

FRECUENCIA DE INUNDACIÓN A TRAVÉS DE IMÁGENES DE SENSOR.

Calvi Tomás Manuel

Dirección de Sistema de Información y Alerta Hidrológico, Instituto Nacional del Agua (SiyAH-INA)

E-mail: tcalvi@ina.gob.ar

RESUMEN

La elaboración de un mapa de frecuencia de píxeles inundados es una actividad útil para el análisis de la dinámica de expansión/contracción del agua en superficie. El presente trabajo pretende exponer una metodología simple para la producción de esta capa de información, insumo para la evaluación de la peligrosidad hídrica, particularmente aplicada en sistemas hidrológicos comprendidos en la Cuenca del Plata. El procedimiento se apoya en la discriminación de píxeles inundados mediante la aplicación de valores umbrales (*thresholds*) a un conjunto de índices normalizados (agua, vegetación y suelo) obtenidos sobre la base de información provista por los sensores TM, ETM y OLI (LANDSAT). Luego, mediante la iteración de esta metodología de clasificación sobre series extensas es posible obtener un estimado de la frecuencia de inundación a nivel píxel. A la vez, han de tomarse recaudos a fin de excluir del análisis aquellas capturas cubiertas por nubes, para lo cual se proponen una serie de alternativas. Si bien los sensores ópticos no permiten obtener información de superficie durante los instantes de gran cobertura nubosa, la historia es extensa y los datos han sido liberados recientemente facilitándose su descarga masiva a través de la web. Asimismo, la resolución espacial de los sensores TM, ETM y OLI resulta adecuada para el estudio de la dinámica de inundación algunos sistemas de pequeña extensión localizados en zonas periurbanas, sometidas a un acelerado proceso de transformación. Finalmente, la información generada puede constituir una capa valiosa dentro del análisis de riesgo hídrico en esquemas de evaluación multicriterio.

INTRODUCCIÓN

El área metropolitana de la ciudad de Buenos Aires en los últimos años presentó un crecimiento demográfico visiblemente perceptible a través del avance de la mancha urbana observada a partir de las herramientas de teledetección.

El trabajo toma principal atención en la cuenca del Río Luján, área de interés en estos últimos años, debido a la sucesión de eventos que incentiva a la elaboración de trabajos interdisciplinarios apuntados principalmente a medidas de detección, prevención y remediación.

El crecimiento urbano sobre las margenes del Río Luján, los cambios de uso de suelos en el área de influencia y la afectación del “cambio climático” en la zona, son los temas recurrentes en la realización de investigaciones (Carballo y Goldberg, 2014). Así, la elaboración de una capa de información que posibilite discriminar las capas y la dinámica de la afectación hídrica a través de la “repetición” de superficie anegada, sobre la base del procesamiento de imágenes Landsat, es de utilidad.

Para la elaboración de la frecuencia de inundación sobre distintos elementos del paisaje, proponemos el uso de imágenes se nutre de las capturas realizadas por los sensores Landsat: TM, ETM y OLI. Esto se debe a la gran historicidad de imágenes que posee el catálogo, a que su resolución espacial es pertinente al trabajo y esencialmente a su disposición gratuita en la página de la USGS (United States Geological Survey).

METODOLOGIA

La metodología del presente trabajo está estructurada en tres fases:

En primer instancia, la selección de imágenes, la cual, para el caso específico se refiere al path-row 225-084, correspondiente al área Metropolitana y ciudad de Buenos Aires, que abarca en su totalidad a la cuenca del Río Luján. Cabe destacar que la selección, se da en todo el proceso de trabajo, ya que en un principio consta de discriminar aquellas imágenes que corresponden a la región y que la cobertura nubosa no supere el 10 % de la imagen, esto último extraído de los metadatos. Sin embargo, durante el proceso de trabajo, la discriminación de imágenes es continua, ya que la sombra de nubes o nubes altas, entre otros factores, pueden tener efectos no deseados en la clasificación.

La segunda instancia es la realización de las máscaras de agua, es decir, una clasificación de índole *booleana* de manera que se obtiene valores de agua y no agua exclusivamente. Esto implica, tanto la aplicación de los índices normalizados: de agua, vegetación y suelo, como su posterior empleo de umbrales de clasificación. Para luego, realizar la composición entre los tres productos y la capa de información de nubes.

A través de la obtención de los mapas de información de máscaras de agua, el trabajo concluye con el análisis de frecuencia de píxeles con valores positivos a agua, es decir que el último procedimiento recae en distinguir la cantidad de veces en que una celda fue clasificada como agua, en el período correspondiente al catálogo obtenido.

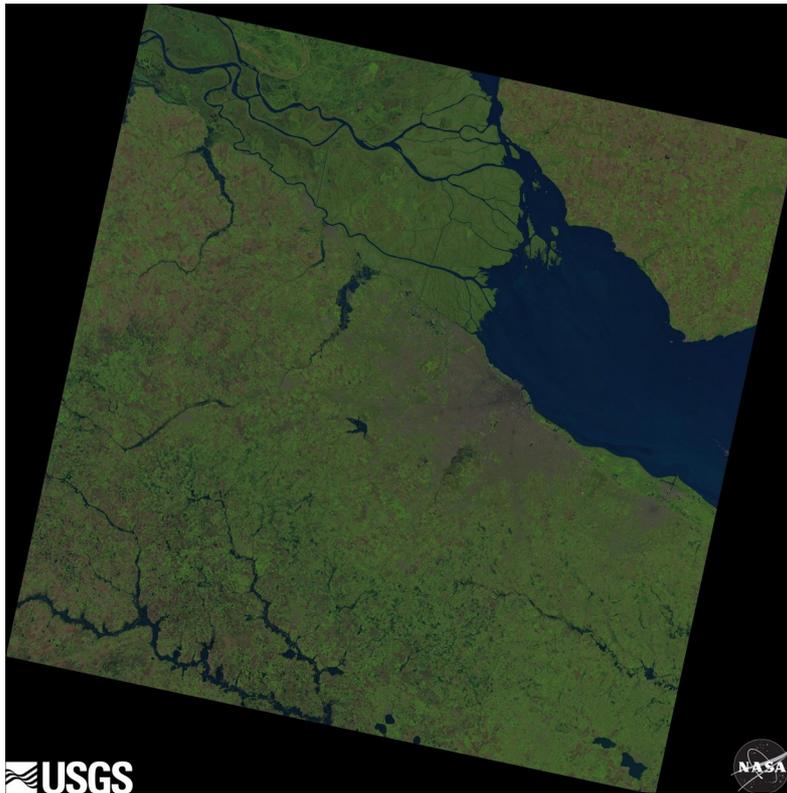


Figura 1: Mapa color natural correspondiente al path-row 225-084 del 25 de mayo de 2014

Para la realización del trabajo se dispuso de una selección de 115 imágenes satelitales: 27 correspondientes a Landsat 8 OLI, 24 a Landsat 7 ETM y 64 a Landsat 5 TM.

El período de tiempo del catalogo de imágenes, esta comprendido entre 15 de enero de 1990 (correspondiente a Landsat 5, misión mas antigua) y la ultima imagen que cumple los requisitos de preseleccion, la cual corresponde al 24 de febrero de 2016, de la ultima misión Landsat 8. Con esto, se destaca que se actualiza, siempre que se cumpla con lo pretendido.

En el análisis de los meses de captura, se puede señalar la distribución homogénea. Teniendo en cuenta que la cobertura nubosa representa el principal motivo de descarte, los meses de otoño e invierno son aquellos donde merma la disposición de imágenes. Es así, que se registran 33 capturas, tanto en verano como en primavera, 29 en otoño y 20 en invierno. Sabiendo que el comportamiento de las masas de agua varia según estación climática, la interpretación del periodo de captura, representa un complemento al estudio (Tabla 1)

Mes	L8	L7	L5	Total
Enero	2	5	11	18
Febrero	1	3	4	8
Marzo	0	1	6	7
Abril	2	3	7	12
Mayo	3	3	4	10
Junio	2	0	5	7
Julio	2	0	5	7
Agosto	3	0	1	4
Septiembre	2	2	5	9
Octubre	1	1	6	8
Noviembre	5	3	4	12
Diciembre	4	3	6	13
Total por Sensor	27	24	64	115

Tabla 1. Cantidad de capturas por sensor

La imagen utilizada para ilustrar el trabajo, se trata de la captura del sensor Landsat 8 OLI, perteneciente a la fecha del 5 de mayo del año 2014. la misma, corresponde a una condición de gran humedad estableciendo una exageración en lo visual, que permite una mejor interpretación (Figura 1)

LANDSAT 8 OLI

A partir de la disposición de las capas, el primer componente a desarrollar esta referido a la elaboración de índices y umbrales para la realización de la clasificación de agua. Estos se realizaron en función de las imágenes proporcionados por el sensor OLI de Landsat 8 con una resolución espacial de 30 metros.

La elaboración de índices normalizados, consiste en la detección de la humedad superficial a través de los valores de reflectancia en determinadas bandas espectrales, es así, que se realzan las características propias a las correspondientes a valores de agua.

El método de identificación de agua en superficie, propuesto por McFeeters (1996) y luego modificado por Hanqiu Xu (2006) es el pilar fundamental de este tipo de aplicaciones y sienta las bases del presente trabajo. Los autores se apoyan en la relación multiespectral entre dos bandas, una del visible y otra del cercano al infrarrojo. Esto se debe a la variabilidad de respuesta espectral que presenta entre esas bandas la firma espectral correspondiente a la cobertura de agua (Takeuchi, 2004). A fin de detectar solo la cobertura de agua la metodología toma como principio la selección de varias coberturas para su posterior producto. Es así que se toma los índices para las tres principales coberturas: Suelo (NDSI), Vegetación (NDVI) y Agua (NDWI) (Figura 2)

La generación de los índices, se utilizaron las siguientes bandas:

NDWI - Normalized Difference Water Index

$(B3 \text{ Green} - B6 \text{ SWIR } 1) / (B3 \text{ Green} + B6 \text{ SWIR } 1)$

NDSI - Normalized Difference Soil Index

$$(B7 \text{ SWIR } 2 - B5 \text{ Near Infrared NIR}) / (B7 \text{ SWIR } 2 + B5 \text{ Near Infrared NIR})$$

NDVI - Normalized Difference Vegetation Index

$$(B5 \text{ Near Infrared NIR} - B4 \text{ Red}) / (B5 \text{ Near Infrared NIR} + B4 \text{ Red})$$

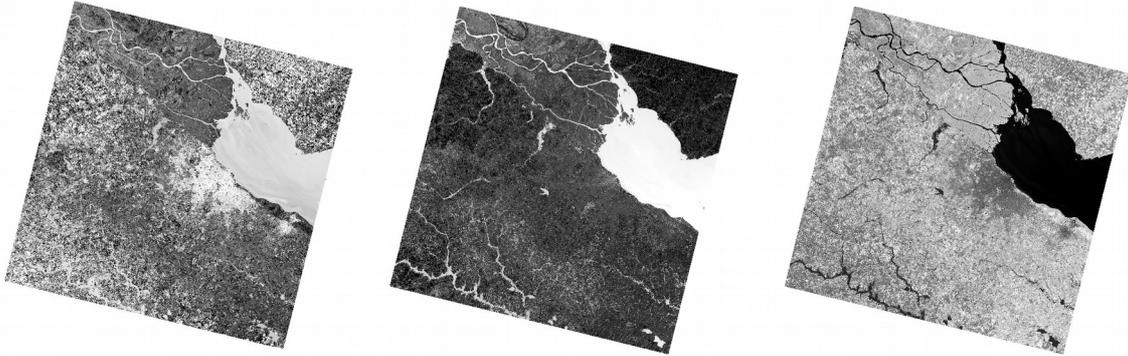


Figura 2: Mapas producto NDVI, NDWI y NDSI respectivamente

La aplicación de los tres índices tiene por objeto lograr discriminar de manera efectiva los valores de píxeles de agua por sobre los valores de la vegetación con altos índices de humedad y aquellos que corresponden a los cascos urbanos, ya que estos poseen una reflectancia similar.

Una vez, obtenidos los índices la discriminación de los valores de píxel correspondiente a valores de agua, es realizada a partir de la aplicación de umbrales. De esta manera:

Así, el umbral NDWI se fijó en 0, discriminando como inundados a todos los píxeles con valores no negativos. Para el caso del NDVI, el umbral parte del valor 0.2. Es decir los valores mayores a este umbral representan valores diferentes a valores de agua, finalmente, la aplicación de un umbral (-0.2) al NDSI, permite discriminar satisfactoriamente aquellos píxeles que son distintos del suelo. (Figura 3)

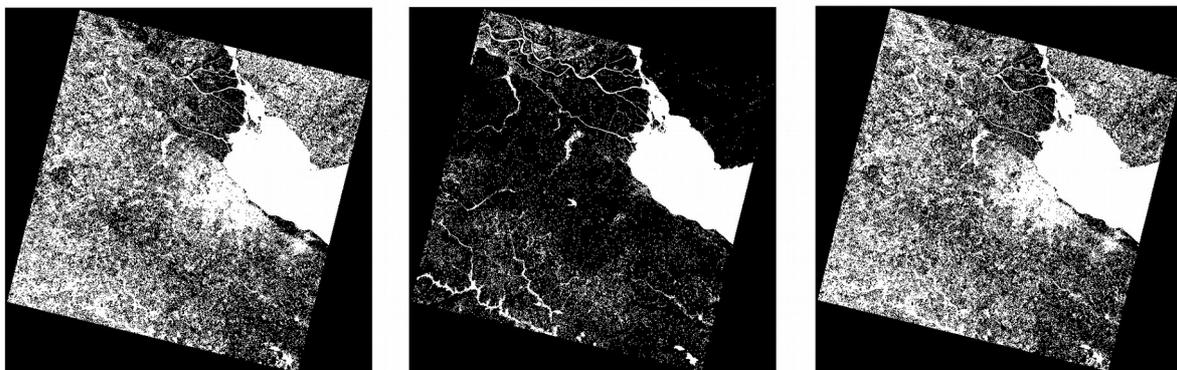


Figura 3: Mapa booleano a partir de umbrales NDVI, NDWI y NDSI respectivamente

Paralelamente a la aplicación de umbrales es imperioso realizar una clasificación de presencia de nubes ya que estas producen “ruido” en la clasificación. Para esto, se utilizó la banda de calidad que posee el sensor OLI Landsat 8 la cual permite discriminar de forma sencilla las nubes. El umbral utilizado es el valor mínimo de píxel que reconoce nubes, cuyo valor es 28672.

El mapa final (Figura 4) se realiza a partir del producto de las capas con la aplicación de umbrales, además de sumarle la capa referente a las nubes, ya que estas representan valores nulos.

LANDSAT 7 ETM Y LANDSAT 5 TM

Debido a que el catálogo del sensor OLI por el momento no posee cantidad considerable de imágenes, se incorporó al estudio el catálogo presente para los satélites Landsat 7 ETM y Landsat 5 TM, con el mismo criterio utilizado para Landsat 8 OLI. Es decir, que presente un mínimo de 10% de cobertura nubosa y que las imágenes correspondan a una misma georeferenciación.

El procedimiento para ambos sensores es el mismo y difiere en cuanto al utilizado para las imágenes Landsat 8 en varias cuestiones.

En principio la clasificación de agua se realizó a partir de los mismos índices, difiriendo en cuanto a los umbrales utilizados: Para el NDWI se utilizó como umbral 0 (cero), para el NDVI se utilizó el -0.1 y para el umbral de NDSI se utilizó el 0 (cero). Estos umbrales fueron determinados a partir de la observación de histogramas y el muestreo al azar de píxeles.

En cuanto a la cobertura nubosa, dado que estos satélites no poseen una capa de calidad que permite una discriminación de nubes más sencilla, como la que poseen los sensores más modernos, la metodología parte de la transformación de las unidades digitales de cada captura a valores de reflectancia atmosférica y temperatura, usando como referencia los valores de fecha y elevación solar, presentes en los metadatos. (Neteler, 2004)

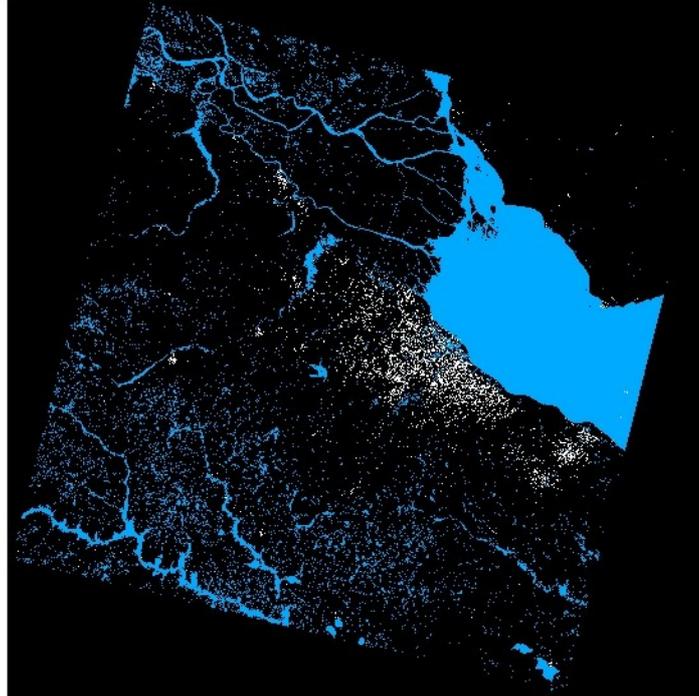


Figura 4: Producto final de mascara de agua correspondiente al path-row 225-084 del 25 de mayo de 2014

FRECUENCIA

Las mascararas de agua manifiestan la condición de agua en un instante y no refleja el comportamiento de una cuenca o del sistema en general. En otras palabras, el píxel observado en una de estas capas de información puede o no pertenecer a un sistema fluvial o a un punto de recurrencia situado por fuera de este.

Sin embargo representan el insumo esencial en la generación de un mapa de asiduidad de píxeles con valores correspondientes a agua. De esta manera, ese píxel pasa a ser parte de un contexto o representativo de una situación en el terreno.

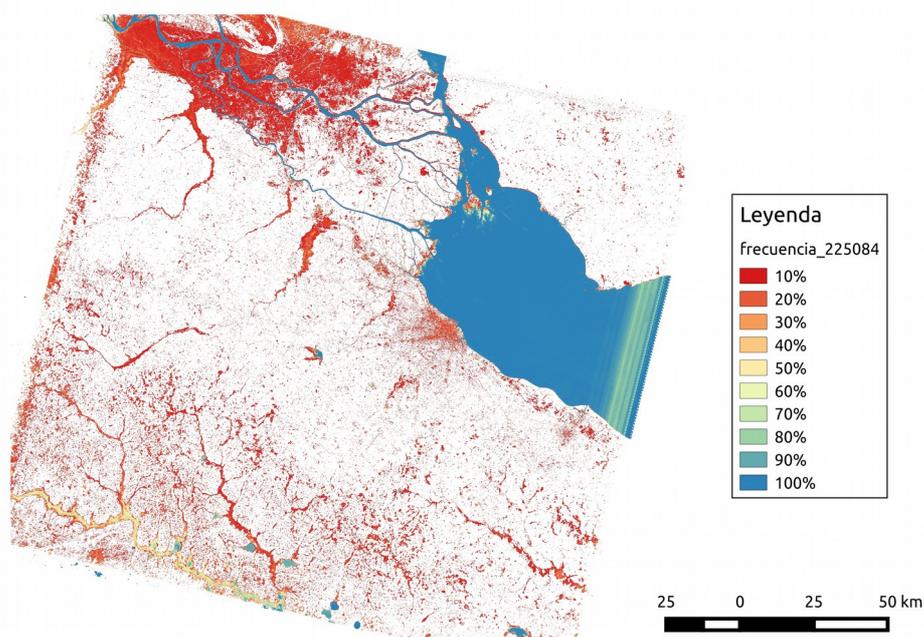


Figura 5: Mapa de frecuencia de recurrencia de píxeles clasificado como agua

Este mapa de frecuencia (Figura 5) no es más que el cociente entre la suma de valores de cada ráster y la cantidad de píxeles que poseen valor. Dicho de otro modo, los píxeles que corresponden a nubes no fueron contados, asimismo la frecuencia es relativa por cada píxel, lo que permite una mayor aproximación a la situación real. El algoritmo utilizado para esto puede expresarse como:

$$f(j) = \sum_{i=1}^{N(j)} \frac{I(ij)}{N(j)}$$

en donde $f(j)$ es la frecuencia de pertenencia a clase agua para el j ésimo píxel de las escenas 225-084 analizadas, mientras $I(ij)$ es una función indicadora que asume el valor 1 si el píxel ha sido identificado como cubierto por agua en la i ésima captura de la escena analizada y 0, en caso contrario. A la vez, $N(j)$ representa la cantidad de valores no nulos, para dicho píxel en la escena considerada, para todas las capturas analizadas. (Godniazky, et al. 2015)

El producto de frecuencia cobra mayor sentido si se realiza a partir de un análisis estratificado, ya sea cada 10 o 5 años, principalmente cuando el objeto de análisis es un área urbana o periurbana con evidencias de gran crecimiento demográfico. Un caso que visibiliza este fenómeno, es la zona noreste de la Provincia de Buenos Aires, sobretodo en zona de humedales, en donde el negocio inmobiliario favoreció el crecimiento de emprendimientos que implican derivación de cursos de agua, modificación de cotas asociadas al valle de inundación, excavaciones, dragados. En sí, procesos que generan actividad sobre la cuenca (Figura 6). En

este sentido, en los últimos años, terrenos en los que antes presentaban una baja frecuencia de inundación y que actualmente son terrenos con presencia de agua en superficie, al momento de la obtención del producto final, se ve reflejado con un bajo o medio porcentaje, debido a que se trata de un promedio. (Herzer y Gurevich, 1996)



Figura 6: Frecuencia cada cinco años, área metropolitana

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El trabajo con sensores remotos supone ciertas falencias en cuanto al análisis de la realidad, no deja de ser un modelo, es decir una representación del terreno con sus limitaciones. En este caso, el objetivo es identificar cuerpos de agua, la variabilidad subpíxel es fundamental, ya que en ocasiones el curso de agua no sobrepasa el tamaño de mínimo de resolución. Un ejemplo que retrata este percance es el tramo medio del río Luján, donde este se hace mas angosto y la vegetación sobre las margenes dificulta la clasificación.

Otra de las problemáticas vinculadas al metodo de discriminacion consiste en la observacion de lineas o franjas de agua que posiblemente sean error de comision, dado que estas corresponden tanto a sombra de hileras de arboles como a canales o sistemas de drenado de campos. (Figura 7).

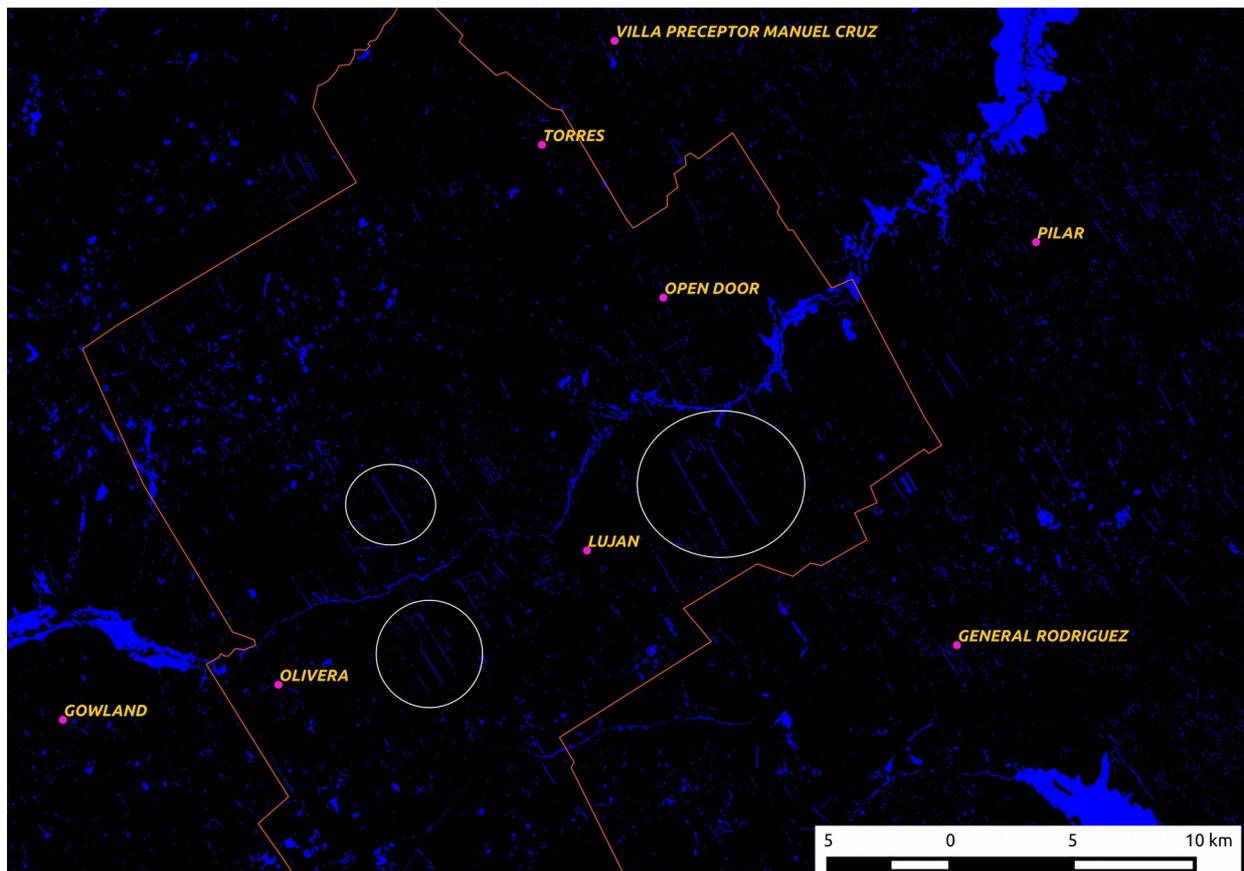


Figura 7: Mapa destacando el fenómeno de líneas rectas

Por otro lado, la ruta de captura de los sensores varía, por sensor y por pasada, por lo que no es siempre el mismo el límite de superficie observada. Aun así, que las clasificaciones se ven perturbadas principalmente en los márgenes de las capturas. En principio esto no supondría un problema ya que se soluciona tomando como nulo estos valores. Sin embargo, al trabajar con un número elevado de imágenes resulta de mayor dificultad tener un control más preciso.

Entre los problemas más frecuentes observados están aquellos relacionados con las nubes. La presencia de nubes dificulta el análisis ya que en la observación de cuerpos de agua en áreas de llanura, en general, está relacionada directamente con la precipitación en la región. Por eso, es que en muchos casos, por más que se tenga dato de campo de la expansión del área de agua en superficie, los sensores remotos ópticos, ya sea por su resolución temporal como por la duración de la cobertura nubosa en la región, no permite el registro de esa expansión. En consecuencia se pierde información muy valiosa para la realización de trabajos con este enfoque. Por otra parte, cabe destacar que en muchos casos, en las capturas, la cobertura nubosa presenta sombras que al poseer un valor de reflectancia similar al de un cuerpo de agua genera un falso reconocimiento en la aplicación de los índices. Este inconveniente es de suma importancia en trabajos con sensores remotos e instiga a que equipos de trabajo de todo el mundo se interesen en presentar posibles soluciones.

En cuanto al procedimiento, es digno señalar los errores típicos de un método dicotómico de clasificación basado en la aplicación de umbrales. Esto es, la omisión y la comisión.

El error de comisión, en el presente trabajo, se refleja en los cascos urbanos y en terrenos rurales con alto contenido de humedad, los cuales en general, son clasificados como agua y se conservan así, ya que no se posee el dato de campo que lo verifique y son factibles de ser positivo en presencia de agua. En cuanto al error de omisión, tanto en el procesamiento en las nubes, como en las bandas marginales de la capturas, es decisión suprimir un área mayor a los que comprenden, teniendo conciencia que se eliminan en este proceso información valiosa para la clasificación.

Si bien en el proceso de selección de información se realizó un pequeño análisis referido a los periodos de captura, las capas de información son heterogéneas y varían según estación, lo que generó cierto interés en analizar la correspondencia entre nivel de humedad y estación meteorológica y a su vez establecer comportamiento de cuerpos de agua según condiciones de humedad (Figura 7).

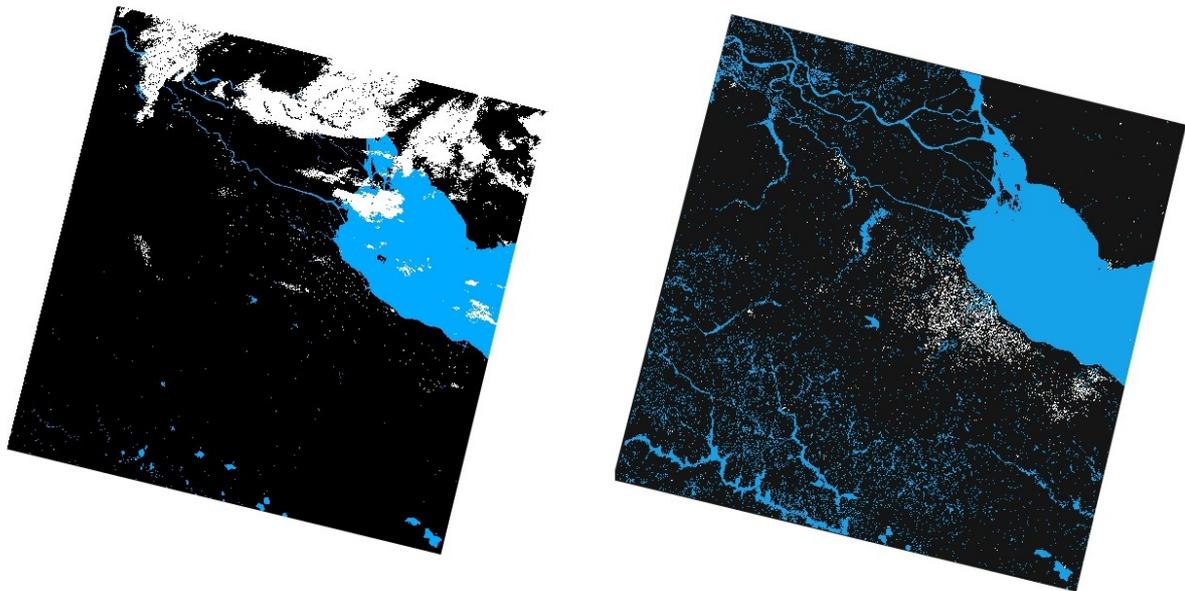


Figura 8: Mapa comparativo entre un periodo de baja humedad del 16 de diciembre de 2013 y de un periodo de gran humedad del 25 de mayo de 2014

CONCLUSIÓN

En el trabajo, mediante técnicas de teledetección se clasificó el agua en superficie durante un periodo de 25 años de capturas de imágenes Landsat y supone el punto de partida en el desarrollo de productos

relacionados a superficie con cobertura de agua a partir de sensores remotos. A modo de presentación, la realización se limitó para el área de trabajo correspondiente al path-row 225-084. Sin embargo, el objetivo es obtener el producto para toda la cuenca del plata en Argentina.

El producto de frecuencia de anegación, tal como se anticipó, es un elemento fundamental en el estudio del comportamiento de los cuerpos de agua. En efecto, resulta de utilidad para análisis multicriterio y tiene efecto catalizador para nuevos estudios, ya que genera interés con otras capas de información.

Cabe destacar que el mapa de frecuencia no es solo el objetivo del trabajo, también son de suma importancia las máscaras de agua, que resultan insumo para otros trabajos.

Los productos elaborados, van a estar disponibles al público en general desde la página de la Dirección de sistemas de información y alerta hidrológico.

REFERENCIAS

Carballo, C.T. Goldberg, S [et al]. 2014. “Comunidad e información ambiental del riesgo, las inundaciones y el río Luján” *editorial Dunken*, Buenos Aires, Argentina.

Godniazky, D. Giordano, L. Borus, J.A. 2015. “Inundaciones en la provincia de Buenos Aires – Agosto de 2015 Detección de cambios y estimación de frecuencia de pertenencia a clase agua, observados sobre la base de datos MODIS MOD09GA”, Dirección de Sistemas de Información y alerta Hidrológico, Instituto Nacional del Agua, Ezeiza, Buenos Aires.

Hanqiu Xu. 2006. “Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery”. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 27, No.14, pp 3025-3033.

Herzer, H. Gurevich, R. 1996. “Existe una relación directa entre el problema del riesgo y el fenómeno desencadenante del desastre (natural, antrópico y/o tecnológico)”. *Desastre y Sociedad. Julio-Diciembre, año 4, n°7, p. 12-13.*

McFeeters, S.K. 1996. “The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features”. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 17, 1425–1432.

Neteler, M. Mitasova, H. 2004 “Open source GIS: A GRASS GIS approach” Second edition, Kluwer Academic Publishers. Boston, Dordrecht.

Takeuchi, W. Y y Yasuoka, Y. 2005. “Development of normalized vegetation, soil and water indices from satellite remote sensing data”. *Journal of the Japan Society of Photogrametry and Remote Sensing*, Vol. 43, No. 6, pp. 719. Japón.