

Estudio Multitemporal del Embalse El Isiro entre los Años 2013-2016 Haciendo Uso de Imágenes Satelitales

Multi-temporal study of El Isiro water reservoir between the years 2013-2016 using satellite images.

Laura M. García, *Investigadora, ABAE.*

Resumen— Para el diseño de planes y políticas orientadas al desarrollo, se requiere de cartografía actualizada de los elementos naturales y antrópicos presentes en el espacio geográfico. La detección de cambios es un proceso de identificación de diferentes estados de un objeto o fenómeno observado en diversos instantes temporales, constituye una herramienta para la actualización de la información de forma periódica. Esta investigación, a través del análisis multitemporal de imágenes de satélite del VRSS-1 Satélite Miranda y Landsat 8- OLI requiere determinar la metodología más acertada para el monitoreo de los reservorios de agua potable, en este caso particular el embalse El Isiro, igualmente definir si la integración de los métodos utilizados permiten dar una mejor y más acertada visualización de la realidad en cuanto a la situación del embalse en cuestión. El propósito de este proyecto es visualizar y determinar las variaciones que ha presentado el embalse El Isiro del Estado Falcón, entre los años 2013-2016, así como también, identificar las causas probables de las mismas, complementando la información generada a partir de las imágenes de satélite con datos de precipitación. Con esta metodología se pretende integrar de una manera más óptima, el uso de las imágenes satelitales para la monitorización de las presas, cauces, entre otros, sirviendo de apoyo a otras instituciones del Estado, en la generación de productos de interés nacional, contribuyendo con el seguimiento de los eventos naturales dados por abundantes lluvias o épocas de sequía.

Palabras Clave— Detección de cambio, embalses, imágenes satelitales, VRSS-1, Venezuela.

Abstract— For the design of development-oriented plans and policies, an updated mapping of the natural and anthropic elements present in the geographic space is required. The detection of changes is a process of identification of different states of an object or phenomenon observed at various time points, it is a tool for updating the information periodically. This research, through the multitemporal analysis of satellite imagery of VRSS-1 Satélite Miranda and Landsat 8-OLI, requires determining the most appropriate methodology for the monitoring of the water reservoirs, in this case, El Isiro

reservoir, and also to define if the integration of the methods used allows a better and more accurate visualization of the reality. The objective of this project is to visualize and determine the variations that the Isiro reservoir of the State Falcón has presented between the years 2013-2016, as well as to identify the probable causes of the behavior of the reservoir, complementing the information generated from the images with Precipitation data. This methodology aims to integrate, in a more optimal way, the use of satellite images for the monitoring of dams, channels, among others, serving with other State institutions, in the generation of products of national interest, Natural events given by abundant Rain or drought.

Index Terms— Change Detection, water reservoir, NDWI, satellite imagery. VRSS-1, Venezuela.

I. INTRODUCCIÓN

DURANTE el período 2013 a 2016, por consecuencias del cambio climático en el mundo, se han venido presentando cambios en los sistemas de abastecimiento y control de agua potable, en consecuencia, los embalses de Venezuela han sufrido la disminución de sus cuerpos de agua, lo cual ha traído como consecuencia el desabastecimiento prolongado del recurso hídrico.

A partir del 2013 comenzaron a observarse cambios notables la disminución de los cuerpos de agua, cabe destacar que en Venezuela existen al menos 107 embalses, los cuales constituyen el reservorio donde se almacenan los excesos de agua durante los períodos de mayor esorrentía. Estos embalses se construyen interponiendo una estructura (presa, dique o represa) impermeable y estable, al flujo de agua en una sección adecuada del cauce.

De acuerdo con la información emitida en la prensa nacional y por parte del Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas existen embalses priorizados, y uno de ellos es el Embalse El Isiro, el cual requiere encontrarse en óptimas condiciones, ya que de éste depende el suministro de agua potable hacia todas las poblaciones del Estado Falcón.

II. EMBALSE EL ISIRO

El embalse El Isiro es una presa de embalse, se encuentra ubicado a 7 km al sur de La Vela de Coro, entre las coordenadas N 1.253.394,41 y E 431.721,56 UTM-REGVEN, limita al norte con el Golfete de Coro y al Sur con los municipios Democracia, Sucre, Bolívar y Petit, al este con el Municipio Colina y al Oeste con el Municipio Urumaco. Fue construido entre los años 1962 – 1963 por Tecnomeca [1].

Este embalse “tiene una capacidad a nivel normal de 157,5 millones de m³, un área inundada de 1.900 ha y un nivel de aguas normal de 65,00 m.s.n.m” [1], se abastece principalmente por la cuenca de su mismo nombre, la cual se ubica en el centro de la Sierra de San Luis, en donde su principal surtidor es el Río Coro, con sus afluentes principales los Ríos Siburúa, manantiales, Hueque, La Caridad y Meachiche, los cuales tienen sus nacientes en los manantiales de los mismos nombres, igualmente se alimenta de aguas subterráneas, y ocupa una superficie de 2.470 ha.

Suministra a la Planta de potabilización El Isiro, a 350 metros del embalse, la cual inició actividades en 1965 [1].

Cabe destacar que el embalse El Isiro se encuentra en una planicie de inundación, por lo tanto las fallas en su estructura pudieran afectar a las poblaciones emplazadas dentro de la cuenca del Río Coro principalmente, tanto por rompimiento-inundación o por falta del recurso hídrico-sequía [2]. erence page limits.

A. Características Estructurales del Embalse El Isiro

- Tipo de Presa: de tierra y sección zonificada, espaldones de grava arcillosa, núcleo central arcilloso y eje longitudinal curvo. Posee una altura máxima de 35 m, longitud de la cresta 460, ancho de la cresta 7 m, cota de la cresta 69 m.s.n.m y volumen de terraplén 790.000 m³.
- Aliviadero: en el estribo izquierdo de la presa, consta de un vertedero frontal, seguido de un canal rápido de ancho variable, posee una longitud de cresta de 30 m y una descarga máxima de 180 m³/s.
- Obra de toma: ubicado en el estribo izquierdo de la presa, la salida por bombeo está formada por una torre abierta en cuya plataforma superior hay instaladas 4 bombas de capacidad 200 lps cada una, gasto máximo 1.6 m³/s.
- Superficie inundada: 1.900 Hectáreas en la Cota 65m.
- Propósito: abastecimiento de agua potable a las ciudades de Coro, La Vela y La Península de Paraguaná. Más de 171.000 habitantes.
- Operador: Hidrofalcón.
- Área de la cuenca: 146 Km² [1] [3].

III. METODOLOGÍA

Para la realización de esta investigación se plantearon 3 fases. La primera de ellas correspondiente a la fase preliminar en donde se realizó la delimitación espacio-temporal. Igualmente se ubica la plataforma y sensor a usar.

En este caso se usaron dos plataformas, VRSS-1 *Venezuelan Remote Sensing Satellite-1* o Satélite Miranda, con su cámara de alta resolución (PMC) y sensor multiespectral (MSS), el cual posee una resolución espacial de 10 m, para la

plataforma Landsat 8 con su sensor *Operational Land Image* (OLI), con una resolución espacial de 30 m.

Se utilizaron 3 imágenes del Satélite VRSS-1 de las siguientes fechas: 11-09-2014, 21-09-2015 y 16-08-2016 y 4 imágenes Landsat 8 OLI de las siguientes fechas: 28-08-2013, 16-09-2014, 18-08-2015 y 05-09-2016.

Para la última plataforma mencionada se aplicará el método MAD (*Multivariate Alteration Detector*). Se tomaron en cuenta los siguientes parámetros tanto para las imágenes del VRSS-1 y para el Landsat 8-OLI: ángulo de elevación solar, LTDN (*Local Time of Descending Node*) u hora de captura del sistema sensor, y se trató de adquirir las imágenes en fechas iguales o cercanas para los distintos años y evitar imágenes con roll o maniobra de toma.

Otro método para evaluar los cambios en el embalse será el NDWI (*Normalized Difference Water Index*) índice de Diferencia Normalizada de agua, el cual realza los elementos y cuerpos que contengan altos niveles de agua, luego de esto, se extrae de la imagen los resultados del índice para poder calcular la superficie total de las poligonales que corresponden a cuerpos de agua. El último método, es el de segmentación de imágenes, el cual consiste en la partición de las imágenes en poligonales de acuerdo a sus valores digitales o ND (número digital), existen varios tipos de segmentación de imágenes, en este caso se utilizó el *Mean Shift*, luego de la partición de la imagen se obtienen las poligonales correspondientes al cuerpo de agua del embalse y se realiza el cálculo de superficie correspondiente para este método.

Para la fase 2, se solicitó al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMEH, los datos de precipitación correspondiente a los años de estudio, para así evaluar la variación de este elemento de forma interanual. Se considera necesaria esta información debido a que este embalse se abastece de las cuencas del Río Coro y Hueque principalmente, además de aguas subterráneas. Fueron tomados entonces los datos correspondientes a 6 estaciones, que se ubican dentro de las cuencas antes mencionadas y emplazadas en un radio de influencia directa al embalse de 40 km.

Igualmente en esta fase se realiza el pre y post procesamiento de las imágenes, definido por el cálculo de reflectancia de las mismas y la aplicación de los geoalgoritmos elegidos para la ubicación de la detección de cambios.

Luego del preprocesamiento se comienza con la aplicación de los métodos elegidos para la detección de cambios, en primer lugar, se toma en cuenta la segmentación de imágenes, en segundo lugar, se aplica el método MAD (*Multivariate Alteration Detector*) y por último se ubican los resultados arrojados por medio del Índice de Agua de diferencia Normalizada o NDWI. A este último caso se aplicaron clusters de información o agrupamientos de cambio, para extraer las poligonales correspondientes al cuerpo de agua.

La fase 3, refleja los resultados de los métodos aplicados a cada una de las imágenes, su comparación y conclusiones.

En el punto siguiente se describen las acciones que se realizaron para obtener los resultados.

IV. PROCEDIMIENTOS

Los procedimientos se realizaron en dos partes, el pre y post procesamiento de las imágenes satelitales, los cuales se detallan de la siguiente manera.

A. Pre Procesamiento de las Imágenes Satelitales

Luego de haber seleccionado las imágenes correspondientes se procede a obtener los parámetros físicos de cada una de ellas, es decir, los valores de reflectancia correspondientes que permitirán que el sistema a usar arrojen los resultados correctos.

1. Para las imágenes VRSS-1, se realiza la corrección atmosférica correspondiente y procesan para obtener la reflectancia en el software *Management and View Subsystem* (MAVS), el cual es un software diseñado para procesar imágenes satelitales pertenecientes al satélite Miranda, el cual permite la generación de productos con valor agregado en diferentes áreas como: ambiente atmosférico, ambiente acuático, ambiente ecológico, ambiente costero, índices de vegetación; evaluar zonas afectadas por incendio e inundación y para la generación de productos de procesamiento avanzado.
2. Para las imágenes Landsat 8 OLI, se ingresa en el software QGIS 2.18, a través del complemento *semiautomatic classification plugin*, menú pre procesamiento se ingresan las imágenes del sensor requerido y se realiza la corrección atmosférica por el método DOS (*Dark Object Subtraction*).

Luego de obtener las imágenes se realiza la combinación de bandas. En el caso del VRSS-1 la combinación 432, y para las imágenes Landsat 8 OLI se elige la combinación de bandas 564, que corresponde a la mejor visualización de elementos tierra y agua. Para finalizar la fase de pre procesamiento, se realiza un corte de las imágenes, correspondiente al área de estudio.

B. Post Procesamiento de las Imágenes

El post procesamiento está definido de acuerdo a tres métodos, para hacer las comparaciones correspondientes entre cada uno de ellos y su relación con la efectividad del resultado.

1) Segmentación

La segmentación “es la partición de una imagen en regiones que pueden o no tener un significado relativo a la escena respectiva” [4].

Es posible que “la partición sea real o virtual y nótese que en cuanto a las regiones, no se requiere necesariamente que tengan una relación directa (significado) con los objetos de la escena. Esta amplitud en la definición de segmentación es con el fin de dejar abierta la posibilidad a transformaciones intermedias que conduzcan en última instancia a un análisis de la imagen” [4].

El tipo de segmentación usado en este caso es la segmentación *Mean Shift*, el cual es un algoritmo de agrupamiento no paramétrico introducido por Fukunaga y Hosteltler que se usa para buscar las modas de una función de densidad de probabilidad, representada por un grupo finito de muestras. Las iteraciones del *mean shift* son simplemente

iteraciones de punto-fijo, lo cual indica que los valores de los píxeles que más se parezcan son atraídos a los puntos estacionarios formando poligonales [5].

En este sentido la segmentación *Mean shift* agrupa píxeles cercanos o adyacentes con características espectrales similares, los polígonos que se generan poseen suavizado espectral para obtener unidades de Interés [6], caso contrario a la segmentación *watershed*, en donde los polígonos poseen ángulos más rectos y menos suavizados. Ver Fig 1.

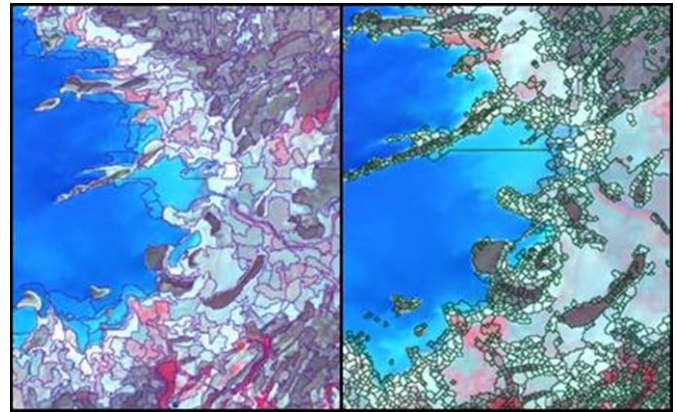


Fig. 1. Segmentación *Mean Shift*. Imagen izquierda, puede observarse que las poligonales que se generan mediante este procedimiento son más suavizadas o redondeadas, en concordancia con las características visuales de los elementos, muy diferente a la segmentación *watershed* imagen derecha.

2) NDWI índice de aguas

En NDWI (*Normalized Difference Water Index*) realiza los cuerpos de agua, maximiza la reflectancia de las características acuáticas a través de la banda verde, minimiza la reflectancia del NIR (*Near Infrared* – infrarrojo cercano), para las características acuáticas, maximiza la alta reflectancia del NIR para la vegetación y suelos. Se genera a través de la siguiente ecuación (1):

$$NDWI = \frac{\phi_{NGREEN} - \phi_{NIR}}{\phi_{NGREEN} + \phi_{NIR}} \quad (1)$$

En donde: ϕ_{NGREEN} = Banda en verde (VRSS-1- B2)

ϕ_{NIR} = Infrarrojo cercano (VRSS-1- B4).

El resultado de esta ecuación indica que los valores más altos corresponden a alta concentración de agua, el suelo y la vegetación tienden a cero o valores negativos. Para el área de estudio el resultado que arroja durante los años de estudio. Ver Fig 2.

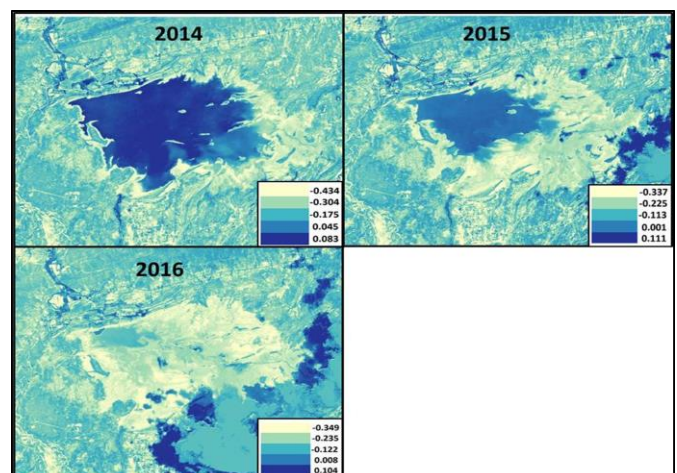


Fig. 2. NDWI para el Embalse El Isiro años 2014, 2015 y 2016.

V. MULTIVARIATE ALTERATION DETECTOR MAD

Es un geoalgoritmo por medio del cual se obtienen los cambios entre dos imágenes. Está basado en el trabajo de Nielsen A. y Conradsen K. titulado Detección de alteración multivariado (MAD) en datos de imágenes multispectrales y bi-temporales: un nuevo enfoque para los estudios de detección de cambios, este surge por “la necesidad de mejorar la técnica de diferenciación de imagen simple haciendo las imágenes tan similares (correlacionadas) como sea posible, antes de tomar su diferencia” [7].

El método MAD, “transforma dos series de observaciones multivariantes (por ejemplo, dos imágenes multispectrales de satélite que cubren la misma área geográfica adquirida en diferentes fechas) en una diferencia entre dos combinaciones lineales de las variables originales, estas diferencias cuantifican el cambio máximo (es decir, la diferencia que explica la varianza máxima) en todas las variables simultáneamente” [8]. Ver Fig. 3.

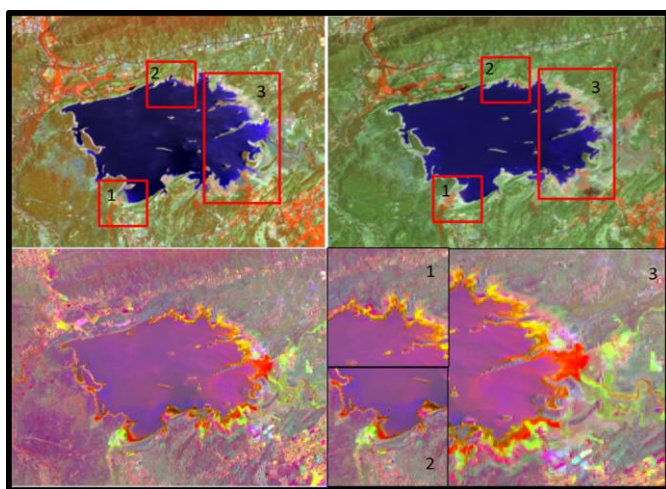


Fig. 3. MAD, 2013-2014 Imagen Landsat 8-OLI, en los recuadros puede observarse que el geoalgoritmo coloca de color rojo los mayores cambios y de color amarillo los cambios medios.

Se realizó el procedimiento anterior por lotes, es decir, por grupos de años, primero 2013 a 2014, segundo 2014 a 2015 y por último de 2015 a 2016.

VI. RESULTADOS

En primer lugar, se ingresan los datos en el software SIG (capa vectorial resultante del proceso de segmentación), los clusters de información y extracción de polígonos del raster para el método NDVI y la imagen obtenida del geoalgoritmo MAD, se realiza la unión de polígonos en el caso segmentación y MAD, y se determina el área del espejo de agua para cada uno de los años requeridos.

1) Año 2014

Para este año, se obtuvo que el espejo de agua disminuyó un 42,65 % correspondiente a 1.089,74 ha, con respecto a su estado y capacidad inicial de 1.900 ha. Para verificar esta disminución, se realizó el procedimiento de segmentación para

una imagen Landsat 7 ETM+ del año 2011, debido a que el inicio de operaciones del VRSS-1 es a partir del año 2013, se tomó entonces una imagen del año 2011 para la Plataforma antes mencionada y se obtuvo que para ese año el espejo de agua disminuyó en un 34,49 % de acuerdo a su capacidad inicial. Ver Tabla I.

Espacialmente se puede visualizar que entre los años 2011 a

TABLA I
DISMINUCIÓN DEL ESPEJO DE AGUA 1963-2011-2014

Inicial 1963	2014	Disminución Esp de agua
Sup (ha)	Sup (ha)	%
1.900	1.089,74	42,65
2011	2014	Disminución Esp de agua
Sup (ha)	Sup (ha)	%
1.663,24	1.089,74	34,49

Fuente: elaboración propia en base a resultados obtenidos del proceso de segmentación.

2014 el espejo de agua disminuyó considerablemente su superficie. Se observa en la poligonal amarilla el estado inicial de espejo de agua para el año 2011 y la poligonal de color rojo para el año 2014. Ver Fig 4.

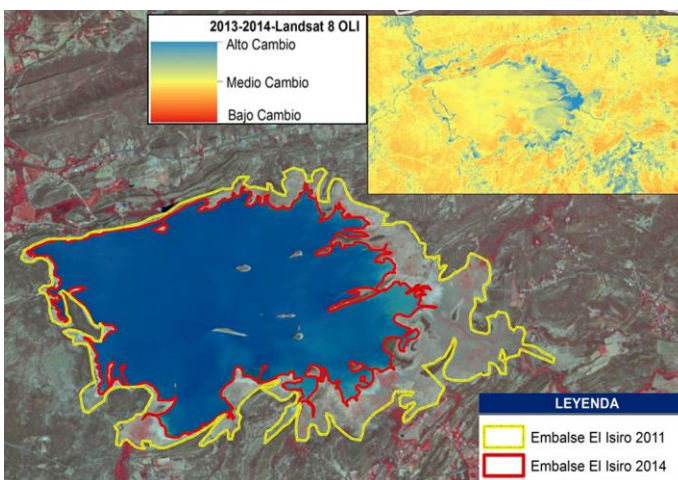


Fig. 4. Espejo de agua Embalse El Isiro 2011-2014, Imagen VRSS-1 del 11 de septiembre de 2014.

Se puede observar en la Fig. 4, en la parte superior derecha los resultados del MAD generado a través de Qgis en si versión 2.18.5 donde la coloración azul representa el alto cambio, y el amarillo cambio medio presente en las imágenes correspondientes a la plataforma Landsat 8-OLI, con las siguientes fechas de adquisición: 28 de agosto de 2013 y 15 de septiembre de 2014. Puede observarse que en cierta forma coincide con las áreas de la poligonal de segmentación donde se evidencia más el cambio hacia el área este del embalse.

Para hacer una comparación interanual se ubicaron los datos de precipitación para el año 2013 y 2014 en período lluvioso. Para septiembre del año 2013 la medida de precipitación en mm fue de 323.4 mm y para el 2014 fue de 237,2 mm, lo cual indica una disminución en la obtención de 86,2 mm de agua precipitada por parte del embalse El Isiro. Ver Fig. 5.

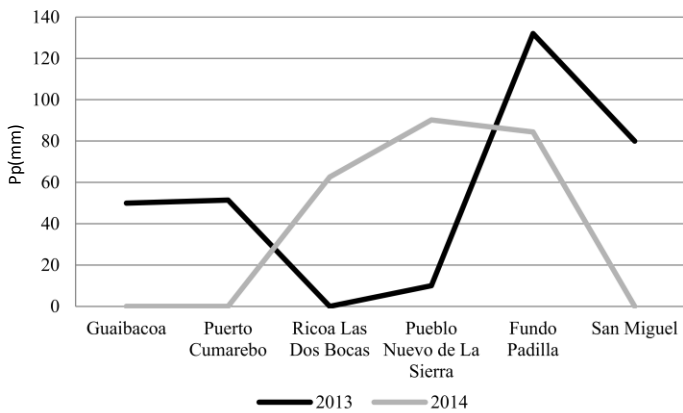


Fig. 5. Precipitación 2013-2014 Embalse El Isiro. Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH)

Por otro lado, tenemos los resultados del NDWI, partiendo de la premisa en que los resultados correspondientes a valores positivos reflejan la presencia de agua. Ver Fig. 6.

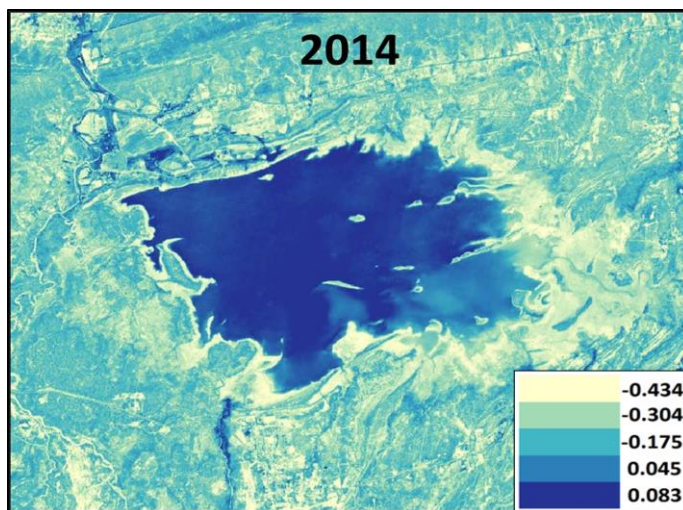


Fig. 6. NDWI para el año 2014. Imagen VRSS-1 del 11 de septiembre de 2014.

Se extrajo la poligonal por medio de la aplicación de *clusters* que posteriormente definirían la poligonal del cuerpo de agua. Para este método se obtuvo que la superficie del espejo de agua fue de 1.040,78 ha, tuvo una diferencia en cuanto al método de segmentación de unas 48.96 ha, de acuerdo al porcentaje de disminución del espejo de agua entre el estado inicial del embalse y los resultados de la técnica NDWI, es de 54,77 %.

2) Año 2015

Para el año 2015, se obtiene que para el método de segmentación, la disminución del espejo de agua entre su estado inicial en el año 1963 y para ese año es de un 71,20% de la superficie, y su disminución interanual fue de 49,80%. La precipitación se redujo considerablemente desde el año 2013 y ya para septiembre del año 2015 solo se midieron 181.6 mm de precipitación, ver Tabla II, lo que da a inferir que fue una de las causas en la disminución drástica del cuerpo de agua para esta fecha, pudiéndose visualizar en la Fig. 7, siendo esta toma de precipitación durante el período

lluvioso, por parte del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.

TABLA II
DISMINUCIÓN DEL ESPEJO DE AGUA 1963- 2014-2015

1963	2015	Disminución espejo de agua
Sup (ha)	Sup (ha)	%
1.900	547,04	71,20
2014	2015	Disminución espejo de agua
Sup (ha)	Sup (ha)	%
1.089,74	547,04	49,80

Fuente: elaboración propia en base a resultados obtenidos del proceso de segmentación.

Se puede visualizar la disminución del espejo de agua para el año 2015 a través de la Fig. 7, en la cual se pueden distinguir las poligonales pertenecientes al año 2011 color verde, año 2014 color amarillo y 2015 color rojo.

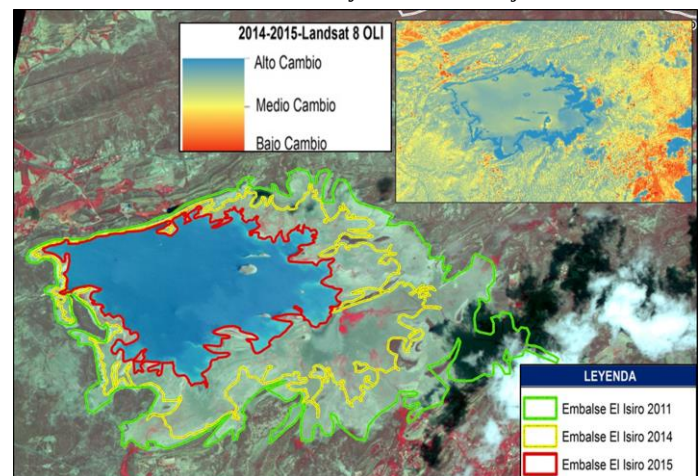


Fig. 7. Espejo de agua Embalse El Isiro 2011-2014-2015, Imagen VRSS-1 del 21 de septiembre de 2015.

La drástica disminución puede asociarse a la baja precipitación de estos últimos años, ver Fig. 8. Sin embargo deben estudiarse otra serie de factores, tanto ambientales como antrópicos que también pueden contribuir que el proceso de llenado del embalse sea más lento o limitado.

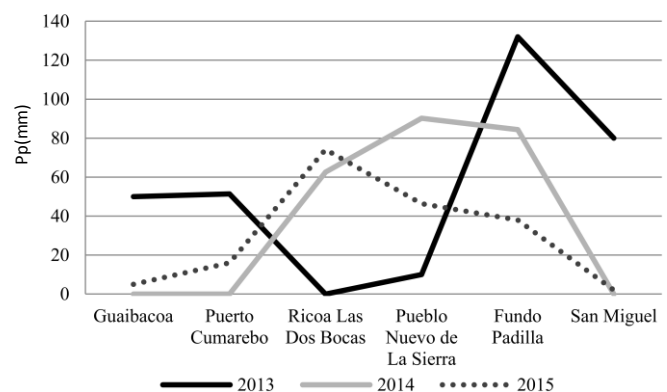


Fig. 8. Precipitación 2013-2014-2015 Embalse El Isiro. Fuente: Gerencia de Procesamiento y Calidad de Datos Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH).

Como puede observarse, en cada uno de los mapas con las poligonales obtenidas por segmentación, se les ha agregado el resultado del Geoalgoritmo Multivariate Alteration Detection MAD. Para este año la coloración azul que determina alto cambio está presente en la mayoría de la superficie del Embalse El Isiro, y se definen igualmente áreas de medio a alto cambio.

Para el caso del resultado del índice de agua NDWI, se puede observar como la presencia del agua en el área ha disminuido con respecto a los resultados de este mismo índice para el año anterior, para el 2015 la superficie del cuerpo de agua es de 557,51 ha, son 10,47 has más que para el obtenido mediante la técnica de segmentación, indicando un 70,66% de la superficie total del embalse. Ver Fig. 9.

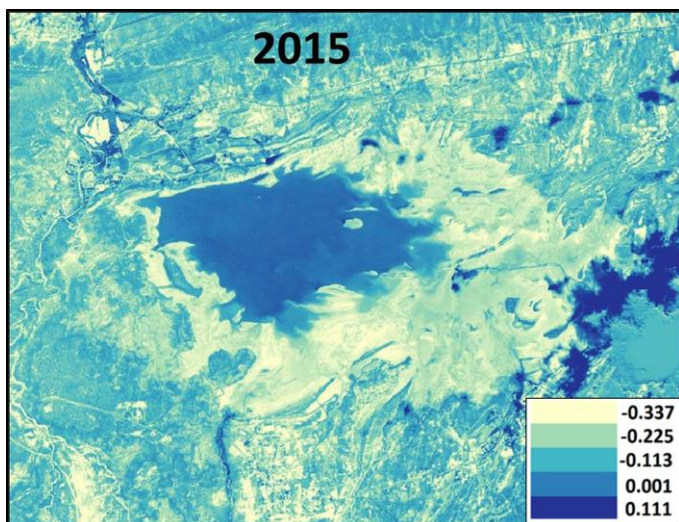


Fig. 9. NDWI Embalse El Isiro 2015, Imagen VRSS-1 del 21 de septiembre de 2015.

3) Año 2016

En la Fig. 10, se pueden diferenciar las distintas poligonales pertenecientes a los años de estudio, verde año 2011, amarillo año 2014, rojo año 2015 y fucsia 2016. Para la técnica de segmentación, espacialmente el cambio que ha sufrido este embalse es drástico e impactante, sin embargo, deben considerarse otros factores que pudieran intervenir en este proceso de disminución.

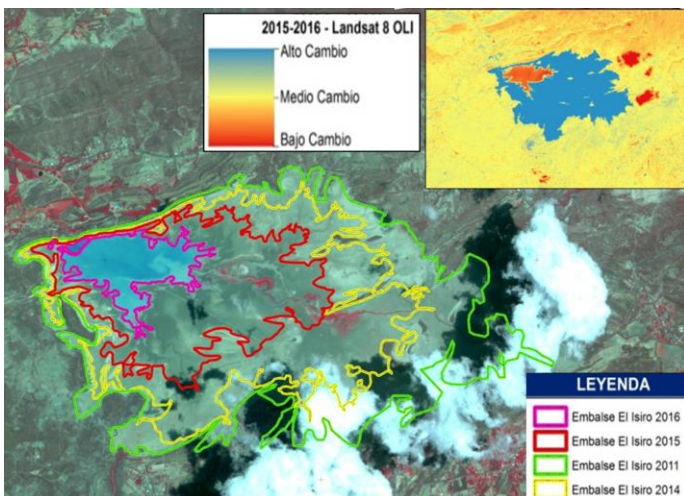


Fig. 10. Espejo de agua Embalse El Isiro 2011-2014-2015-2016, Imagen VRSS-1 del 16 de agosto de 2016.

El porcentaje de disminución con respecto a la capacidad inicial del embalse de 93,08%, faltando a penas 6, 91 % de la superficie total del embalse para llegar a su estado muerto. La pérdida de espejo de agua interanual fue de 75,98% con

TABLA III
DISMINUCIÓN DEL ESPEJO DE AGUA 1963-2015-2016

1963	2016	Disminución espejo de agua
Sup (ha)	Sup (ha)	%
1.900	131,41	93,08
2015	2016	Disminución espejo de agua
Sup (ha)	Sup (ha)	%
547,04	131,41	75,98

Fuente: elaboración propia en base a resultados obtenidos del proceso de segmentación.

respecto al año 2015. Ver Tabla III.

De acuerdo al período de lluvias entre 2015 y 2016 se presentan los siguientes resultados. La precipitación en el año 2016 fue de 91,6 mm, lo que comparándolo con las medidas obtenidas desde el año 2014 reflejan una clara disminución de la obtención de agua, siendo el período lluvioso el evaluado en esta ocasión. Ver Fig. 11.

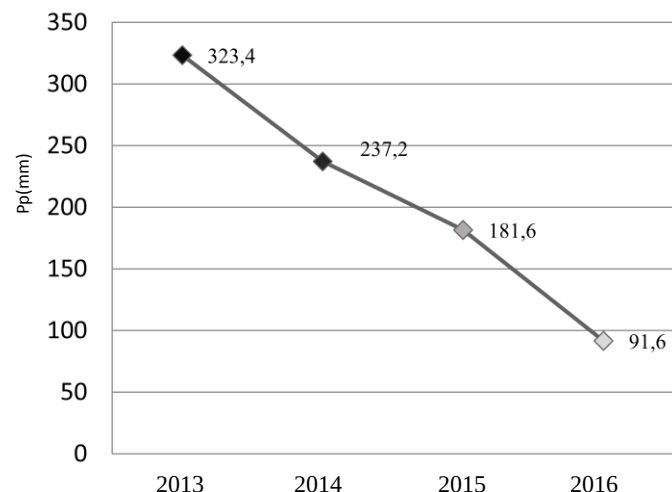


Fig. 11. Precipitación 2013-2014-2015-2016 Embalse El Isiro. Fuente: Gerencia de Procesamiento y Calidad de Datos Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH).

En cuanto a los resultados que se obtuvieron del geoalgoritmo MAD, puede visualizarse que casi la superficie total del embalse sufrió altos cambios de un año a otro, y al compararse con la imagen correspondiente al año 2014, solo ha reflejado como bajo cambio la única porción de cuerpo de agua remanente en la superficie del embalse.

En relación, a los resultados obtenidos en el índice de aguas NDWI, se obtuvo que la superficie del espejo de agua para este año fue de 127,62 ha, que son 3,79 has menos que el resultado obtenido por segmentación. Por otro lado, tenemos que el porcentaje de la disminución del cuerpo de agua en cuanto a su estado inicial fue de 93,28%. Ver Fig. 12.

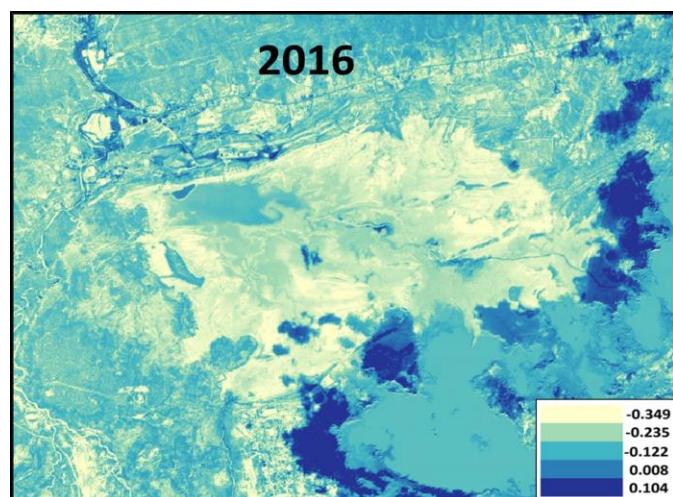


Fig 12. NDWI, Embalse el Isiro 2016, Imagen VRSS-1 del 16 de agosto de 2016

VII. CONCLUSIONES

Con respecto a los resultados de los métodos aplicados, el método que tuvo un mayor acercamiento a la realidad de los datos fue el NDWI, esto debido a que los parámetros usados para generar este índice son de tipo físico, es decir de la reflectancia real de los elementos presentes en el área de estudio, el método de segmentación obtiene los datos y los agrupa según el número digital que posee los píxeles de cada elemento, por lo que puede decirse que arroja datos más cualitativos y visuales que cuantitativos en términos físicos.

En cuanto al algoritmo MAD, igualmente se puede decir que es otro método cualitativo de observación, que requiere de un análisis más profundo en posteriores investigaciones. Sin embargo, se pudo verificar que los resultados del MAD se encuentran ajustados a los obtenidos en el método NDWI y segmentación.

En relación a los resultados obtenidos, en cuanto a la drástica disminución del cuerpo de agua, se requiere que sean investigadas a profundidad las causas externas, bien sea ambientales o antrópicas que pueden interferir en el buen funcionamiento y capacidad de almacenamiento de agua potable del embalse, ya que la disminución del espejo de agua puede no sólo deberse a la poca obtención de agua por precipitación, deben haber otras causas que están provocando que el llenado del embalse no sea óptimo, ya que como se observó, la disminución es realmente drástica y afecta a una gran cantidad de habitantes emplazados en los centros poblados adyacentes al embalse.

Este tipo de estudios constituye la fase previa de monitoreo de los embalses priorizados de Venezuela, ya que como estudio socio-espacial y ambiental, debe haber reconocimiento de campo y verificación de los datos generados a través de imágenes satelitales y otros recursos; en consiguiente se deben realizar alianzas con la Dirección de Cuencas del Ministerio de Ecosocialismo y Aguas para que participen activamente en el monitoreo de los embalses, y que aporten datos in situ, que puedan permitir determinar lo que realmente sucede en éstos espacios.

Dentro de las limitaciones, se puede mencionar la falta de datos de temperatura y precipitación por parte del INAMEH, ya sea por obsolescencia o ausencia de equipos de medición.

Así mismo, otra de las restricciones para el estudio fue que no se pudo ingresar las imágenes Miranda (VRSS-1) en el software Qgis mediante el método MAD, esto debido a inconsistencias en la corrección geométrica de las mismas, aun cuando se les realizó la calibración correspondiente de forma automática y manual, el software usado (Qgis) generó errores de procesamiento de los datos para imágenes del mismo, por lo tanto, fueron utilizadas imágenes Landsat 8 OLI, arrojando resultados del algoritmo MAD a modo visual.

Sabiendo que el recurso hídrico es de vital importancia para el ser humano, se debe entonces, continuar activamente el monitoreo de los embalses de Venezuela, para contribuir a generar planes y proyectos que mitiguen las consecuencias tanto para el ambiente como para la población inmediatamente afectada.

REFERENCIAS

- [1] MINEA. Reporte y caracterización de los Embalses Priorizados de Venezuela. S.f.
- [2] Y.P. Miguel. "Evaluación del impacto hidrológico del rompimiento de la presa del embalse "El Isiro" en las zonas residenciales y agrícolas ubicadas en la planicie del río Coro". Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, Vol. 20, No. 4, 2011. [Online] Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v20n4/rcta05411.pdf>
- [3] S.B, Diego. "Incidentes en las presas de Venezuela, problemas soluciones y lecciones". Universidad Católica Andrés Bello, 2011. [Online]. Disponible en: <http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAM3752.pdf>
- [4] C.L. Jorge. "Tratamiento Digital de Imágenes Multiespectrales". 2da ed., Instituto de Geofísica UNAM. México, 2010.
- [5] S.P. Teresa. "Plataforma de Segmentación de imágenes basada en algoritmos de agrupamiento". P.30. Universidad Carlos III de Madrid, 2011. [Online] Disponible en: https://orff.uc3m.es/bitstream/handle/10016/12739/PFC_Teresa_San_Jos_e_Perez.pdf;jsessionid=18E9F46588E7893E694E03D39C1957AA?sequence=1
- [6] ESRI, "Segmentación (desplazamiento medio)" Arcgis Desktop Copyright, 2016. [Online]. Disponible: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/segment-mean-shift.htm>
- [7] Z. Anna. "A combined change detection procedure to study desertification using opensource tools". Open Geospatial Data, Software and Standards, 2017. [Online]. Disponible en: <https://opengeospatialdata.springeropen.com/articles/10.1186/s40965-017-0023-6>
- [8] F. M. Alfonso. "Detección automática de nuevas construcciones a partir de ortofotos del Instituto Geográfico Valenciano". Universitat de Valencia. Facultat de Física. Máster de Teledetección, 2012. Pp.45. [Online]. Disponible en: <http://personales.upv.es/almofue/curso02/26092012Tesina.pdf>



Laura M. García, nació en Caracas en el año 1989, recibió la licenciatura en Geografía en la Universidad Central de Venezuela, actualmente cursa la especialización en Geomática de la Universidad Nacional Experimental de la Fuerza Armada.

Desde el año 2011 ha ejercido su profesión como geógrafo aportando sus conocimientos a organismos del Estado

como el Instituto Nacional de Desarrollo Rural, el Instituto Nacional de Tierras Urbanas y el Instituto Nacional de Tierras, entre otros, igualmente, prestó servicios profesionales en calidad de asesor en el Despacho del Ministerio del Poder Popular para el Transporte Acuático y Aéreo y en varios proyectos ejecutados durante el Gobierno de eficiencia en la calle, fue coordinadora del Sistema de Información Geográfica del Cuerpo de Ingenieros del Instituto Municipal de Gestión de Riesgos y Administración de Desastres apoyando también con sus conocimientos profesionales a Protección Civil del Municipio Bolivariano Libertador.

Siempre está en la constante búsqueda de desarrollo académico y profesional, ha realizado cursos como: Introducción a la Teledetección de la CONAE, Introducción al Radar de Apertura Sintética de la NASA, Diplomado en Geotecnologías aplicadas a las políticas del suelo-Lincoln Institute, Gerencia de Proyectos Espaciales-ABAE, Tecnología Geoespacial CENTROGEO-México entre otros.

Ha participado como instructor en el curso de Procesamiento Digital de Imágenes del Satélite Miranda, de la Agencia Bolivariana para Actividades espaciales donde desempeña sus labores profesionales como personal de investigación de la Unidad de Mediciones Científicas, generando productos de valor agregado a partir de las imágenes del satélite VRSS-1 Satélite Miranda y próximamente del satélite VRSS-2 Satélite Sucre, así como de otras plataformas satelitales, desarrollando investigaciones en pro del desarrollo del país.