



Determinación del estado trófico de la laguna de Limoncocha mediante el análisis de perfiles hidroquímicos en el periodo 2015-2017

Patricio Andrés Rodríguez Montaña

Quito, 27 de julio de 2017

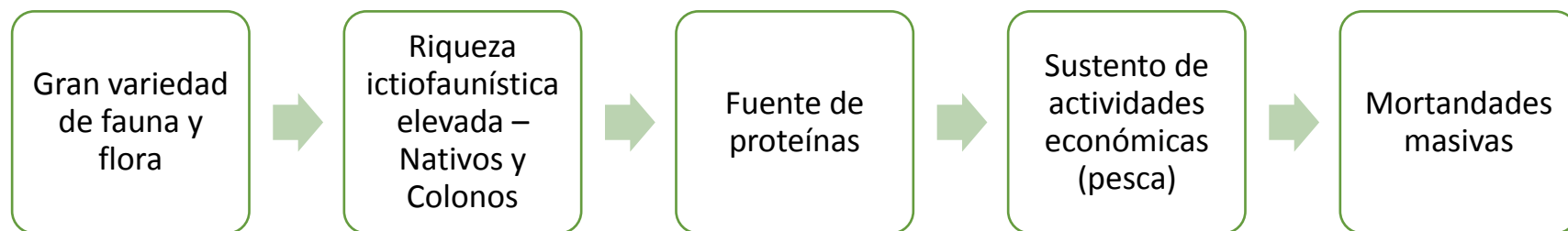
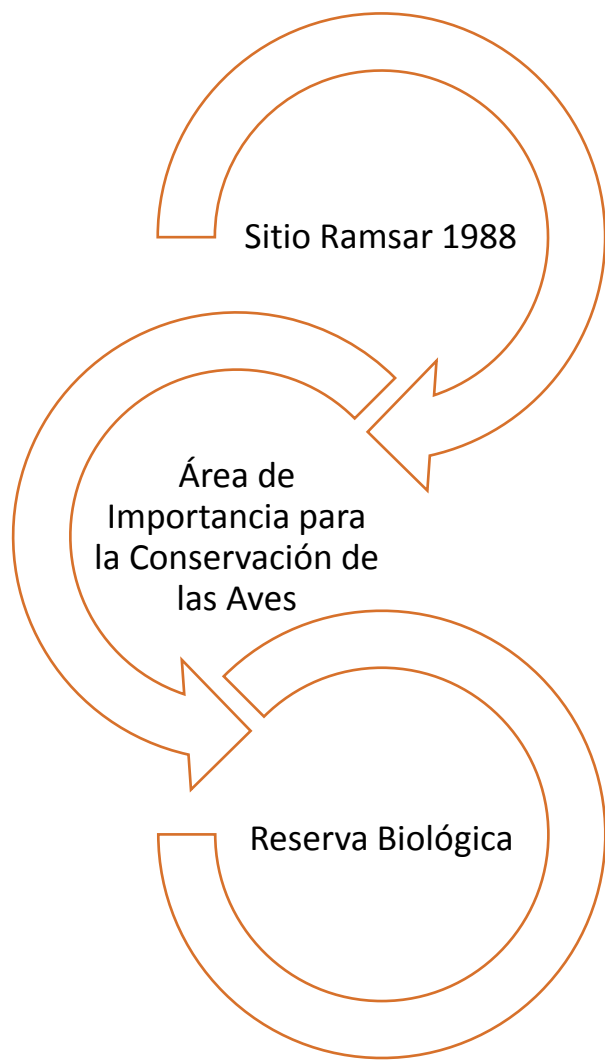
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Influencia
antrópica

Aguas residuales
domésticas e
industriales

Agricultura y
actividad
petrolífera

JUSTIFICACIÓN Y SIGNIFICADO



FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Principales formas de caracterizar un sistema acuático



Eutrofización



E. Antrópica – Fertilizantes, Detergentes, Materia orgánica



Proliferación de algas y vegetación flotante

Oligotrófico



Mesotrófico



Eutrófico





Pistia stratiotes

Eichhornia crassipes

López (2012) -
Cuenca Embalses -
Nutrientes

Fuente: Armas y Lasso, 2011

HIPÓTESIS GENERAL DE TRABAJO

La laguna se encontrará en un estado de eutrofia debido principalmente a una alta carga de nutrientes en ella. Siendo los principales iones mayoritarios responsables los fosfatos, y los nitratos en menor medida.

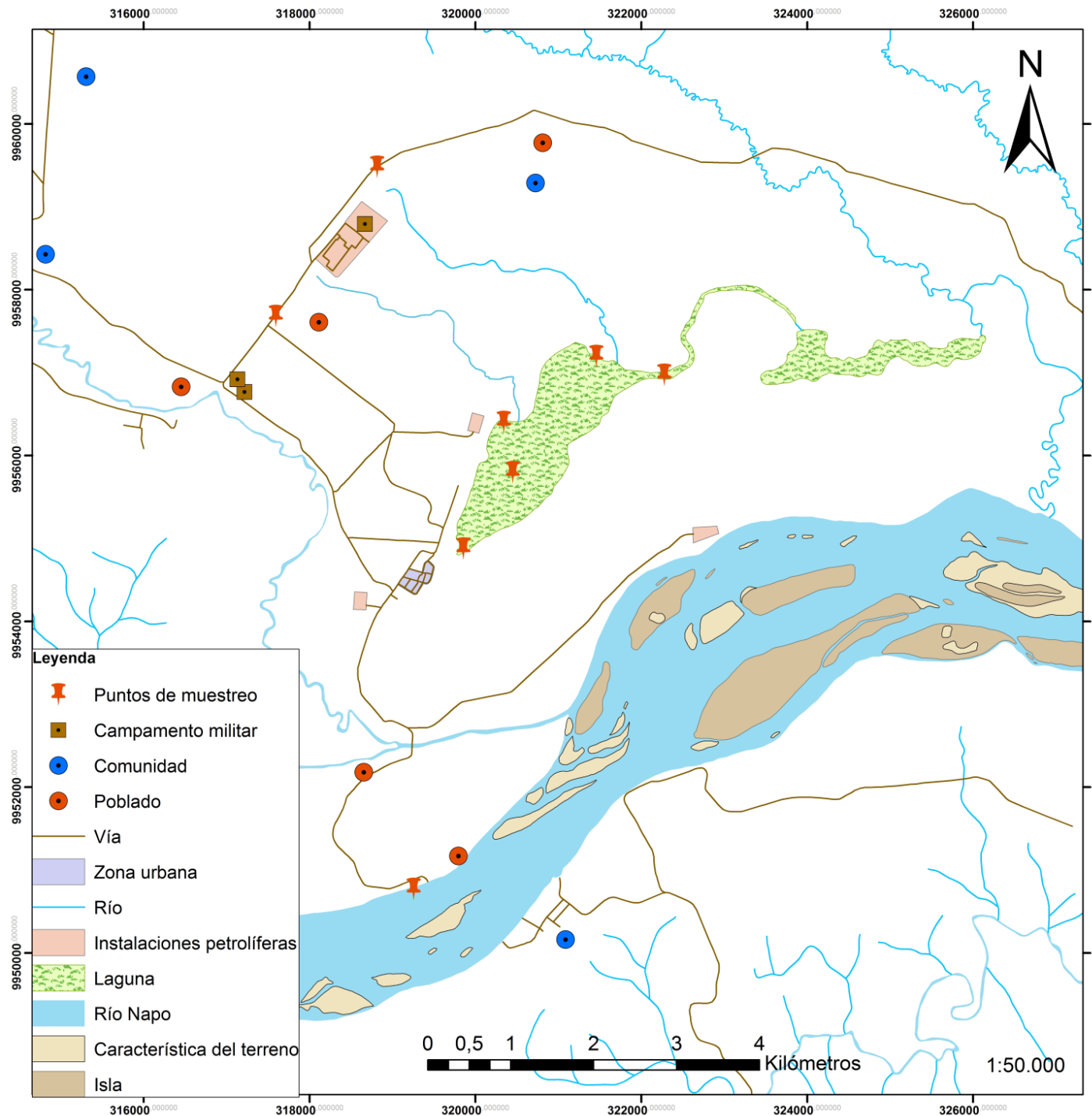
OBJETIVOS

Objetivo general

- Determinar el estado trófico de la laguna en el periodo 2015-2017.

Objetivos específicos

- Identificar los parámetros fisicoquímicos e iones mayoritarios que expliquen un mayor porcentaje de la varianza del quimismo del agua en la laguna.
- Comparar varios índices de eutrofización con el fin de corroborar por varios métodos el estado trófico de este humedal.
- Plantear posibles soluciones en caso de encontrar que el estado trófico de la laguna sea muy avanzado



1. Caño
2. Desembocadura Pishira
3. Desembocadura Playayacu
4. Zona profunda
5. Muelle
6. Río Napo
7. Río Pishira
8. Río Playayacu

METODOLOGÍA



Índices y clasificaciones de estado trófico

1. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
2. Índice de Estado trófico - Carlson 1977
3. Índice de Estado trófico modificado – Toledo Jr. 1985
4. Thienemann

Análisis estadístico

1. Correlaciones lineales – Pearson – Significancia $> 0,5$ (Helena et al., 200) – magnitud de la asociación lineal entre dos variables independientemente de su unidad de medida

Análisis estadístico multivariado

1. ACP – Construcción de ejes artificiales - Ejes o componentes son extraídos en orden de importancia descendente en términos de su contribución a la variancia total del set de datos - Tendencias generales y relaciones entre las variables – Vectores; longitud = varianza
2. Cluster – método de Ward – agrupación por similitud

RESULTADOS – Transparencia Secchi

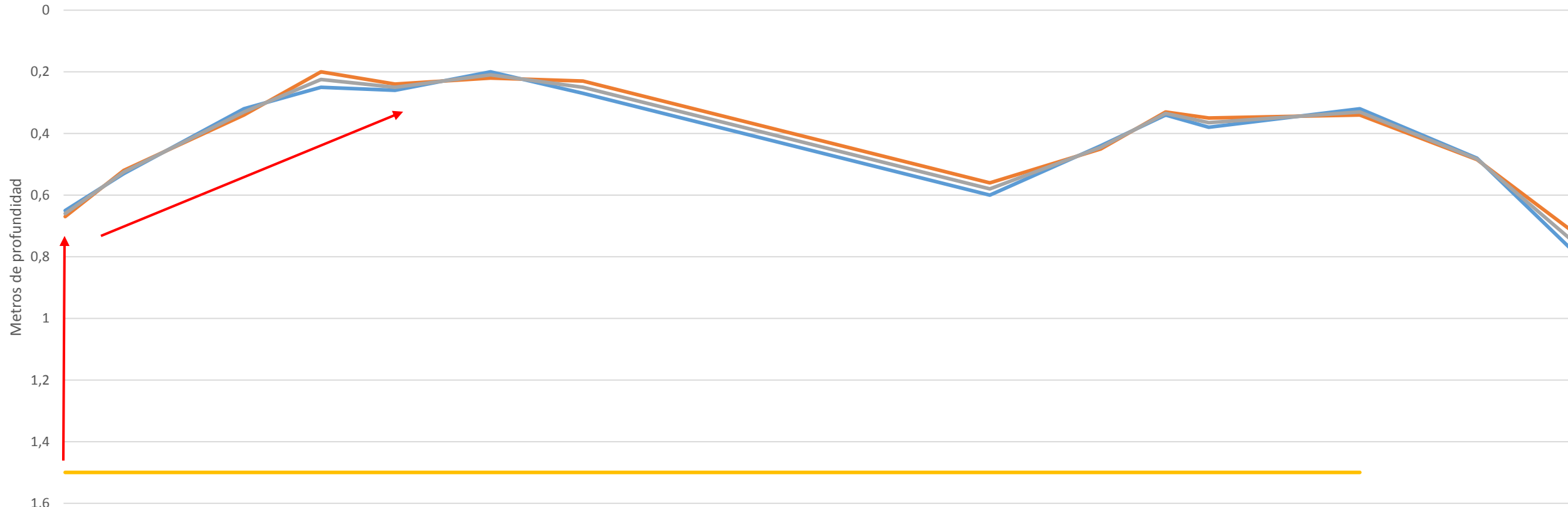
Valores límites de la OECD para clasificación trófica. PT Medio: Media de la concentración de PT de un lago; Cl-a Media: Media de la concentración de clorofila-a en aguas superficiales; Cl-a Máx.: Pico de la concentración de clorofila-a en aguas superficiales; DS Medio: Media de la transparencia del disco de Secchi; DS Mín.: Mínimo de la transparencia del disco de Secchi (OECD, 1982).

Categoría Trófica	PT Medio ($\mu\text{g/L}$)	Cl-a Media ($\mu\text{g/L}$)	Cl-a Máx. ($\mu\text{g/L}$)	DS Medio (m)	DS Mín. (m)
Ultraolitrófico	< 4	< 1	< 2,5	> 12	> 6
Oligotrófico	< 10	< 2,5	< 8	> 6	> 3
Mesotrófico	10-35	2,5-8	8-25	6-3	3-1,5
Eutrófico	35-100	8-25	25-75	3-1,5	1,5-0,7
Hipereutrófico	> 100	> 25	> 75	< 1,5	< 0,7

Fuente: Ledesma et al., 2017

RESULTADOS – Transparencia Secchi

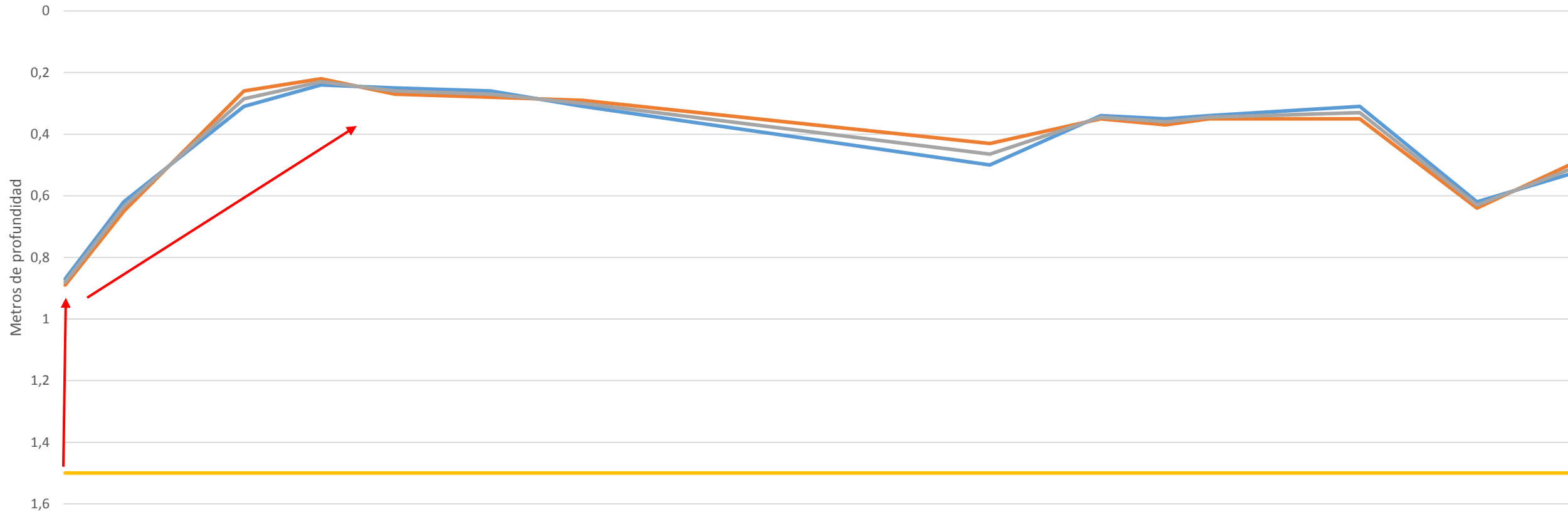
Transparencia Secchi - Caño



	28/11/2015	17/12/2015	25/01/2016	19/02/2016	14/03/2016	14/04/2016	14/05/2016	23/09/2016	29/10/2016	19/11/2016	03/12/2016	21/01/2017	28/02/2017	30/03/2017
1era medida	0,65	0,53	0,32	0,25	0,26	0,2	0,27	0,6	0,44	0,34	0,38	0,32	0,48	0,77
2da medida	0,67	0,52	0,34	0,2	0,24	0,22	0,23	0,56	0,45	0,33	0,35	0,34	0,485	0,71
Promedio	0,66	0,525	0,33	0,225	0,25	0,21	0,25	0,58	0,445	0,335	0,365	0,33	0,4825	0,74
Hipereutrofia	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5		

RESULTADOS – Transparencia Secchi

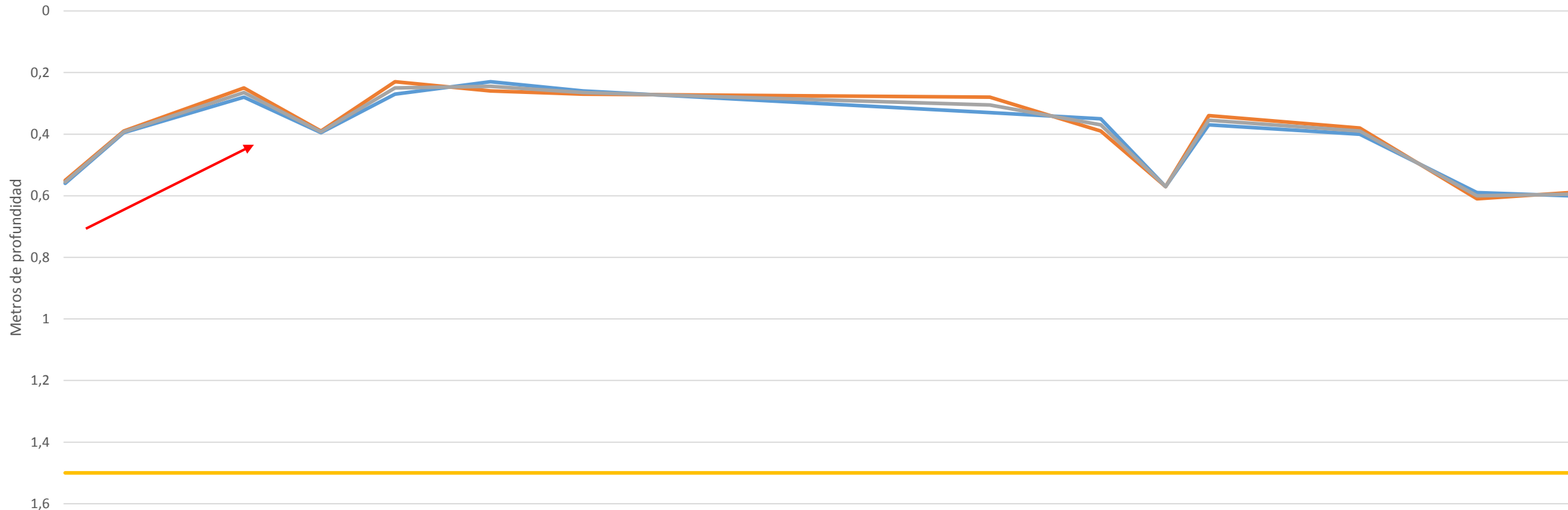
Transparencia Secchi - Zona Profunda



	28/11/2015	17/12/2015	25/01/2016	19/02/2016	14/03/2016	14/04/2016	14/05/2016	23/09/2016	29/10/2016	19/11/2016	03/12/2016	21/01/2017	28/02/2017	30/03/2017
1era medida	0,87	0,62	0,31	0,24	0,25	0,26	0,31	0,5	0,34	0,35	0,34	0,31	0,62	0,53
2da medida	0,89	0,65	0,26	0,22	0,27	0,28	0,29	0,43	0,35	0,37	0,35	0,35	0,64	0,5
Promedio	0,88	0,635	0,285	0,23	0,26	0,27	0,3	0,465	0,345	0,36	0,345	0,33	0,63	0,515
Hipereutrofia	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

RESULTADOS – Transparencia Secchi

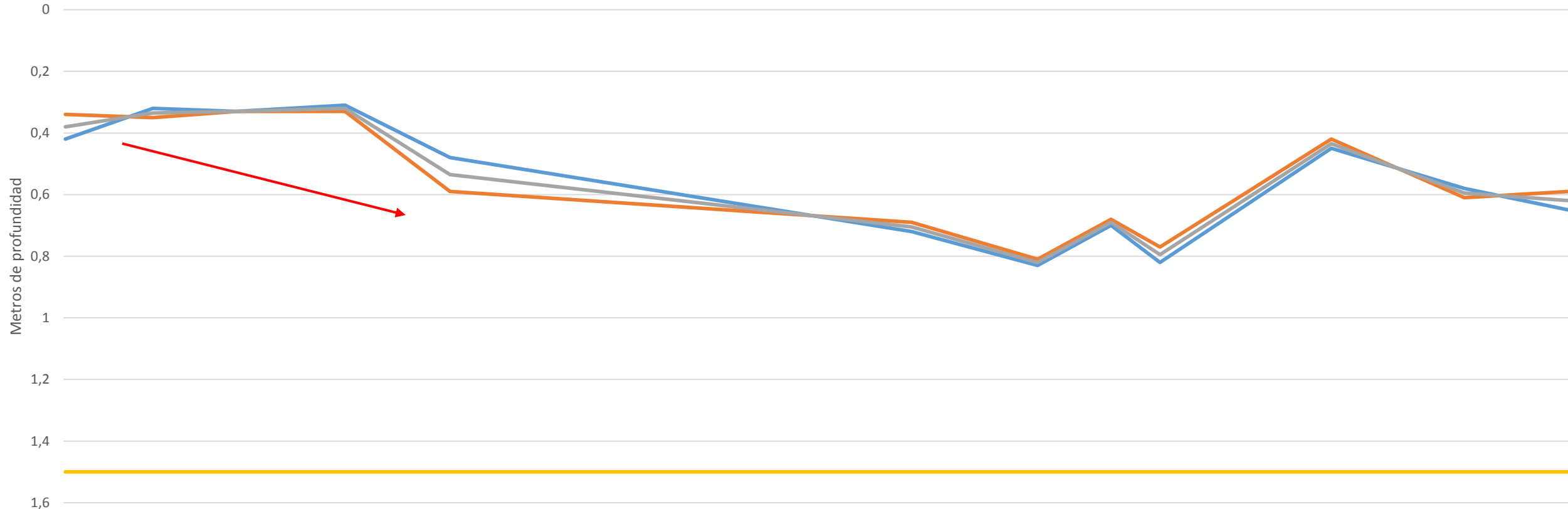
Transparencia Secchi - Muelle



	28/11/2015	17/12/2015	25/01/2016	19/02/2016	14/03/2016	14/04/2016	14/05/2016	23/09/2016	29/10/2016	19/11/2016	03/12/2016	21/01/2017	28/02/2017	30/03/2017
1era medida	0,56	0,395	0,28	0,395	0,27	0,23	0,26	0,33	0,35	0,57	0,37	0,4	0,59	0,6
2da medida	0,55	0,39	0,25	0,39	0,23	0,26	0,27	0,28	0,39	0,57	0,34	0,38	0,61	0,59
Promedio	0,555	0,3925	0,265	0,3925	0,25	0,245	0,265	0,305	0,37	0,57	0,355	0,39	0,6	0,595
Hipereutrofia	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

RESULTADOS – Transparencia Secchi

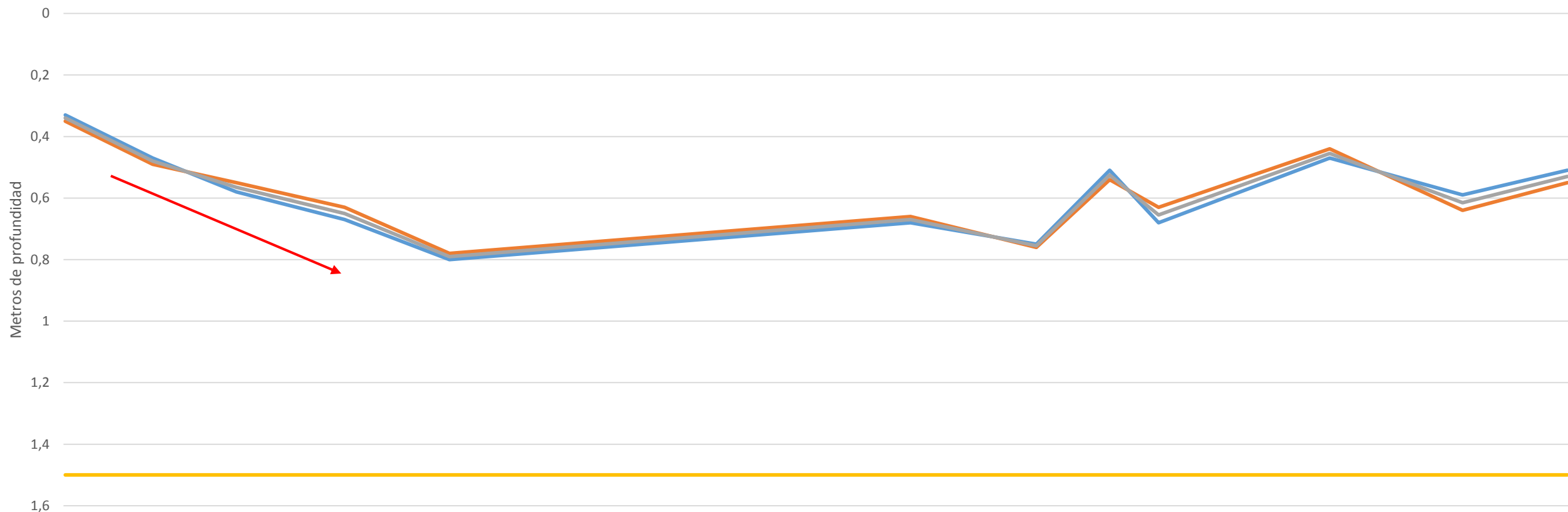
Transparencia Secchi - D. Pishira



	25/01/2016	19/02/2016	14/03/2016	14/04/2016	14/05/2016	23/09/2016	29/10/2016	19/11/2016	03/12/2016	21/01/2017	28/02/2017	30/03/2017
1era medida	0,42	0,32	0,33	0,31	0,48	0,72	0,83	0,7	0,82	0,45	0,58	0,65
2da medida	0,34	0,35	0,33	0,33	0,59	0,69	0,81	0,68	0,77	0,42	0,61	0,59
Promedio	0,38	0,335	0,33	0,32	0,535	0,705	0,82	0,69	0,795	0,435	0,595	0,62
Hipereutrofia	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

RESULTADOS – Transparencia Secchi

Transparencia Secchi - D. Playayacu



	25/01/2016	19/02/2016	14/03/2016	14/04/2016	14/05/2016	23/09/2016	29/10/2016	19/11/2016	03/12/2016	21/01/2017	28/02/2017	30/03/2017
1era medida	0,33	0,47	0,58	0,67	0,8	0,68	0,75	0,51	0,68	0,47	0,59	0,51
2da medida	0,35	0,49	0,55	0,63	0,78	0,66	0,76	0,54	0,63	0,44	0,64	0,55
Promedio	0,34	0,48	0,565	0,65	0,79	0,67	0,755	0,525	0,655	0,455	0,615	0,53
Hipereutrofia	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

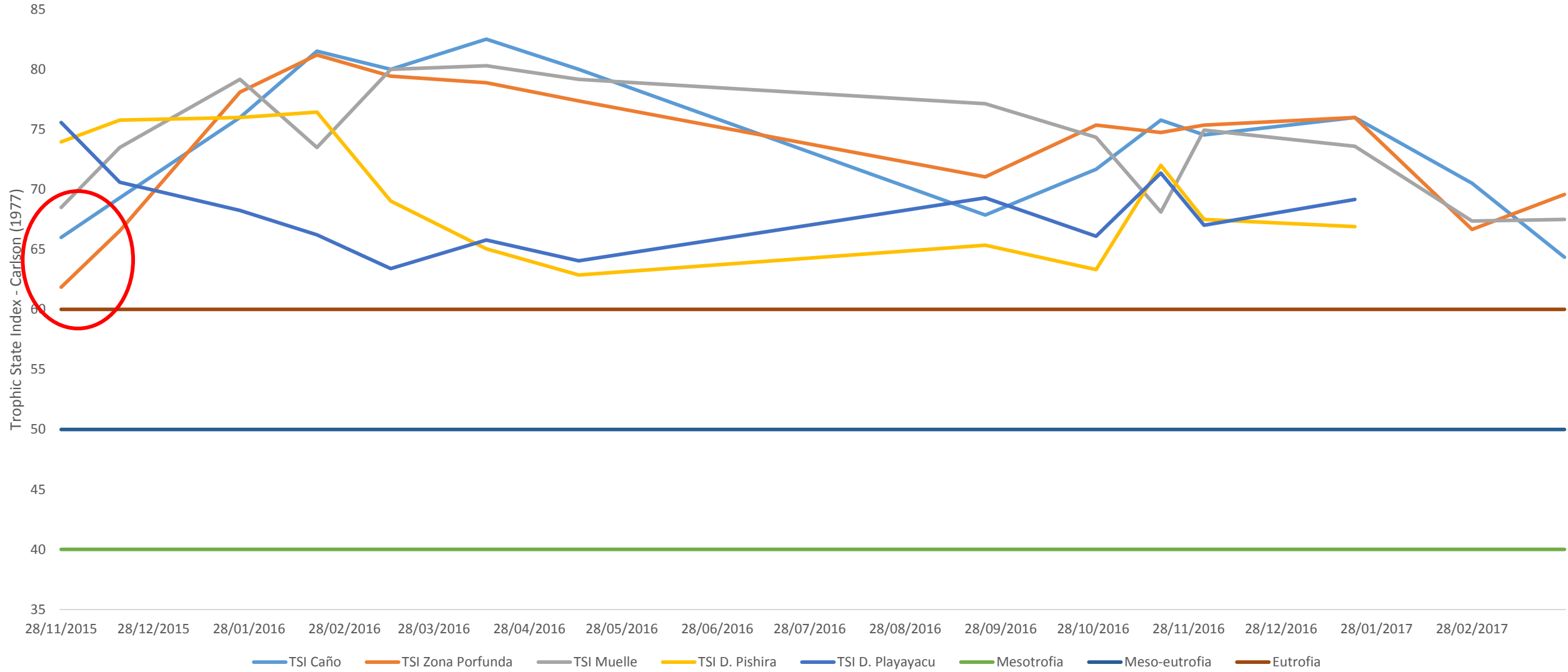
RESULTADOS – Transparencia Secchi

Índice de estado trófico a partir de: Transparencia Secchi, Fósforo Total en la superficie, Clorofila en la superficie (Carlson, 1977).

TSI	Secchi disk (m)	Surface phosphorus (mg/m ³)	Surface chlorophyll (mg/m ³)
0	64	0.75	0.04
10	32	1.5	0.12
20	16	3	0.34
30	8	6	0.94
40	4	12	2.6
50	2	24	6.4
60	1	48	20
70	0.5	96	56
80	0.25	192	154
90	0.12	384	427
100	0.062	768	1183

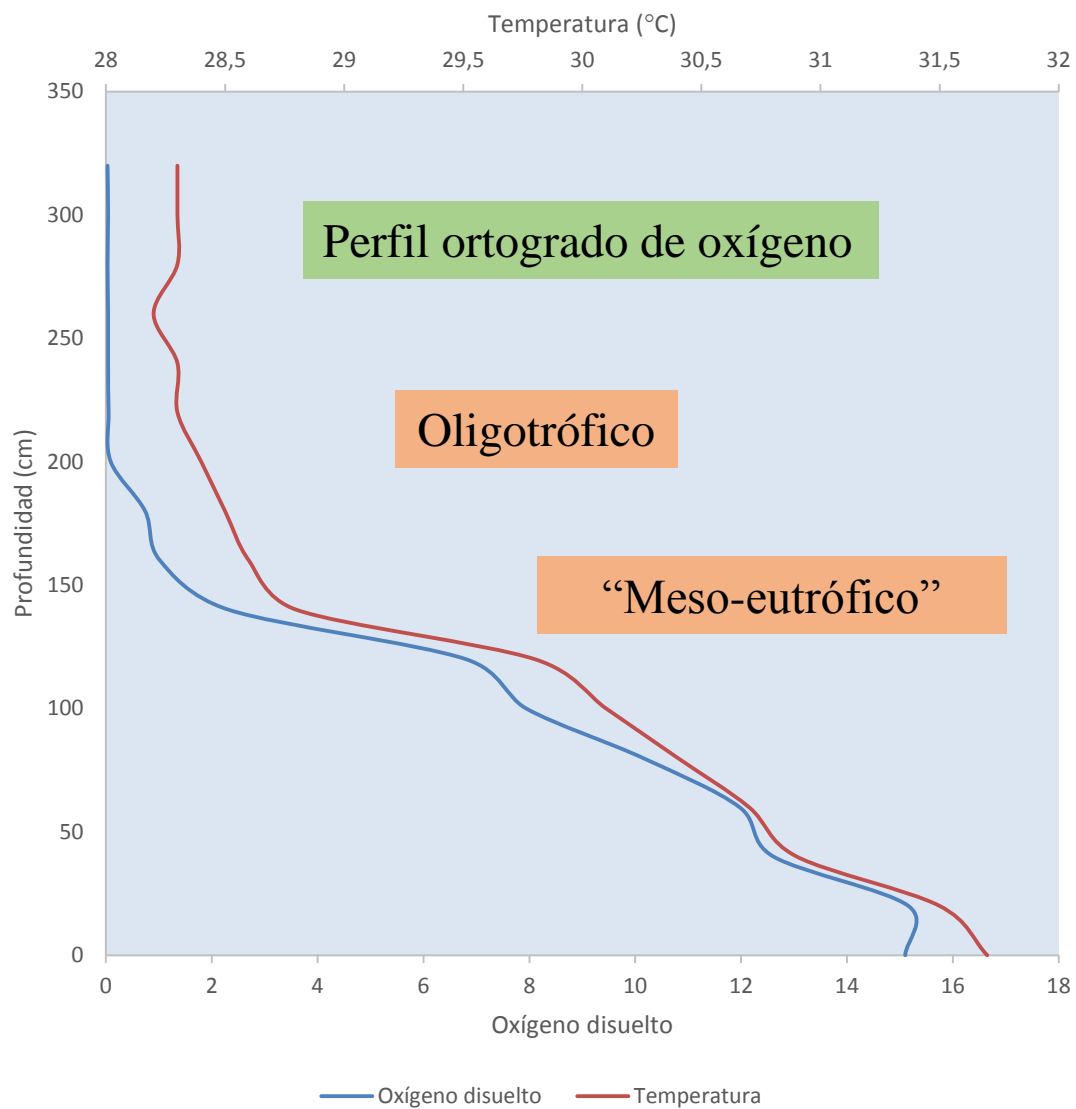
Fuente: Carlson, 1977

RESULTADOS – Transparencia Secchi

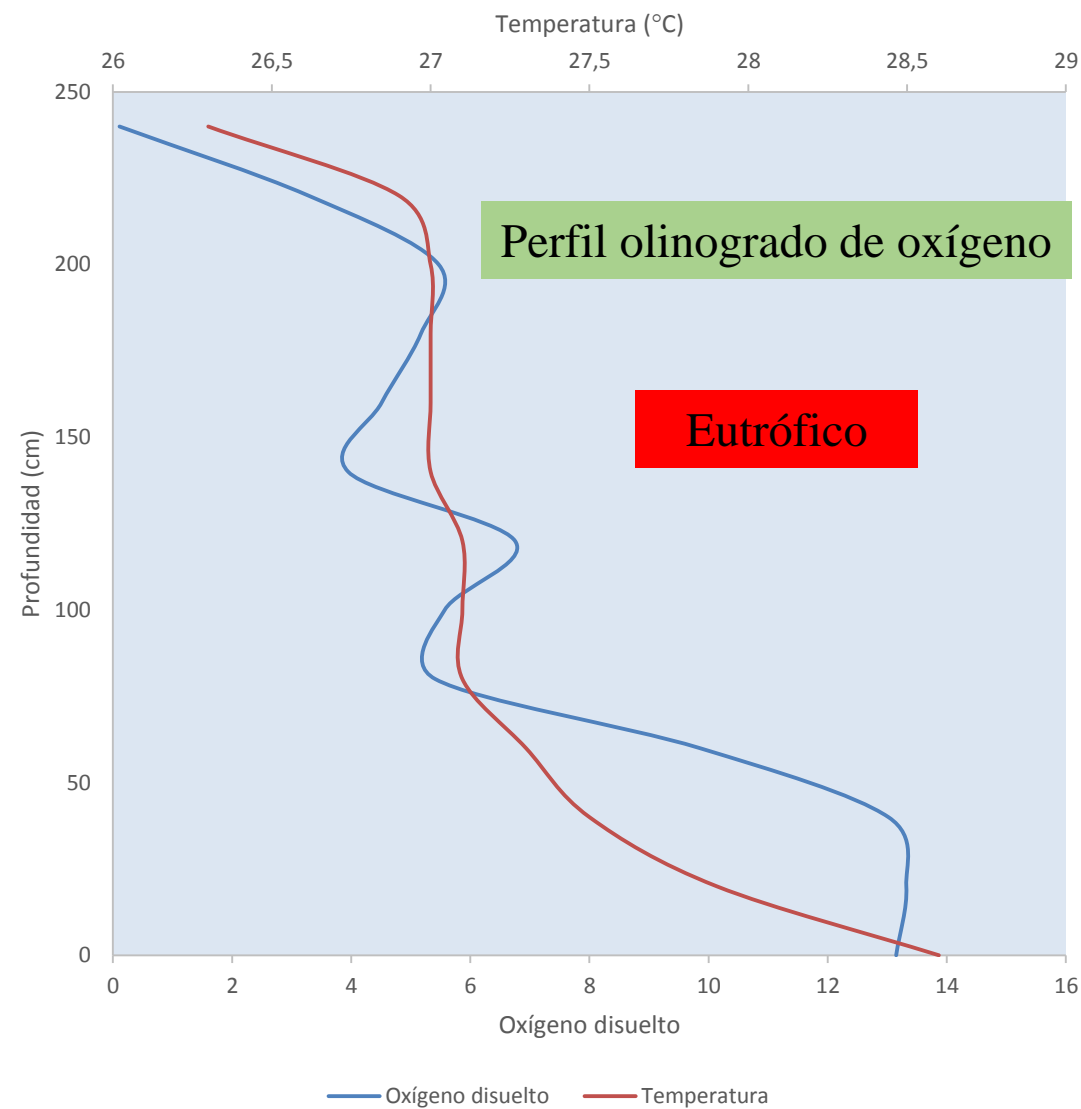


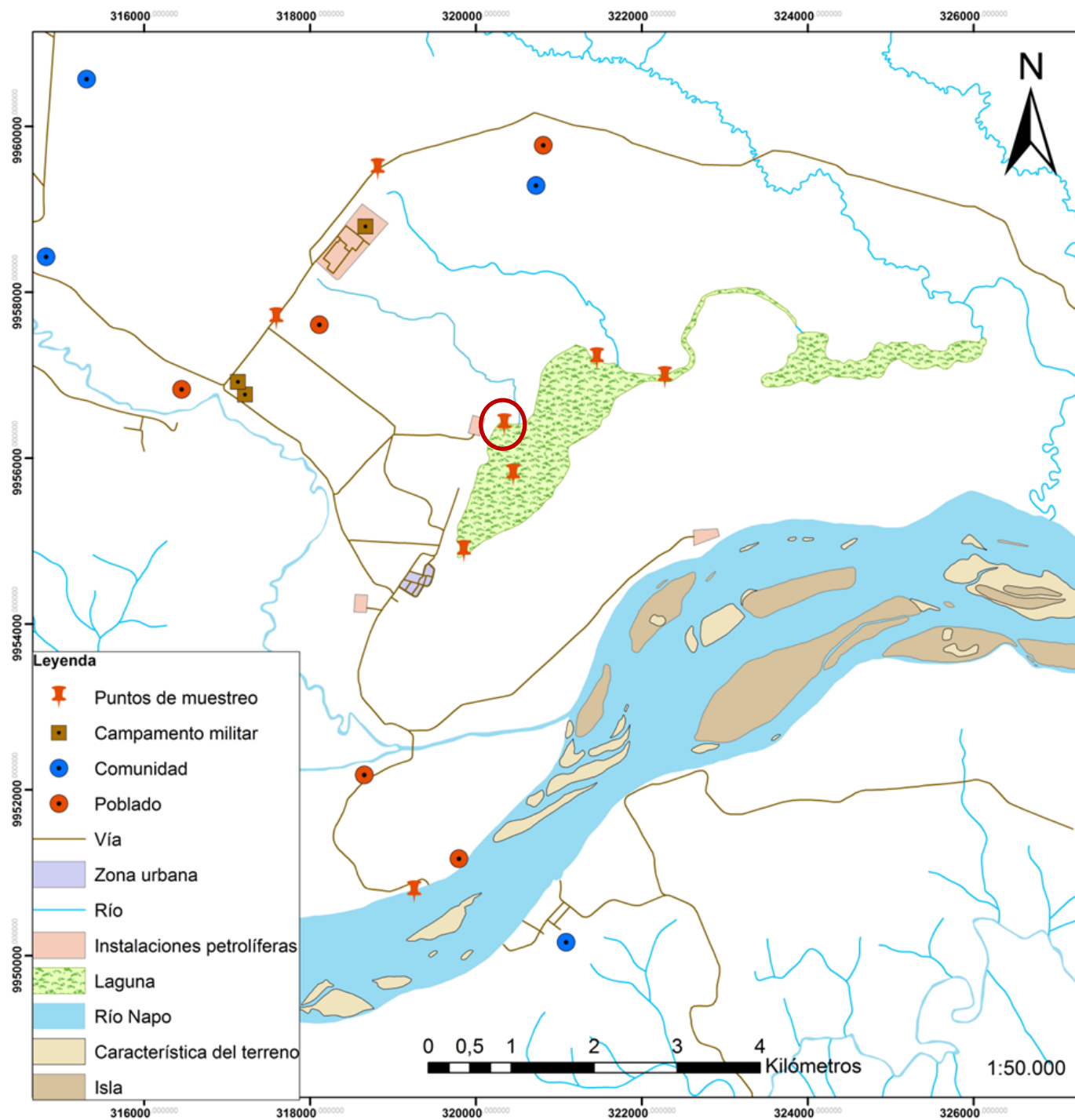
RESULTADOS – Thienemann

Z.P. noviembre 2015



Z.P. marzo 2017





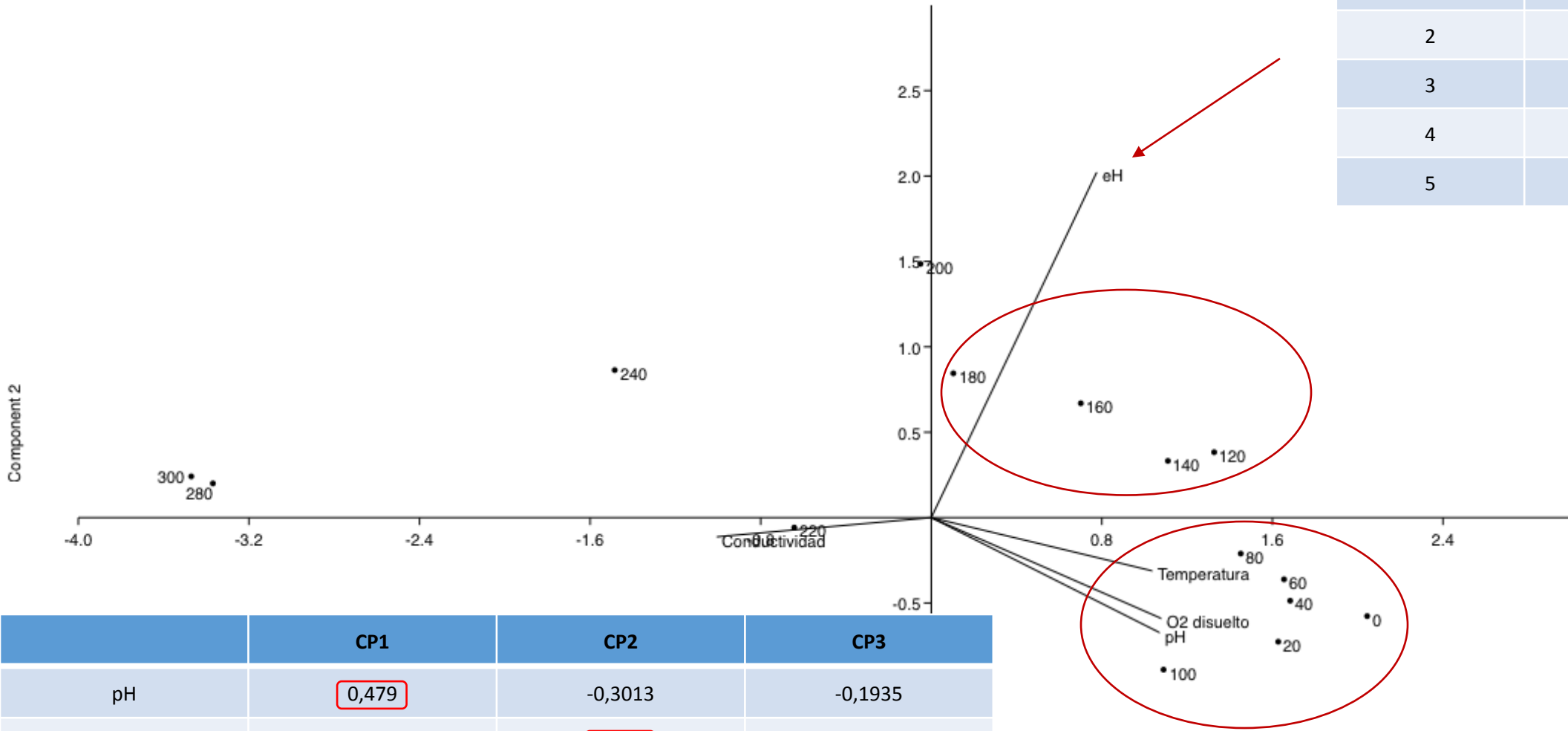
Muelle					
	pH	eh	T	Cond	O2
pH		2,66E-05	6,32E-08	0,060175	1,58E-05
eh	0,93363		0,00019421	0,021067	0,0066752
T	0,98294	0,89544		0,083711	7,77E-06
Cond	-0,58227	-0,68096	-0,54389		0,21337
O2	0,94098	0,75968	0,94977	-0,4076	

		Promedio D. Playayacu			O2
	pH	Prof.	n	pH	
pH					0,10848
eh	0,5118				0,024109
T	0,6567	0	7	8,31	0,8479
Cond	-0,334	20	7	8,30	0,071812
O2	0,7174	40	7	8,35	
		60	7	8,30	
		80	5	8,23	
Cond		100	3	8,40	
	0,1922	120	1	9,06	
	0,0027573	140	1	8,69	
	0,10601				
	0,0				
	0,0				
	0,8093				

		Prof.	n	pH
		0	7	8,31
		20	7	8,30
		40	7	8,35
		60	7	8,30
		80	5	8,23
		100	3	8,40
		120	1	9,06
		140	1	8,69

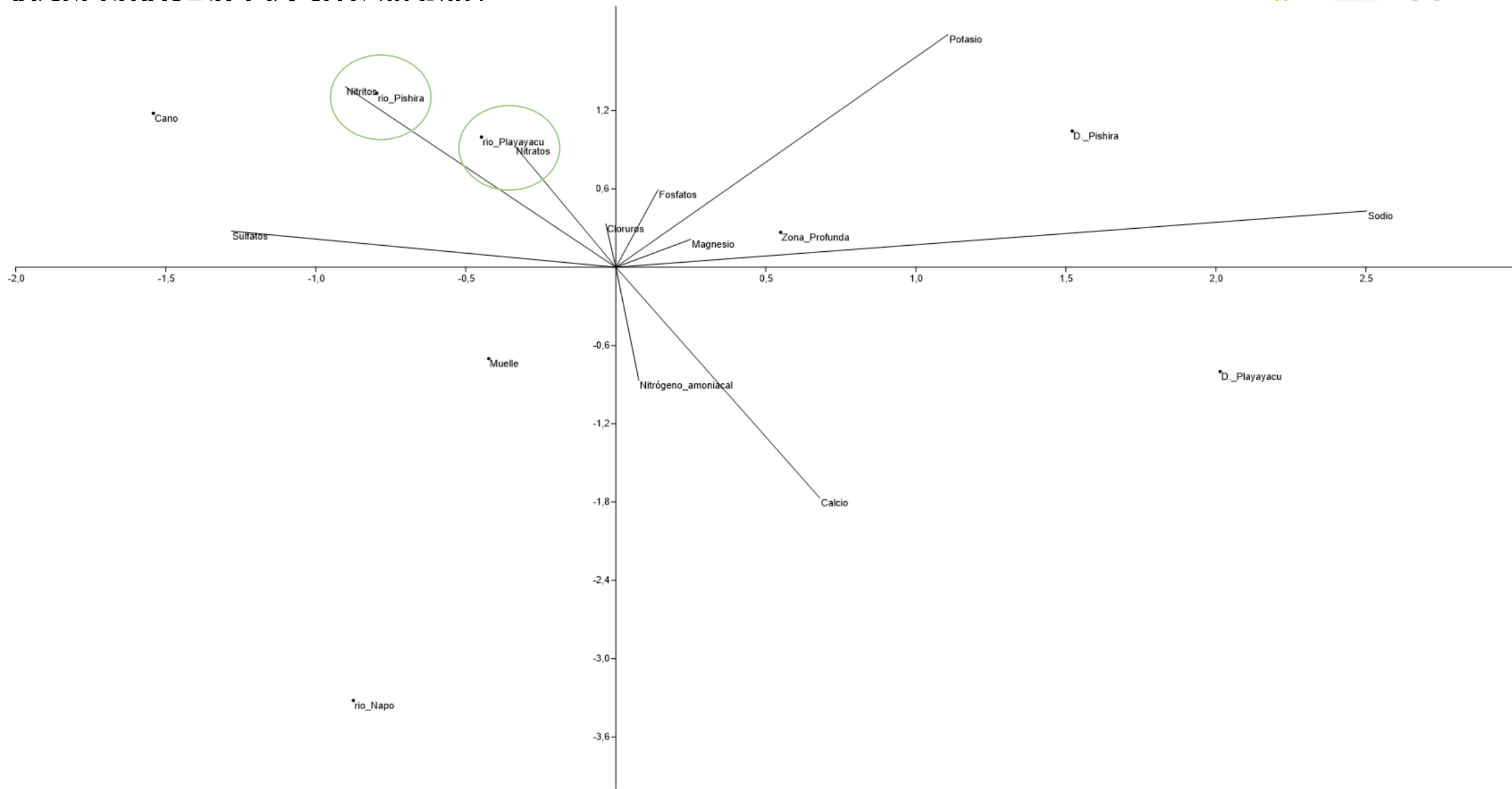
RESULTADOS - ACP IN SITU ZONA PROFUNDA 2015-2017

PC	Eigenvalue	% variance
1	3,96369	79,274
2	0,630623	12,612
3	0,349875	6,9975
4	0,0333751	0,6675
5	0,0224364	0,44873



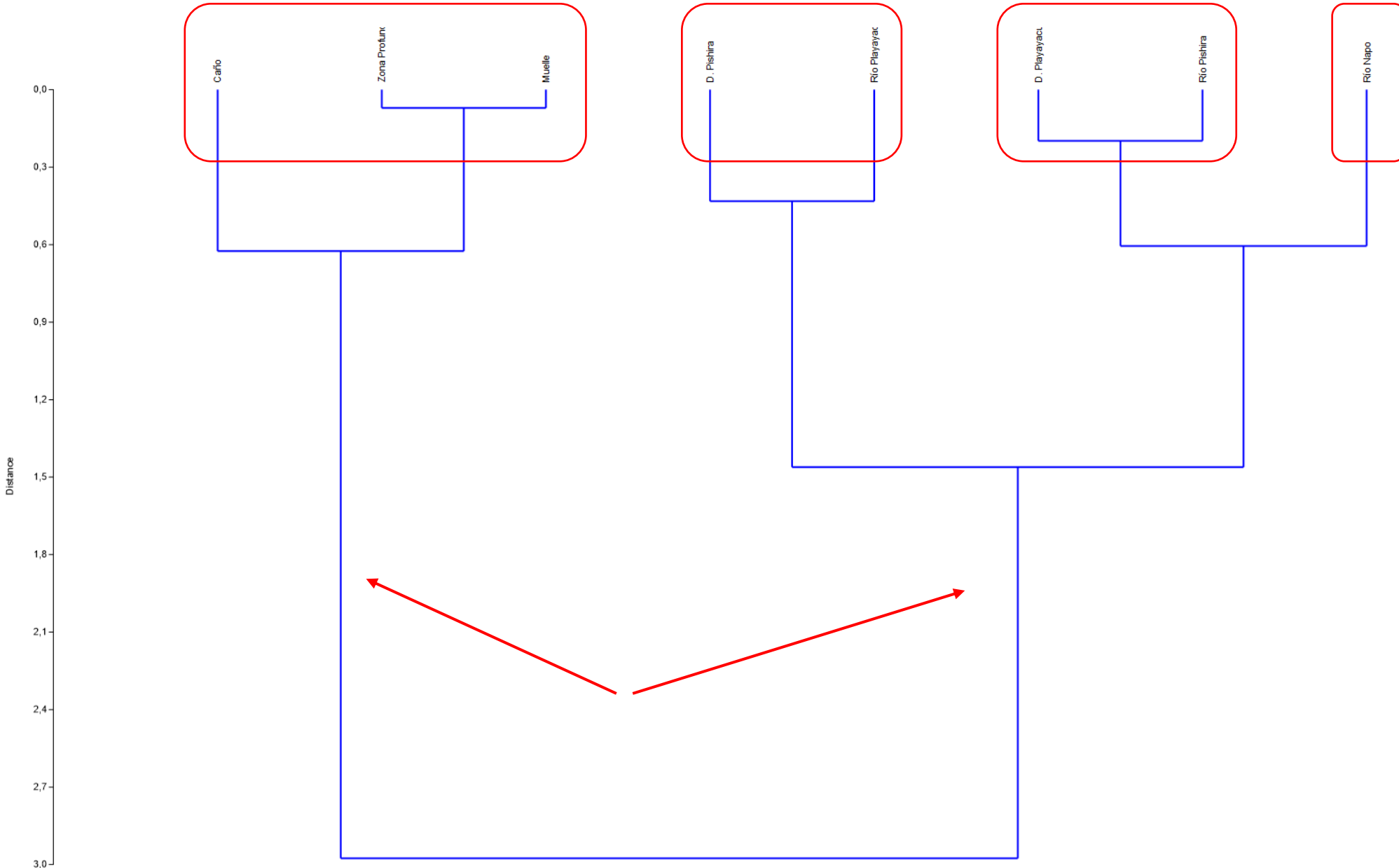
	CP1	CP2	CP3
pH	0,479	-0,3013	-0,1935
eH	0,3471	0,9041	0,13
T	0,4637	-0,1397	0,6006
Cond	-0,4499	-0,05033	0,7361
O2.D	0,4824	-0,2641	0,2078

Component 2

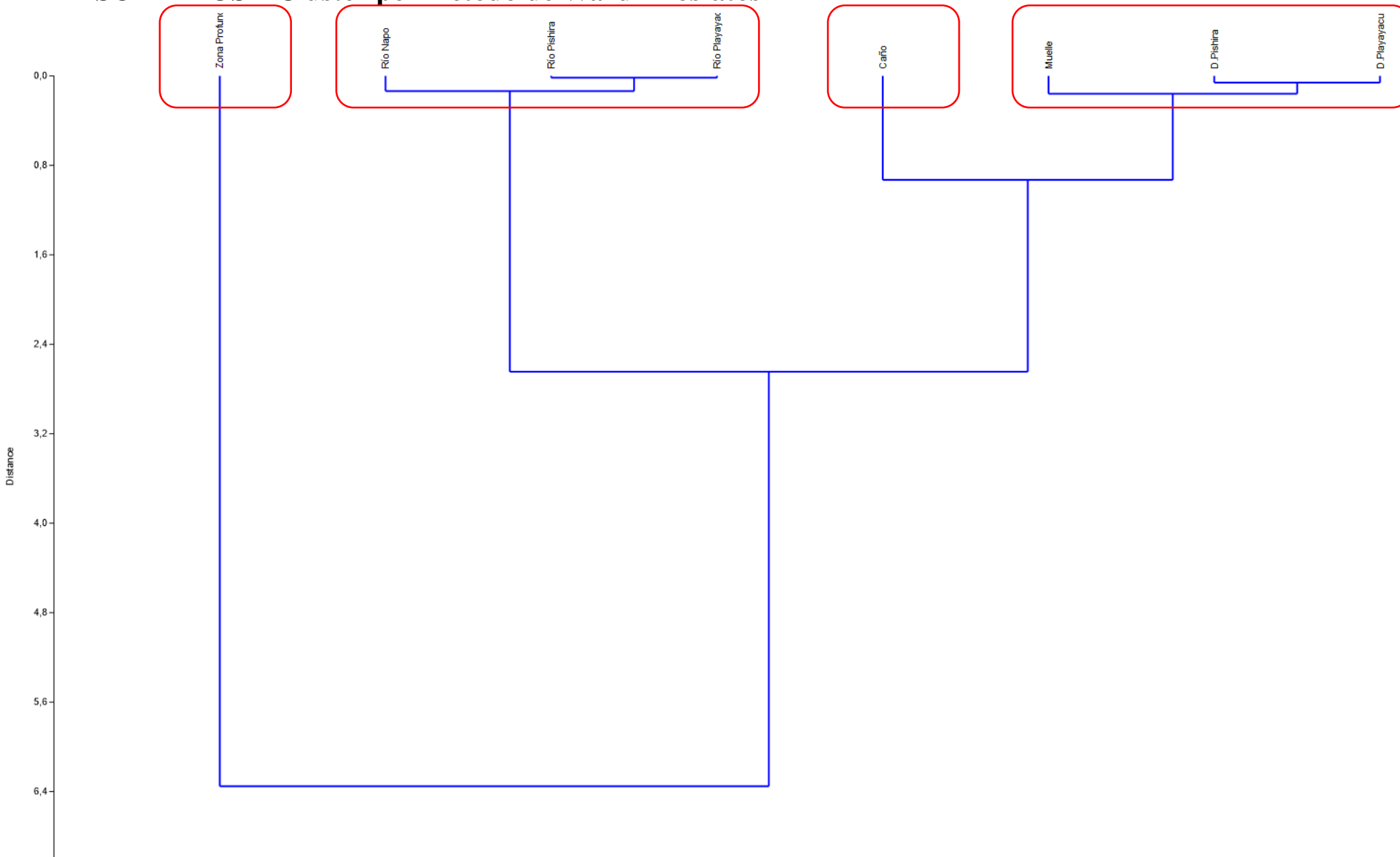


Component 3

RESULTADOS – Cluster por método de Ward - O2 disuelto

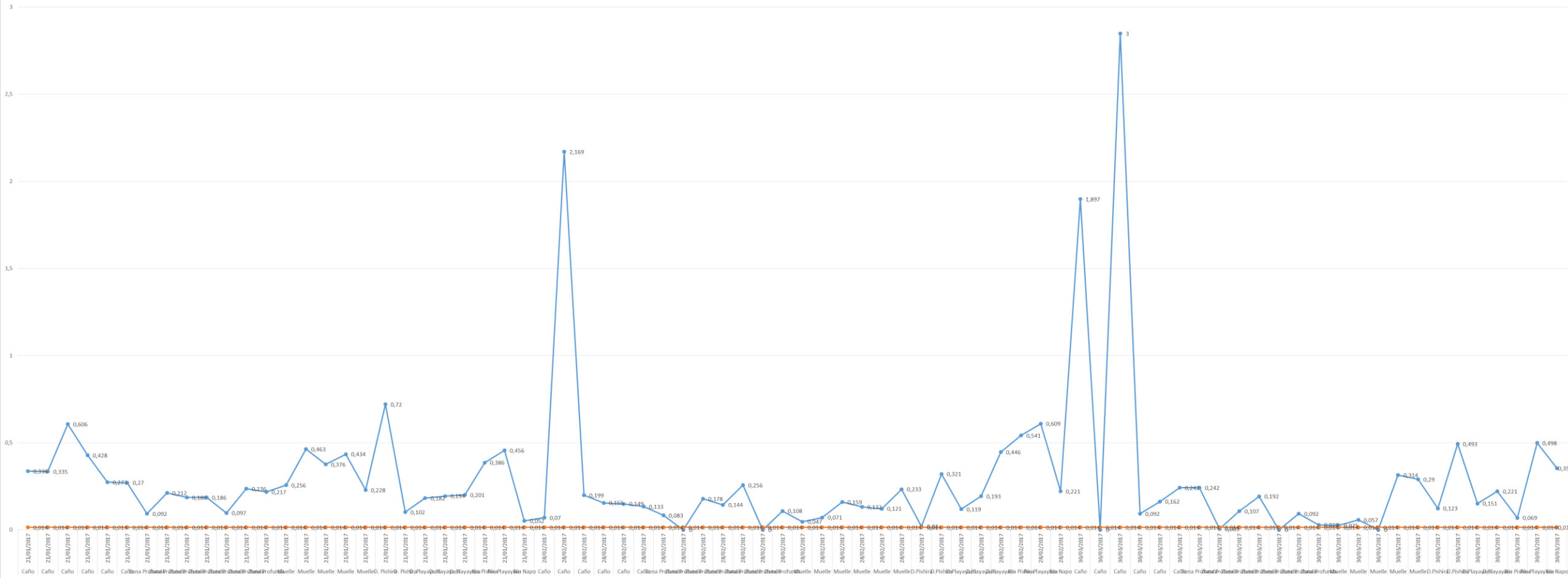


RESULTADOS – Cluster por método de Ward - Fosfatos

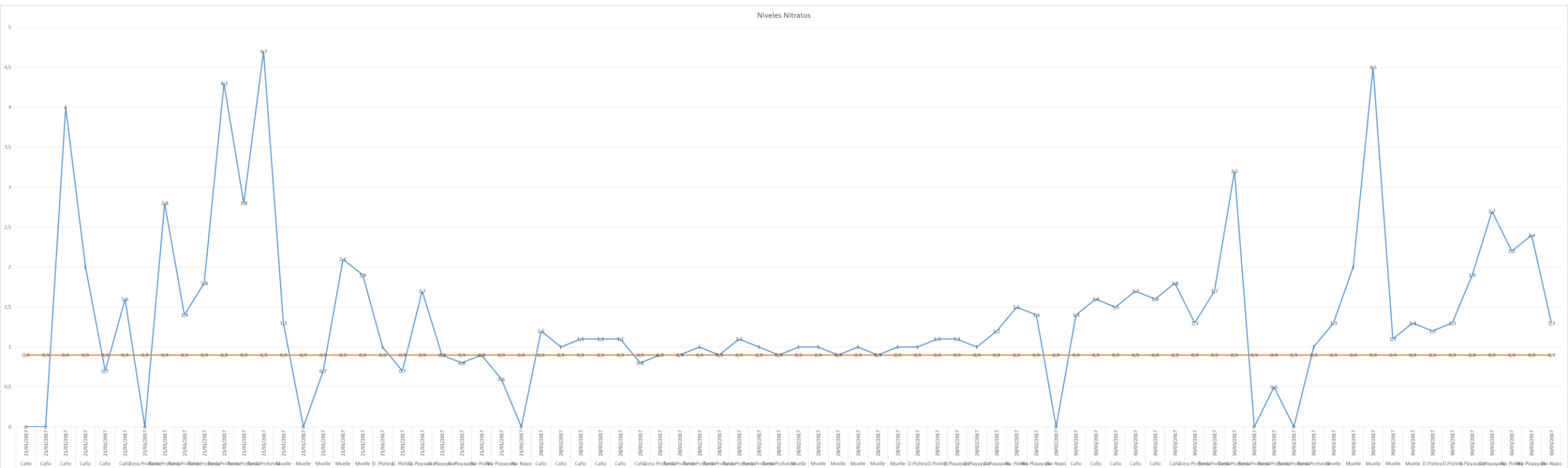


RESULTADOS – Fosfatos

Niveles de fosfatos



RESULTADOS – Nitratos



CONCLUSIONES

- Según los ACP, aquellos parámetros fisicoquímicos que explican un mayor porcentaje de la varianza del quimismo del agua de la laguna son: pH, T, eH para los parámetros in situ, y el catión (Mg^{2+}), los aniones (Cl^{-}), (PO_4^{3-}), (NO_3^{-}), (NO_2^{-}), (NH_3-N) y (SO_4^{2-})

CONCLUSIONES

- El ACP permitió identificar los parámetros que tienen mayor incidencia sobre la condición química del agua (Vásquez, Ariza, & Pinilla, 2009). Asimismo, mediante el ACP se logró analizar la variabilidad total de la calidad del agua y asociar las variables medidas temporalmente. De la misma manera, se identificaron tendencias generales y relaciones entre las variables por medio de la construcción de ejes artificiales que permitieron proyectar las observaciones y las variables simultáneamente en un mismo plano. Por último, a través del ACP se observó la interdependencia de variables y se creó una representación gráfica óptima de la variabilidad de los datos (Ledesma, Bonansea, Rodríguez, & Sánchez, 2013).

CONCLUSIONES

- Las diferencias existentes entre el índice de estado trófico propuesto por Carlson y el índice de estado trófico modificado planteado por Toledo Jr. son muy significativas. El primer índice colocó a la laguna de Limoncocha en un estado eutrófico a lo largo de todo el periodo de investigación. El segundo índice muestra fluctuaciones entre un estado de meso-eutrofia y eutrofia; algo muy importante en términos de la urgencia de gestión y acciones que son necesarias para desacelerar la conversión de este humedal en un ecosistema terrestre. Sin embargo, esto no quiere decir que la gestión que se debe dar a la laguna y/o a los afluentes que favorecen la eutrofia en la laguna puede esperar. Los resultados expuestos en el presente estudio son una muestra real de que existe un problema crítico de acumulación de sales, que en concentraciones excesivas son contaminantes. Dichas sales son mayoritariamente conocidas como nutrientes.

CONCLUSIONES

- Haritash, Dutta & Sharma (2017) aseguran que la pesca periódica y la recolección constante de plantas macrófitas en un cuerpo de agua bajo restauración resulta en una exportación de nutrientes. Sin embargo, si dichas plantas mueren y se descomponen in situ, esto llevará a una recirculación de nutrientes en el agua. Por lo que las altas concentraciones de fosfato encontradas, se pueden deber, en parte, a la constante recirculación.

RECOMENDACIONES

- Con el fin de reducir los costes de investigación para una adecuada gestión de la laguna, el estudio de la misma debería enfocarse en los iones que explicaron la mayor variabilidad del quimismo del agua a través del análisis de componentes principales. Esta reducción en el presupuesto puede ser aprovechada en un estudio de factibilidad técnica y económica para la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales para la Estación Científica operada por la UISEK, la misma que descarga sus aguas contaminadas en la laguna sujeta a estudio.

RECOMENDACIONES

- Se debe considerar una recolección periódica de la macrófita flotante *Pistia stratiotes* en la laguna de Limoncocha con el fin de exportar nutrientes. En conjunto con dicha acción, se debería evaluar el comportamiento del ion fosfato al realizar este procedimiento. Al mismo tiempo, esta planta puede ser aprovechada como materia prima para compostaje como una opción económica de disposición (Haritash, Dutta, & Sharma, 2017).

RECOMENDACIONES

Una solución óptima sería rellenar con grava tramos de fácil acceso en los ríos Pishira y Playayacu, y sembrar plantas macrófitas emergentes en este nuevo tipo de sedimento, a fin de conformar un substrato óptimo para el crecimiento de microorganismos, donde existirían condiciones de oxidación para la descomposición de materia orgánica. Igualmente, esto resultaría en una translocación de fósforo disponible contenido en el agua hacia los tejidos de las plantas (Haritash, Dutta, & Sharma, 2017).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Armas, M. F., & Lasso, S. (Diciembre de 2011). SUIA. Recuperado el 13 de Marzo de 2017, de Ministerio del Ambiente: <http://suia.ambiente.gob.ec/documents/783967/890928/Plan+de+manejo+de+la+Reserva+Limoncocha.pdf/bf9eb887-e71f-4d35-bb0a-019fc8ac9432>
- Arpi, J. (Septiembre de 2004). Evaluación del contenido de fósforo en la laguna de Limoncocha y su relación con el estado trófico.
- Carlson, R. E. (1977). Limnology and Oceanography (Vol. 22). Minneapolis: Limnological Research Center, University of Minnesota.
- Carrera, J. (2014). Comportamiento Hídrico de la Laguna de Limoncocha y su Relación con el Río Napo. Quito: Universidad Internacional SEK.
- Contreras, F., Castañeda, O., Torres-Alvarado, R., Gutiérrez, M. (1996). Nutrientes en 39 lagunas costeras mexicanas. Rev. Biol. Trop. 44(2), 417-425.
- Cruz-Pizarro, L., de Vicente, E., Moreno-Ostos, V., & Amores, K. E. (2003). Estudio de diagnóstico y viabilidad en el control de la eutrofización de las lagunas de la Albufera de Adra. Instituto del Agua, 135-154.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Custodio, E., & Llamas, M. (1996). Hidrología subterránea (Vol. 1). Barcelona: Ediciones Omega S.A.
- Fernández, E., Garrido, J., Coda, F., Pujol, R., & Coma, S. (Enero-Febrero de 2008). Técnica Industrial España. Recuperado el 22 de Junio de 2017, de Eliminación del nitrógeno amoniacal en aguas residuales urbanas: <http://www.tecnicaindustrial.es/TIAdmin/Numeros/33/40/a40.pdf>
- Frers, C. (2008). El uso de plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales. *Observatorio Medioambiental*, 11(224), 301-305.
- GADPRL. (2015). Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. Shushufindi, Sucumbíos, Ecuador: Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural Limoncocha.
- Goyenola, G. (Junio de 2007). Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos. Obtenido de http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/2-eutrofizacion.pdf
- Granizo, F. (2011). El estado trófico de la laguna de Limoncocha en el periodo (febrero 2010- enero 2011). Quito: Universidad Internacional SEK.
- Helena, B. et al. (2000). Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga river, Spain) by principal components analysis. *Water research*, 3(34), p. 807-816.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Haritash, A., Dutta, S., & Sharma, A. (2017). Phosphate uptake and translocation in a tropical Canna-based constructed wetland. *Ecological Processes*, 6(12), 1-7.
- Hernández, P. (2015). *Variaciones Fisicoquímicas Temporales en la laguna de Limoncocha, en el periodo 2012-2013*. Quito: Universidad Internacional SEK.
- Instituto Geográfico Militar. (2017). Recuperado el 12 de Junio de 2017, de Geportal IGM: <http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/descargas/cartografia-de-libre-acceso/>.
- Jenkins, S. (2013). *Eutrophication of Deep Lakes: Proceedings of a Seminar held in Gjovic, Norway, June 1978 (Vol. II)*. New York: Elsevier.
- Lavie, E., Salatino, S., Bermejillo, A., Morábito, J., & Filippini, M. (2009). Contaminación por fosfatos en el oasis bajo riego del río Mendoza. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 1(42), 169-184.
- Ledesma, C., Bonansea, M., Rodriguez, C., & Sánchez, A. (Julio de 2013). Determinación de indicadores de eutrofización en el embalse Río Tercero, Córdoba (Argentina). *Revista Ciência Agronômica*, 44(3), 419-425.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- López, D. (2012). Aprovechamiento del lechuguín "Eichhornia Crassipes" para la generación de abono orgánico mediante la utilización de tres diseños diferentes de biodigestores. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.
- López, M., & Madroñero, S. (2015). Estado trófico de un lago tropical de alta montaña: caso laguna de La Cocha. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, II(25), 21-42.
- MAE. (2015). Ministerio del Ambiente. Recuperado el 13 de Enero de 2017, de Sistema Nacional de Áreas Protegidas: <http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/es/areas-protegidas/reserva-biol%C3%B3gica-limoncocha>
- Manzano, M., Borja, F., & Montes, C. (2002). Metodología de tipificación hidrológica de los humedales españoles con vistas a su valoración funcional y a su gestión. Aplicación a los humedales de Doñana. *Boletín Geológico y Minero*, 3(113), 313-330.
- Martelo, J., & Lara, J. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales; una revisión del estado del arte. *Ingeniería y Ciencia*, 8(15), 221-243.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Mazzeo, N., Clemente, J., García-Rodríguez, F., Gorga, J., Kruk, C., Larrea, D., . . . Scasso, F. (s.f.). Eutrofización: Causas, consecuencias y manejo. Grupo de Ecología y Rehabilitación de Sistemas Acuáticos Someros, 40-55. Obtenido de <http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/pasantias/eutrofizacion.pdf>
- Moreno, D., Quintero, J., & López, A. (2010). Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. México D.F.: Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco.
- NRCS. (1995). Wetlands. Recuperado el 14 de Marzo de 2017, de ProQuest ebrary: <http://site.ebrary.com/bibliotecavirtual.udla.edu.ec/lib/udlateca/reader.action?docID=10055330>
- OCDE. (1982). Eutrophication of Waters. Monitoring, Assessment and Control. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, Cooperative Programmers on Monitoring of Inland Waters (Eutrophication Control). Paris: Environment Dictorate.
- Ordóñez, C. (2013). Caracterización Geoquímica de sedimentos de la Laguna de Limoncocha. Quito, Ecuador.
- Ortiz, J. (2012). Estado trófico de la laguna de Limoncocha en base a los índices de Carlson y Lacat. Quito: Universidad Internacional SEK.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Pena, L., Ferreira, C., & Almeida, M. (2004). Comportamento dos índices do estado trófico de Carlson (IET) e modificado (IETm) no reservatório de UHE Luís Eduardo Magalhaes, Tocantins - Brasil. Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.
- Pérez-Castillo, A. G., & Rodríguez, A. (Diciembre de 2009). Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación. *Revista de Biología tropical* , 56(4).
- Plummer, P. D. (2005). *Geochemistry and the understanding of ground-water systems*. Reston, USA: Springer.
- Rahman, M., & Hasegawa, H. (2011). Aquatic arsenic: Phytoremediation using floating macrophytes. *Chemosphere*, 85(5), 636-646.
- Reddy, K., Kadlec, R., Flaig, E., & Gale, P. (1999). Phosphorus Retention in streams and wetlands: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 1(29), 83-146.
- Sandoval M. Celis J., Junod J. (2005). Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas. *Theoria*, 14(17–25), 224-237.
- Santos, K., & Florencio, L. (2001). Aplicação de Modelo Simplificado para Avaliação do Estado Trófico no Reservatório de Duas Unas. Congreso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (21).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Standard Methods. (2012). Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater. Washington D.C.
- Vásquez, C., Ariza, A., & Pinilla, G. (2009). Descripción del estado trófico de diez humedales del altiplano cundiboyacense. Bogotá: Red Universitas Scientiarum.
- Wetzel, R. G. (2001). Limnology. Elsevier.