



Dependencia de la Variación Temporal de las Áreas de Bofedales, del NDVI, NDWI y NDII en relación a los Eventos Extremos El Niño La Niña. Usando Datos Imágenes Satélitales Landsat - Caso Estudio: Bofedal Chunal, Cuenca Alta del río Chillón.

Jorge L. Garcia D^{1,2}.

E-mail: jlgd01@hotmail.com / jorge.garcia@unmsm.edu.pe

Bram L. Willems^{1,2}

E-mail: bwillems@unmsm.edu.pe / bwillems@cca.org.pe

Raúl Espinoza V.^{1,2}

respinozavillar@gmail.com

¹Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Ap. Postal 14-0149, Lima 14, Perú

²Centro de Competencias del Agua, Av. La Molina S/N, La Molina, Lima 12, Perú

Resumen

Esta investigación se enfoca en los estudios para evaluar la influencia de los eventos extremos El Niño, La Niña con la dinámica de las áreas de bofedales, los índices de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), índice de agua de diferencia normalizada (NDWI) y Diferencia Normalizada de infrarrojos (NDII) de los bofedales de la cabecera de cuenca del río Chillón, para el periodo 1986 al 2015. Para esta investigación se tomaron los resultados de metodologías de teledetección de bofedales previamente evaluadas. De estas metodologías se usaran los vectores de bofedales generados para la cabecera de cuenca del río Chillón, luego se calcularon las áreas de los bofedales, los valores promedio del NDVI, NDWI y NDII solo de la áreas de bofedales. Estos resultados se compararon con el Índice de Oscilación del Sur (IOS). Los resultados preliminares muestran un comportamiento dinámico tanto de las áreas de los bofedales como del valor de los NDVI, NDWI y NDII presente dentro de los bofedales, también se observa que existe una marcada influencia de los eventos extremos El Niño y la Niña con la dinámica de los bofedales, siendo el NDII un índice más sensible ante la ocurrencia estos eventos extremos.

Palabras claves: Bofedal, Índice de Oscilación Sur, Chillón, NDVI, NDII

Abstract

This research will initiate studies to evaluate the influence of the El Niño, La Niña extreme events with the dynamics of bofedales areas, normalized difference vegetation indexes (NDVI), normalized difference water index (NDWI) and Normalized Difference (NDII) of the basins of the headwaters of the Chillón river basin, for the period 1986 to 2015. For this investigation the results of methodologies of remote sensing of bofedales previously evaluated were taken. From these methodologies will be used the bofedale vectors generated for the headwaters of the Chillón river basin, then the areas of the bofedales, the average values of NDVI, NDWI and NDII were calculated only from the bofedales areas. These results were compared with the. South Oscillation Index (IOS). Preliminary results show a dynamic behavior of both the bofedal areas and the value of the NDVI, NDWI and NDII present within the bofedales, also it is observed that there is a marked influence of the extreme events El Niño and the Girl with the dynamism Of the bofedales, the NDII being an index more sensitive to the occurrence of these extreme events.

Key words: Bofedal, South Oscillation Index, Chillon, NDVI, NDII

1. INTRODUCCION

En los Andes la cabecera de cuenca es la zona situada en la parte alta donde se originan las quebradas, alberga lagos, lagunas humedales, bofedales, que junto a las corrientes de agua superficial y subterránea, contribuyen al mantenimiento de la capacidad hídrica de la cuenca. Las cabeceras de cuencas protegen los suelos de ser erosionados y evitan la pérdida de la fertilidad en las tierras agrícolas (Jiménez, 2008). Los bofedales son un tipo de pradera nativa poco extensa con humedad permanente, vegetación siempre verde y de elevado potencial productivo (Alzérreca, 1988), se ubican en la región Puna desde los 3 800 m.s.n.m hasta los pies de los glaciares y a lo largo de las márgenes de los ríos y manantiales de los territorios andinos de Perú, Bolivia, Chile y Argentina (Gil, 2011). A pesar que son zonas de poca extensión, los bofedales en la larga época de estiaje y frecuentes sequías, se convierten en las únicas fuentes de agua y reserva alimentaria de pastos (Alzérreca, 2001). El Índice de Oscilación del Sur (IOS) es un indicador de la diferencia de presión entre Tahití y Darwin que se presenta debido al efecto de subibaja que se presenta en el Pacífico Ecuatorial. Con frecuencia la magnitud de esta oscilación está relacionada con el desarrollo e intensidad de los eventos El Niño y la Niña. Según Lavado y Espinoza, (2014) tenemos que para los años El Niño Fuerte (ENF) los valores del IOS son menores a -10; los años El Niño Moderado (ENM) entre -10 y -5; La Niña Fuerte (LNF) para los valores mayores a 10 y los años La Niña Moderada (LNM), entre 5 y 10. El IOS es calculado por The Australian national Climate Centre y los datos fueron obtenido de la web de esta institución (www.bom.gov.au/climate/current/soihtml.shtml). Existen pocas investigaciones que relacionen el estudio de la dinámica de los bofedales y los eventos extremos El Niño, La Niña, el presente trabajo tomará los resultados de investigaciones previas (García et., al 2015 y García et., al. Sometido) para relacionar los valores del NDVI, NDWI y NDII de los bofedales y el IOS.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar la variación espacial del NDVI, NDWI y NDII de las áreas de bofedales la cabecera de cuenca del río Chillón y relacionarlas con el IOS.

2,2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener imágenes de los sensores TM, ETM+ OLI de la escena que incluya la cabecera de cuenca del río Chillón, así completar una serie de 30 años desde 1986, al 2015.
- Calcular el promedio del NDVI, NDWI y NDII de los bofedales de la cabecera de cuenca del río Chillón.

3 ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca del río Chillón se encuentra ubicada en las provincias de Lima y Canta, en el departamento de Lima Figura 1, al Norte de la Ciudad de Lima- Perú. Geográficamente se encuentra entre las coordenadas E 76° 21' 55" a 77° 10' 49" W y N 11° 18' 23" a 12° 00' 00" S. El río Chillón Nace en un conjunto de lagunas: Pucracocha, Aguascocha y Chuchón, sobre los 4.800 msnm. y desciende hasta el nivel del mar, realizando un recorrido de 126 kilómetros, cuando desemboca en el océano Pacífico (Olarte, 2002) (Figura 1 A). El bofedal piloto "Chunal", es

encuentra ubicado en las coordenadas lat: $-11^{\circ} 21' 39.60''$, Lon: $-76^{\circ} 27' 30.73''$, a 4400 msnm con una superficie aproximada de 16 has. (Figura 1 B)

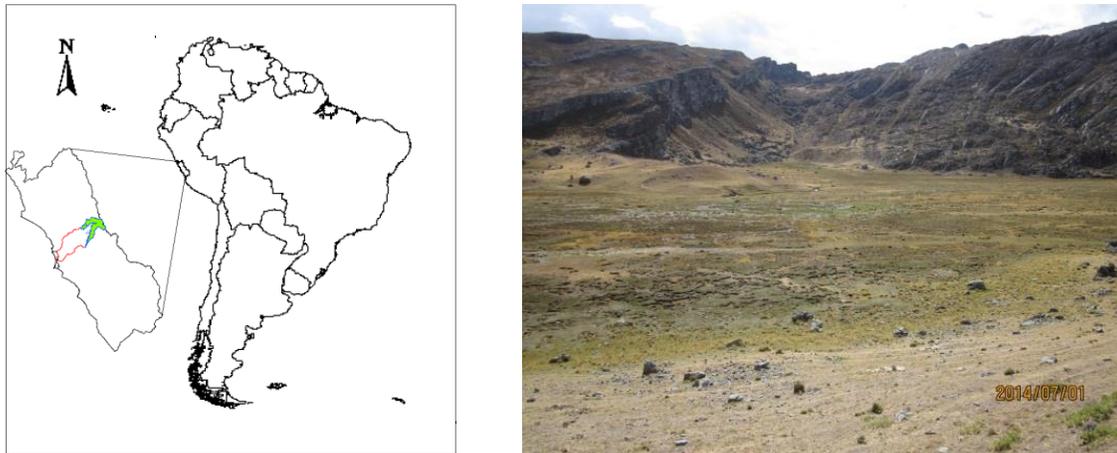


Figura 1. A) Área de estudio, cabecera de cuenca del río Chillón (en verde). B) bofedal piloto Chunal.

4 RESULTADOS

4.1 VECTOR DE BOFEDALES.

En publicaciones anteriores (García et., al 2015 y García et., al. Sometido) se han desarrollado metodologías para la teledetección de bofedales, estas metodologías generaron mapas y vectores de bofedales de la cabecera de cuenca del río Chillón (García et., al 2014, 2015) como se muestra en la Figura 2.A, además se realizó una ampliación de la zona cercana a los trabajos de campo, aquí se aprecia el bofedal piloto Chunal (encerrada en círculo) y los bofedales que están a su alrededor (Figura 2 B).

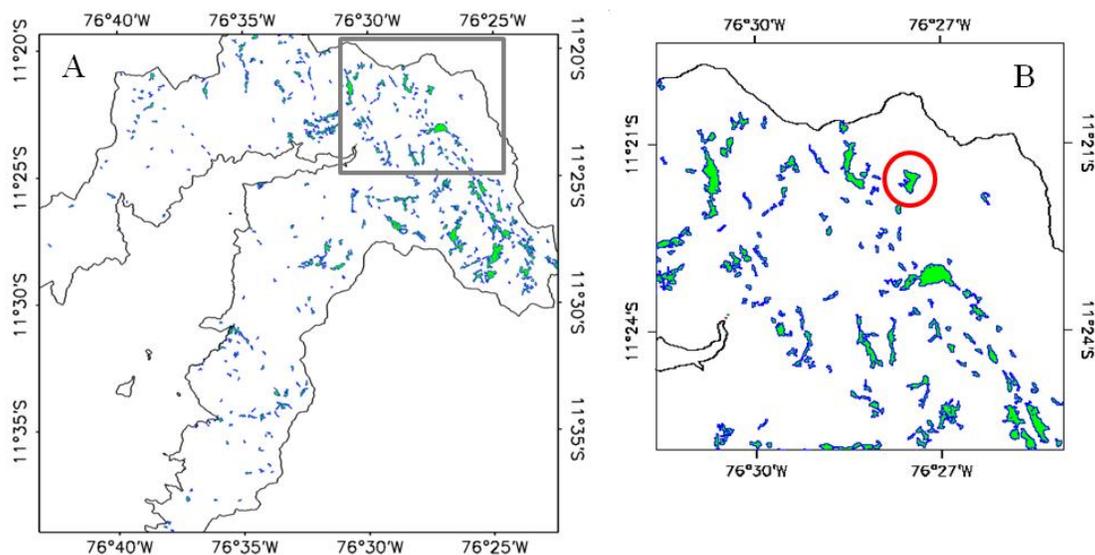


Figura 2 A) Se observa el vector de bofedales de la cuenca del río Chillón (mayores a 1 ha) para la fecha 5/7/2014, B) muestra el vector de bofedales de la zona cercana a los lugares de los trabajos de campo.

4.2 MAPAS DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL NDVI, NDWI Y NDII DE LOS BOFEDALES DE LA CABECERA DE CUENCA DEL RÍO CHILLÓN.

Siguiendo la metodología para la teledetección de bofedales (Garcia et., al, 2014, 2015) se encontró que para el mapa de distribución espacial del NDVI de los bofedales de la zona de estudio se obtuvieron los siguientes valores, el valor mínimo fue de 0.436, el máximo valor fue de 0.832 y el valor promedio fue de 0.602. Se observa que los bofedales presentan tonalidades de verde, se puede afirmar que mientras más oscuro es el verde aumenta el valor del NDVI y es más saludable la vegetación del bofedal. Caso contrario mientras más claro es el verde representa zonas de bofedales con vegetación poco saludables, o probablemente bofedales secos como se puede apreciar en la Figura 3. Para el mapa de distribución espacial del NDWI de los bofedales de la zona de estudio se obtuvieron los siguientes valores, el valor mínimo fue de -0.851, como máximo valor es -0.513 y el valor promedio fue de -0.672. Observamos que los bofedales presentan tonalidades de azul, se puede afirmar que mientras más oscuro es el azul disminuye el valor del NDWI, se puede decir que mientras más oscuro es el azul es más saludable la vegetación del bofedal. Caso contrario mientras más claro es el azul representa zonas de bofedales con vegetación poco saludables, o probablemente bofedales secos (Figura 4). Para el mapa de distribución espacial del NDII de los bofedales de la zona de estudio se obtuvieron los siguientes valores, el valor mínimo fue de 0.003, el máximo valor es 0.479 y el valor promedio fue de 0.158. Se aprecia que los bofedales presentan tonalidades de marrón, se puede afirmar que mientras más oscuro es el marrón aumenta el valor del NDII y es más saludable la vegetación del bofedal. Caso contrario mientras más claro es el marrón representa zonas de bofedales con vegetación poco saludables, o probablemente bofedales secos (Figura 5).

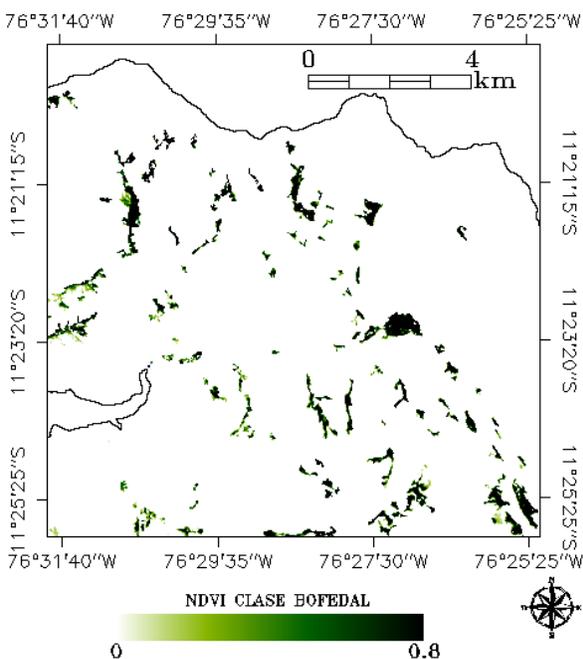


Figura 3. Mapa de distribución espacial del NDVI de los píxeles correspondientes a la clase bofedal

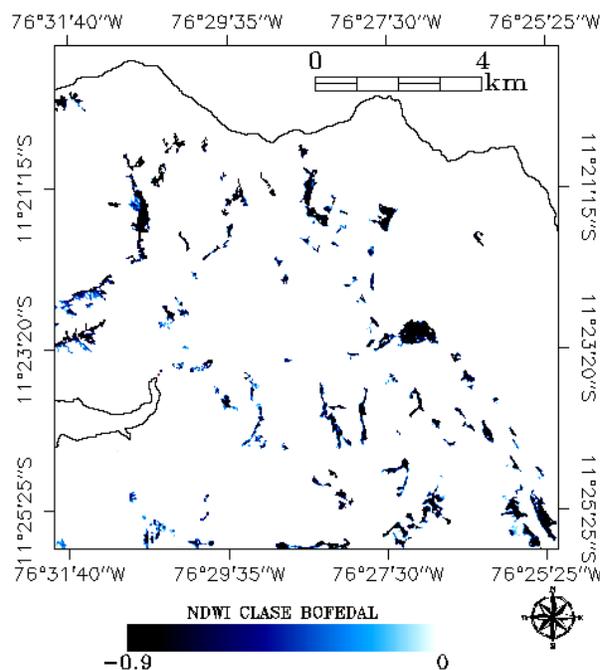


Figura 4. Mapa de distribución espacial del NDWI de los píxeles correspondientes a la clase bofedal

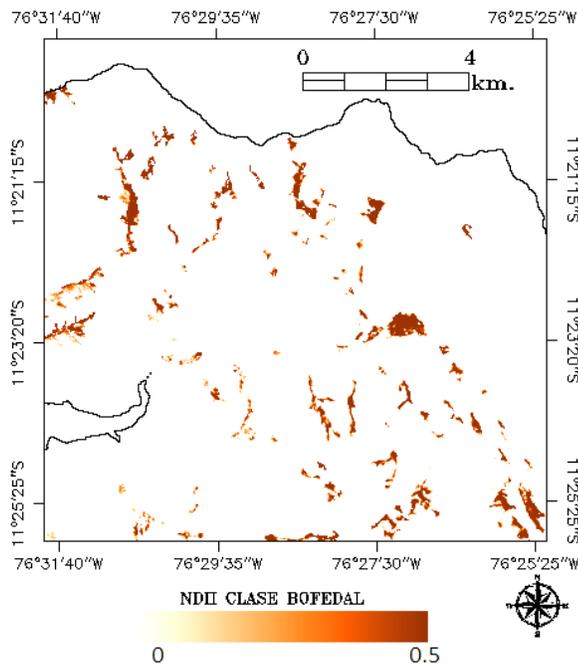


Figura. 5. Mapa de distribución espacial del NDII de los píxeles correspondientes a la clase bofedal

4.3 VARIACIÓN TEMPORAL DEL AREA LOS BOFEDALES Y LOS ÍNDICES.

En la Figura 6. Se muestran las series de tiempo áreas totales de bofedales (cuadrados en color verde) valor promedio de índices NDVI (esferas en color verde), valor absoluto NDWI (en color azul) y NDII (en color guinda) de bofedales de la cabecera de cuenca del río chillón. Para las áreas de bofedales, el NDVI y el NDWI presentan comportamientos dinámicos similares, con algunos años con valores mínimos resaltantes, que probablemente sea a causa de fenómenos como El Niño o La Niña. Para NDII observamos un comportamiento diferente que los índices anteriores, con marcados periodos en la cual este índice tiene valores mínimos en años consecutivos, esto probablemente a que este índices sea más sensible a los eventos extremos El Niño La Niña

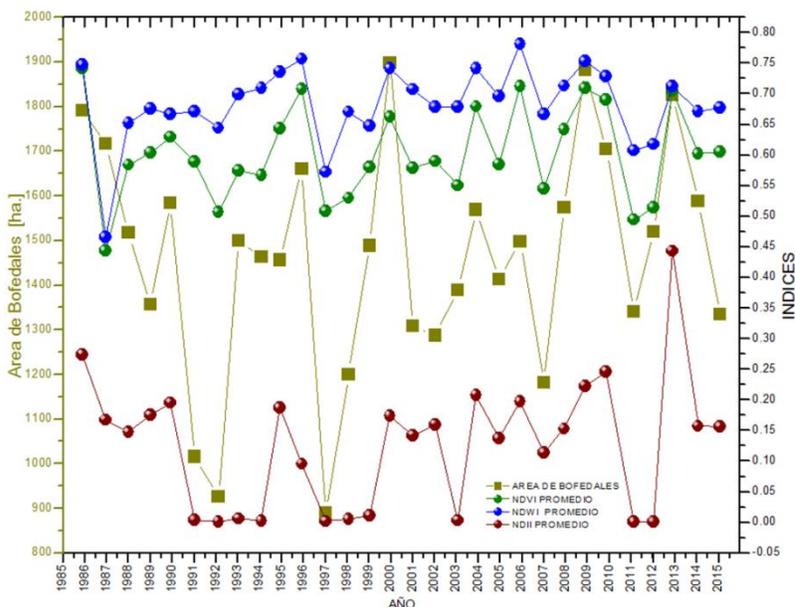


Figura 6. Serie de tiempo de las área los bofedales y los índices NDVI, NDWI, NDII para los años 1986 al 2015, para el NDWI se usó el valor absoluto

4.4 IOS y ÁREA DE BOFEDALES EN FUNCIÓN AL TIEMPO

En la Figura 7 Se muestra el comportamiento de la series de tiempo del IOS, gris, y de las áreas de los bofedales, color verde. Observamos principalmente que mientras se desarrolla o se presenta el fenómeno de la ENF las áreas de los bofedales decaen, para los años 1991, 1992, 1997, 1998, y cuando se presentan fenómenos de LNF y LNM las áreas de los bofedales aumentan 1988, 1999, 2000. Cabe resaltar que primero ocurre la disminución o aumento del IOS, fenómeno El niño o la Niña y como respuesta a este fenómeno se incrementa variación de las áreas de los bofedales.

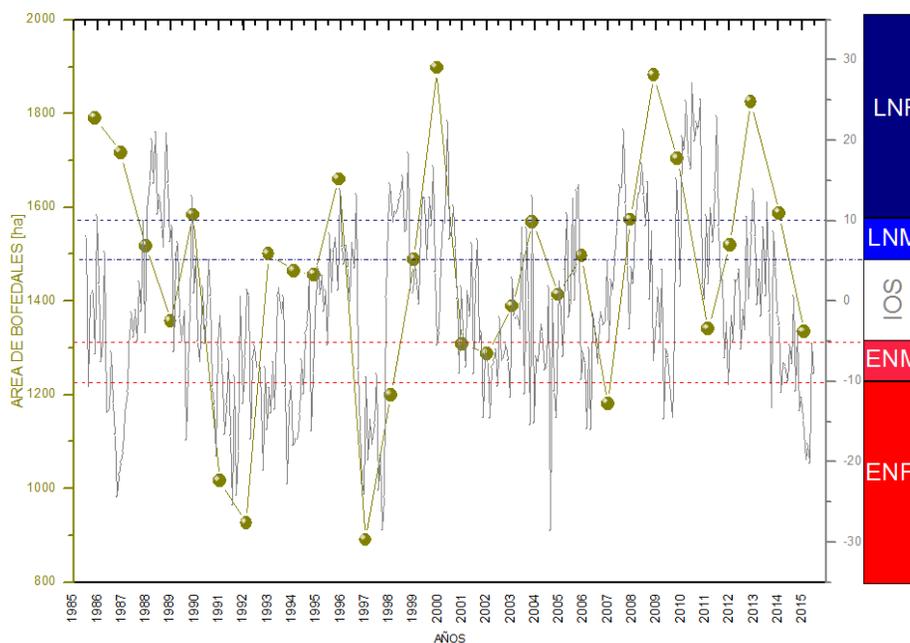


Figura 7. Serie de tiempo del IOS (línea gris) y área de bofedales (verde) de la cabecera de cuenca del río Chillón para el periodo 1986 al 2015

4.5. SERIES DE TIEMPO DEL IOS y EL NDVI, NDWI, NDII PROMEDIO DE BOFEDALES

En la Figura 8. Se muestra el comportamiento de la series de tiempo del IOS, (en color gris), del valor promedio de los índices: NDVI (en color verde), valor absoluto del NDWI (en color azul) y del valor del NDII (en color guinda) de los bofedales. Para el NDVI observamos principalmente que en los años que se presenta el fenómeno de la ENF el valor del NDVI decae, para los años 1987, 1991, 1992, 1997, 1998, y cuando se presentan años con fenómenos de LNF o LNM el valor de NDVI aumentan 1988, 1999, 2000. Para el NDWI notamos que en los años con ocurrencia del fenómeno de ENF el valor del NDWI decae, para los años 1987, 1992, 1997 y cuando se presentan años con fenómenos de LNF o LNM el valor del NDWI aumenta 1988, 1999, 2000. Para el NDII apreciamos que en los años con ocurrencia del fenómeno de ENF, y ENM el valor del NDII decae, para los años 1987, 1991, 1992, 1993, 1994, 1997, 1998, 2004. Para los años con fenómenos de LNF o LNM, 2011, 2012, el valor del NDII decae. Se observa que en estos periodos es más prolongado el tiempo de recuperación del índice, esto nos indica que este índice es más sensible a estos fenómenos. Un análisis más detallado están siendo analizados en nuestros laboratorios

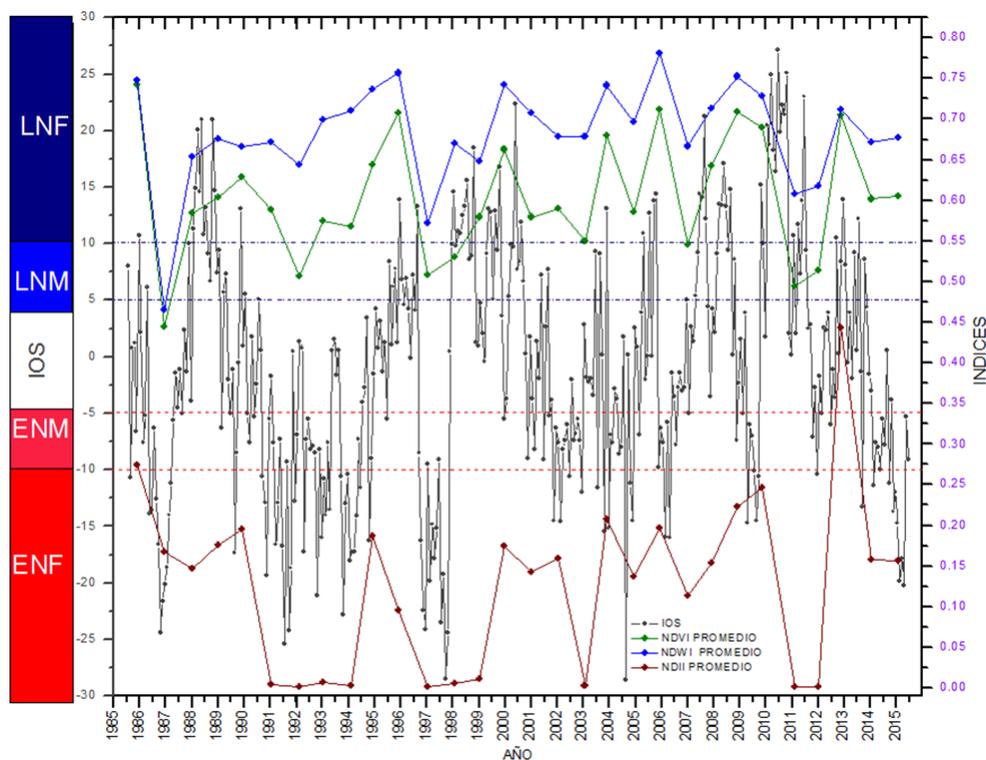


Figura 8. Serie de tiempo del IOS y el valor promedio de índices NDVI, NDWI, NDII para los años 1986 al 2015.

Agradecimientos:

La presente investigación fue financiado por el proyecto PEER "Strengthening resilience of Andean river basin headwaters facing global change" el cual tiene entre sus propósitos un sistema de monitoreo para el estudio de los ecosistemas en cabeceras de cuenca.



5 CONCLUSIONES

Los índices NDVI, NDWI, NDII y el área de los bofedales de la cuenca del río Chillón presentan un comportamiento dinámico como se observa para el periodo 1986 al 2015. Los índices NDVI, NDWI y NDII de los bofedales son sensibles a los eventos El Niño/ La Niña observado en las gráficas entre estos índices y el IOS. Siendo, aparentemente, más sensible el NDII. Es necesario realizar más estudios en lo referente a la sensibilidad de bofedales frente los eventos extremos El Niño/La Niña, y como estos eventos pueden afectar la salud de los bofedales

6 REFERENCIAS

Alzérreca, H. (1988). Diagnóstico y prioridades de investigación en praderas y pasturas del Altiplano y Altoandino de Bolivia. En: Primera Reunión Nacional en Praderas Nativas de Bolivia. Programa de Autodesarrollo Campesino, Corporación Desarrollo de Oruro (PAC, CORDEOR). Oruro, Bolivia. pp.214-264.

Alzérreca H. (2001) Características y distribución de los bofedales en el ámbito boliviano del sistema T.D.P.S.

García, J. L., y Willems, B. L. (2014). Estudio de los humedales de la cuenca alta del río Chillón usando datos imágenes del sensor TM a bordo del satélite Landsat 5: Avance. Encuentro Científico Internacional 2014 de invierno. Lima- Perú, 30 de julio – 1 de agosto del 2014

García, J. L., y Willems, B. L. (2014). Estudio del Bofedal Piloto, Chunal, para la propuesta de una Metodología para la Teledetección de Bofedales de la Cuenca Alta del río Chillón usando datos imágenes de los sensores TM y TM+ a bordo de los satélites Landsat. XXIII Simposio Peruano de Física, Cusco-Perú. 6-10 de Octubre de 2014,

García, J. L., y Willems, B. L. (2015). Metodología para el Estudio de Bofedales en Cabeceras de Cuenca Usando Datos Imágenes de los Sensores TM, OLI a bordo de los Satélites Landsat-Caso Estudio: Bofedal Chunal, Cuenca Alta del río Chillón.: Avances. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE

García, J. L., Willems, B. L. y Espinoza R. (2015). Caracterización de Suelos de Bofedales Alto Andinos, Caso Estudio: Bofedal Chunal, Cuenca Alta del río Chillón. XXIV SIMPOSIO PERUANO DE FÍSICA Lima-Perú. 02-06 de noviembre de 2015

Gil, E. (2011). Bofedal: Humedal altoandino de importancia para el desarrollo de la región Cusco. 1-10.

Jiménez Herrero, Luis M., 2008. Agua y sostenibilidad: Funcionalidad de las cuencas. Observatorio de la Sostenibilidad en España (OSE)

LAVADO, C.W.S.; ESPINOZA, J.C. Impactos De El Niño Y La Niña En Las Lluvias Del Perú (1965-2007). Revista Brasileira de Meteorologia, v.29, n.2, 171 - 182, 2014

Olarte N., Bertha. 2002. “Plan integral de gestión ambiental de residuos sólidos en el distrito de Carabayllo, Lima”. Tesis para optar el grado de magíster en ingeniería sanitaria y ambiental. Cali, Colombia: Universidad del Valle