

**Estudio de la teledetección y caracterización fisicoquímica del humedal “El Cascajo”,
Santa Rosa, Chancay- Lima, Perú**

Study of the Teledetection and Physicochemical Characterization of the Wetland "El Cascajo",
Santa Rosa, Chancay- Lima, Peru

Kevin Loayza Basan¹, Karol Castillejos Paniagua¹, Roger Mestas Valero¹, Jean Piere Jesús Quiliche Duran²

RESUMEN

Objetivo: Realizar el uso de la teledetección para evaluar la contaminación del humedal El Cascajo - Santa Rosa, en el Distrito de Chancay. **Métodos:** Mediante la caracterización de parámetros fisicoquímicos y el uso de la técnica de teledetección, realizados en muestras puntuales con el propósito de evaluar las condiciones del Humedal. En la caracterización fisicoquímica se analizan parámetros de temperatura, oxígeno disuelto, conductividad, sólidos totales, pH, profundidad, transparencia, NO₃ y Nitrógeno total (NT) mediante análisis realizados in situ y de procesamiento en laboratorio según la necesidad; utilizando imágenes satelitales provenientes de los sensores del satélite Landsat de los años 2005, 2011 y 2015. **Resultados:** Obteniéndose combinaciones de los diferentes espectros; de las imágenes satelitales de los años estudiados se lograron imágenes de falso color (COLOR NIR 4-3-2), clasificación supervisada de imágenes e índice de vegetación (NDVI) de la zona. Los resultados obtenidos fueron comparados con los valores de Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para este tipo de cuerpos de agua. **Conclusión:** En función a los parámetros estudiados y según al análisis de la teledetección, el humedal se encuentra en un estado de eutrofización debido a la influencia de la actividad antrópica, vertimiento de alcantarilla y sobre pastoreo en la zona de influencia.

Palabras clave: Fisicoquímica, teledetección, Humedal El Cascajo.

ABSTRACT

Objective: Make use of remote sensing to evaluate the contamination of the gravel - Santa Rosa, in the District of Chancay. **Methods:** Through characterization of physicochemical parameters and the use of remote-sensing technique, made in point samples in order to assess the conditions of the wetlands. Physico-chemical characterization analyzed parameters of temperature, dissolved oxygen, conductivity, total solids, pH, depth, transparency, NO₃ and total nitrogen (TN) through in-situ analysis and processing in laboratory according to the need; using satellite imagery from the Landsat satellite in 2005, 2011 and 2015 sensors. **Results:** Obtaining combinations of the different spectra; images satellite of the years studied were false-color images (color NIR 4-3-2), supervised of images and index of vegetation (NDVI) classification. The results were compared with the values of environmental quality standard (ACE) for this type of water bodies. **Conclusion:** According to the parameters studied and the analysis of remote sensing, the wetland is located in a state of eutrophication due to the influence of human activity, shedding of sewer and overgrazing in the area of influence.

Keywords: Physical chemistry, remote sensing, Wetlands The Gravel.

¹Universidad Católica Sedes Sapientiae. Lima, Perú.

²Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Huacho, Perú.

INTRODUCCIÓN

El instrumento internacional específico para humedales es la Convención Ramsar, el cual se encarga de orientar el desarrollo, el uso y la protección de estos Ecosistemas. Dicho tratado se adoptó en la ciudad iraní de Ramsar en 1971, entró en vigencia en 1975 y Perú se adhirió a la Convención en 1991. "La selección para la Lista de Ramsar debe descansar en la importancia del humedal en términos ecológicos, botánicos, zoológicos, limnológicos o hidrológicos" (Secretaría de la Convención Ramsar, 2013). A la fecha, 2056 humedales son considerados como sitios Ramsar. El Perú posee 12200 lagunas aproximadamente, 95 de las cuales han sido consideradas humedales costeros y de ellos, solo 13 están en la lista Ramsar.

Desarrollando la normativa, el Convenio de Ramsar da prioridad a la cartografía de zonas húmedas y recomienda el uso de la Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica para la elaboración de inventarios de humedales (Vega, 2006).

La teledetección en los humedales se ha estudiado mediante mapas, fotointerpretación y análisis laboratorio, pero las imágenes de satélite ofrecen información adicional a partir de otros canales del espectro electromagnético. Así se obtiene una valiosa información de las características subsuperficiales (humedad, temperatura, presencia de materia orgánica, etc.), no perceptibles en las fotografías aéreas convencionales (García, Pérez y Sanz, 2006).

La utilización de imágenes de distintas fechas permite conocer también la evolución de la contaminación y la respuesta de los humedales a las medidas de restauración y conservación. También se puede analizar la evolución de la vegetación hidrófila que se sitúa en el interior o en los alrededores de la laguna (Pérez y García, 2004).

La laguna El Cascajo, Santa Rosa, según la clasificación de cuerpos de agua en el Decreto

Supremo N° 015-2015-MINAM, pertenece a la Categoría 4, que corresponde a la conservación de ambientes acuáticos que forman ecosistemas frágiles y que requieren de conservación y a la sub categoría E1, conformada por lagos y lagunas incluidos en estos los humedales.

Visto lo anterior, se plantea como hipótesis de este estudio lo siguiente: "Es posible determinar la contaminación del humedal El Cascajo, Santa Rosa mediante la medición de parámetros físicoquímicos y analizar sus cambios paisajísticos estructurales en los últimos 15 años mediante la técnica de teledetección con el uso de imágenes satelitales gratuitas y software libre, como alternativa al uso de los costosos programas de pago, en la evaluación de la composición del humedal"

El objetivo de este estudio es recopilar información relevante sobre un conjunto de parámetros físicoquímicos y realizar el uso de la teledetección para evaluar la contaminación del humedal El Cascajo - Santa Rosa, en el Distrito de Chancay, producto de diferentes causas potenciales como las antrópicas, climáticas y otros. La importancia de abordar este tema de investigación radica en que este ecosistema es considerado frágil y tiene un gran valor ecosistémico muy valorado por la población que lo vio dañado estas últimas décadas, a la vez que es parte de la red hidrológica que sirve de depuración natural de la carga orgánica de las poblaciones aledañas y está sujeta a las influencias de la actividad de pastoreo de la zona.

MATERIAL Y METODOS

El área estudiada se encuentra en el distrito de Chancay, provincia de Huaral, departamento de Lima (Figura 1), a una altitud de 43 msnm. Latitud 11°35'35.52"S y Longitud 77°16'11.47"O, abarcando un total de 40 hectáreas. Está ubicado cerca al mar y está rodeado de zonas de desmonte y corrales informales de crianza de cerdos.

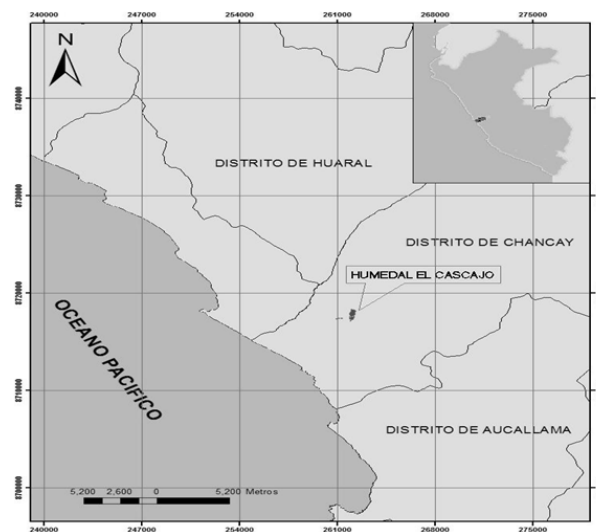


Figura 1. Mapa de ubicación del humedal el Cascajo.

Tabla 1. Ubicación de los puntos de muestreo humedal

Puntos de muestreo	Sistema de Coordenadas, UTM. Zona 18 L
M1 punto de intersección entre área recuperada y área sin recuperación	252535,03; 8717527,01
M2 Punto con tendencia central y mayor cercanía al mar	252706,02; 8717281,10
M3 punto más cercano a la zona de pastoreo	252758,57; 8717645,20
M4 Vertimiento de desagüe de chanchería	252484,86; 8717611,05



Figura 2. Puntos de muestreo de Agua (M1, M2, M3 y M4).
Fuente: Google Earth.

La selección de variables se puede considerar entre dos o más parámetros. La elección depende de la información existente, los criterios de tiempo, localización y su importancia como estándar de calidad (Del Río 1986). En el estudio se determinó las variables basándose esencialmente en la calcificación realizada por (Vela, Mejuto, Castaño y Calera, 1999) utilizando las variables OD, temperatura, pH, Sólidos Totales, turbidez, transparencia, nitratos, fosfatos, mediante las cuales se puede evaluar las características organolépticas del humedal.

Con el fin de analizar la contaminación en el humedal, se tomaron muestras de agua *in situ*, para estudiar los siguientes parámetros fisicoquímicos (temperatura, pH, profundidad, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica); el procedimiento de toma de muestras se usó botellas de polietileno de alta densidad de un litro, previamente enjuagadas varias veces con el agua a muestrear, para recoger tres litros de agua superficial.

Temperatura

Se toma la temperatura en la muestra de agua con el termómetro Celsius de mercurio, introduciendo la sonda, manteniendo a la profundidad (25 cm por debajo de la superficie) y registrar la lectura para entender algunos efectos térmicos a través del tiempo.

pH

Se recolecta la muestra con la botella de polietileno (700 ml), usando el instrumento del Ph- metro, se enjuaga tres veces con agua destilada, agitando constante con movimientos circulares y, finalmente, se registra el valor del pH.

Transparencia

Se desarrolla con la aplicación del disco Sechi, sumergiendo el disco en el agua, manteniendo en forma vertical y con la ayuda de un peso, se anota el valor de profundidad conforme va desapareciendo.

Oxígeno disuelto

Se determinaron el oxígeno disuelto siguiendo método de Titulación volumétrica, llenado la botella yodométrica con la muestra del agua, evitando el ingreso de burbujas, se agrega Sulfato de Manganeso $MnSO_4$ y Yoduro de Potasio por debajo de la superficie del líquido,

tapando la botella y mezclando fuertemente durante 20 segundos sujetando la tapa y la botella. Al destapar la botella se añade Ácido Sulfúrico H_2SO_4 concentrado dejando caer por la pared del envase y encima de la superficie de líquido; se mezcla fuertemente hasta disolver el precipitado para lograr la reacción completa, finalmente se mezcla con el Tiosulfato de Sodio $Na_2S_2O_3$ 0,01M hasta obtener un color amarillo claro, titulando nuevamente a hasta la desaparición del color existente y anotar el volumen total gastado.

Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es medida con un conductímetro marca Ino Lab modelo Cond 730. Se calibra el instrumento con una solución estándar de KCl 0,3 M y luego se procede a medir la conductividad de las muestras.

Se colectaron muestras con el fin de realizar la caracterización de las aguas del humedal en el laboratorio (nitratos, Nitrógeno total y materia orgánica), se colecto en bolsas ziploc; rotulada según la procedencia de la muestra, el día en la que fue tomada, almacenándose en un cooler con hielo para evitar la degradación y reacción de la muestra.

Nitrato (NO_3)

Se determina los nitratos siguiendo la técnica de monitoreo espectrofotométrico ultravioleta (UV). En la cubeta de espectrofotómetro, se agrega 5ml del reactivo.

Trabajo de Gabinete

Se efectuó en el laboratorio de Cómputo de la Universidad Católica Sedes Sapientiae en noviembre del 2015. Para este estudio se utilizaron imágenes satelitales, proporcionados por "Global Land Cover Facility" Las imágenes satelitales son obtenidas mediante un sensor que se encuentra instalado en el satélite Landsat 7 de tres diferentes años (2005-2011-2015).

Las imágenes obtenidas por el satélite, tienen una resolución espacial de 15 metros por píxel. (Jhonson 2009) cada imagen consta de 7 bandas espectrales, seleccionando imágenes que abarcan dos décadas y corresponden a distintas épocas y años, con el fin de recoger la mayor variabilidad de información en el contenido en agua y concentración de solutos y de las actividades del entorno.

El software informático utilizado para el procesamiento de imágenes satelitales fue el "LEOWord v.3". La metodología empleada en el estudio en mención fue a través de los siguientes pasos:

- Con ayuda del Google Earth se determinó la ubicación exacta del lugar de estudio a través de la longitud y latitud, para luego determinar el Path y Row correspondiente.
- Se descargaron las respectivas imágenes satelitales del lugar de estudio con sus correspondientes siete bandas espectrales y de cuatro diferentes años.
- Se procesaron las imágenes satelitales usando el software informático LEOWord v3 mediante combinación de las diferentes bandas espectrales obteniendo el falso color (COLOR NIR 4-3-2), clasificación supervisada de imágenes y el índice de vegetación NDVI.
- Se realizaron los análisis visuales de las imágenes procesadas y su respectivo análisis de los histogramas

de cada imagen, correspondientes al color, tonalidad y cantidad de los pixeles contenidos en cada imagen.

Se cotejaron las tonalidades de los colores obtenidas producto del procesamiento de imágenes satelitales con observaciones realizadas directamente en el campo y fotografías tomadas.

RESULTADOS

Los Estándares Nacionales de Calidad de Agua (ECA) emitidos por el Ministerio del Ambiente mediante Decreto Supremo N° 015-2015 MINAM clasifican al agua de acuerdo al tipo de uso que se le da. Las aguas del humedal El Cascajo se encuentran en la Categoría 4: Conservación de ambiente acuático; y en ella en la subcategoría E1: Lagos y Lagunas. En esta investigación se tomaron muestras de agua en cuatro puntos de muestreo del Humedal El Cascajo.

En la Tabla 2 se presentan los resultados de las mediciones in situ y en laboratorio de las muestras de agua en los cuatro puntos de muestreo.

Tabla 2. Resultados de las mediciones realizadas en campo y en laboratorio

Parámetros Analizados	M1	M2	M3	M4	Unidad	Eca Agua D.S.N°015-2015
In Situ						
Temperatura	20 -22	21	23	23	°C	Δ 3
pH	8,35	8,7	7,92	7,85	U. de pH	6,5 - 9,0
Transparencia	21	15	19	20	cm	
Profundidad	1,1	1,15	119	1,24	m	
Oxígeno disuelto	6	5	4,6	4,6	mg/L	=5
Conductividad Eléctrica	900	1900	3200	3800	μS/cm	1 000
laboratorio						
NO ₃	0,2	0,021	0,018	-	mg/L	0,315
NT	20,8	77,62	53,21	78,65	mg/L	13
Materia Orgánica	4,88	1,4	18,4	20,8	%	5

Al realizarse el procesado de imágenes satelitales y análisis de las combinaciones de falso color mediante el NIR (4-3-2) se obtiene en la imagen resultante tonalidades de color azul para el cuerpo de agua, de color verde para las unidades de Vegetación. Esta coloración en

la combinación 4-3-2 se debe a la respuesta espectral de la vegetación subacuática en el canal infrarrojo, con el que se discrimina perfectamente este tipo de vegetación. Por su distribución espacial y respuesta espectral, se comprueba la presencia de Pistia stratiotes

"lechuga de agua", en prácticamente todo el humedal. También, principalmente al Oeste, se observa en ambas imágenes unas manchas azules oscuras, que indican el área de recuperación del humedal. Obteniéndose los siguientes resultados en la Tabla 3

Tabla 3. Valores porcentuales del área estudiada mediante el falso color NIR 4-3-2 (equivalente al % de píxeles)

Año	Cuerpo de agua reflejado (%)	Cobertura Vegetal (%)	Área Recuperada (%)
2005	17	93	0
2011	35	72	23
2015	32	76	21

Mediante uso de la "clasificación supervisada de imágenes" se pudo determinar la presencia de cobertura vegetal de la siguiente manera: durante los años 2005, 2011 y 2015. Se obtuvo un porcentaje de 90,2; 69,8 y 72,6 respectivamente. En lo referente al índice vegetal (NVDI) se observa un decrecimiento de la cantidad de número de píxeles durante los años evaluados, a su vez la pérdida de intensidad del color verde. Con el índice NDVI, se confirma la presencia de lechugas de agua en el humedal debido a los tonos azules oscuros detectados en toda la cubeta, permitiendo distinguir las unidades de vegetación de ribera con *Pistia stratiotes*.

DISCUSIÓN

La información obtenida muestra que no existe acceso a información sobre caracterización físico-química del humedal el Cascajo, la misma que es importante debido a que es posible determinar si el sistema se comporta como un sumidero de sustancias y cuál es la condición de sustancias contaminantes a la que se encuentra expuesta.

Los valores de temperatura obtenidos oscilan entre 20 °C a 23 °C en las distintas muestras. La estratificación termal afecta la calidad del agua. El epilimnio (parte superior de la columna de agua), permite abundante crecimiento de algas, mientras que el contenido de oxígeno disuelto disminuye en el hipolimnio de lagos eutróficos, alcanzando niveles anaerobios (Mellado, 2008).

El pH medido oscila entre 7,85 a 8,7 valores que se encuentran dentro del ECA agua e indican una leve tendencia alcalina, lo cual puede ser atribuida a la influencia del intercambio con aguas oceánicas (Menendez, Dias, Gonzales y Gonzales, 2011).

En las muestras evaluadas se obtuvo valores de oxígeno disuelto menores a los establecidos por el ECA de agua como es el caso de las muestras M1; M3 y M4 con valores de 2; 4,6 y 4,6 respectivamente, lo cual se puede relacionar a la corta altura que presentaron las columnas de agua medidas mediante transparencia, las cuales alcanzaron valores entre un rango entre 15 a 21 cm. Características tales como la cantidad excesiva de material suspendido en la columna de agua, pueden tener efectos adversos sobre algunas especies de plantas acuáticas, invertebrados y peces, debido a la reducción de la penetración de la luz. Ello repercute en la calidad estética y recreativa del cuerpo de agua. Por otro lado, altos contenidos de materia orgánica en la columna de agua o en el material suspendido, pueden disminuir el nivel de oxígeno disuelto en ésta, lo que puede ser perjudicial para algunos seres vivos del lugar (Mellado, 2008).

En contraste con un análisis físicoquímico, para la laguna Marvilla, realizado por Chinchayán, Pulido, Oblitas y Peña (2008) que muestra resultados en los que la transparencia medida representa en promedio al 85% de la altura total del cuerpo de agua; en el análisis realizado en el presente trabajo se evidenció que en este caso la transparencia representa un promedio de 16% de la altura total. Las altas profundidades de cada uno de los espejos de agua en el humedal, relacionados a los resultados de transparencia (Disco Secchi), indican que la luz no logra penetrar hasta el fondo de estos cuerpos de agua.

La mayoría de resultados indican que las condiciones en las que se encuentra el humedal el Cascajo son anaerobias, lo que es esperable debido a que no existen condiciones físicas de mezcla por viento y se aprecia una cobertura de macrofitas en la superficie de los cuerpos de agua.

La alta carga de nutrientes afluentes que provienen de los asentamientos humanos aledaños y del uso del humedal para la

actividad de pastoreo determina que El Cascajo sea un sistema con condiciones de eutrofización y se requieren monitoreos constantes para evaluar de mejor manera la capacidad de depuración de nutrientes como fósforo e hidrogeno.

El empleo de las técnicas de teledetección y el estudio físico-químico del agua, permite calificar actualmente a la laguna como eutrofizada, debido a la presencia de algas, aunque se ha comprobado una ligera mejora de su calidad a lo largo de estos últimos 7 años debido en gran parte a la puesta en marcha del proceso de recuperación.

El estudio del índice NDVI, muy empleado en estudios agrícolas, crecimiento urbano, ha mostrado una gran utilidad en el medio acuático, si bien la presencia de agua disturba en ocasiones la interpretación de los resultados. Aun así, ha hecho posible detectar la presencia de la lechuga de agua, y diferenciarlas de la vegetación natural.

El estudio multiespectral de las imágenes satelitales junto a los análisis fisicoquímicas de agua realizados, ha hecho posible conocer la evolución de calidad de las aguas en el Humedal el Cascajo, pudiéndolos clasificar como eutrofizados en gran parte de su extensión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alvarez, N. (2013). Desarrollo cognoscitivo en la adultez. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/pei.ac01/expcog-a>.

Chinchayán, V., Pulido, G., Oblitas, L. & Peña, F. (2008). Análisis y determinación de macrozoobentos en la laguna maravilla de los Humedales de Villa, Chorrillos – Perú. *Estudios Geográficos*, 1(12), 1-15.

Del Rio, J. (1986). Revisión Crítica de los Índices Físicoquímicos de Calidad del Agua., Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX. *Revista Ingeniería Civil*, 1 (1), 15-34.

García, M., Pérez, M., & Sanz, J. (2006). Variabilidad hídrica y edáfica de humedales peninsulares interiores a partir de imágenes Landsat (TM y ETM). *Estudios Geográficos*, 67(260), 57-78.

Jhonson, K. (2009). Números de satélites en el espacio, 15.

Mellado, C. (2008). *Caracterización hídrica y gestión ambiental del humedal de Batuco*. Tesis para optar el grado de magister en Ciencias de la Ingeniería, Mención en recursos y Medio Ambiente Hídrico, Universidad de Chile. Santiago de Chile.

Menendez, J., Dias, L., Gonzales, J., & Gonzales, A. (2011). Caracterización hidroquímica del gran humedal del norte, Ciego de Avila, Cuba. *Minería y Geología*, 27(2), 15-41.

Ministerio del Ambiente (2015, diciembre, 19). Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM. Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación. *Diario Oficial El Peruano*, 569076 – 569082.

Pérez, M., & García, M. (2004). Análisis de la contaminación hídrica en humedales de ambiente semiárido aplicando teledetección (La Mancha, 1992-2001). *Estudios Geográficos*, 65(254), 101-119.

Ramsar Convention Secretariat, (2013). “Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales” 6ª edición. Suiza: secretaria de la Convención Ramsar, 15-23.

Vega, L. (2006). La Teledetección aplicada al Inventario de Humedales”, [en línea]. Mapping interactivo. *Revista Internacional de Ciencias de la Tierra*. Disponible en: http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=1194.

Vela, A., Mejuto, M., Castaño, S., & Calera, A. (1999). Efectos causados por los regadíos en la disponibilidad de recursos hídricos para el Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel. *Revista de Teledetección*, 12(1), 33-37

Correo electrónico:

Revisión de pares:
Recibido: 02-05-2017
Aceptado: 28-06-2017