

9. Monitorización de Variables Físico-Químicas en Humedales Ramsar de El Salvador: Caso Embalse Cerrón Grande

J. Jiménez, A. Tena y P. Arnau; Centro Internacional de Métodos Numéricos para Ingeniería; J. Piazzese, Fundación CIMNE Latinoamérica; J. Sempere y R. Nomen, Instituto Químico de Sarriá; E. Barraza, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador; M. A. Pohl, C. A. Juárez, R. L. Rodríguez, M. D. Rovira, N. Amaya, Departamento de Electrónica e Informática-Departamento de Ingeniería de Procesos y Ciencias Ambientales-UCA

Resumen

En el presente trabajo se aborda la metodología y la evaluación de tecnologías para realizar una mejor monitorización de los Humedales Ramsar de El Salvador. Se utilizó como caso de análisis el Embalse Cerrón Grande. Desde el 22 de noviembre de 2005, el Embalse del Cerrón Grande es nombrado "Humedal de Importancia Internacional Ramsar". A partir de entonces, las 60,698 hectáreas que lo conforman son consideradas como zonas protegidas. Es por ello que con esta investigación, se propone una metodología de medición de variables físico químicas del humedal con el objetivo de una mejora en la continuidad y sistematización de la información del humedal. Como resultados se obtuvieron la metodología a seguir para caracterizar los humedales. Se han obtenido las primeras mediciones a lo largo de todo el humedal cerrón grande en el período seco del año. Se tienen los mapas a lo largo de todo el humedal de temperatura, conductividad, pH y Oxígeno Disuelto, para ello se han utilizado herramientas de interpolación y simulaciones de fluido dinámica. Finalmente, al final del documento se presentan dos tipos de propuestas para mejorar el sistema de monitorización de los humedales al que existe actualmente.

Palabras Clave

Monitorización, Humedales Ramsar, Calidad de Agua.

Este trabajo fue financiado en parte por Fondos de Investigación UCA 2012. Grupo de Investigadores: Departamento de Electrónica e Informática de la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, (DEI-UCA): Mauricio Pohl (Coordinador del Proyecto. mapohl@uca.edu.sv), Carlos Juárez (cjuarez@uca.edu.sv), Héctor Escobar (hesobar@uca.edu.sv) y Lissbeth Rodríguez (lrodriguez@uca.edu.sv); Departamento de Ingeniería de Procesos y Ciencias Ambientales de la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas (DIPCA-UCA): Dolores Rovira (mrovira@uca.edu.sv) y Nelly Amaya (namaya@uca.edu.sv); Centro Internacional de Métodos Numéricos para Ingeniería (CIMNE): Jordi Jiménez, Alberto Tena y Pedro Arnau; Fundación CIMNE Latinoamérica: Javier Piazzese; Instituto Químico de Sarriá (IQS): Julia Sempere y Rosa Nomen; Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN): Enrique Barraza.

I. INTRODUCCIÓN

La necesidad de detectar los cambios que ocurren en el medio ambiente, causados de manera natural o por la actividad humana,

se ha incrementado drásticamente en los últimos 50 años [1]. Con el crecimiento de las fronteras urbanas, agrícola-ganaderas, forestales, pesqueras, mineras e industriales, hemos pasado de una época en la cual era posible localizar la fuente principal de contaminación o disturbio

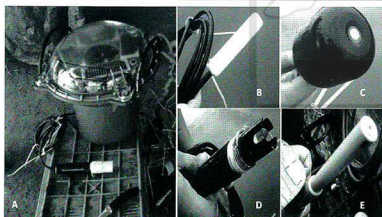
Monitorización de Variables Físico-Químicas en Humedales Ramsar de El Salvador:
Caso Embalse Cerrón Grande



en un tiempo razonablemente corto, a una en la que los efectos de cambio pueden sentirse o detectarse a miles de kilómetros de distancia del lugar de origen y con consecuencias significativas a través de generaciones (calentamiento global, desertificación, lluvia ácida, especies invasoras, entre otros) [2]. Las sinergias entre los factores naturales y artificiales, autóctonos o externos, o entre los bióticos y abióticos, aunadas a los costos cada vez mayores, hacen que los programas de monitoreo ecológico requieran una mejor planeación, ejecución, análisis, almacenamiento de datos y comunicación a los usuarios y autoridades de cada país o región [2].

Los humedales son ecosistemas complejos que poseen características físicas, químicas y biológicas asociadas con los regímenes hídricos, que son sensibles de ser impactados negativamente por las actividades antes descritas. En El Salvador existen 6 humedales que han sido calificados como sitios RAMSAR [3]; los cuales proporcionan grandes ventajas de tipo social, económica y ambiental, por lo que se vuelven sujetos de interés para el monitoreo de contaminantes que pudieran afectar o estar afectando su función natural como ecosistema.

Fig. 1 a) Estación de monitoreo con sus respectivos sensores: b) Salinidad, c) Oxígeno Disuelto y Temperatura, d) Sensor ORP (Potencial de óxido reducción), e) pH



Según el Plan de manejo del área natural y humedal de la Bahía de Jiquilisco, uno de los principales problemas para la gestión del área es la insuficiente información de base, específicamente referida a aspectos ambientales y de conservación [3]. Este problema es común en el resto de humedales y enfatiza la necesidad de diseñar una red de monitorización de la calidad del agua que permita obtener información continua en el tiempo, que pueda ser comparada año con año y que dé insumos para: la elaboración de líneas base de calidad de agua, identificar las zonas más críticas y sobre estas realizar mayores esfuerzos de remediación y de control de la contaminación, identificar situaciones de emergencia relacionadas a descargas, entre otras. La ventaja de poseer una red es que las mediciones pueden ser comparadas en el tiempo, pues la información es recolectada siempre en el mismo sitio y puede permitir su continuidad. En este sentido el diseño y aplicación de la tecnología adaptada a las condiciones particulares de El Salvador juega un papel muy importante para lograr dichos propósitos. En este sentido las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (TIC's) pueden ser de gran ayuda para disminuir el costo del monitoreo y el tiempo de adquisición de la información.

Tanto la sostenibilidad ambiental y el desarrollo e innovación tecnológicas son líneas principales en la agenda de investigación institucional de la UCA [4], por esta razón se han desarrollado en el pasado varios proyectos enmarcados en estas líneas y en 2010 realizó un primer proyecto que unió a ambas. Ese año la UCA adquirió una estación de monitorización remota de calidad del agua en colaboración con el Centro de Métodos Numéricos para Ingeniería (CIMNE) y el Instituto Químico de Sarrià (IQS) ambos de Barcelona.

La estación de monitoreo es un dispositivo flotante que mide los parámetros de temperatura (T), oxígeno disuelto (OD), pH, salinidad y potencial de oxidación-reducción (ORP) los cuales determinan el estado de la calidad del agua. La boya registra estos parámetros en el agua cada hora, las 24 horas del día. En la Figura 1 se observan los sensores de esta estación. El dispositivo, diseñado y fabricado por CIMNE, funciona utilizando la energía del sol captada por un panel solar instalado en su

Monitorización de Variables Físico-Químicas en Humedales Ramsar de El Salvador: Caso Embalse Cerrón Grande

interior. Los datos registrados por la boya son medidos a través de sus sensores. Esta información es transmitida vía internet y hacia un servidor donde pueden ser consultados. El objetivo de ese primer proyecto fue probar el uso de nuevos sensores en la boya (adaptándolos a las necesidades de monitoreo en la país), probar la tecnología en nuestro país y evaluar si era viable utilizar este tipo de tecnología en nuestro entorno. La estación fue instalada y puesta en funcionamiento el día 25 de mayo del 2011 en un estanque camarero y se llevó registro de la calidad del agua de dicha cosecha de forma exitosa. Sin embargo el proyecto mostró que la tecnología debe adaptarse más a las condiciones del país. Esto requiere una evaluación por parte de expertos en el tema para mejorar aspectos relacionados a transmisión de datos, calibración del equipo y mantenimiento de sensores. Esta tecnología tiene mucho potencial para resolver la necesidad de monitoreo y establecimiento de líneas bases de calidad de agua de los cuerpos superficiales del país antes mencionada y lograr adaptarla a nuestro entorno contribuirá a fortalecer los Planes de Manejo de estos sitios Ramsar que son áreas de conservación prioritarias para el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales y por lo tanto para el país.

En la actualidad gracias a la potencia de los modelos numéricos de cálculo avanzado es posible crear herramientas ingenieriles que proporcionen resultados múltiples que integren resultados de inundación, situaciones de riesgos de inundación, mapas de riesgo, factores de cambios geomorfológicos y análisis de vulnerabilidad estructural de las infraestructuras afectadas, y al mismo tiempo integrar datos relacionados con parámetros geofísicos ambientales y mediciones en tiempo real. Es por esta razón que el grupo de investigadores pertenecen a distinguidos y reconocidos institutos de investigación: Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE), el Instituto Químico de Sarriá, Aula CIMNE-UCA de la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas y la Fundación CIMNE Latinoamérica (FCL). Por lo que se destaca el valioso aporte al proyecto en temas de formación presencial y a distancia de todos los grupos participantes.

A. *Objetivos del Proyecto*

Finalmente, la investigación se planteó dos objetivos fundamentales:

1) *Objetivo 1:*

- Determinar un procedimiento a seguir para establecer un proyecto piloto de monitorización de calidad de agua, que permite identificar zonas críticas de contaminación que puedan perturbar el ecosistema de un humedal Ramsar determinado.

2) *Objetivo 2*

- Evaluar la tecnología existente en CIMNE para la monitorización remota de calidad de agua para volverla de fácil mantenimiento y de menor costo y aplicable a las condiciones de El Salvador.

Para cumplir con los objetivos que se plantearon al inicio se distribuyen en tres tareas fundamentales, la primera es la selección de humedal, la segunda es la evaluación de la tecnología y finalmente la propuesta de monitoreo que mejor se adapte a nuestro entorno, el presente trabajo está dividido en la sección de tareas y resultados, donde se resume brevemente cada una de las tareas, además se muestran las mediciones realizadas. Finalmente en la sección final se muestran las conclusiones de la investigación.

II. TAREAS Y RESULTADOS

A. *Tarea 1 - Especificación del Proyecto (Objetivo 1)*

En el marco de la tarea 1 se planteó desarrollar la definición específica del proyecto, incluyendo los equipos que participarán de cada organización, a través de las siguientes actividades:

Actividad #1: Establecer un vínculo de trabajo entre el equipo de trabajo del proyecto y el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.



Actividad #2: Selección del humedal RAMSAR a estudiar, a partir del Catálogo del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Actividad #3: Definir metas y objetivos de la monitorización, es decir, determinar para qué y por qué de la monitorización.

Actividad #4: Definir la hipótesis y las escalas adecuadas de la monitorización

B. Resultados de Tarea 1.

Resultado de Actividad #1: Establecer un vínculo de trabajo entre el equipo de trabajo del proyecto y el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

La presente investigación fue propuesta por investigadores de la UCA al Fondo de investigación de la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas. Pero dada la relevancia del trabajo y su impacto en el medio ambiente del país se estableció el vínculo de trabajo con el MARN. Junto a ellos, se estableció la agenda de trabajo de la investigación. El contacto con el MARN se realizó a través del Jefe de la Unidad de Humedales, el Dr. Enrique Barraza.

Resultado de Actividad #2: Selección del humedal RAMSAR a estudiar, a partir del Catálogo del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

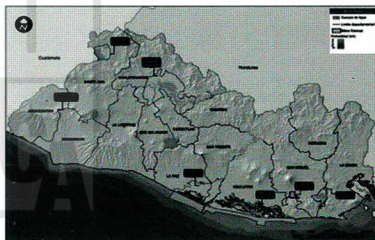
La Convención sobre los Humedales (conformada en Ramsar, Irán en 1971), conocida como la "Convención de Ramsar" es un tratado intergubernamental en el cual los países parte contraen compromisos para conservar las características ecológicas y procurar el desarrollo sostenible de sus Humedales de Importancia Internacional [3].

Estos ecosistemas incluyen manglares, pantanos dulces y salados, arrecifes de poca profundidad, embalses, lagunas, lagos, sistemas acuáticos subterráneos, entre otros. El 22 de mayo de 1999, El Salvador se convierte en país integrante de la Convención. A partir de esa fecha,

de un total de 59 humedales identificados en el país, se han declarado seis sitios Ramsar, 1. Área Natural Protegida Laguna del Jocotal; 2. Complejo Bahía de Jiquilisco; 3. Embalse Cerrón Grande; 4. Laguna de Olomega; 5. Complejo Güija y 6. Complejo Jaltepeque [3]. Los sitios Ramsar son humedales que son considerado de importancia internacional debido a su riqueza biológica y que sirve de refugio de un número significativo de aves acuáticas migratorias estacionales y presenta una gran biodiversidad.

De los seis sitios Ramsar del país, se seleccionó el Embalse Cerrón Grande como el humedal sobre el cual se realizaría el diseño de una red de monitorización de variables físico-químicas a evaluar, así como también la medición de parámetros microbiológicos y biológicos y la calidad del agua del sitio (ver Fig. 2).

Fig. 2 Ubicación de los Sitios RAMSAR de El Salvador.



(Fuente: Catálogo de Mapas de Zonas Críticas Prioritarias en Humedales Ramsar de El Salvador. Año 2012. Ministerio de Medio Ambiente).

Monitorización de Variables Físico-Químicas en Humedales Ramsar de El Salvador: Caso Embalse Cerrón Grande

Resultado de Actividad #3: Definir metas y objetivos de la monitorización, es decir, determinar para qué y por qué de la monitorización.

Los parámetros a medir que son de interés de la Unidad de Humedales del MARN, se dividieron entre los que actualmente mide el Ministerio y aquellos parámetros que serían de mucho interés para el país, el poder contar con dichas mediciones:

- Parámetros que se miden actualmente son: pH, Oxígeno disuelto, Saturación de oxígeno, Conductividad, Sólidos disueltos totales, Salinidad, Turbidez. Cabe mencionar que todos los anteriores parámetros no son medidos continuamente ni tampoco periódicamente por el MARN.
- Los parámetros que en un futuro cercano sería interesante poder medir, serían: Nitratos, Nitritos, Amoniaco, Nitrógeno total, Fosfatos, Fósforo total, Ficocianinas (pigmento algas azul verde), Clorofila A, Biomasa de micro alga clorófitos, cianófitos, pirrófitas, etc. (número de células por unidad de volumen), Coliformes fecales (son críticos e ideales el poder contar con la medición).

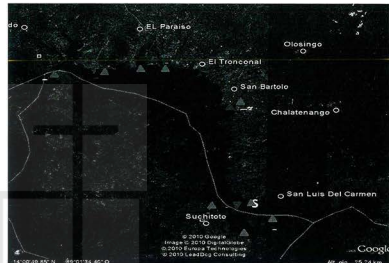
En la investigación se definió que los parámetros iniciales que se medirán de forma sistematizada sean los datos de pH,

Conductividad, oxígeno disuelto y temperatura.

Resultado de Actividad #4: Definir la hipótesis y las escalas adecuadas de la monitorización

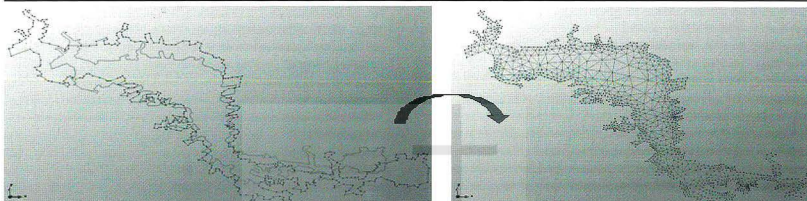
La metodología que se emplea para el monitoreo del humedal, es realizar alrededor de 11 puntos de mediciones, tal como se muestra en la Fig. 3 con los triángulos verdes.

Fig. 3 Mapa puntos de muestreo que actualmente se realizan por MARN. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente.



Como resultado de estas mediciones, se ha determinado que el comportamiento de los parámetros físico-químicos del humedal no presenta ningún patrón, por ejemplo, inmediatamente después de la presa hidroeléctrica estos parámetros presentan un comportamiento diferente al resto de todo el humedal, ya que las turbinas generan cambios físicoquímicos en el agua que hacen cambiar las características de ésta; algunos parámetros se vuelven normales y en otros, los valores se vuelven extremos. Tal es el caso del pH, en época seca, que es bastante alcalino en gran parte del humedal y después de la presa, específicamente después de las turbinas, su valor es neutro. Así con la medición de oxígeno, después de las turbinas, el valor es bajo; lo anterior puede deberse a la profundidad donde es tomada la medición actualmente.

Fig. 4 Mapa puntos de muestreo que actualmente se realizan por MARN. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente.



Hipótesis:

- Actualmente los valores de los diferentes parámetros se visualizan a través de gráficos unidimensionales, lo que dificulta su interpretación. Es necesario visualizarlos en un sistema información Geográfica (GIS) y generar áreas de concentración en todo el embalse que permitan una mejor visualización del comportamiento de estos a lo largo del mismo. Para realizar esto se pueden tomar valores en varios puntos y realizar interpolaciones o se puede desarrollar una simulación del entorno que permita predecir el comportamiento de dichos parámetros.

Escala de la Medición:

- Debe considerarse la disponibilidad de acceso a los puntos de medición.
- Hacer una simulación para ver el comportamiento con los puntos que se tienen medidos por el momento para ver cómo se distribuye.

C. Tarea 2 - Evaluación de Tecnologías existentes en CIMNE (objetivo 2)

El objetivo de la tarea 2 era evaluar la tecnología existente en CIMNE en temas afines con la temática de monitorización in-situ y a distancia, acoplamiento de sensores externos, sistemas de transmisión de datos y fuentes de alimentación.

Actividad #1. Evaluación de tecnologías existentes en CIMNE, tanto en la recolección de datos como en la transmisión de datos, en base a experiencias previas de monitorización de agua en El Salvador.

D. Resultado de la Tarea #2.

Resultados de Actividad #1. Evaluación de tecnologías existentes en CIMNE, tanto en la recolección de datos como en la transmisión de datos, en base a experiencias previas de monitorización de agua en El Salvador.

1. Software de análisis.

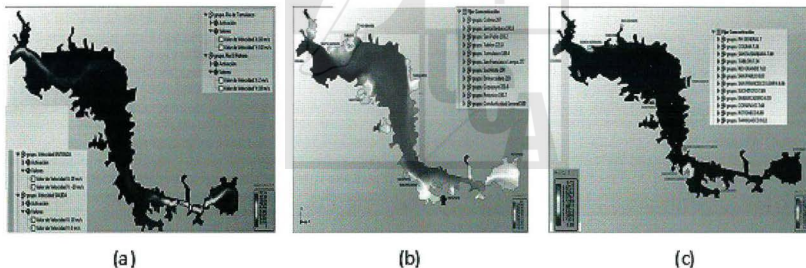
La primera herramienta que se evaluó fue el software Tdyn. Dicho software es un entorno de simulación de dinámica de fluidos reales (CFD)

basado en la solución numérica de las ecuaciones de Navier-Stokes para fluidos incompresibles o ligeramente compresibles, empleando el método estabilizado de elementos finitos [5]. Para evaluar el software fue necesario generar la geometría en el preprocesador. Para esto se extrajo la geometría del humedal a través de una imagen satelital y se importó directamente al programa como se muestra en la Fig. 4(a) y posteriormente se procede a generar la malla de la geometría la malla está construida de forma no homogénea que da acceso tener una mejor resolución en las zonas donde la geometría cambia abruptamente tal como se observa en la Fig. 4(b).

Para realizar las pruebas con el módulo RANSOL, el cual permite simular la fluidodinámica de un cuerpo, se realizó una simulación suponiendo velocidades de los tres principales ríos que abastecen a dicho humedal, el río Lempa, el río Tamulascos y el río El Potrero. En la Fig. 5(a) se muestra el comportamiento de las velocidades dentro del humedal suponiendo

estas entradas. Para probar el módulo ADVECT que permite simular el transporte de especies se utilizaron datos tomados en 2008 por el MARN en el embalse y que fueron proporcionados a los miembros del equipo de investigación. Los resultados con este módulo se muestran en Fig. 5(b) y Fig. 5(c) que muestran el comportamiento de la conductividad y del pH adentro del humedal. Para estas simulaciones se utilizaron los parámetros que trae predeterminados el software: coeficiente de difusión igual a 1, generación y consumo de especies despreciable y en el caso de la simulación de la fluido dinámica se supusieron velocidades de entrada además se tomaron 48 puntos del humedal los detalles de dicho muestreo. Los resultados de estas simulaciones previas, permiten realizar algunas predicciones de la distribución de las variables de pH, temperatura, conductividad y oxígeno disuelto. Pero el modelo del humedal debe ser sintonizado de una mejor manera, para ello se requiere otros datos, como es la velocidad de los afluentes y desagües del embalse.

Fig. 5 Resultados de Tdyn. (a) Magnitud de de velocidad del fluido. (b) Resultado de la conductividad mediante módulo ADVECT (c) Resultado de pH



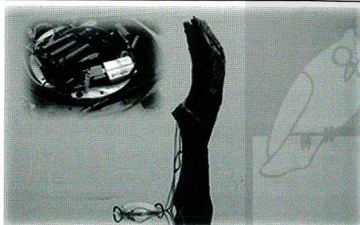
Monitorización de Variables Físico-Químicas en Humedales Ramsar de El Salvador:
Caso Embalse Cerrón Grande

2. Hardware de Medición

En cuanto al hardware de medición, se tiene en la UCA un prototipo de boya de medición desarrollada por personal de CIMNE, luego de las pruebas de campo se determinó los siguientes problemas:

- i. La transmisión de datos: actualmente se realiza mediante conexión GPRS y es necesario una dirección IP fija, que los proveedores actuales de El Salvador no brindan
- ii. La construcción física debe modificarse, dado que las embarcaciones podrían chocar contra ella por su baja visibilidad
- iii. Los sensores, deben estar provistos de un sistema para mantener la limpieza de los sensores y mejoras en la sintonización.

Fig. 6. Hardware para la medición con tecnología CIMNE



E. Tarea 3 - Diseño del sistema de monitorización de humedales (objetivo 2)

El objetivo de la tarea 3 es la determinación de las tecnologías apropiadas para la monitorización del área de estudio elegida para el desarrollo del proyecto. Especificación de los parámetros técnicos a medir, lugares de implementación y tiempos de medición de parámetros.

Actividad #1. Selección del diseño apropiado de la monitorización que se adapta a las necesidades del Ministerio y a los costos implicados en el proceso.

Actividad #2. Determinación de los parámetros físico-químicos a medir adentro del humedal.

Actividad #3. Determinación del número de sitios donde se tomarán las mediciones y la duración de la monitorización.

Actividad #4. Definición del protocolo de monitorización de los parámetros físico-químicos y/o biológicos.

F. Resultados de la Tarea #3.

Resultados de la Actividad #1. Selección del diseño apropiado de la monitorización que se adapta a las necesidades del Ministerio y a los costos implicados en el proceso.

Dado que actualmente el MARN realiza mediciones en las orillas del humedal, no hay registro histórico de mediciones dentro y a lo largo de todo el humedal, por tanto se proponen dos diseños para realizar las tareas de monitoreo adecuadamente.

1. Unidad de medición Móvil: Lancha de medición automatizada.

Este sistema de medición se requiere para establecer un marco de mediciones globales a lo largo de un humedal para poder caracterizarlo.

2. Estación de medición anclada.

Este sistema de medición se requiere para realizar mediciones a lo largo del tiempo en puntos preestablecidos del humedal, para obtener la información en tiempo real.

1) Unidad de medición Móvil: Lancha de medición Automatizada

El propósito de esta unidad de medición, es poder realizar las mediciones de las variables físico químicas a lo largo de su recorrido. Un dispositivo de este tipo repercute en una mejor y rápida captura de datos, dado que hoy

por hoy las mediciones deben realizarse con equipos de 3 o 4 personas por lancha. Y que luego de realizadas las mediciones es necesario hacer trabajo de oficina reescribiendo los datos a la computadora para poder luego ser analizados y presentados. Este prototipo tiene las siguientes características:

- Posibilidad de transportar y realizar mediciones en otros humedales.
- Cada medición será referenciada vía GPS
- Posibilidad de medir en diversos puntos del humedal
- Independencia del desplazamiento del agua. En el caso de Cerrón Grande uno de los problemas que se tienen, es que en los meses de abril y mayo la cota del embalse llegan a su mínimo, lo que produce el resurgimiento de tierra que ha estado inundada.
- No es necesario contratar vigilancia del dispositivo ya que se lleva al sitio cuando se necesita
- Abastecimiento por baterías. No es necesario un sistema de auto carga.
- La calibración del equipo puede realizarse en laboratorios
- Medición en determinado momento del día
- Las mediciones de la noche por lo general no se realizan
- No requiere la transmisión de datos en tiempo real.

2) Estaciones de medición anclada

Por medio de una estación de medición anclada lo que se busca en la continuidad de las mediciones en tiempo y lugar. Para establecer mapas en tiempo real que evidencien los cambios físico químicos del humedal que se está estudiando. El reto de esta propuesta es mejorar la comunicación del prototipo actual, y mejorar el proceso de calibración del equipo.

Este prototipo tiene las siguientes características:

- Dispositivos instalados in-situ
- Se realizan mediciones las 24 horas del día
- Mediciones referenciadas vía GPS

- Sistema de baterías y generador fotovoltaico
- Auto calibración
- Transmisión de los datos a una estación central vía RF
- Red de datos del humedal
- Requiere desplazarla en épocas del año
- Se necesita vigilancia constante del dispositivo

Resultados de Actividad #2. Determinación de los parámetros físico-químicos a medir adentro del humedal.

Como primer acercamiento a la monitorización en tiempo real de los humedales, se decidió medir cuatro parámetros importantes que describen el comportamiento físico-químico del agua, estos son: Temperatura, Oxígeno disuelto, Conductividad y pH. En las mediciones también se realizó la toma de muestras de agua para el análisis en laboratorio.

Resultados de Actividad #3. Determinación del número de sitios donde se tomarán las mediciones y la duración de la monitorización.

En la Fig. 7 se muestra los puntos medidos en el humedal. Con estos datos se procedió a realizar interpolaciones de las mediciones mediante el algoritmo de Interpolación de Ponderación por distancia Inversa (IDW, por sus siglas en inglés) [6]. Donde se obtuvieron los resultados que se muestran en la Fig. 8.

Fig. 7. Mapa de malla de puntos medidos el 28 de febrero de 2013

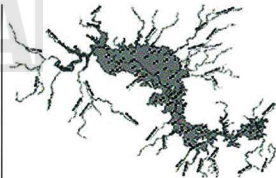
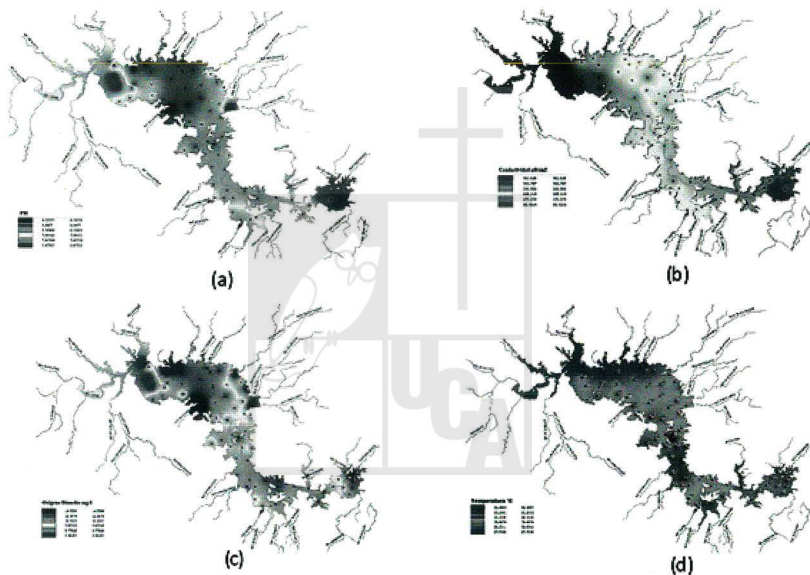


Fig. 8 (a) Mediciones de pH. (b) Mediciones de Conductividad. (c) Mediciones de oxígeno Disuelto. (d) Mediciones de Temperatura



Monitorización de Variables Físico-Químicas en Humedales Ramsar de El Salvador:
Caso Embalse Cerrón Grande

El número de sitios para tomar mediciones dependerán de las etapas del proceso de monitoreo tal como se explica en la actividad #4.

Resultados de Actividad #4. Definición del protocolo de monitorización de los parámetros físico-químicos y/o biológicos.

De la investigación de campo, se ha definido diferentes pasos para realizar la monitorización de los parámetros físicos-químicos, para ello se han establecido dos etapas. En la etapa 1 se establece que deben realizarse mediciones a lo largo de todo el humedal, con el objetivo de caracterizar el humedal observando el comportamiento del mismo a lo largo de geografía.

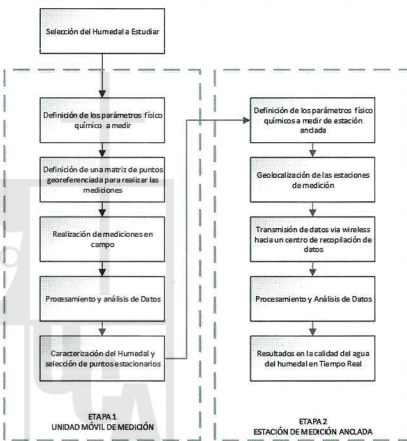
Para el caso específico del Embalse Cerrón Grande, se requiere repetir la etapa 1 en diversos periodos del año, dado que este cuenta con una dinámica estacional ya que su función principal es la producción de energía eléctrica. Una vez finalizada la etapa 1, se prosigue a una etapa 2, que es colocar equipo de medición anclado que cumple con el objetivo de realizar mediciones en lugares estacionarios a lo largo de un periodo de tiempo, cada una de las etapas cuenta con pasos, tal como se describe en la Fig. 9. Protocolo para la monitorización de Humedales Ramsar

III. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se realiza una propuesta del protocolo a seguir para realizar el monitoreo de los humedales Ramsar, y como caso específico el Embalse Cerrón Grande. Dado que no se carece de mediciones históricas a lo largo del Humedal fue necesario plantear el proceso en dos etapas. El primer de ellos realizado en este trabajo, es medir de forma metódica el humedal para luego realizar el análisis de estos datos y así poder establecer características del comportamiento del Humedal.

El Embalse Cerrón Grande, es un embalse de capacidad estacional, por tanto, la dinámica del mismo cambia a lo largo del año. En el presente

Fig. 9 Protocolo para la monitorización de Humedales Ramsar



trabajo se reducido el tiempo de investigación a la época de seca del año y por tanto el embalse está en el período de vaciado. Se requiere realizar mediciones en otras épocas del año.

Para mejorar y sistematizar las mediciones de campo, se propone una herramienta para ello, que sea capaz de reducir el tiempo de captura de datos, y reducir el número de horas de trabajo hombre para realizar las mediciones. Una vez se haya establecido las características del humedal puede optarse a colocar estaciones ancladas las 24 horas del día para llevar a cabo una monitorización del humedal de forma remota.

IV. REFERENCIAS

- [1] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México, «Cambio Climático. Ciencia, Evidencia y acciones». 2009.
- [2] F. J. Abarca, «Técnicas para evaluación y monitoreo del estado de los humedales y otros ecosistemas acuáticos». México, 2007.
- [3] MARN, «Catálogo de Mapas de Zonas Críticas Prioritarias en Humedales Ramsar de El Salvador». Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador, dic-2011.
- [4] UCA, «Plan Estratégico 2009 - 2013 - Universidad Centroamericana José Simeón Cañas». feb-2009.
- [5] COMPASS, «Tdyn Fluid Dynamics & Multi-physics Reference». COMPASS Ingeniería y Sistemas SA, 2001.
- [6] K. H. Kennedy, «Introduction to 3D Data - Modeling with ArcGIS® 3D Analyst™ and Google Earth™», 2009.

GID: The Personal Pre and Postprocessor, Centro Internacional de Métodos Numéricos para Ingeniería. (s. f.). CIMNE. Recuperado a partir de <http://gid.cimne.upc.es/>

V. BIOGRAFÍAS

Carlos A. Juárez nacido en 1983. Ingeniero Electricista en 2005 de la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas. Doctorando en Ingeniería de la Universidad Nacional de San Juan. Actualmente es profesor del Departamento de Electrónica e Informática de la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas. Campos de interés, sistemas de monitoreo, control y estabilidad y procesamiento digital de Señales.

Lizeth Rodríguez Rodríguez: es Arquitecta (UCA, El Salvador, 2004) actualmente realiza su Maestría en Estructuras en Arquitectura (UPC, Barcelona). Es docente e investigadora del Departamento de Organización del Espacio de la UCA desde 2005 en el área de tecnología en construcción. Ha realizado diversas publicaciones en temas como anuarios del trabajo departamental, riesgos ambientales, costos y presupuestos, procesos constructivos y el proyecto de rehabilitación de la Iglesia El Carmen.