un 50% con respecto a lo obtenido durante la segunda campaña.

En la estación E9 se observa un incremento con respecto a la estación E8 debido a que la muestra es una mezcla de agua dulce y agua de mar en cuya composición se puede encontrar sulfatos, cloruros y bromuros de magnesio.

Walter (2010) ^[73] obtuvo concentraciones de entre 6 y 9 ppm en sus estaciones de muestreo dentro del área de la represa en comparación con las bajas concentraciones que se obtuvo en el presente muestreo por debajo de 1 ppm. Sin embargo, en ambos casos se encontró que las muestras se encuentran en una concentración menor a 150 ppm que es el límite máximo permisible establecido por el estado peruano de acuerdo a los ECA.

El análisis de correlaciones evidencia su principal relación con la concentración de calcio en 0,55 y, por ende, con la dureza total (0,31). También se observó una correlación de 0,38 con respecto a lo obtenido en el análisis de sulfatos.

4.9.3. CINC

El cinc es un nutriente de importancia para el crecimiento y desarrollo de plantas y animales, pero una elevada concentración de este puede ser perjudicial para el ecosistema acuático. Naturalmente el cinc se encuentra adsorbido en superficies minerales, en carbonatos y complejos orgánicos, y su reactividad depende del pH y la temperatura por esto en condiciones ambientales se caracteriza por su baja solubilidad. En medios acuosos se encuentra presente principalmente como Zn^{2+} y $ZnOH^+$ y asociado a material sedimentable rico en compuestos orgánicos de carga negativa que favorecen procesos de intercambio catiónico. ^[78]

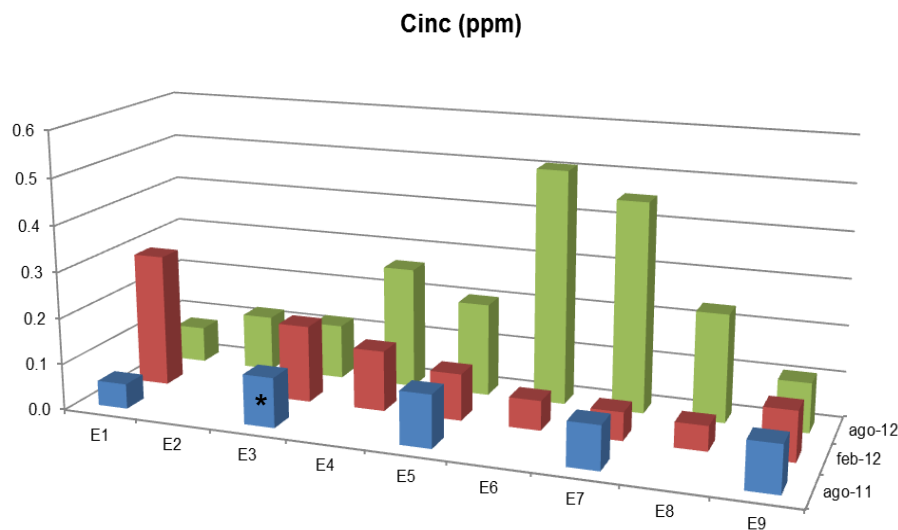


Figura 37. Resultados obtenidos de los análisis de cinc en aguas en las tres campañas. (*) Muestra directa del tubo de desagüe de Tembladera.

En la figura 37 se observa que las concentraciones de cinc en las muestras están en un rango de 0,054 a 0,508 ppm, e incluso en mayor concentración que el magnesio. El cinc, en su forma Zn^{2+} , también puede contribuir al incremento de la dureza del agua y, en este caso, incluso se podría plantear que el aporte del cinc es más influyente que el del magnesio. Esta tendencia también se observa en lo obtenido por Ríos (2013)^[63] donde la concentración de cinc supera a la de magnesio en las muestras de sedimento correspondientes a las estaciones E1 a E6.

Durante la primera campaña se obtuvieron valores similares entre 0,050 y 0,114 ppm; los valores mayores corresponden a las estaciones E3 y E5 ubicados dentro del área de la represa. Como se ha mencionado, la principal fuente de cinc proviene de carbonatos y de complejos orgánicos, por esto no se observa diferencia entre lo obtenido en dichas estaciones a pesar que la muestra de E-3 corresponde directamente a los efluentes del pueblo de Tembladera.

Los valores correspondientes a la segunda campaña tienden a disminuir conforme se acerca a la desembocadura. El valor máximo corresponde a la estación E1 con una concentración de cinc de 0,289 ppm, valor que disminuye dentro del área de la represa mientras que la concentración de dicho catión se ve incrementada en el material sedimentable de acuerdo a lo obtenido por Ríos (2013).^[63] Posterior a la represa, la concentración de cinc disminuye hasta en un 50% con respecto a las estaciones anteriores posiblemente debido a la precipitación dentro del área de la represa, y debido al bajo aporte de cinc a lo largo de la

cuenca baja. El incremento en la estación E9 corresponde al aporte de la carga de sedimentos acumulado en la desembocadura.

En la tercera campaña de muestreo se observó en la estación E1 el valor es menor que los obtenidos en las estaciones correspondientes a la represa donde llega hasta un máximo de 0,264 ppm en la estación E4. Tanto en agua como en sedimento se observa un incremento en las estaciones E4 y E5 relacionados a la capacidad de almacenamiento de la represa. Posterior a la represa se obtuvo un valor máximo de 0,508 para la estación E6, y en las estaciones siguientes se da una tendencia a la disminución de la concentración del cinc posiblemente por intercambio catiónico con el material sedimentable y a la mayor solubilidad de otros iones en el medio.

El ECA de cinc es de 2 ppm para aguas de categoría 3. De acuerdo a lo obtenido durante las tres campañas, la concentración del cinc en la cuenca del Jequetepeque cumple con los estándares de calidad. Por otra parte, los índices de correlación demuestran que la concentración de cinc se encuentra asociada a la DQO (0,561).

4.9.4. HIERRO

El hierro es el segundo metal más abundante en la corteza terrestre y se presenta naturalmente en minerales como la hematita, magnetita y pirita, y su solubilidad como Fe^{2+} depende de la concentración de carbonatos en agua. En general no se encuentra como metal tal cual sino predominantemente como óxidos de Fe^{2+} y Fe^{3+} , y en aguas naturales se encuentra en una concentración aproximada de 0,7 ppm.^[61]

Según se aprecia en la figura 38, el valor máximo corresponde a la estación E5 de la segunda campaña de muestreo. Esto puede deberse a un incremento en los carbonatos así como de materia orgánica en la muestra. Según Ríos (2013)^[63] se observó que para sedimentos se registraron mayores valores en las estaciones correspondientes a las estaciones E4 y E5.

Respecto a la primera campaña, se observó que los valores tienden a presentar una similitud y se encuentran dentro del rango de 0,095 y 0,121 ppm, siendo las estaciones E3 y E5 las que presentan los máximos valores por influencia del material acumulado en el embalse de la represa.

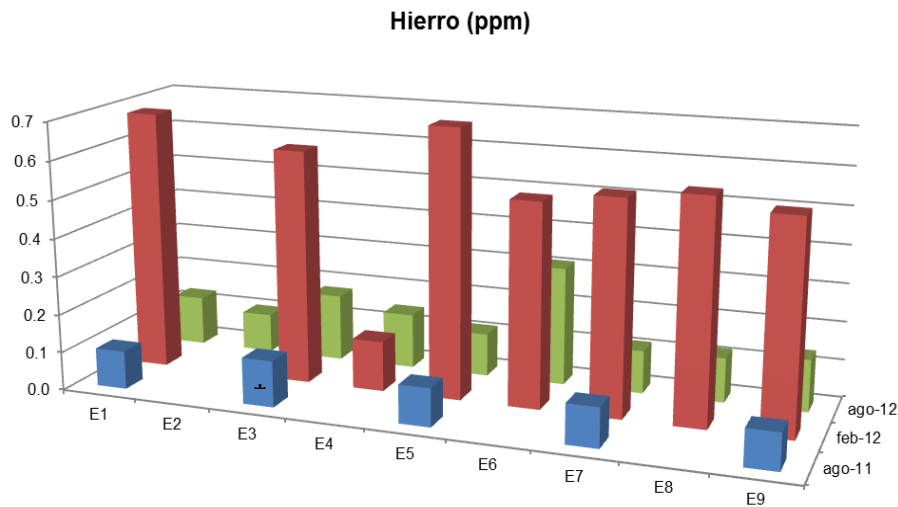


Figura 38. Resultados obtenidos de los análisis de hierro a las muestras correspondientes a las tres campañas. (*) Muestra directa del tubo de desagüe de Tembladera.

En la segunda campaña el máximo valor se registró en la estación E6 con una concentración de 0,802 ppm. Además, entre las estaciones E1 y E3 no se observan variaciones significativas, debido a que el incremento del caudal reduciría la posibilidad de precipitación antes del ingreso al embalse. A partir de la estación E6, los valores se mantienen entre 0,50 y 0,60 ppm, por lo que, al igual que en la anterior campaña, se evidencia la baja influencia y significancia de los aportes de efluentes y residuos de las actividades antropogénicas sobre la calidad de agua. Los datos de sedimentos obtenidos por Ríos (2013) ^[63] para estaciones ubicadas en el área de la represa son menores que los correspondientes a la primera campaña, y podría plantearse que se ha visto favorecida la presencia del metal como parte de la disolución.

En el tercer muestreo se obtuvieron valores similares a la primera campaña; en este caso se registró un máximo de 0,31 correspondiente a la estación E6. Se observa cómo la concentración de hierro se incrementa al llegar a las estaciones ubicadas en Tembladera, además se resalta que la variación entre las estaciones E2 y E3 equivale a un 67%. En la estación E6 la concentración incrementa y luego tiende a disminuir conforme nos acercamos hacia la desembocadura.

De acuerdo al análisis de correlaciones la concentración de hierro está principalmente relacionada al DQO (0,324) debido a que su presencia está asociada a compuestos orgánicos presentes en la muestra.

5. CONCLUSIONES

La presente investigación permite evidenciar la influencia de las actividades antropogénicas sobre la calidad de agua de la cuenca baja del río Jequetepeque en donde esta se constituye como principal fuente del recurso para los centros poblados y sobre todo para sostener la actividad agrícola que es clave para la economía en el valle.

Además se evidenció que el río ejerce función como vía de transporte de nutrientes y material orgánico lo cual estimula y favorece procesos de eutrofización en el área de la represa de Gallito Ciego.

La muestra correspondiente a una de las estaciones en particular (la estación E3) de la primera campaña, permite evidenciar la influencia de los efluentes domésticos sobre la calidad del agua principalmente en componentes orgánicos así como en la salinidad y la concentración de cationes.

El pH se encuentra entre 6,88 y 8,78 y en general es predominantemente neutro con una ligera tendencia a la basicidad. Por otro lado la conductividad se encuentra dentro del rango de 150 y 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y evidencia que las muestras se encuentran enriquecidas en iones, esto sin considerar la estación E-3 correspondiente al primer muestreo (muestreo directo del tubo de desagüe) y de la estación E-9 correspondiente al tercer muestreo (mezcla con agua de mar). Dentro de los principales contribuyentes al incremento de la conductividad tenemos a los cloruros (5,71- 38,47 ppm) excluyendo las estaciones previamente señaladas, así como también cationes como calcio y magnesio cuya concentración en conjunto se midió en primera instancia mediante la determinación de dureza total (113,51 - 368,72 ppm).

Las concentraciones de nitrógeno total, sulfatos y DQO se encuentran relacionadas directamente con la carga orgánica que aporta el material sedimentable debido a procesos de erosión hídrica. La capacidad como sumidero de la represa permite la acumulación de sedimentos, los cuales van a favorecer el incremento de la carga de material orgánica en la cuenca baja del río, esto se evidencia en los valores superiores de DQO, sulfatos y nitrógeno total que se obtienen en la estación E-6 ubicada a la salida de la represa.

Es de resaltar que los valores obtenidos para la DQO correspondientes a agosto 2012 son elevados con respecto a los ECA establecidos por el estado peruano, esto se puede atribuir debido al proceso de colmatación que ocurre en la represa desde su inicio de operaciones y

cuyo incremento podría favorecer la eutrofización del embalse y limitar la concentración de oxígeno disuelto necesario para el crecimiento y desarrollo de peces a lo largo de la cuenca del Jequetepeque.

Existe una favorable correlación entre los sólidos disueltos y los metales como Ca^{2+} , Zn^{2+} y Na^+ , esta se encuentra asociada a la capacidad de intercambio catiónico del material sedimentable, el cual se registró en el análisis en paralelo se encontraba enriquecido con estos metales.

La concentración de Fe obtenida durante el muestreo dio una dependencia de la variación en sedimentos y respecto a lo obtenido en el año 2009 no se observaron cambios significativos, por tanto se podría asumir que las fuentes de dicho metal son limitadas en la cuenca alta y su influencia sobre la calidad de agua es poco significativa.

En el caso de metales como magnesio (0,058 – 0,003 ppm) y otros no detectados como cobre, plomo, cadmio, cromo y plata, se puede afirmar que debido a su baja solubilidad no se logran encontrar en concentraciones significativas en el agua del río sino que estarían principalmente asociados a los sedimentos, cuyas concentraciones si fueron determinadas en los análisis realizados en paralelo para muestras de sedimento en las estaciones E-1 a E-6.

6. RECOMENDACIONES

A pesar de que la situación actual del agua en el embalse de Gallito Ciego así como de la cuenca baja del Jequetepeque cumple con los estándares nacionales de calidad de agua para categoría 3, es importante considerar los posibles efectos a futuro del incremento de la densidad poblacional así como del incremento de parcelas dedicadas a la producción agrícola. Por este motivo, ante un posible incremento en la demanda del recurso hídrico a mediano plazo, es de relevancia implementar estaciones y campañas de monitoreo de calidad con una frecuencia anual tanto en el agua del embalse así como en la cuenca.

Respecto al muestreo se recomienda en lo posible incrementar los puntos dentro de una misma estación de manera que no solo se pueda obtener información de la calidad del agua de los bordes sino que también podamos obtener información del agua a determinadas distancias con respecto a la ribera, así como también muestras a distintas profundidades sobre todo en el área de la represa y contrastarlas con la información que se obtenga del análisis de aguas superficiales. Además se recomienda implementar estaciones de muestreo adicionales de manera que las distancias entre estaciones sean uniformes, esto podría favorecer a obtener una más eficiente caracterización de la cuenca.

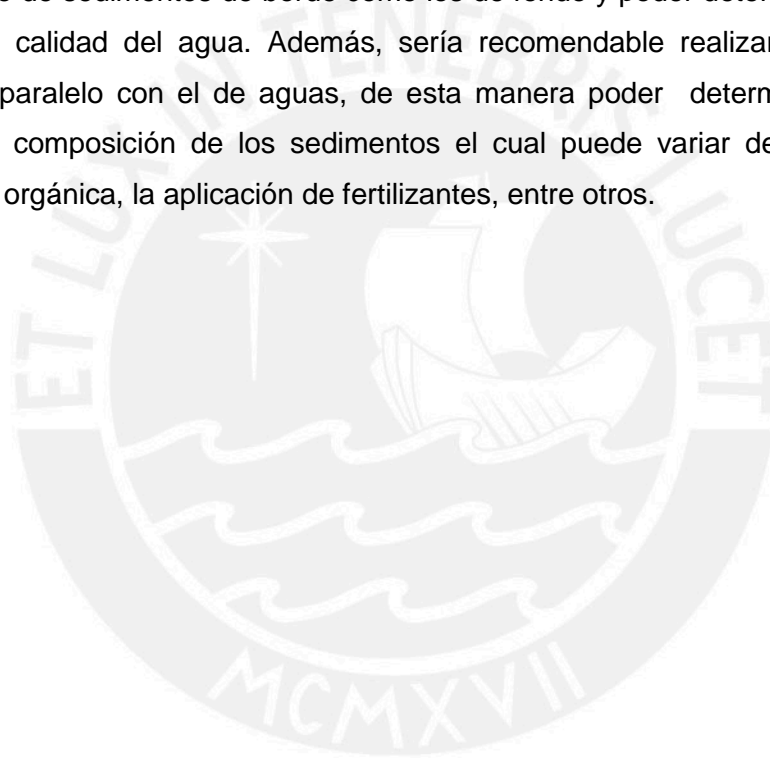
Considerando la importancia de la actividad agrícola en el valle, se recomienda tomar en cuenta cada una de las campañas de cultivo y ampliar el muestreo de acuerdo a las fechas iniciales, intermedias y finales de estas. Esto nos permitiría recabar más información sobre el efecto de fertilizantes y material orgánico sobre la calidad de agua del río Jequetepeque y que finalmente nos permita emitir un reporte a las entidades correspondientes para que se puedan plantear soluciones a corto y largo plazo para mitigar la contaminación por el uso de fertilizantes químicos.

En todo plan de monitoreo a futuro es de importancia considerar el tiempo de máximo de preservación de cada uno de los parámetros a analizar en las muestras a ser tomadas, puesto que pasado dicho tiempo podríamos observar resultados no representativos que si bien nos sirven para observar tendencias no serán de utilidad para cuantificar concentraciones de componentes para fines comparativos. Lo ideal es establecer un plan de análisis por etapas de manera de acuerdo al tiempo máximo de preservación de cada parámetro, así mismo se pueden realizar pruebas con muestras similares.

Si se requiere profundizar en el análisis de metales pesados en disolución, sería recomendable tomar una muestra de acuerdo a los protocolos correspondientes para

realizar un análisis mediante espectroscopia de masas con fuente de plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS). Lo ideal sería analizar muestras correspondientes a la cuenca alta y al embalse de Gallito Ciego para no solo determinar la ausencia o presencia de metales que puedan ser tóxicos sino que también se pueda determinar las posibles fuentes de estos.

Para complementar el monitoreo de calidad de agua dentro del embalse es importante implementar el análisis de parámetros relacionados a factores que podrían darnos información relacionada al proceso de eutrofización tales como oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, determinación de fosfatos, nitratos, alcalinidad, así como los análisis respectivos tanto de sedimentos de borde como los de fondo y poder determinar el grado de influencia en la calidad del agua. Además, sería recomendable realizar el muestreo de sedimentos en paralelo con el de aguas, de esta manera poder determinar el grado de influencia de la composición de los sedimentos el cual puede variar dependiendo de la salinidad, carga orgánica, la aplicación de fertilizantes, entre otros.



7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Comité para la anulación de la deuda del Tercer Mundo. Los recursos naturales, patrimonios de la humanidad.2008. En línea: <http://www.cadtm.org/Los-recursos-naturales-patrimonio> Fecha de consulta: 20/06/2012
- [2] Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente.2006. *GeoAnuario: Generalidades de nuestro cambiante entorno*. Malta, 82 p.
- [3] Decenio internacional para la acción “el agua fuente de vida” 2005-2015 ONU-DAES.La escasez del agua. 2006. En línea: <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/scarcity.shtml> Fecha de consulta: 13/04/2014
- [4] Autoridad Nacional del Agua. 2009. *Política y estrategia nacional de recursos hídricos del Perú*. Comisión Técnica Multisectorial. Lima, 79 p.
- [5] Alvarado Ancieta, C.2007. Desarrollo histórico, tipología, inventario y técnica de las presas y embalses en el Perú. *Revista de Obras Públicas*, N° 3, Septiembre, 480 p.
- [6] Food and Agriculture Organization. *Water sources and water availability*. 1992. En línea: <http://www.fao.org/docrep/U5835E/u5835e03.htm> Fecha de consulta: 15/06/2012
- [7] Itaipú binacional. Visita institucional: Represa. En línea: <http://www.itaipu.gov.py/es/energia/represa> Fecha de consulta: 15/06/2014
- [8] American society of civil engineers. Seven wonders: Itaipu dam. En línea: <http://www.asce.org/People-and-Projects/Projects/Seven-Wonders/Itaipu-Dam/> Fecha de consulta: 16/06/2014
- [9] Amazon Watch.Brazil’s Belo Monte Dam: Sacrificing the Amazon and its People for Dirty Energy. 2014. En línea: <http://amazonwatch.org/work/belo-monte-dam> Fecha de consulta: 14/04/2014
- [10] Asociación Interamericana para el medio ambiente. *Represa hidroeléctrica Belo Monte*. 2011. En línea: <http://www.aida-americas.org/es/node/1543> Fecha de consulta: 15/06/2012
- [11] Arboleda, J. 2008. Manual de evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras o actividades. *Generalidades de la evaluación de impacto ambiental*. Colombia, 132 p.

[12] Gunkel, G.; Sobral, M. 2007. Reservoir and river basin management: Exchange of experiences from Brazil, Portugal and Germany. Univerlagberlin, Alemania, 279 p.

[13] LIDEMA.2007.*Posición de la liga de defensa del medio ambiente- LIDEMA sobre las represas de Madeira.*

En línea:http://www.redesma.org/boletin/bol_2007/bol_9_10/posicion%20lidema.pdf Fecha de consulta: 15/06/2012

[14] Asociación Interamericana para el Medio Ambiente. AIDA, 2009.*Grandes represas en América. ¿Peor el remedio que la enfermedad?*.AIDA, Colombia, 111 p.

[15] Jain, S.; Singh, V. 2003.*Water resources systems: Planning and management. Environmental impact of reservoirs.* Elsevier, Estados Unidos, 882 p.

[16] Pérez Stéfanov, B.2011.*Reflexiones sobre el proyecto hidroeléctrico el Díquis y sus impactos sociales en la comunidad de Térraba, Buenos Aires y Ceibo.* Reflexiones, vol. 90, núm. 2, p 9-25.

[17] Umaña Quesada, A.2013. El proyecto hidroeléctrico El Diquís y el humedal nacional Térraba-Sierpe: Análisis de impactos potenciales y opciones hacia el futuro. Stanford Woods: Institute for the Environment, Costa Rica, 37p.

[18] Girón Echeverry, E. 2003. Andes basin profile: Jequetepeque river basin. Condesan, Perú, 14 p.

[19] Rojas, G. *Manejo y aprovechamiento del agua en la cuenca del río Jequetepeque.* 1997.

En línea:

http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/manejo_integral_microcuencas/manejo_integral_microcuencas13.pdf Fecha de consulta: 13/06/2012

[20] Convenio INRENA-PEJEZA.2004. Actualización del plan de ordenamiento ambiental de la cuenca del río Jequetepeque para la protección del reservorio de Gallito Ciego y su valle agrícola. Perú, 475p.

[21] CEPES.*Diagnóstico de la calidad de agua de la cuenca del Jequetepeque.*1994. En línea: http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/diagnostico_calidad_aguatomo1/diagnostico_calidad_agua_cuenca_rio_jequetepeque.pdf Fecha de consulta: 20/05/2012

[22] MINEM - Instituto de Minería y Medio Ambiente de la Universidad Nacional de Ingeniería. 2000. Estudio de evaluación ambiental territorial y de planteamientos para la reducción de la contaminación de origen minero en la cuenca del río Jequetepeque. Perú, 49 p.

[23] Instituto Nacional de Estadística e Informática, INEI. 2012. IV Censo agropecuario 2012: Resultados definitivos. Perú, 29 p.

[24] CONDESAN. Temas de investigación y desarrollo: Cuenca del Jequetepeque. 2003. En línea: <http://www.condesan.org/memoria/jequetepeque/> Fecha de consulta: 15/06/2012

[25] Instituto Nacional de Estadística e Informática, INEI. 2007. Censos nacionales XI de población y VI de vivienda: Resultados definitivos. Perú.

[26] Delgado, R. Estudio inicial del aporte de sedimentos del río Jequetepeque al embalse Gallito Ciego. 1999. En línea: <http://www.condesan.org/memoria/Caj1399.pdf> Fecha de consulta: 20/06/2012

[27] Somos Tembladera. Historia de Tembladera. 2011. En línea: <http://www.somostembladera.com/historia.html> Fecha de consulta: 15/04/2014

[28] Organismo supervisor de la inversión en energía, OSINERG.2005. Compendio de centrales hidráulicas y térmicas mayores. Perú, 160 p.

[29] SN POWER PERÚ. Gallito Ciego fact sheet. 2010.

En línea: http://www.snpower.com/images/Peru_GALLITO_factsheet%5B1%5D_tcm82-11993.pdf Fecha de consulta: 15/06/2012

[30] PEJEZA. 2000. Informe de mediciones topográficas y batimétricas en el embalse de Gallito Ciego. Perú.

[31] EcoPrensa. 2002. Sedimentación amenaza capacidad de reservorio de Poechos. En línea: <http://www.ecologiaaldia.com/ecoprensa/2002/09/23/1423.htm> Fecha de consulta: 15/06/2012

[32] Autoridad Nacional del Agua, ANA. Reservorio Gallito Ciego. 2013. En línea: <http://www.ana.gob.pe/servicios-al-usuario/informaci%C3%B3n-de-embalse/reservorio-gallito-ciego.aspx> Fecha de consulta: 12/04/2014

- [33] Bellingham, K. Stevens, Physicochemical parameters of natural waters. 2003. En línea: <http://www.stevenswater.com/articles/waterparameters.aspx> Fecha de consulta: 13/04/2014
- [34] EPA, Water quality standards. 2011. Protecting human health and aquatic Life: Basic information. Estados Unidos, 2 p.
- [35] Presidencia de la República del Perú. 2008. Decreto Supremo 002-2008-MINAM.
- [36] Garau, M. Control de la calidad de aguas y sedimentos para el estudio del impacto por metales en la cuenca con actividad minera del Jequetepeque, Perú. En línea: <http://upcommons.upc.edu/pfc/handle/2099.1/7408> Fecha de consulta: 05/05/2012
- [37] Hunt, D; Wilson, A. 1990. The Chemical Analysis of Water. Primera Edición, Royal Society of Chemistry. Reino Unido, 683 p.
- [38] Ongley, E.1997.Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos: Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía, transporte de sedimento. FAO - Departamento de Desarrollo Sostenible. ISBN 92-5-303875-6
- [39] Movellán, E. 1996. Modelado de la cuña salina y del flujo de nutrientes en el tramo estuarino del río Ebro: Los nutrientes, generalidades y su modelado. España, 221 p.
- [40] American Public Health Association. 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18ava Edición. Estados Unidos, 1496 p.
- [41] OPEMA - Ministerio de agricultura y riego proyecto especial Jequetepeque- Zaña. Monitoreo de calidad de aguas: río Jequetepeque. 2013.
En línea: <http://www.pejeza.gob.pe/pdf/02-MonitoreoCalidaddelAgua.pdf>
- [42] FAO, Department of natural resources of the Philipines. Brackishwater aquaculture development and training project: Measurement of stream velocity by floats and determination of discharge.1976. En línea: <http://www.fao.org/docrep/field/003/ac061e/AC061E07.htm> Fecha de consulta: 15/05/2012
- [43] Rump, H; Krist, H. 1992.Laboratory Manual for the Examination of Water, Waste Water and Soil. Segunda Edición VCH, Alemania, 225 p.

- [44] APHA.2340 C: EDTA Titrimetric Method. Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater. 20 Ed. American Public Health Association. 1998.
- [45] APHA.2540 C: Total Dissolved Solids Dried at 180°C. Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater. 20 Ed. American Public Health Association. 1998.
- [46] APHA.2540 D: Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C. Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater. 20 Ed. American Public Health Association. 1998.
- [47] American Society for Testing and Materials. ASTM 1252-00, TEST METHOD A. Macro COD by reflux digestion and titration. ASTM International.2009.
- [48] American Society for Testing and Materials. ASTM 3590-89, TEST METHOD A. Manual digestion and distillation. ASTM International.1994.
- [49] APHA.427 A: Gravimetric sulfate determination. Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater. 20 Ed. American Public Health Association.1998.
- [50] ASTM. D 512-89, TEST METHOD B: Silver nitrate titration. ASTM International.1999.
- [51] EPA. Method 236.1: Iron (Atomic Absorption, Direct Aspiration). Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes.1978.
- [52] EPA. Method 273.1: Sodium (Atomic Absorption, Direct Aspiration). Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes.1974.
- [53] APHA. 3500-Ca Method B. Atomic Absorption Spectrometric Method. Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater. 20 Ed. American Public Health Association.1998.
- [54] APHA. 3500-Zn Method B. Atomic Absorption Spectrometric Method. Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater. 20 Ed. American Public Health Association.1998.
- [55] EPA. Method 242.1: Magnesium (Atomic Absorption, Direct Aspiration). Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes.1978.
- [56] Global Water Watch Mexico – International Center for aquaculture and aquatic environments.Información básica sobre parámetros. 2011.

En línea: <http://www.globalwaterwatch.org/MEX/MXesp/MXInfoBasicaParametrosSp.aspx>
Fecha de consulta: 14/06/2014

[57] Regional aquatics monitoring program. Water quality indicators: conventional variables. 2013.

En línea: <http://www.rampalberta.org/river/water+sediment+quality/chemical/conventional.aspx> Fecha de consulta: 29/05/2014

[58] EPA. Los efectos de la lluvia ácida- aguas de superficie y animales acuáticos. 2012. En línea: http://www.epa.gov/acidrain/spanish/effects/surface_water.html Fecha de consulta: 30/07/2014

[59] FAO. Wastewater characteristics and effluent quality parameters. 1992.

En línea: <http://www.fao.org/docrep/t0551e/t0551e03.htm>

[60] Water Quality Association. Glossary of Salt Water: Water Classifications. 2010.

[61] World Health Organization. 1996. Guidelines for drinking- water quality. Health criteria and other supporting information. Segunda edición, Vol.2, 564 p., Ginebra.

[62] EPA. Estuaries and coastal watersheds: Basic information about estuaries. 2012. En línea: <http://water.epa.gov/type/oceb/nep/about.cfm> Fecha de consulta: 20/05/2014

[63] Ríos, N. 2013. 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. Pontificia Universidad Católica del Perú PUCP.

[64] EPA. Quality criteria for water. 1986. En línea: http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/criteria/aqlife/upload/2009_01_13_criteria_goldbook.pdf Fecha de consulta: 22/05/2014

[65] Hunt, M.; Herron, E.; Green, L. Chlorides in fresh water. 2012. En línea: <http://www.uri.edu/ce/wq/ww/Publications/Chlorides.pdf> Fecha de consulta: 12/06/2014

[66] Namasivayam, C.; V. Sureshkumar, M. Removal of sulfate from water and wastewater by surfactant-modified coir pith, an agricultural solid "waste" by adsorption methodology. J. Environ. Eng. Manage, 17 (2), 129-135 p., 2007.

- [67] Severiche, C.; González, H. Evaluación analítica para la determinación de sulfatos en aguas por método turbidimétrico modificado. Ing. USB Med, 3(2), Julio-Diciembre 2012.
- [68] EPA. Drinking water contaminants: sulfate in drinking water.2012.En línea: <http://water.epa.gov/drink/contaminants/unregulated/sulfate.cfm>. Fecha de consulta: 16/06/2014
- [69] Milne I, Seager J, Mallett M, Sims I.Effects of short-term pulsed ammonia exposure on fish. Environmental Toxicology and Chemistry 19(12):2929-2936p., 2000.
- [70] Lapota D, Duckworth D, Ward J.2000.Confounding Factors in Sediment Toxicology - Issue Papers 1-19. Space and Naval Warfare Systems Center, San Diego, 19 p.
- [71] EPA. CADDIS Volume 2: sources, stressors & responses. Ammonia: Introduction.2012. En línea: http://www.epa.gov/caddis/ssr_amm_int.html Fecha de consulta: 17/06/2014
- [72] ANUA. What is nitrification and why is it relevant to wastewater treatment? 2014. En línea: <http://www.anua-us.com/es/what-nitrification-and-why-it-relevant-wastewater-treatment> Fecha de consulta: 18/06/2014
- [73] Walter, K.2010. Managing sediments of the Gallito Ciego reservoir, Peru: Possible agricultural use of sediments in the Jequetepeque river basin. Diplomarbeit. Universidad Técnica de Berlin.
- [74] Quispe, E.2008. Diseño de un programa de monitoreo de agua superficial en San Pedro de Lloc. Tesis para optar el grado de magister en química.PUCP. Lima.
- [75] North Carolina State University water quality group. Heavy metals: General information.2003. En línea: <http://www.water.ncsu.edu/watershedss/info/hmetals.html> Fecha de consulta: 17/06/2014
- [76] EPA. Drinking Water Advisory: Consumer Acceptability Advice and Health Effects Analysis on Sodium.2003. En línea: http://water.epa.gov/action/advisories/drinking/upload/2003_03_05_support_cc1_sodium_dw_report.pdf Fecha de consulta: 18/06/2014
- [77] Lenntech: Water Treatment Solutions. Calcium and water: reaction mechanisms, environmental impact and health effects.2014. En línea: <http://www.lenntech.com/periodic/water/calcium/calcium-and-water.htm> Fecha de consulta: 18/06/2014

[78] Environmental Protection Division of British Columbia. Water quality: Ambient water quality Guidelines for Zinc.1999. En línea:
<http://www.env.gov.bc.ca/wat/wq/BCguidelines/zinc/zinc.html> Fecha de consulta: 17/06/2014

