

“Elaboración de un protocolo para la generación de información geográfica sobre la base de imágenes satelitales para optimizar la gestión de las inundaciones en la Provincia De Buenos Aires”

Por ***Agrim. Juan Pablo Silva***

Presentado ante la Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación y el Instituto de Altos Estudios Espaciales Mario Gulich como parte de los requerimientos para la obtención del grado de

MAGISTER EN APLICACIONES ESPACIALES DE ALERTA Y RESPUESTA TEMPRANA A EMERGENCIAS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA
Mayo, 2017

©IG - CONAE/UNC 2017
©FaMAF - UNC 2017

Director: **Agrim. Mauro Giovanniello**
(ARBA, UNLP)

Co-director: **Lic. Mario Lanfri**
(CAEARTE, UNC)



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución – No Comercial – Sin Obra Derivada 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Resumen

En esta tesis de maestría, se genera un protocolo de procedimiento para casos de inundaciones en la provincia de Buenos Aires, que es de interés y cumple con los requerimientos de la Agencia de Recaudación de la Provincia de Buenos Aires- ARBA. Este protocolo tiene como objeto generar información geográfica de las zonas inundadas y se divide en tres etapas, con nivel de detalle provincial en la primera, por partido y circunscripción en la segunda y por parcela en la tercera.

Se procesan imágenes COSMO-SkyMed, Landsat 8 y MODIS, que según su resolución espacial, resolución temporal y disponibilidad para solicitud y descarga en CONAE, cumplen con los requisitos necesarios para llevar adelante cada etapa.

Se agregan como anexo, manuales de procedimiento que detallan todos los pasos a seguir, desde la apertura de la imagen hasta la generación del producto final, para que pueda ser usado por otros agentes de ARBA u otros entes provinciales o nacionales que se interesen en la problemática.

Abstract

In this magister thesis, a procedure protocol is generated for cases of floods in the Buenos Aires province, which is of interest and meets the requirements of the Revenue Agency of Buenos Aires Province-ARBA. The purpose of this protocol is to generate geographic information about flooded areas and it is divided into three stages, with provincial level of detail in the first, by townships and circumscription in the second and by parcel in the third.

COSMO-SkyMed, Landsat 8 and MODIS images are processed, which according to their spatial resolution, temporal resolution and availability for request and download in CONAE, complies with the necessary requirements to carry out each stage.

Manuals of procedures are added as an annex, detailing all the steps to follow, from the opening of the image to the generation of the final product. These documents can be used by another ARBA agents, or provincial or national entities that are interested in the problem.

Palabras Clave:

Inundaciones, Protocolo, COSMO-SkyMed, Landsat, MODIS, Emergencias, ARBA, CONAE.

Agradecimientos

A la Agencia de Recaudación de la Provincia de Buenos Aires por el permiso otorgado para realizar la maestría, a profesores y alumnos del Instituto de Altos Estudios Mario Gulich por el aprendizaje diario durante los dos años de cursada, a la Comisión Nacional de Actividades Espaciales por los recursos e información brindada poder llevar a cabo esta tesis.

Al gobierno italiano por la beca otorgada para realizar la pasantía.

A Mauro Giovanniello por su colaboración tanto en la dirección de la tesis como en las facilidades otorgadas para que el trabajo diario no sea un impedimento en la finalización de la misma.

A Mario Lanfri por el aporte de sus conocimientos y excelente predisposición para consultas y asesoramiento.

A Fernando Sette por la colaboración fundamental en el relevamiento de datos de campo.

Índice

Resumen.....	1
Abstract	1
Palabras Clave:	1
Agradecimientos	2
Índice de Tablas.....	5
Capítulo 1. Introducción general.....	6
1.1 Motivación	6
1.2. Objetivos Generales	7
1.3. Objetivos Específicos.....	7
Capítulo 2. Marco teórico para la clasificación de Cuerpos de Agua.....	8
2.1. Firmas espectrales: Revisión Conceptual.....	8
2.2. Índices para clasificación de agua	9
2.3. Sensores analizados	13
2.3.1. MODIS	14
2.3.2. COSMO-SkyMed.....	17
2.3.3. Landsat 8	21
Capítulo 3. Desarrollo del Protocolo de Emergencias.....	24
3.1. Introducción	24
3.2. Zona de estudio.....	24
3.3. Primera etapa del Protocolo: Alerta de Prevención. Potenciales zonas de monitoreo... 25	
3.3.1. Descarga y pre-procesamiento de imágenes.....	26
3.3.2. Clasificación de cuerpos de Agua. Análisis de la magnitud del evento y determinación de la región afectada.	26
3.3.3. Generación de mapa regional de afectación.	26
3.4. Segunda etapa del Protocolo: Disparo de alerta.	27
3.4.1. Adquisición y pre-procesamiento de imágenes.....	27
3.4.2. Clasificación de cuerpos de Agua. Monitoreo de las zonas inundadas.....	27
3.4.3. Generación de mapas de la zona afectada con información por Partido o Circunscripción.....	28
3.5. Tercera etapa del Protocolo: Análisis posterior a la inundación.	29
3.5.1. Validación de campo. Comparación superficial pre-inundación y post-inundación. 30	
3.5.2. Procesamiento GIS y cálculos estadísticos.....	30

3.5.3. Publicación de datos finales.....	30
Capítulo 4. Generación de Información Geográfica.....	31
4.1. Mapa generado a partir de datos MODIS.....	31
4.2. Mapa generado a partir de datos COSMO-SkyMed.....	33
4.3. Mapa generado a partir de datos Landsat 8.....	35
Capítulo 5. Análisis de las imágenes COSMO-SkyMed.....	37
5.1. Introducción.....	37
5.2. Materiales & Métodos.....	37
5.2.1 Análisis del posicionamiento: Resultados.....	40
5.2.1 Análisis del posicionamiento: Conclusiones.....	43
5.3. Detección de Cuerpos de Agua en imágenes COSMO-SkyMed.....	43
5.3.1. Análisis de los píxeles clasificados: Resultados.....	46
5.3.2. Análisis de los píxeles clasificados: Conclusiones.....	50
Capítulo 6. Conclusiones y Perspectivas futuras.....	51
Anexos.....	53
Anexo 1.....	53
Anexo 2.....	68
Anexo 3.....	93
Bibliografía.....	105

Índice de Figuras

Figura 1. Signaturas espectrales típicas para distintas cubiertas (datos adquiridos con un espectro- radiómetro GER-2600).....	8
Figura 2. Imagen MODIS de la Zona de Estudio. Combinación de las bandas 752 de reflectancia.....	11
Figura 3. Imagen NDWI= $(b2-b5)/(b2+b5)$ y Figura 4. Cuerpo de Agua clasificado.....	11
Figura 5. Imagen NDWI= $(b2-b6)/(b2+b6)$ y Figura 6. Cuerpo de Agua clasificado.....	11
Figura 7. Imagen NDWI= $(b1-b5)/(b1+b5)$ y Figura 8. Cuerpo de Agua clasificado.....	12
Figura 9. Imagen NDWI= $(b4-b6)/(b4+b6)$ y Figura 10. Cuerpo de Agua clasificado.....	12
Figura 11. Región de píxeles de confusión en la clasificación de Cuerpos de Agua.....	13
Figura 12. Programación de la constelación COSMO-SkyMed.(Anon n.d.).....	18
Figura 13. Productos COSMO-SkyMed.(ASI 2007).....	19
Figura 14. Modos de adquisición del sensor COSMO-SkyMed(Anon n.d.).....	20
Figura 15. Mapa de la Zona de Estudio.....	25
Figura 16. Cuadro de procedimientos de la Etapa 1 del protocolo.....	25
Figura 17. Cuadro de procedimientos de la Etapa 2 del protocolo.....	27
Figura 18. Cuadro de procedimientos de la Etapa 3 del protocolo.....	29
Figura 19. Cuadro de procedimiento para la generación del Mapa con datos MODIS.....	31
Figura 20. Mapa del Estado de Situación de la Provincia de Buenos Aires con datos MODIS de fecha 27- 07-2016.....	32

Figura 21. Cuadro de procedimiento para la generación del Mapa con datos COSMO-SkyMed.....	33
Figura 22. Mapa del Estado de Situación de la Laguna Hinojo Chica con datos.....	34
Figura 23. Cuadro de procedimiento para la generación del Mapa con datos Landsat 8.	35
Figura 24. Mapa del Estado de Situación de la Laguna Hinojo Chica con datos Landsat 8 de fecha 19-07-2016.....	36
Figura 25- Posicionamiento usando GNSS diferencial.(Anon n.d.)	38
Figura 26. Equipo GNSS estático ubicado sobre el mojón del punto TLAU de la Red Geoba.	39
Figura 27. Levantamiento de Puntos del “pelo de agua” de la Laguna Hinojo Chica	40
Figura 28. Relevamiento GNSS superpuesto a la Imagen original COSMO-SkyMed nivel GEC de fecha 21-07-2016.	40
Figura 29. Relevamiento GNSS superpuesto a la Imagen corregida COSMO-SkyMed nivel GEC de fecha 21-07-2016.	41
Figura 30. Corrimiento de la imagen COSMO-SkyMed GEC de fecha 21-07-2016 con respecto al posicionamiento preciso del relevamiento realizado con instrumental GNSS.	41
Figura 31. Pre-procesamiento de la imagen DGM realizado con el software SNAP de la ESA (Agencia Espacial Europea)	42
Figura 32. Relevamiento GNSS superpuesto a la Imagen COSMO-SkyMed nivel DGM pre-procesada con el software SNAP.	42
Figura 33. Corrimiento de la imagen COSMO-SkyMed DGM con respecto al posicionamiento preciso del relevamiento realizado con instrumental GNSS.....	42
Figura 34. Perfiles medidos con instrumental GNSS superpuesto a la imagen COSMO-SkyMed.	43
Figura 35. Cuerpo de Agua clasificado “Sin Filtrar” y perfiles medidos con instrumental GNSS.46	
Figura 36.Gráfico de dispersión donde se muestra la diferencia de altura del agua, Intensidad y clasificación de cada píxel en la imagen COSMO-SkyMed “No Filtrada”	47
Figura 37. Cuerpo de Agua clasificado “Filtrado” y perfiles medidos con instrumental GNSS... 48	
Figura 38. Gráfico de dispersión donde se muestra la diferencia de altura del agua, Intensidad y clasificación de cada píxel en la imagen COSMO-SkyMed “Filtrada”.	49

Índice de Tablas

Tabla 1. Bandas del sensor MODIS. (Iii 2000).....	15
Tabla 2. Comparación de bandas espectrales VIIRS vs MODIS (Guenther et al. 2011)	17
Tabla 3. Niveles de procesamiento- Productos COSMO-SkyMed (Scansar n.d.) (Frery et al. 2011)	19
Tabla 4. Descripción de características Modo Spotlight.(E-geos n.d.).....	20
Tabla 5. Descripción de características Modo Stripmap.(E-geos n.d.).....	20
Tabla 6. Descripción de características Modo ScanSAR.(E-geos n.d.).....	21
Tabla 7. Comparación de bandas Landsat 7 y Landsat 8. (Anon 2015).....	23
Tabla 8. Precisiones en los Métodos de Posicionamiento GNSS.(Enr 2006).....	39

Capítulo 1. Introducción general

1.1 Motivación

La misión principal de la Agencia de Recaudación de la Provincia de Buenos Aires es recaudar en base a impuestos provinciales, lograr una equidad fiscal y combatir la evasión fiscal. En línea con estas misiones, la agencia tiene la potestad de otorgar prórrogas o exenciones en los impuestos provinciales, cuando se produce alguna catástrofe que conlleva daños económicos.

El comienzo de la relación entre ARBA y la Comisión Nacional de Actividades Espaciales- CONAE se dio con la participación de dos agentes en las becas SIASGE (Sistema Ítalo Argentino de Satélites para la Gestión de Emergencias) en el año 2004. Esta capacitación fue el factor principal para que en la agencia se generara un compromiso ante las emergencias.

Esta relación entre las instituciones motivó la firma de un convenio en el año 2006, en donde se incluyó la provisión de imágenes satelitales y la realización de diferentes capacitaciones, llevando a cabo una permanente cooperación de las dos partes.

El departamento de Tecnología de Imágenes de ARBA comenzó con el interés en el uso de imágenes SAR en el año 2011, participando con tres trabajos en el Anuncio de Oportunidades de la misión SAOCOM. Dos de los trabajos estuvieron enfocados al sector rural y uno al sector urbano. En esos trabajos se llevó adelante una tarea apuntada íntegramente a la recaudación, detectando edificaciones no declaradas y clasificando cultivos.

Desde el año 2013, a raíz de la grave inundación sufrida en el partido de La Plata, el Departamento de Tecnología de Imágenes, perteneciente a esta agencia, tuvo la iniciativa de colaborar con diferentes entes provinciales en la generación y entrega de mapas de zonas afectadas.

Una vez finalizado el monitoreo sobre La Plata, se observó una alta frecuencia de inundaciones en gran cantidad de partidos de la Provincia de Buenos Aires, lo que provocó continuar trabajando en esta problemática durante los años 2014 y 2015.

Tanto para la agencia como para distintos organismos provinciales, es muy importante detectar los daños causados en las emergencias, para analizar el otorgamiento de exenciones impositivas o la asignación de créditos bancarios.

La admisión de la agencia en el año 2015 como Unidad de Desarrollo, motivó aún más el desarrollo en la investigación y la continua capacitación en el uso de nuevas tecnologías, para optimizar una metodología a abordar, en casos de emergencias.

La designación como Unidad de Desarrollo le permite a la agencia participar del Plan Espacial Nacional, recibir a uno o más becarios de una Maestría de la CONAE y Socios Académicos, elegir y dirigir a futuros becarios.

En la presente tesis, se pretende generar un protocolo a seguir en casos de inundaciones, que sirva para mejorar los tiempos de respuesta en la generación de información geográfica, y a su vez darle la posibilidad de colaborar a aquellos agentes que no son especialistas en el procesamiento de imágenes satelitales.

Se describen aquellos sensores remotos disponibles, que sean adecuados utilizar, según el tiempo de respuesta que se requiera en la generación de cada producto, se estudiarán los principales algoritmos de clasificación de cuerpos de agua, y se realizará un contraste con datos de campo para poder efectuar un control de calidad.

1.2. Objetivos Generales

La presente tesis se enfoca en dos objetivos generales. El primero de ellos apunta a definir las diferentes líneas de acción que se deben llevar a cabo para generar, de una manera rápida, información geográfica de calidad a partir de imágenes satelitales, de los diferentes sectores afectados por inundaciones.

El segundo objetivo se centra en el control de calidad del posicionamiento de las imágenes COSMO-SkyMed, junto con el análisis de la fiabilidad de las clasificaciones de zonas inundadas realizadas con este sensor.

1.3. Objetivos Específicos

- Revisión bibliográfica sobre los índices de clasificación de cuerpos de agua utilizados por diferentes autores.
- Solicitud, descarga y procesamiento de imágenes MODIS, COSMO-SkyMed y Landsat 8. Clasificación de cuerpos de agua por medio de la utilización de algoritmos conocidos.
- Evaluación de la calidad de georreferenciación de las imágenes COSMO-SkyMed.
- Validación de las clasificaciones realizadas con imágenes COSMO-SkyMed, mediante la comparación de estos resultados con datos relevados en campo.
- Generación de mapas que muestren las áreas afectadas por las inundaciones junto a información geográfica de interés.
- Documentación de todo el procedimiento detallado “paso a paso”, desde la solicitud de imágenes hasta la generación del mapa, para que puedan ser realizados por operadores con conocimientos básicos en el procesamiento de imágenes satelitales.

Capítulo 2. Marco teórico para la clasificación de Cuerpos de Agua

2.1. Firmas espectrales: Revisión Conceptual

A partir de medidas de laboratorio, pueden obtenerse unas curvas de reflectividad espectral ρ (relación entre el flujo reflejado y el incidente) para las principales cubiertas terrestres, que suelen denominarse firmas o firmas espectrales. (Chuvieco 1995)

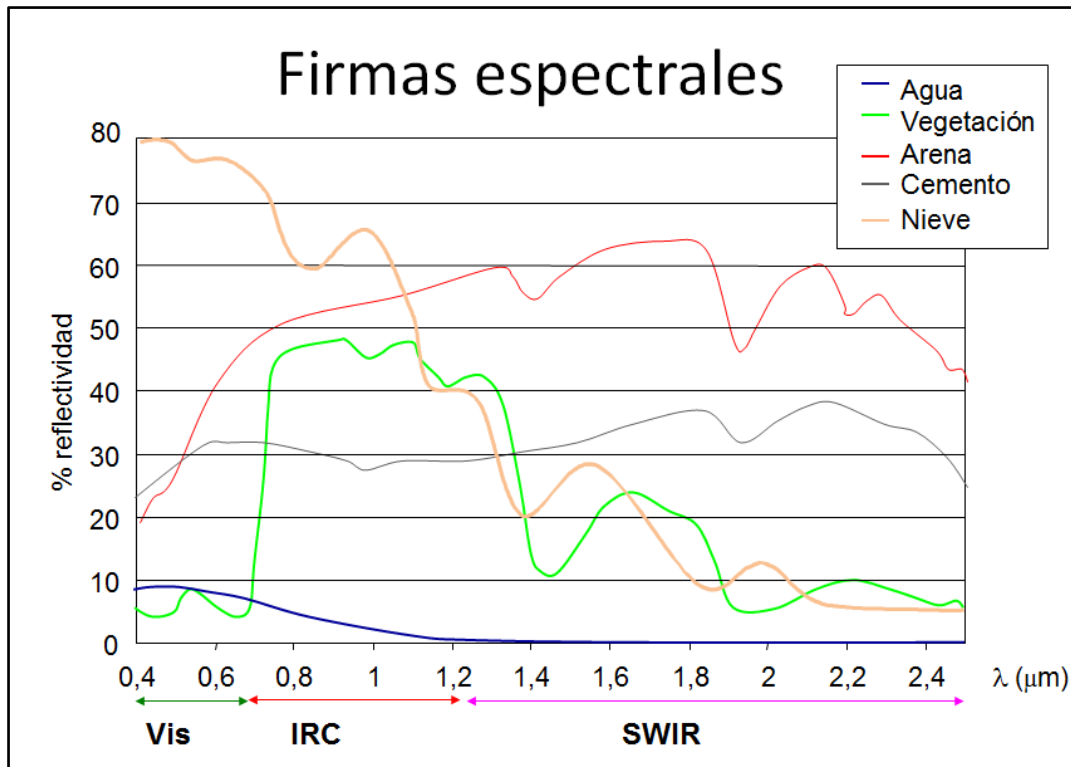


Figura 1. Signaturas espectrales típicas para distintas cubiertas (datos adquiridos con un espectro-radiómetro GER-2600)

Como puede observarse en la **Figura 1**, algunas cubiertas tienden a presentar una respuesta uniforme en distintas longitudes de onda, mientras que otras ofrecen un comportamiento mucho más selectivo. Por ejemplo, el agua absorbe la mayor parte de la energía que recibe, mientras más nos situamos en longitudes de onda mayores.

La mayor reflectividad del agua clara se produce en el azul, reduciéndose paulatinamente hacia el infrarrojo cercano y SWIR, donde ya es prácticamente nula. Por esta razón, la frontera tierra-agua es muy nítida en esta última banda.

La variabilidad del agua es más fácilmente detectable en las longitudes de onda más cortas (azul y verde).

Se debe considerar que el flujo de energía recibida por el sensor no solo depende de la reflectividad de la cubierta, sino también de otros factores externos. Los más importantes son las condiciones atmosféricas, el emplazamiento ambiental de la cubierta y la geometría de observación. (Chuvieco 1995)

2.2. Índices para clasificación de agua

El índice NDWI (*Normalized Difference Water Index*), propuesto por (Gao 1996) para la teledetección de agua en vegetación se define como.

$$NDWI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

Ecuación 1. Índice NDWI propuesto por Gao, 1996.

Dónde: *NIR=reflectividad en el Rango del Infrarrojo Cercano*
SWIR= reflectividad en el Rango del Infrarrojo de Onda Corta

La absorción de la vegetación en los valores cercanos al NIR es insignificante, mientras que en la región cercana al SWIR es más notable. La dispersión en la cubierta vegetal mejora con la absorción de agua.

En este rango de valores de reflectancia, los efectos de dispersión provocados por aerosoles atmosféricos son débiles, lo que provoca que esta combinación de bandas sea sensible a los cambios en el contenido de agua en la cubierta de la vegetación. (Gao 1996)

El índice NDWI propuesto por (McFeeters 1996), utilizado para clasificar agua en superficie, se define como:

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR}$$

Ecuación 2. Índice NDWI propuesto por McFeeters, 1996

Dónde: *Green=reflectividad en el Rango del Verde*
NIR= reflectividad en el Rango del Infrarrojo Cercano

El objetivo de este índice es maximizar la reflectancia del agua con el uso de longitudes de onda en el verde y minimizar la baja reflectancia en el NIR por las características del agua, y aprovechar la alta reflectancia en el NIR por parte de las características de la vegetación y el suelo. Las características del agua tienen valores positivos, mientras que la vegetación y el suelo por lo general tienen valores ceros o negativos.

Este NDWI de McFeeters no arroja buenos resultados cuando las regiones de agua se encuentran sobre superficies construidas.

Sin embargo, si una banda MIR se utiliza en lugar de la banda NIR, la tierra urbanizada debería tener valores negativos. En base a este supuesto, surge el NDWI modificado propuesto por (Xu 2006) y se expresa de la siguiente manera:

$$MNDWI = \frac{Green - MIR}{Green + MIR}$$

Ecuación 3. Índice MNDWI propuesto por Xu, 2006

Dónde: *Green=reflectividad en el Rango del Verde*
MIR= reflectividad en el Rango del Infrarrojo Medio

El cálculo del índice MNDWI (*Modification of Normalised Difference Water Index*) devuelve, para los cuerpos de agua, valores positivos más altos que los arrojados por el NDWI, y valores negativos para los sectores de tierra urbanizada, suelo desnudo y vegetación, aumentando la separabilidad y mejorando la clasificación.

Según (Zhai et al. 2015), este índice muestra mejores resultados de exactitud general para la extracción de agua en imágenes OLI.

Teniendo en cuenta los sensores ópticos utilizados en esta tesis (Landsat 8 y MODIS), se adaptaron los índices enumerados anteriormente a las bandas semejantes según su longitud de onda.

Para Landsat 8, el índice MNDWI queda conformado de la siguiente manera:

$$MNDWI = \frac{Green - MIR}{Green + MIR}$$

Dónde: GREEN = corresponde a la banda 3
MIR = corresponde a la banda 6

Para el caso del sensor MODIS, no aparece claramente definida en la bibliografía consultada, la combinación de banda ideal, que arroje mejores resultados en la clasificación de agua en superficie.

Por este motivo se recopiló un listado de algunas combinaciones posibles descritas por diferentes autores (JIMMY ALEXANDER NAVIA, 2011), y se realizó un análisis visual de la clasificación, para poder concluir cual resaltaba mejor los cuerpos de agua, en una zona de la Provincia de Buenos Aires (la zona de estudio es descrita en el **Capítulo 3.2. Zona de estudio de esta tesis y la metodología de clasificación en el Anexo 1**).

$$NDWI = \frac{(b2 - b5)}{(b2 + b5)}$$

banda 2 (841-876nm) y banda 5 (1.230-1.250nm).

Ecuación 4. Índice NDWI según Gao, 1996.

$$NDWI = \frac{(b2 - b6)}{(b2 + b6)}$$

banda 2 (841-876nm) y banda 6 (1.628-1.652nm).

Ecuación 5. Índice NDWI según Xiao, 2002

$$NDWI = \frac{(b1 - b5)}{(b1 + b5)}$$

banda 1 (620-670nm) y banda 5 (1.230-1.250nm).

Ecuación 6. Índice NDWI según Zarco-Tejada, 2003

$$MNDWI = \frac{(b4 - b6)}{(b4 + b6)}$$

banda 4 (545-565nm) y banda 6 (1628-1652nm).

Ecuación 7. Índice MNDWI según Che et al. 2015

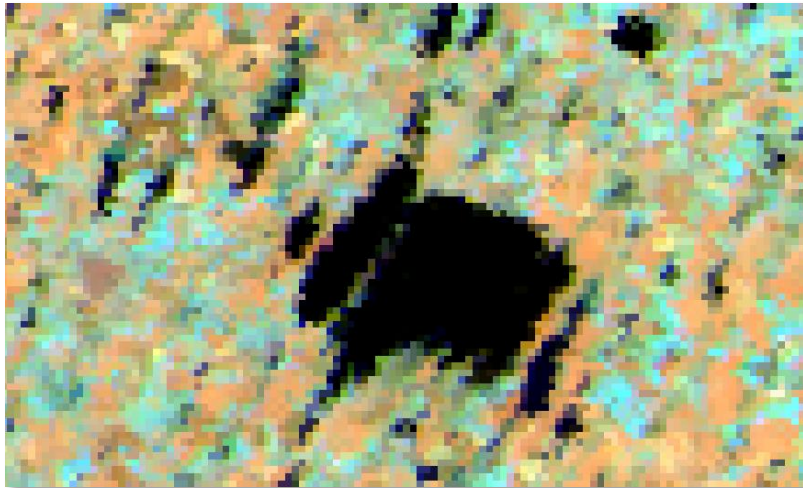


Figura 2. Imagen MODIS de la Zona de Estudio. Combinación de las bandas 752 de reflectancia.



Figura 3. Imagen NDWI= $(b2-b5)/(b2+b5)$

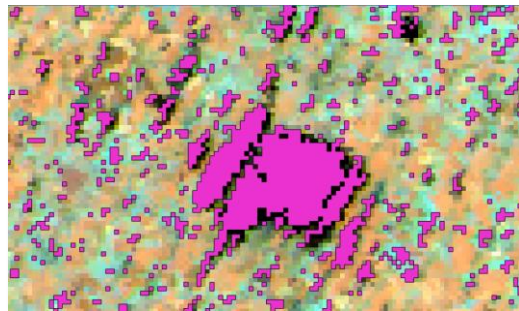


Figura 4. Cuerpo de Agua clasificado



Figura 5. Imagen NDWI= $(b2-b6)/(b2+b6)$

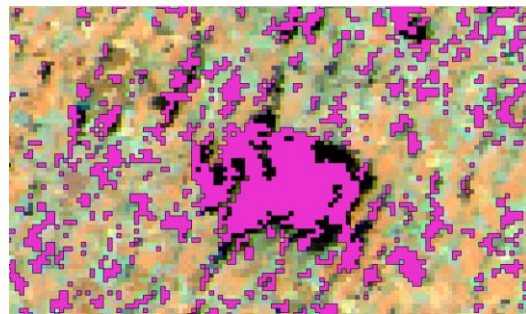


Figura 6. Cuerpo de Agua clasificado



Figura 7. Imagen NDWI= (b1-b5)/(b1+b5)

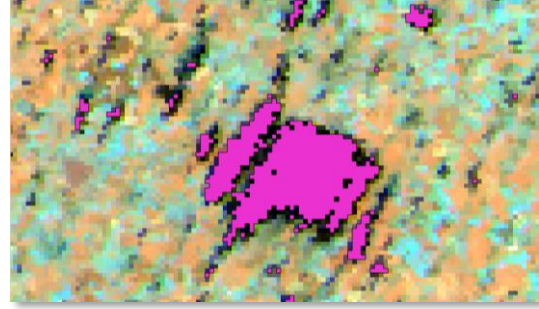


Figura 8. Cuerpo de Agua clasificado

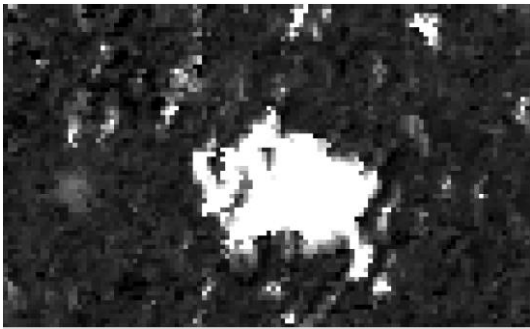


Figura 9. Imagen MNDWI= (b4-b6)/(b4+b6)

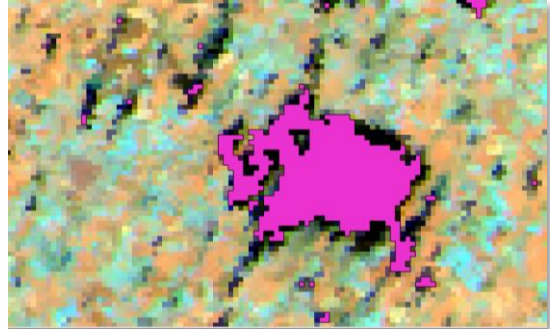


Figura 10. Cuerpo de Agua clasificado

En la **Figura 2** se presenta un recorte de la imagen MODIS con combinación de banda 752, donde se delimita la zona de estudio. Desde la **Figura 3** y hasta la **Figura 10**, se muestran imágenes de los diferentes índices utilizados para clasificar cuerpos de agua, abarcando la misma zona de estudio. También se le superponen a estas imágenes, el vector obtenido de la clasificación.

Del análisis visual realizado a partir de las **Figuras 2 a 10**, surge que el índice que mejor resalta los cuerpos de agua con grandes extensiones es el propuesto por (Zarco-Tejada, Rueda, and Ustin 2003) que combina las bandas 1 y 5 del sensor MODIS.

Este índice omite algunos sectores que contienen cuerpos de agua de superficies pequeñas, pero debido a que, según el protocolo de emergencias que se desarrolla en esta tesis, las imágenes MODIS se utilizan para analizar grandes extensiones de superficies, es aceptable y útil para estos casos.

Por lo tanto, para el uso del **sensor MODIS**, el índice que se utilizará será el NDWI conformado por la siguiente combinación de bandas:

$$\text{NDWI} = (\text{banda 1} - \text{banda 5}) / (\text{banda 1} + \text{banda 5})$$

Ecuación 8. NDWI utilizado para MODIS.

Dónde: *banda 1 (620-670nm) y banda 5 (1.230-1.250nm).*

Para la detección de cuerpos de agua con imágenes SAR COSMO-SkyMed, no existe un índice específico de clasificación como en las imágenes ópticas. Lo que se utiliza es el análisis del

histograma bimodal de los valores de píxeles (de imágenes pre-procesadas), tomando como umbral de clasificación el mínimo local entre modas. (Lanfri 2011)

Se recorren diferentes sectores de la imagen, observando cómo va cambiando el histograma bimodal, y se selecciona el sector donde mejor se diferencian las zonas que contienen cuerpos de agua de las que no contienen. De esta manera se elige como umbral el mínimo local entre modas.

Existe una región de confusión en el histograma bimodal, donde cierta cantidad de píxeles pueden tomar valores que caen dentro de la clase "Agua" o "No Agua", como se indica en el gráfico que se muestra a continuación:

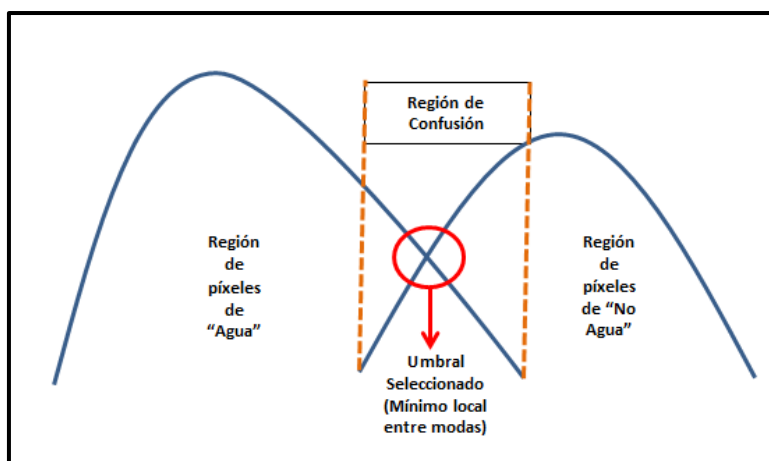


Figura 11. Región de píxeles de confusión en la clasificación de Cuerpos de Agua.

La clasificación se ajusta variando el valor del umbral, interpretando visualmente si existen cuerpos de agua en exceso o si se omiten en demasía. Debido a que es imposible eliminar por completo estos errores en la clasificación, ya que son limitaciones propias del método utilizado, lo que se busca es la disminución de los mismos, principalmente en las zonas de interés. (*Todos los detalles de la etapa de preprocesamiento y clasificación de cuerpos de agua se describirán detalladamente en el Anexo 3*).

2.3. Sensores analizados

El protocolo para la generación de información geográfica, que se crea en esta tesis, para poder ser utilizado en casos de emergencias, comprende 3 diferentes etapas que serán descritas en detalle en el **Capítulo 3. Desarrollo del Protocolo de Emergencias**". Estas etapas cuentan con distintas prioridades y tiempos de respuestas, así como también de diferentes resoluciones en los niveles de detalles de la información generada. Teniendo en cuenta todas estas variables, se realizó un análisis de los sensores ópticos y SAR disponibles y adecuados para cumplir con estos requisitos.

Para los sensores ópticos se tuvo en cuenta que la descarga sea directa y gratuita, que la resolución espacial, espectral y temporal cumpla con el nivel de detalle requerido en la información generada, y con los tiempos de respuesta especificados en cada etapa. Los seleccionados para los alcances de esta tesis fueron MODIS y Landsat 8, pero pudiéndose completar a futuro con imágenes Sentinel 2, provistas por la ESA (Agencia Espacial Europea).¹

¹ Visitar <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>.

Para las imágenes SAR, se eligió trabajar con COSMO-SkyMed, por su gran utilidad en las primeras horas de ocurrencia de los fenómenos de inundaciones, donde la mayor parte de las imágenes ópticas están cubiertas por nubes, y por la disponibilidad que tiene la CONAE con respecto a la entrega de estas de imágenes, una vez que son solicitadas. Como se mencionó también para las imágenes ópticas, pueden complementarse las imágenes COSMO-SkyMed con imágenes SAR Sentinel 1².

2.3.1. MODIS

MODIS es un instrumento diseñado por EOS (Sistema de Observación Terrestre) para medir procesos biológicos y físicos en una base global, cada uno o dos días. Programado para ambos satélites, Terra y Aqua, el instrumento proporciona observaciones a largo plazo, de las que se puede obtener un mayor conocimiento de las dinámicas globales y procesos que tienen lugar en la superficie de la Tierra y en la atmósfera baja. Este instrumento multidisciplinario genera simultáneamente, observaciones atmosféricas (cobertura de nubes y propiedades asociadas), oceánicas (temperatura de la superficie del mar y la clorofila), y las características de la superficie terrestre (cambios de ocupación del suelo, temperatura de la superficie terrestre, y propiedades de la vegetación).

Ambos satélites, Terra y Aqua, se encuentran en orbitas polares a 705km de altura, y cruzan el ecuador, pero con la variante de que el Terra lo hace en sentido descendente en horas de la mañana, y el Aqua en sentido ascendente en horas de la tarde. (Rodriguez, Arredondo, and Neira 2005)

El instrumento MODIS proporciona imágenes en 36 bandas discretas de 0.4 a 14.5 micrómetros, seleccionadas para un diagnóstico significativo en ciencias de la Tierra. Las bandas espectrales tienen una resolución espacial de 250m (2 bandas), 500m (5 bandas), o 1 km (29 bandas) en el nadir. (Vermote 2011)

Tienen un ancho de barrido de 2330km y provee imágenes de alta resolución radiométrica de la radiación reflejada diurna y de la emisión térmica diurna y nocturna. Opera continuamente durante el día y la noche. Durante el día toma datos de todas las bandas y en la noche solo las correspondientes al térmico. Los datos son transmitidos en tiempo real en **banda x**, y son recibidos y procesados en la estación terrena de control. ³

² Visitar <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1>.

³ Obtenido de <http://www.conae.gov.ar/satelites/sac-c/terra/modis.html>.

Primary Use	Band	Center Wavelength (nm)	Bandwidth (nm)	Pixel Size (m)	L_{typ}	SNR @ L_{typ}
Land/Cloud/Aerosol Boundaries	1	645.0	48.0	250	21.8	129.0
	2	856.5	38.4	250	24.7	200.8
Land/Cloud/Aerosol Properties	3	465.6	18.8	500	35.3	243.4
	4	553.6	19.8	500	29.0	228.3
	5	1241.6	24.0	500	5.4	74.0
	6	1629.1	28.6	500	7.3	270.4
	7	2114.1	55.7	500	1.0	111.1
Ocean Color/Phytoplankton/Biogeochemistry	8	411.3	14.8	1000	44.9	880.4
	9	442.0	9.7	1000	41.9	838.0
	10	486.9	10.6	1000	32.1	802.5
	11	529.6	12.0	1000	27.9	754.1
	12	546.8	10.3	1000	21.0	750.0
	13	665.5	10.1	1000	9.5	913.5
	14	676.8	11.3	1000	8.7	1087.5
	15	746.4	9.9	1000	10.2	600.0
	16	866.2	15.5	1000	6.2	516.7
Atmospheric Water Vapor	17	904.0	35.0	1000	10.0	166.7
	18	935.5	13.6	1000	3.6	57.1
	19	935.2	46.1	1000	15.0	250.0
Cirrus Clouds	26	1383.0	35.0	1000	6.0	150.0

Primary Use	Band	Center Wavelength (μm)	Bandwidth (μm)	Pixel Size (m)	$L_{typ}(T_{typ})$	$\text{SNR} @ L_{typ} = \frac{L_{typ}}{NE\Delta L_{typ}}$
Surface/Cloud Temperature	20	3.785	.19	1000	0.45(300K)	900.0
Temperature	21	3.990	.08	1000	2.38(335K)	203.4
	22	3.970	.09	1000	0.67(300K)	837.5
	23	4.056	.09	1000	0.79(300K)	987.5
Atmospheric Temperature	24	4.472	.09	1000	0.17(250K)	141.7
Temperature	25	4.545	.09	1000	0.59(275K)	453.8
Water Vapor	27	6.752	.25	1000	1.16(240K)	252.2
	28	7.334	.33	1000	2.18(250K)	641.2
Cloud Properties	29	8.518	.35	1000	9.58(300K)	2661.1
Ozone	30	9.737	.30	1000	3.69(250K)	444.6
Surface/Cloud Temperature	31	11.017	.54	1000	9.55(300K)	2808.8
	32	12.032	.52	1000	8.94(300K)	1824.5
Cloud Top Altitude	33	13.359	.31	1000	4.52(260K)	452.0
Altitude	34	13.675	.33	1000	3.76(250K)	298.4
	35	13.907	.33	1000	3.11(240K)	220.6
	36	14.192	.29	1000	2.08(220K)	106.7

SNR = Signal-to-Noise Ratio
NE = Noise Equivalent
 L_{typ} (in $\text{W}/\text{m}^2\text{-}\mu\text{m}\text{-sr}$) = Spectral radiance at typical conditions for this product
 T_{typ} = Temperature at typical conditions for this product

Tabla 1. Bandas del sensor MODIS. (lii 2000)

MODIS ofrece, en todas sus versiones⁴, gran cantidad de productos, con distintos niveles de procesamientos, para ser aplicados a diversas temáticas.

Para el objeto de la información geográfica que se pretende generar en esta tesis, existen 5 productos adecuados para su utilización, según su resolución espacial, según el dato entregado por cada pixel (reflectancia espectral de la superficie) y según el tiempo de disponibilidad de cada uno.

⁴ Comparación de productos en cada versión de MODIS
https://nsidc.org/data/modis/data_versions.html

Todos los productos Terra MODIS comienzan con la abreviatura “MOD” y los productos Aqua MODIS comienzan con la abreviatura “MYD”. Los mismos se describen a continuación, agrupados según el número de versión de MODIS.⁵

MOD09GA(Terra) y MYD09GA(Aqua): proporciona una estimación de la reflectancia espectral superficial de las bandas MODIS 1-7 corregidas para condiciones atmosféricas tales como gases, aerosoles y dispersión de Rayleigh. Las capas de reflectancia del producto MOD09GA se utilizan como datos de origen para muchos de los productos de tierra MODIS.

MOD09A1(Terra) y MYD09A1(Aqua): proporciona una estimación de la reflectancia espectral superficial de las bandas MODIS 1-7 corregidas para condiciones atmosféricas tales como gases, aerosoles y dispersión de Rayleigh. Junto con las siete bandas de reflectancia de 500m se encuentra una capa de calidad y cuatro bandas de observación. Para cada pixel, se selecciona un valor de todas las adquisiciones obtenidas dentro de un período compuesto de 8 días. Los criterios que se tienen en cuenta para la elección de los píxeles incluyen las nubes y el ángulo cenital solar. Cuando varias adquisiciones cumplen los criterios, se utiliza el pixel que tiene valor mínimo en el canal 3 (azul).

MCD43A4: proporciona datos de reflectancia de 500 metros, ajustados mediante una función de distribución de reflectancia bidireccional (BRDF), para modelar los valores como si fueran tomados desde la vista del nadir. El producto MCD43A4 contiene 16 días de datos combinados entre Terra y Aqua. Proporciona la mayor probabilidad de datos de entrada de calidad y se designa como **MCD**, es decir, un producto combinado.

El sensor MODIS tenía como fecha estimada de finalización de su misión, comienzos del año 2016, pero todavía sigue operativo y aportando imágenes. El sensor que más se le asemeja, para ser considerado como su reemplazo, es el VIIRS (*Visible Infrared Imaging Radiometer Suite*), que ya se encuentra operativo desde el año 2013.⁶

VIIRS tiene menos bandas (22) que MODIS (36), pero también está compuesto por 8 bandas dual-gain (de doble ganancia). Las bandas dual-gain de VIIRS pueden detectar niveles de radiación mucho más altos que las bandas MODIS correspondientes. VIIRS no tiene una banda de fluorescencia para el color del océano, y tiene menos bandas en el rango espectral de 0.4 a 1.0µm que MODIS. Los conjuntos de ondas infrarrojas de ondas cortas y de ondas intermedias son similares en las regiones de las ventanas atmosféricas.(Guenther et al. 2011)

⁵ Descripción de productos MODIS

https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis/modis_products_table

⁶ Tomado de <https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/download-nrt-data/viirs-nrt>

VIIRS Band	Spectral Range (um)	Nadir HSR (m)	MODIS Band(s)	Range	HSR
DNB	0.500 - 0.900				
● M1	0.402 - 0.422	750	8	0.405 - 0.420	1000
● M2	0.436 - 0.454	750	9	0.438 - 0.448	1000
● M3	0.478 - 0.498	750	3 10	0.459 - 0.479 0.483 - 0.493	500 1000
● M4	0.545 - 0.565	750	4 or 12	0.545 - 0.565 0.546 - 0.556	500 1000
I1	0.600 - 0.680	375	1	0.620 - 0.670	250
● M5	0.662 - 0.682	750	13 or 14	0.662 - 0.672 0.673 - 0.683	1000 1000
● M6	0.739 - 0.754	750	15	0.743 - 0.753	1000
I2	0.846 - 0.885	375	2	0.841 - 0.876	250
● M7	0.846 - 0.885	750	16 or 2	0.862 - 0.877 0.841 - 0.876	1000 250
M8	1.230 - 1.250	750	5	SAME	500
M9	1.371 - 1.386	750	26	1.360 - 1.390	1000
I3	1.580 - 1.640	375	6	1.628 - 1.652	500
M10	1.580 - 1.640	750	6	1.628 - 1.652	500
M11	2.225 - 2.275	750	7	2.105 - 2.155	500
I4	3.550 - 3.930	375	20	3.660 - 3.840	1000
M12	3.660 - 3.840	750	20	SAME	1000
M13	3.973 - 4.128	750	21 or 22	3.929 - 3.989 3.929 - 3.989	1000 1000
M14	8.400 - 8.700	750	29	SAME	1000
M15	10.263 - 11.263	750	31	10.780 - 11.280	1000
I5	10.500 - 12.400	375	31 or 32	10.780 - 11.280 11.770 - 12.270	1000 1000
M16	11.538 - 12.488	750	32	11.770 - 12.270	1000

● **Dual-gain Band**

Tabla 2. Comparación de bandas espectrales VIIRS vs MODIS (Guenther et al. 2011)

2.3.2. COSMO-SkyMed

COSMO-SkyMed (*Constellation of Small Satellites for Mediterranean Basin Observation*) es la mayor inversión italiana en sistemas espaciales para la observación terrestre, encargado y financiado por la Agencia Espacial Italiana (ASI) y el Ministerio italiano de Defensa (MoD), y es concebido como un sistema de doble uso (Civil y Defensa) de extremo a extremo del sistema de observación de la Tierra, que tiene por objeto establecer un servicio global de suministro de datos, productos y servicios, que cumplan con las normas internacionales bien establecidas y correspondientes a una amplia gama de aplicaciones, tales como la gestión de riesgos, aplicaciones científicas y comerciales, y aplicaciones de Defensa / inteligencia.

El sistema consta de una constelación de cuatro satélites de órbita terrestre baja, de tamaño medio, cada uno equipado con un radar de apertura sintética multi-modo (SAR) de alta resolución, que opera en la banda X, equipados con dispositivos de adquisición de datos y con una transmisión especialmente flexible e innovadora.

Los cuatro satélites COSMO-SkyMed han sido lanzados con éxito el 8 de junio y el 9 de diciembre de 2007, el 25 de octubre de 2009 y el 6 de noviembre de 2010, respectivamente.

La constelación comenzó a operar en septiembre de 2008, con el despliegue de los dos primeros satélites calificados en órbita. El despliegue de la constelación completa en operaciones, con cuatro satélites calificados en órbita, se completó en enero de 2011. (Agency Italian Space, 2016)

Con una vida útil nominal de 5 años para cada satélite, esto permitirá contar al menos por 3 años con un segmento espacial completamente operativo (constelación de 4 satélites), mientras que los 15 años de vida del segmento terrestre garantizará el tiempo suficiente para continuar procesando y distribuyendo COSMO-SkyMed, Incluso después de la última eliminación de satélite. (Agency Italian Space, 2016)

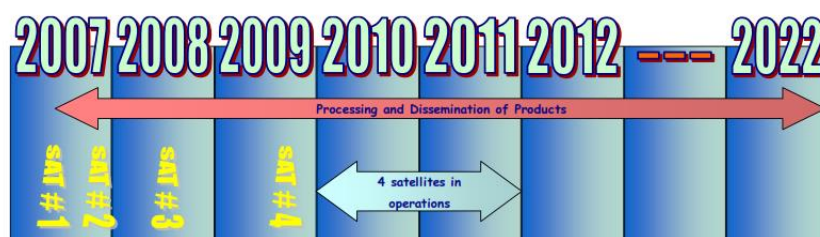


Figura 12. Programación de la constelación COSMO-SkyMed.(Agency Italian Space, 2016)

Estos satélites conformarán la constelación del Sistema SIASGE (Sistema Italo Argentino de Satélites para la Gestión de Emergencias), junto con los satélites argentinos SAOCOM 1A y SAOCOM 1B (ambos SAR que operan en banda L).

En el Plan Espacial Italiano se prevé la continuación del segmento espacial COSMO-SkyMed, con el lanzamiento a futuro de 4 satélites actualizados, para mantener una constelación completa.

Niveles de Procesamientos de los productos COSMO-SkyMed

Nivel	Definición
Nivel 0 (RAW)	Datos crudos que tienen asociados algunos datos auxiliares, como los de calibración, que son necesarios para generar productos con niveles superiores. Procesamiento aplicado: - eliminación del protocolo de transmisión, - descompresión de datos - estimación de estadísticas - formateo de datos.
Nivel 1A	Producto Single-look Complex Slant (SSC): datos crudos enfocados en formato complejo, y en proyección slant range-azimuth (proyección de adquisición natural del sensor). Procesamiento aplicado: - compensación de la ganancia del receptor - calibración interna - enfoque de datos - estimación de estadísticas de los datos de salida. - formateo de datos de salida.
Nivel 1B	Producto Detected Ground Multi-look (DGM) obtenido mediante la detección, el multi-looking y

	<p>la proyección sobre una grilla regular de los datos Single-look Complex Slant.</p> <p>Procesamiento aplicado:</p> <ul style="list-style-type: none"> - reducción del “ruido” speckle mediante multi-looking - detección de imagen (amplitud): la detección remueve la información de fase del archivo de datos - proyección elipsoide - evaluación de estadística - formateo de datos.
Nivel 1C (GEC) y 1D (GTC)	<p>Producto Geocoded Ellipsoid Corrected (GEC) y producto Geocoded Terrain Corrected (GTC) obtenidos mediante la proyección del producto 1A sobre una grilla regular en un determinado sistema de referencia cartográfico. En el caso del nivel 1C la superficie es el elipsoide terrestre, mientras que en el 1D se utiliza un DEM para aproximar la superficie terrestre real.</p> <p>Procesamiento aplicado a datos de Nivel 1B:</p> <ul style="list-style-type: none"> - reducción de ruido speckle mediante multi-looking - proyección de mapa del elipsoide - evaluación de estadística - formateo de datos.

Tabla 3. Niveles de procesamiento- Productos COSMO-SkyMed (Lanfri 2011)

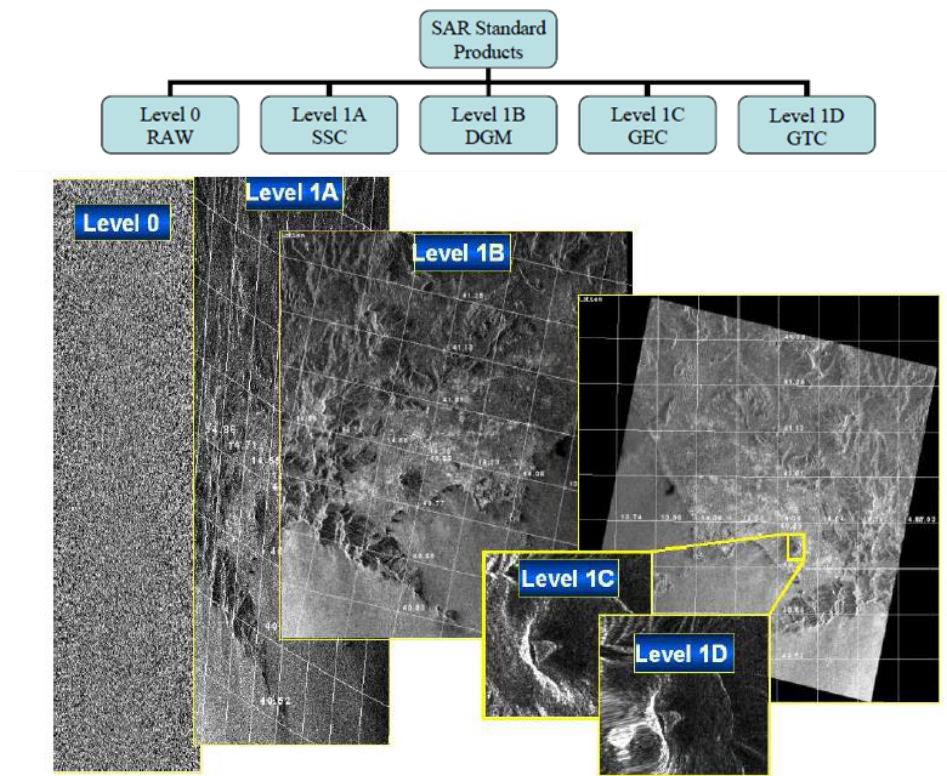


Figura 13. Productos COSMO-SkyMed.(ASI 2007)

Modos de adquisición

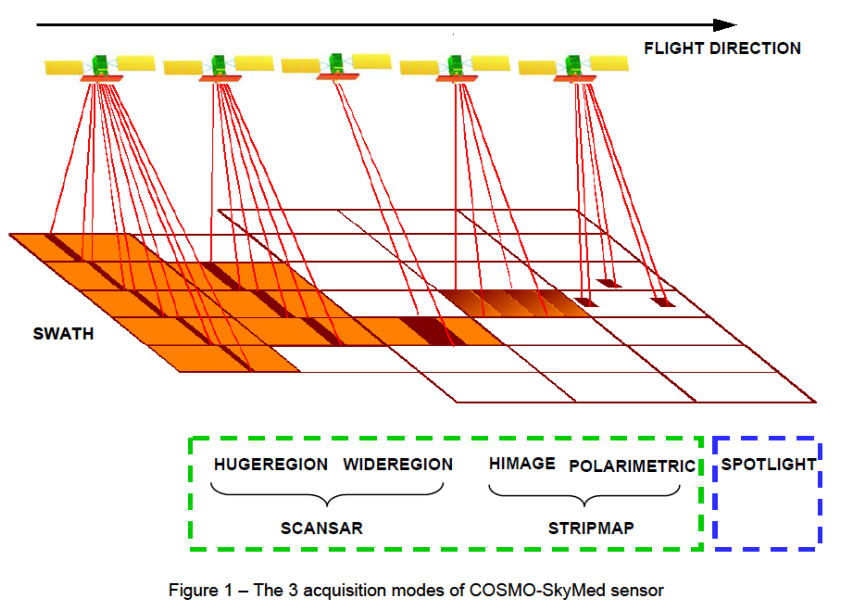


Figure 1 – The 3 acquisition modes of COSMO-SkyMed sensor
Figura 14. Modos de adquisición del sensor COSMO-SkyMed (Agency, Italian Space 2016)

Modo Spotlight: se redirige la antena (tanto en acimut como en el plano de elevación) durante el tiempo total de adquisición con el fin de iluminar la escena requerida, para un periodo de tiempo más largo que el utilizado para tomar la tira de vista lateral estándar, aumentando la longitud de la antena sintética y, por lo tanto, la resolución en acimut.

Modo Spotlight	
<i>Polarización</i>	Single
<i>Máxima Cobertura (km²)</i>	≤20 x 20
<i>Resolución geométrica (m x m)</i>	1 x 1
<i>Pixel Spacing (m x m)</i>	0,5 x 0,5

Tabla 4. Descripción de características Modo Spotlight.(E-geos 2017)

Modo Stripmap: es el modo de imagen más común (por ejemplo, similar al de la misión de ERS), que se obtiene al apuntar la antena a lo largo de una dirección fija con respecto a la trayectoria de vuelo de la plataforma. La huella de la antena cubre una franja en la superficie iluminada, según como se mueve la plataforma y como opera el sistema. La adquisición es prácticamente ilimitada en la dirección del acimut, a excepción de las limitaciones derivadas del ciclo de trabajo del instrumento SAR (alrededor de 600s, lo que permite una longitud de la tira de 4500km). Las dos implementaciones diferentes de este modo son el Himage y el Ping-Pong, cuyas características principales se describen a continuación:

Modo Stripmap	Himage	Ping-Pong
<i>Polarización</i>	Single	Dual
<i>Máxima Cobertura (km²)</i>	≤300 x 300	≤300 x 300
<i>Resolución geométrica (m x m)</i>	5 x 5	20 x 20
<i>Pixel Spacing (m x m)</i>	2,5 x 2,5	10 x 10

Tabla 5. Descripción de características Modo Stripmap.(E-geos 2017)

Modo ScanSAR: permite un tamaño mayor de la franja en rango con respecto al modo Stripmap, pero con una resolución espacial menor. Debido a que una parte de la longitud de la antena sintética está disponible en acimut, la resolución en acimut se reduce. En tal configuración, la adquisición se realiza en el modo de banda adyacente, por lo que es prácticamente ilimitada en la dirección de acimut, pero limitado por el ciclo de trabajo del instrumento SAR que es de alrededor de 600s.

Los dos modos diferentes de implementación permitidos para este modo de adquisición son WideRegion y HugeRegion. En el modo WideRegion, la adquisición se realiza sobre la agrupación de tres sub-swaths adyacentes y en el modo HugeRegion, la adquisición agrupa hasta seis sub-swaths adyacentes.

Modo ScanSAR	Wide Region	Huge Region
<i>Polarización</i>	Single	Single
<i>Máxima Cobertura (km²)</i>	≤300 x 300	≤400 x 400
<i>Resolución geométrica (m x m)</i>	30 x 30	100 x 100
<i>Pixel Spacing (m x m)</i>	15 x 15	50 x 50

Tabla 6. Descripción de características Modo ScanSAR.(E-geos n.d.)

Productos a utilizar en caso de inundaciones

La constelación COSMO-SkyMed está conformada para proveer información diaria de una zona determinada, en caso de ser necesario, pero se debe tener en cuenta al momento de realizar la solicitud de imágenes, que el tiempo de respuesta máximo desde que se solicita el pedido hasta la entrega del producto es de 72 horas, para casos donde no existan restricciones relacionadas con la geometría de adquisición.

En el caso de órdenes complejas como pueden ser amplias áreas de interés o determinadas restricciones geométricas, tales como un rango limitado de ángulos de mira, la adquisición del producto puede estar por encima de las 72 horas.

En caso de emergencia, el sistema puede aceptar solicitudes simples (imágenes individuales), donde el tiempo de respuesta mínimo baja a 26 horas.(E-geos 2017)

Las imágenes con polarización horizontal (HH) son las más utilizadas para el análisis de zonas inundadas, ya que tiene mayor penetración que la polarización vertical en la vegetación, y cuando toca con una superficie plana del agua, presenta un coeficiente de reflexión elevado. (Pierdicca et al. 2013)

La polarización HH hace que la señal retrodispersada sea casi nula, y que, en su defecto, los cuerpos de agua se vean “oscuros” con valores ND bajos.

2.3.3. Landsat 8

El programa Landsat ha proporcionado más de 42 años de datos calibrados de alta resolución espacial de la superficie de la Tierra, a una comunidad de usuarios amplia y variada, incluyendo la agroindustria, los investigadores del cambio global, el mundo académico, los gobiernos estatales y locales, los usuarios comerciales, agencias de seguridad nacional, la comunidad internacional, tomadores de decisiones y el público en general. Las imágenes Landsat proporcionan la información que satisface las amplias necesidades de diversos negocios, la ciencia, la educación, el gobierno y la seguridad nacional.

La misión del Programa Landsat es proporcionar adquisición repetitiva de moderada resolución, de los datos multiespectrales de la superficie de la Tierra, sobre una base global.

Landsat representa la única fuente de mediciones con moderada resolución espacial de la superficie de la tierra, ya calibradas, que se conservan en un archivo nacional y de libre acceso para el público. Los datos Landsat constituyen el registro más largo de las superficies continentales de la Tierra, vista desde el espacio. Es un registro sin igual en calidad, detalle, cobertura y valor.

Landsat 8 ofrece las siguientes características:

- *Continuidad de datos:* Landsat 8 (lanzado el 11 de febrero de 2013) es el último de una serie continua de satélites de detección remota sobre la tierra, que se iniciaron en el año 1972.
- *Misión de Estudio Global:* Los datos Landsat 8, periódicamente y de manera sistemática, actualizan un archivo global de “sun-lit” con imágenes libres de nubes de la masa de la tierra.
- *Productos estándares libres:* Los productos de datos Landsat 8 están disponibles a través del Centro USGS EROS⁷ y sin cargo en la página de la CONAE⁸.
- *Calibración radiométrica y geométrica:* Datos provenientes de dos sensores (OLI y TIRS).
- *Entrega Responsable:* Los sistemas automatizados de procesamiento de solicitudes proporcionan productos dentro de las 48 horas de la orden (normalmente mucho más rápido). (“LANDSAT 8 (L8) DATA USERS HANDBOOK Version 1.0 June 2015” 2015)

Lleva dos instrumentos a bordo que son el sensor “Operational Land Imager” (OLI) y el sensor “Thermal Infrared Sensor” (TIRS). Estos sensores proporcionan un rendimiento radiométrico mejorado de la relación señal- ruido (SNR), cuantificado en un rango dinámico de 12 bits. (Esto se traduce en 4096 niveles de grises en una imagen en comparación con sólo 256 niveles de grises en los instrumentos anteriores de 8 bits). De esta manera se logra tener una mejor caracterización del estado y la condición de la cubierta terrestre.⁹

⁷ Descarga USGS EROS <http://glovis.usgs.gov/>

⁸ Descarga CONAE <https://catalogos.conae.gov.ar/landsat8/>

⁹ Obtenido de <http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>

Landsat-7 ETM+ Bands (μm)			Landsat-8 OLI and TIRS Bands (μm)		
			30 m Coastal/Aerosol	0.435 - 0.451	Band 1
Band 1	30 m Blue	0.441 - 0.514	30 m Blue	0.452 - 0.512	Band 2
Band 2	30 m Green	0.519 - 0.601	30 m Green	0.533 - 0.590	Band 3
Band 3	30 m Red	0.631 - 0.692	30 m Red	0.636 - 0.673	Band 4
Band 4	30 m NIR	0.772 - 0.898	30 m NIR	0.851 - 0.879	Band 5
Band 5	30 m SWIR-1	1.547 - 1.749	30 m SWIR-1	1.566 - 1.651	Band 6
Band 6	60 m TIR	10.31 - 12.36	100 m TIR-1	10.60 - 11.19	Band 10
			100 m TIR-2	11.50 - 12.51	Band 11
Band 7	30 m SWIR-2	2.064 - 2.345	30 m SWIR-2	2.107 - 2.294	Band 7
Band 8	15 m Pan	0.515 - 0.896	15 m Pan	0.503 - 0.676	Band 8
			30 m Cirrus	1.363 - 1.384	Band 9

Tabla 7. Comparación de bandas Landsat 7 y Landsat 8. (Anon 2015)

Productos de Landsat 8

Los productos de datos que ofrece Landsat 8 son consistentes con todos los productos de datos estándar de Nivel 1 (ortorectificados) disponibles desde Landsat 1 hasta Landsat 7.

Procesamiento { Nivel 1- **Corrección por terreno**

Tamaño de Pixel { OLI multiespectral, bandas 1-7 y 9 = **30 metros**
 OLI pancromática, banda 8 = **15 metros**
 TIRS, bandas 10-11 = **100 metros remuestreadas a 30 metros** para coincidir con las bandas multiespectrales OLI.

Para el objeto de la información geográfica que se pretende generar en esta tesis, en donde se llevará a cabo la clasificación de cuerpos de agua, se le aplicará a las imágenes Landsat 8 el índice MNDWI, como ya se **explicó en el Capítulo 2. Marco teórico para la clasificación de Cuerpos de Agua**.

$$MNDWI = \frac{Green - MIR}{Green + MIR}$$

Dónde: *Green*=reflectividad en la banda del Verde
MIR= reflectividad en el Infrarrojo Medio

Capítulo 3. Desarrollo del Protocolo de Emergencias

3.1. Introducción

El siguiente protocolo de emergencias fue diagramado para dar respuestas a los damnificados en diferentes momentos de la ocurrencia de la inundación.

La primera respuesta debe ser en las primeras horas de ocurrida la inundación, identificando las zonas más afectadas, para centrar el seguimiento en ellas y colaborar rápidamente con la atención requerida por los damnificados.

La segunda respuesta debe ser en los días en donde transcurre la inundación, donde se debe continuar con el monitoreo de la región, analizando si aparecen nuevas zonas de afectación.

La tercera y última respuesta se debe dar en los días posteriores a la inundación, donde los damnificados deben obtener la ayuda necesaria para poder paliar las pérdidas económicas sufridas.

El diseño de este protocolo pretende ser una herramienta útil, para que se puedan generar mapas con información geográfica, llevados a cabo por especialistas o no, en el manejo de imágenes satelitales y softwares GIS.

3.2. Zona de estudio

La Provincia de Buenos Aires ha sufrido en los últimos años, importantes inundaciones en diferentes partidos. Una de las regiones más afectadas es la zona oeste, en los partidos de Rivadavia, Gral. Villegas y Trenque Lauquen especialmente.

Debido a esta problemática, ARBA ha participado en reuniones con la Comisión de Emergencia y Desastre Agropecuario de la Provincia de Buenos Aires-CEDABA que se encuentra dentro del ministerio de Agroindustria, colaborando con mapeos de las zonas afectadas.

Aquí también tuvieron la posibilidad de participar los intendentes de los partidos afectados, que acercaron una detallada explicación de la situación actual en cada uno de los sectores alcanzados por esta problemática.

El análisis realizado, en base a lo conversado en estas reuniones, y las necesitadas planteadas por el ministerio de Agroindustria, motivaron la decisión de elegir como área de estudio para la presente tesis, la Laguna "Hinojo Chica", ubicada dentro del partido de Trenque Lauquen, a 15km del casco urbano.

Esta laguna pertenece al sistema lacustre Las Tunas (Laguna Hinojo Chica- Laguna Hinojo Grande- Laguna Las Tunas del Medio- Laguna Las Tunas Chicas- Laguna Las Gaviotas), y ha sufrido constantes desbordes en los últimos años, llevando grandes pérdidas en la producción agrícola y ganadera en los campos cercanos.

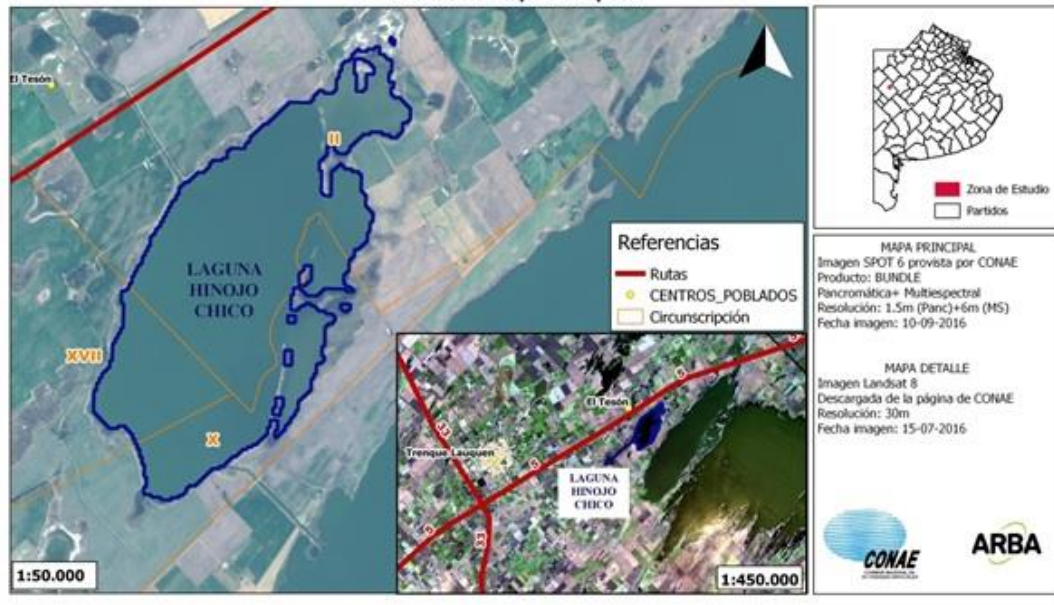


Figura 15. Mapa de la Zona de Estudio.

3.3. Primera etapa del Protocolo: Alerta de Prevención. Potenciales zonas de monitoreo.

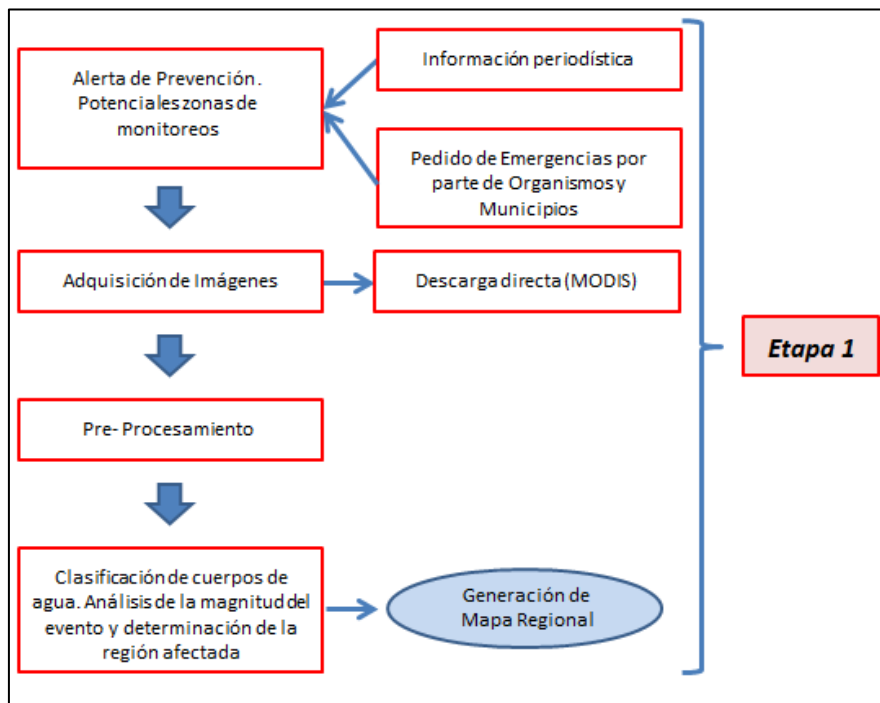


Figura 16. Cuadro de procedimientos de la Etapa 1 del protocolo.

La primera etapa debe dar comienzo, según lo determinen los agentes de ARBA designados para colaborar con la problemática de inundaciones, teniendo en cuenta la metodología que se describe en los siguientes puntos:

- a) Informarse diariamente sobre la existencia de lluvias prolongadas en diferentes regiones de la provincia de Buenos Aires, utilizando como herramienta principal a los medios de comunicación. La información actualizada sobre las dificultades que van surgiendo progresivamente con la cantidad de lluvia caída hasta el momento, y las pronosticadas para los días sucesivos, es de gran utilidad para poder ir definiendo con anticipación, una zona como potencial candidata a ser monitoreada.
- b) Recepcionar, analizar y dar curso a los pedidos de emergencia que provengan de diferentes organismos provinciales o de municipios.

Con este procedimiento se busca, no solo esperar a que se declare la emergencia, sino prevenir posibles inundaciones y delimitar las zonas de interés, para poder dar una respuesta temprana con el monitoreo de las áreas de riesgo.

El objetivo es tener una visión rápida de la existencia o no de zonas con grandes superficies de afectación, trabajando con imágenes de baja resolución espacial para abarcar grandes extensiones del territorio.

3.3.1. Descarga y pre-procesamiento de imágenes.

En la Etapa 1, como se muestra en la Figura 16, se utilizan productos MODIS de descarga directa y gratuita, con datos diarios (MOD09GA y MYD09GA) y con datos acumulados de 8 días (MOD09A1 y MYD09A1), descriptos en el **Capítulo 2. Marco teórico para la clasificación de Cuerpos de Agua**.

Se lleva a cabo toda la etapa de pre-procesamiento, en la que se incluye la reproyección de las imágenes a la faja 5 del sistema de coordenadas POSGAR 94, utilizado actualmente en ARBA. Estas imágenes reproyectadas se guardan en formato ENVI o Geotiff, controlando siempre que no pierdan el sistema de referencia. *(El procedimiento de descarga de imágenes y de pre-procesamiento se detalla en el Anexo 1)*

3.3.2. Clasificación de cuerpos de Agua. Análisis de la magnitud del evento y determinación de la región afectada.

Se clasifican los cuerpos de agua, utilizando el algoritmo NDWI descripto en el **Capítulo 2, Ecuación 8** y se genera un mapa regional, con bajo nivel de detalle, de toda la Provincia de Buenos Aires. Este análisis macro, busca dar una vista generalizada de las zonas más afectadas, para delimitarlas y continuar con su análisis detallado, en caso que sea necesario. *(El procedimiento de clasificación de cuerpos de agua se detalla en el Anexo 1)*

3.3.3. Generación de mapa regional de afectación.

Este mapa debe abarcar toda la Provincia de Buenos Aires, y sirve como información complementaria a la recogida in-situ por diferentes entes provinciales y municipios, ayudando en la toma de decisión para llevar adelante un posible disparo de alerta. *(El procedimiento para la generación de este mapa se describe en el Capítulo 4. Generación de Información Geográfica y en el Anexo 1)*

3.4. Segunda etapa del Protocolo: Disparo de alerta.

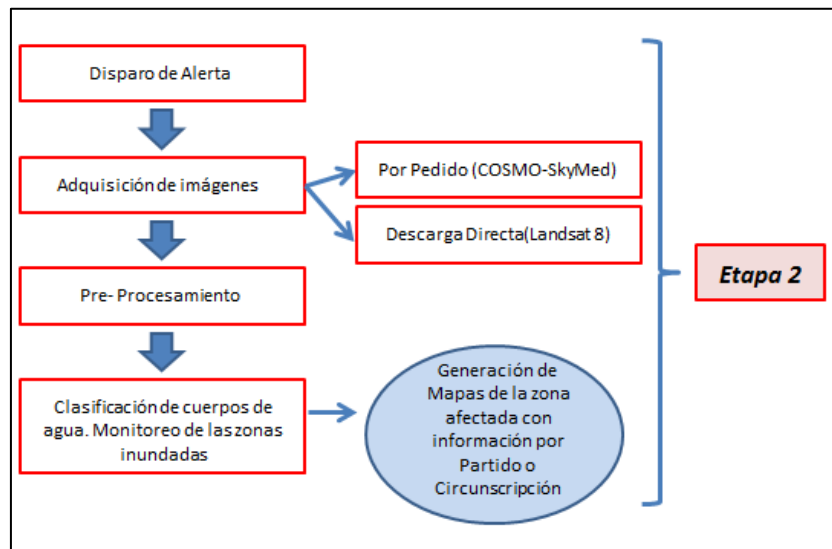


Figura 17. Cuadro de procedimientos de la Etapa 2 del protocolo

Cumplida la primera etapa, y realizando diferentes análisis de toda la información remota y de los datos recogidos in-situ, se debe decidir si las zonas afectadas tienen una magnitud considerable que justifique un disparo de alerta. Si se produce este suceso, automáticamente se comienza a transitar la segunda etapa, en donde se debe monitorear el avance de la inundación, pero con un nivel de detalle superior al de la primera.

En esta etapa es fundamental tener bien definida el/las área/s de interés, para poder tener certeza de las imágenes que se van a solicitar o que se van a descargar.

3.4.1. Adquisición y pre-procesamiento de imágenes.

La adquisición de imágenes se lleva a cabo por medio de descarga directa o por pedido. Por descarga directa se utilizan las imágenes Landsat 8 (ópticas) y por pedido las imágenes SAR COSMO-SkyMed.

Se lleva a cabo toda la etapa de pre-procesamiento, en la que se incluye la reproyección de las imágenes a la faja 5 del sistema de coordenadas POSGAR 94, utilizado actualmente en ARBA. Estas imágenes reproyectadas deben guardarse en formato ENVI o Geotiff, controlando siempre que no pierdan el sistema de referencia. *(El procedimiento de descarga y pre-procesamiento de imágenes se detalla en el Anexo 2 y Anexo 3).*

3.4.2. Clasificación de cuerpos de Agua. Monitoreo de las zonas inundadas.

Teniendo en cuenta las recomendaciones para diferentes escenarios de emergencias y desastres, descritas en el Charter Internacional (Charter, 2015), se utilizan prioritariamente imágenes SAR para clasificar los cuerpos de agua, ya que es probable que las imágenes ópticas se encuentren cubiertas por nubes.

El siguiente listado describe las prioridades de los tipos de imágenes a utilizar:

- 1- *Imagen SAR COSMO-SkyMed Wide Region con polarización HH. (Solicitud a CONAE).*
- 2- *Imagen SAR COSMO-SkyMed Himage con polarización HH.*
- 3- *Imagen Landsat 8. (Descarga directa).*

3.4.3. Generación de mapas de la zona afectada con información por Partido o Circunscripción.

Se genera un mapa de las zonas afectadas con detalles de información por Partido o Circunscripciones.

Al mostrar un nivel de detalle superior al realizado en la primera etapa, con imágenes provenientes del sensor MODIS, permite a las diferentes instituciones dedicadas a colaborar en la emergencia, definir las zonas que requieren prioritariamente de ayuda.

La determinación de la afectación por circunscripción, es una información de valor agregado que sirve a los organismos provinciales que se encargan de otorgar la emergencia, para decidir si la misma corresponde para todo el partido completo o solo para algunos sectores. *(El procedimiento para la generación de este mapa se describe en el **Capítulo 4. Generación de Información Geográfica** y en el "Anexo 3")*

Este monitoreo se lleva a cabo mientras se sigan produciendo precipitaciones en las zonas, y mientras los informes meteorológicos no prevean mejoras.

Cuando se observe en los mapas generados para los diferentes días, que la cantidad de agua en superficie ha disminuido, y teniendo en cuenta si las condiciones climáticas de la zona han mejorado, se dará por finalizada la alerta por parte de los agentes de ARBA.

3.5. Tercera etapa del Protocolo: Análisis posterior a la inundación.

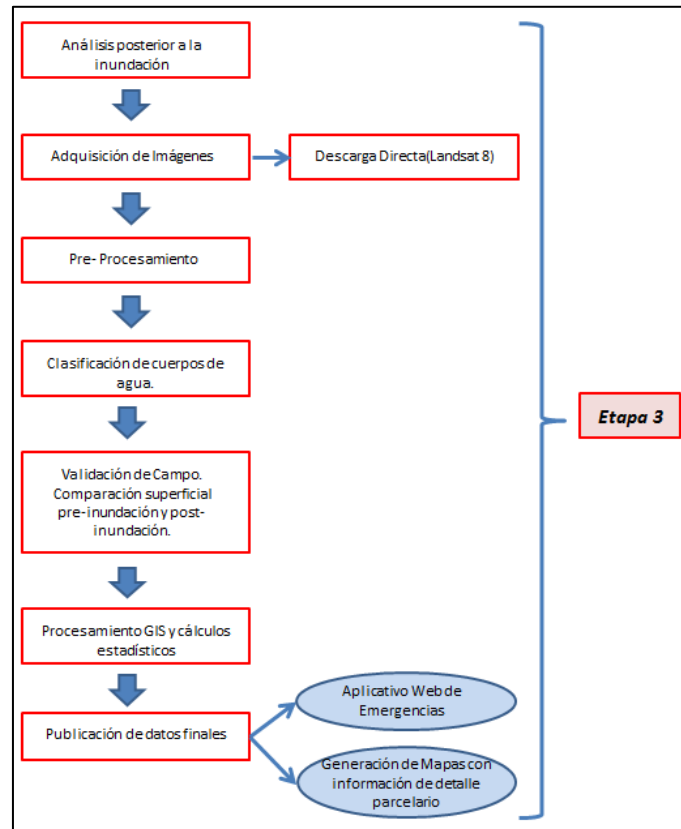


Figura 18. Cuadro de procedimientos de la Etapa 3 del protocolo

El análisis que se realiza una vez que finaliza la alerta, no es menos importante que los llevados a cabo en el momento previo y durante la ocurrencia de la inundación.

En esta tercera y última etapa, el estudio se realiza con detalles de información a nivel parcela, con una precisión superior a las anteriores, por lo que se recomienda utilizar imágenes ópticas. En esta tesis se trabajó con Landsat 8 para la clasificación de los cuerpos de agua, pero existen sensores complementarios que pueden dar muy buenos resultados para esta etapa, como son Sentinel 2 o SPOT 6 y 7.

Es conveniente tomarse un tiempo prudencial para el desarrollo de este último análisis (entre 1 o 2 semanas posteriores a la finalización de alerta), ya que el período de respuesta no es tan inmediato como el requerido en el transcurso de la emergencia.

Toda la información que se entregue, va a ser de gran utilidad para diferentes entes provinciales, ayudándolos en la toma de decisiones para el otorgamiento de prórrogas o exenciones en los impuestos y en las asignaciones de créditos a las familias damnificadas.

Esta última etapa se utiliza para sacar conclusiones sobre el nivel de afectación de las diferentes áreas, y puede ser utilizada por los organismos competentes para buscar soluciones futuras, como pueden ser el desarrollo de obras hidráulicas, o la detección de posibles zonas de riesgo permanente (por la existencia de edificaciones levantadas sobre planicies de inundación).

3.5.1. Validación de campo. Comparación superficial pre-inundación y post-inundación.

En los días posteriores a la inundación se debe realizar un relevamiento de campo donde se deben marcar las zonas inundadas.

Se recorren sectores aleatorios del área rural, del partido afectado, y se delimita en una Tablet PC, las zonas que se encuentran inundadas o que muestren rasgos (resaca en postes, en alambrados) de haber estado inundadas en días anteriores al relevamiento.

En la Tablet PC debe existir un proyecto GIS que contenga la capa de la cartografía del lugar, y debe tener encendido el GPS incorporado, para que las parcelas afectadas que se van marcando queden georreferenciadas, y puedan ser comparadas con las clasificadas en las imágenes satelitales para poder realizar un control de calidad.

3.5.2. Procesamiento GIS y cálculos estadísticos

Se realizan los análisis de la información geográfica generada con las imágenes satelitales, los datos recogidos en campo y la cobertura vectorial parcelaria de los partidos en cuestión. Con el cruce de información se realizan cálculos estadísticos y se obtiene el porcentaje de afectación total del partido, el porcentaje de afectación por circunscripción y finalmente a nivel parcelario.

Se genera un listado de aquellas partidas inmobiliarias que se consideran inundadas parcialmente o en su totalidad, las cuales deben ser alcanzadas con el beneficio de la exención del impuesto inmobiliario.

3.5.3. Publicación de datos finales.

Se publica toda la información geográfica obtenida, en la plataforma web *Tgeo/mesi* de **ARBA**. Allí se pueden consultar parcela por parcela, el porcentaje de afectación de inundación. Se controla que la superficie afectada nunca supere la superficie parcelaria, para corroborar que no existen errores groseros en la clasificación.

Cuando existe información de campo, levantada por centros de servicios locales, se realiza un control de calidad. Para este caso, la publicación se lleva a cabo, solo si el 90% de las parcelas identificadas remotamente como "afectadas" coinciden con las relevadas en campo.

Esta información estará disponible para aquellos organismos con incumbencias en la problemática de inundaciones, solicitando a la agencia un usuario y contraseña para poder acceder a la aplicación.

Capítulo 4. Generación de Información Geográfica

Se genera información geográfica con diferentes niveles de detalles, que cumplen con los requerimientos específicos en cada etapa del protocolo de emergencias. El ejemplo que se muestra ocurre en la provincia de Buenos Aires, pero puede adaptarse para inundaciones en cualquier parte del país. También es posible adaptar el protocolo para generar otra clase de información geográfica, que sea de interés y utilidad para los organismos solicitantes.

4.1. Mapa generado a partir de datos MODIS

La información geográfica generada con datos MODIS corresponde a la primera etapa del protocolo de emergencias (como fue explicado en 3.3. **Primera etapa del Protocolo: Alerta de Prevención. Potenciales zonas de monitoreo.**).

El procedimiento adoptado (desde la solicitud de la imagen hasta la generación del producto final) se describe en el siguiente gráfico, y se explica de manera detallada en el **Anexo 1**.

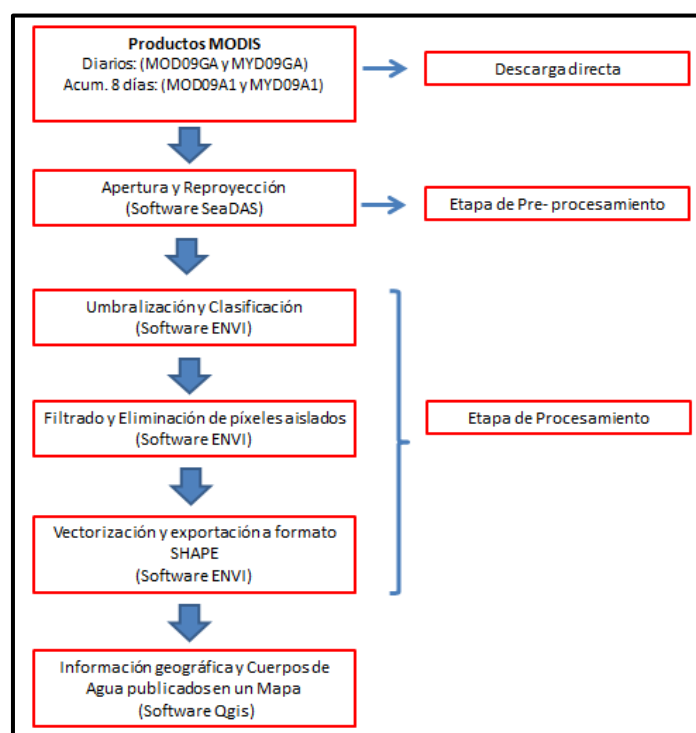


Figura 19. Cuadro de procedimiento para la generación del Mapa con datos MODIS

Para que el mapa en donde se publica esta información sea de utilidad, debe ser claro y contener las capas vectoriales que se describen a continuación:

- **Cuerpos de Agua permanente:** se calcula mediante la utilización del índice MNDWI, y se analiza la recurrencia de los últimos 10 años, utilizando una imagen Landsat por año (Landsat 5, 7 y 8). Se consideran cuerpos de agua permanente a todos aquellos con una recurrencia en el 80% de las imágenes utilizadas (8 de 10).
- **Cuerpos de Agua clasificados:** detectados con el índice NDWI en la imagen MODIS.
- **Rutas Nacionales y Provinciales:** rutas que se encuentren en la cercanía de la zona de interés. Deben mostrar la etiqueta con la fuente correspondiente.

- **Límites de partidos:** delimitación de cada uno de los partidos de la Provincia de Buenos Aires. Deben mostrar la etiqueta con la fuente correspondiente.
- **Referencias:** debe indicar claramente las referencias de cada capa mostrada en el mapa.
- **Información Adicional:** elaborar un resumido informe donde se describa la metodología llevada a cabo, fechas de las imágenes utilizadas, datos de los proveedores de las imágenes, listado de los partidos con mayor porcentaje de agua detectada.

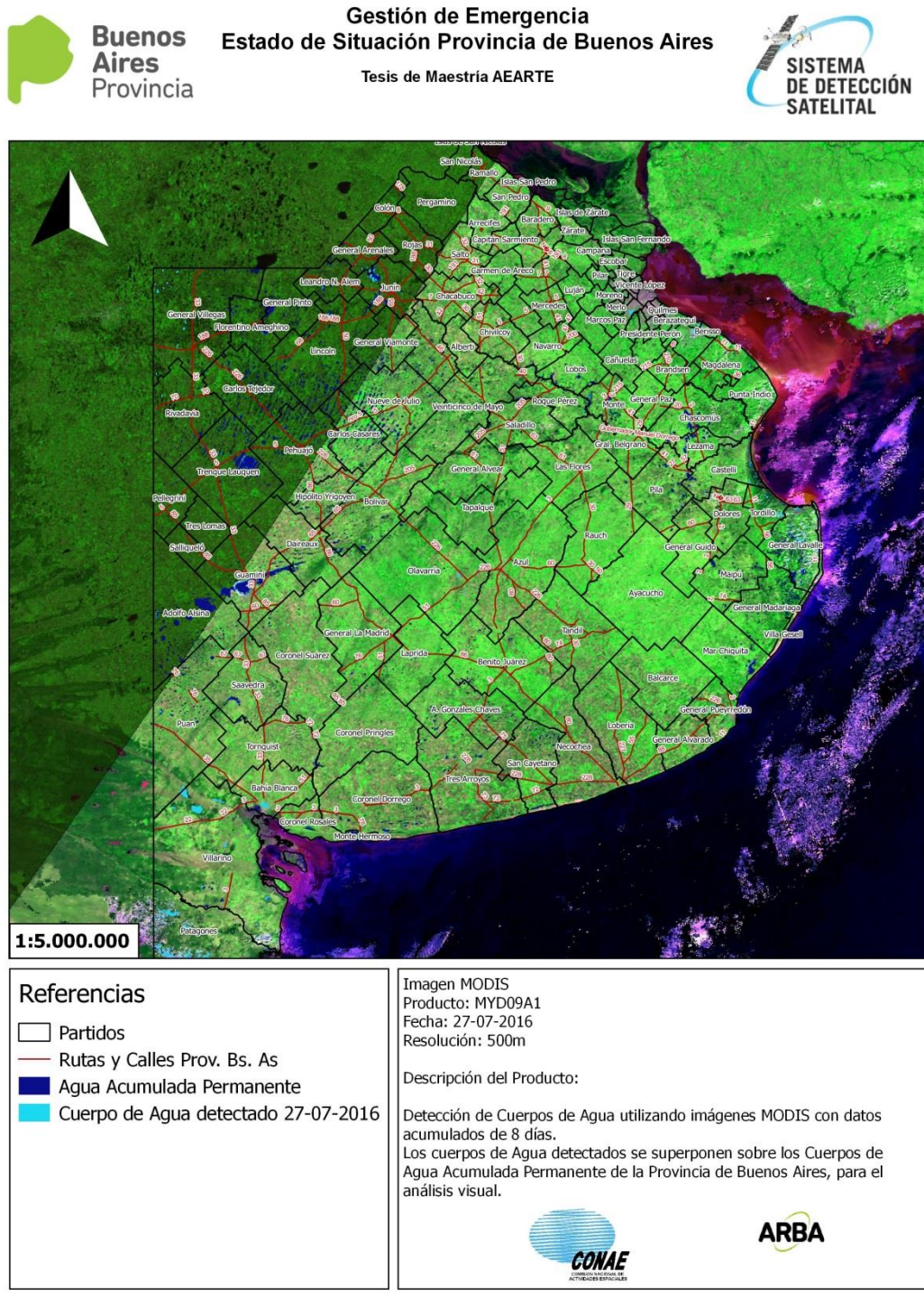


Figura 20. Mapa del Estado de Situación de la Provincia de Buenos Aires con datos MODIS de fecha 27-07-2016.

4.2. Mapa generado a partir de datos COSMO-SkyMed

La información geográfica generada con datos COSMO-SkyMed corresponde a la segunda etapa del protocolo de emergencias (como fue explicado en 3.4. **Segunda etapa del Protocolo: Disparo de alerta.**).

El procedimiento adoptado (desde la solicitud de la imagen hasta la generación del producto final) se describe en el siguiente gráfico, y se explica de manera detallada en el **Anexo 3**

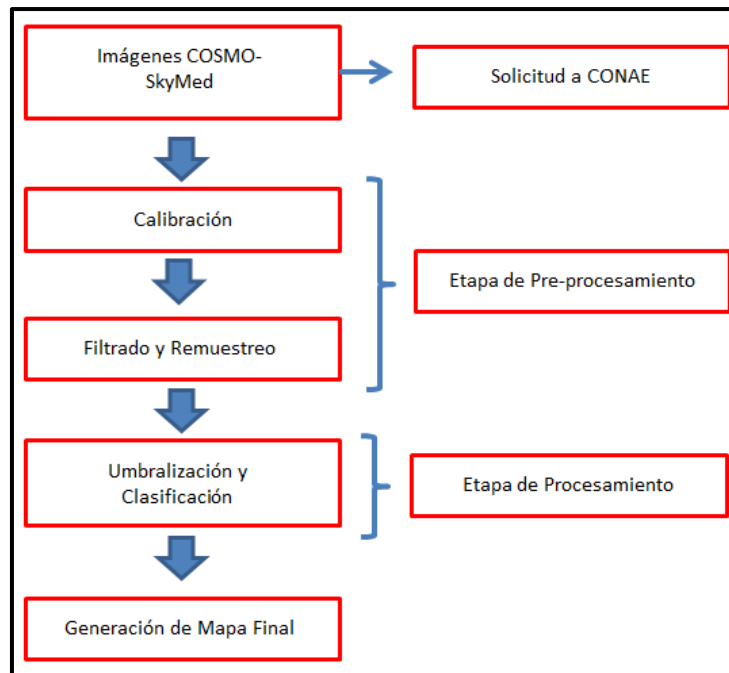


Figura 21. Cuadro de procedimiento para la generación del Mapa con datos COSMO-SkyMed.

Para que el mapa en donde se publica esta información sea de utilidad, debe ser claro y contener las capas vectoriales que se describen a continuación:

- **Cuerpos de Agua permanente:** se calcula mediante la utilización del índice MNDWI, y se analiza la recurrencia de los últimos 10 años, utilizando una imagen Landsat por año (Landsat 5, 7 y 8). Se consideran cuerpos de agua permanente a todos aquellos con una recurrencia en el 80% de las imágenes utilizadas (8 de 10).
- **Cuerpos de Agua clasificados:** detectados con la utilización del umbral de clasificación seleccionado.
- **Rutas Nacionales y Provinciales:** rutas que se encuentren en la cercanía de la zona de interés. Deben mostrar la etiqueta con la fuente correspondiente.
- **Cursos de Agua:** ríos y arroyos principales, que se encuentren en la cercanía de la zona de interés. Deben mostrar la etiqueta con la fuente correspondiente.
- **Límites de Partidos:** delimitación del/los partido/s que se encuentren contenidos en la imagen COSMO-SkyMed. Deben mostrar la etiqueta con el nombre correspondiente.
- **Límites de Circunscripciones:** delimitación de las circunscripciones correspondientes a los partidos contenidos en la imagen COSMO-SkyMed. Deben mostrar la etiqueta con la fuente correspondiente.
- **Croquis de Ubicación:** debe mostrar la ubicación de la zona de interés, junto con las zonas pobladas y las rutas principales más cercanas.

- **Referencias:** debe indicar claramente las referencias de cada capa mostrada en el mapa.
- **Mapa General:** debe mostrar todos los partidos de la provincia de Buenos Aires con el área de interés delimitado.
- **Información Adicional:** elaborar un resumido informe donde se describa la metodología llevada a cabo, fechas de las imágenes utilizadas, datos de los proveedores de las imágenes, diferencia entre la superficie de agua permanente y la de agua detectada.

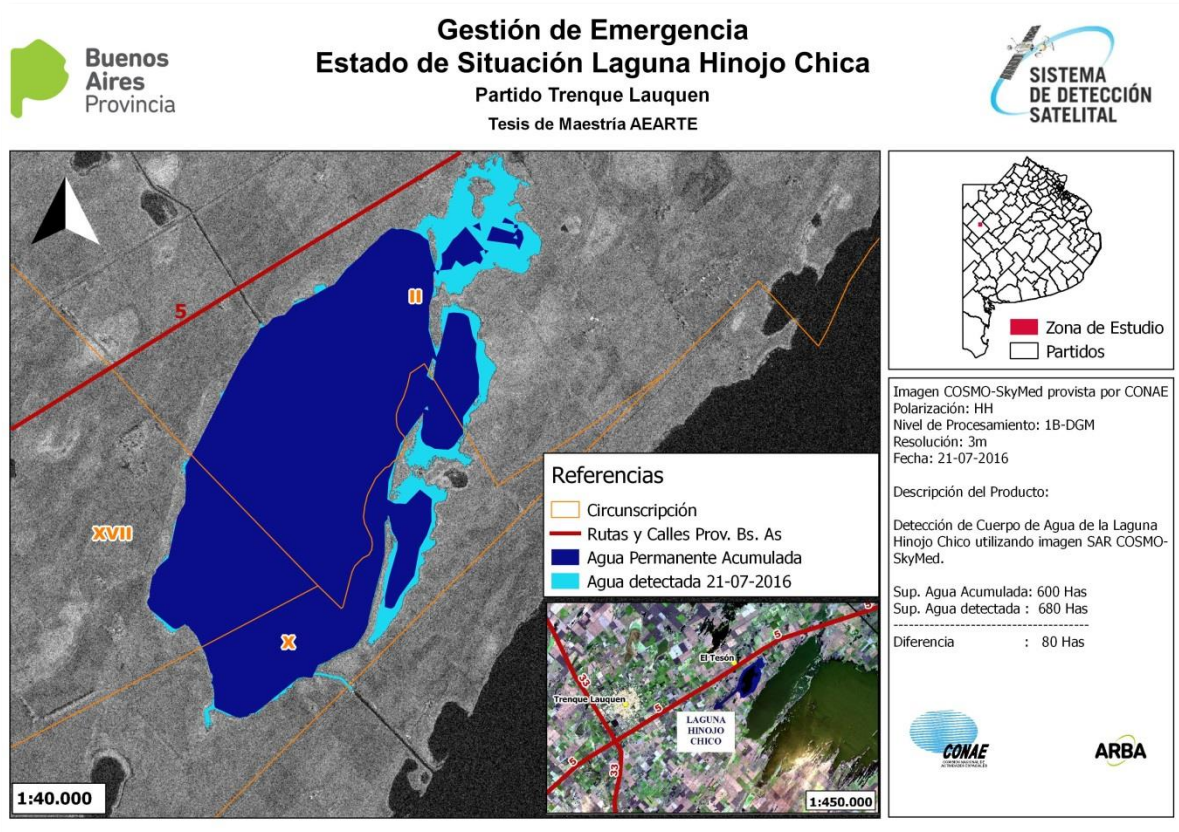


Figura 22. Mapa del Estado de Situación de la Laguna Hinojo Chica con datos COSMO-SkyMed de fecha 21-07-2016.

4.3. Mapa generado a partir de datos Landsat 8

La información geográfica generada con imágenes Landsat 8 se puede utilizar en la segunda etapa del protocolo de emergencias (si existe alguna imagen disponible sin nubes) y en la tercera etapa (como fue explicado en el 3.5. **Tercera etapa del Protocolo: Análisis posterior a la inundación.**).

El procedimiento adoptado (desde la solicitud de la imagen hasta la generación del producto final) se describe en el siguiente gráfico, y se explica de manera detallada en el **Anexo 2**

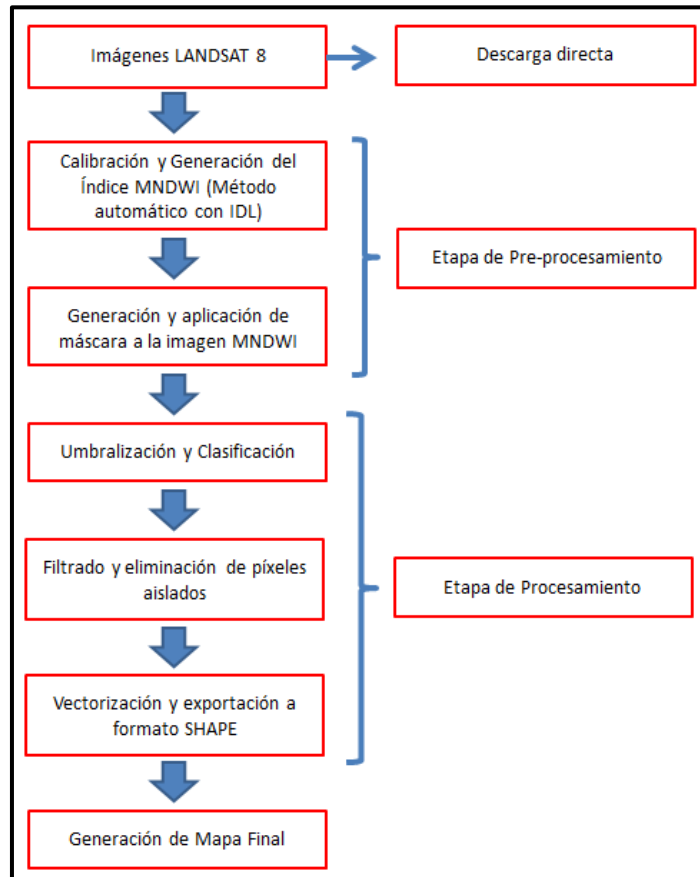


Figura 23. Cuadro de procedimiento para la generación del Mapa con datos Landsat 8.

Dependiendo de la etapa a la que corresponde el mapa, los niveles de detalles varían (*segunda etapa*: nivel partido o circunscripción; *tercera etapa*: nivel parcela), pero la información que se entrega es la misma.

Se deben incluir las capas vectoriales que se describen a continuación:

- **Cuerpos de Agua permanente:** se calcula mediante la utilización del índice MNDWI, y se analiza la recurrencia de los últimos 10 años, utilizando una imagen Landsat por año (Landsat 5, 7 y 8). Se consideran cuerpos de agua permanente a todos aquellos con una recurrencia en el 80% de las imágenes utilizadas (8 de 10).
- **Cuerpos de Agua clasificados:** detectados con el índice MNDWI en la imagen Landsat 8, que no corresponden al ítem 1.
- **Rutas Nacionales y Provinciales:** rutas que se encuentren en la cercanía de la zona de interés. Deben mostrar la etiqueta con la fuente correspondiente.

Capítulo 5. Análisis de las imágenes COSMO-SkyMed

5.1. Introducción

Las tres etapas definidas en el protocolo de emergencias, se diferencian por los tiempos de respuesta, por los sensores utilizados y por los niveles de detalle requeridos para la información que se genera.

En la primera etapa, donde se utilizan productos MODIS, el nivel de detalle es provincial (500m a 1km) y el objetivo es visualizar grandes regiones con potencial peligro de inundación.

La segunda etapa es la que debe llevarse a cabo en el momento que se está desarrollando la inundación y la respuesta debe ser inmediata. Se utilizan imágenes COSMO-SkyMed, debido a la disponibilidad brindada por CONAE y a la gran utilidad de las mismas, en un momento donde las imágenes ópticas generalmente se encuentran cubiertas por nubes, casi en su totalidad. El nivel de detalle es por partido o circunscripción.

En la tercera etapa se utilizan imágenes LANDSAT 8 y se trabaja con un nivel de detalle parcelario. No es necesario entregar una respuesta inmediata, ya que la etapa se desarrolla en un tiempo posterior a la inundación.

Debido a que en Arba se viene trabajando hace tiempo con MODIS y Landsat, se tiene un control de la fiabilidad de estos sensores, tanto en el posicionamiento como en la calidad de los productos generados.

Por otro lado, teniendo en cuenta todas necesidades descritas en el protocolo de emergencia y el tiempo de respuesta requerido, se observa que la etapa en donde menos controles de calidad se realizan es en la segunda.

Lo explicado en los puntos anteriores motivó a realizar un control de calidad de las imágenes COSMO-SkyMed, analizando la precisión en el posicionamiento y la fiabilidad de las clasificaciones que se llevan a cabo con su utilización. Para este control se realizó un relevamiento con instrumental GNSS sobre el “pelo de agua” de la Laguna Hinojo Chica.

Para poder llevar a cabo este relevamiento, se realizaron gestiones entre ARBA y la Comisión de Emergencia y Desastre Agropecuario-CEDABA, para obtener el permiso por parte del Municipio de Trenque Lauquen, al libre acceso a la laguna.

En base a la fecha acordada con el municipio para la realización de todo el trabajo de campo, se solicitó a CONAE la programación de toma de la imagen COSMO-SkyMed.

5.2. Materiales & Métodos

La fecha de toma de la imagen solicitada a CONAE fue coincidente con la fecha del relevamiento de campo, para asegurar que no se produzcan cambios debido a factores climáticos, que le quiten validez y veracidad a los datos.

Las características de la imagen SAR provista por CONAE se describe a continuación:

ImageID: CSKS1_DGM_B_HI_05_HH_RD_SF_20160721211559_20160721211607.h5

Fecha de Imagen: 2016-07-21

Modo de Adquisición: HIMAGE

Mirada: DERECHA

Nivel de Procesamiento: LEVEL-1B (DGM) y LEVEL-1C (GEC)

Dirección de Orbita: DESCENDIENTE

Angulo de Incidencia: 40.0

La elección de una imagen con estas características se llevó a cabo, siguiendo las prioridades y recomendaciones utilizadas por el Charter Internacional (Charter 2015).

El relevamiento de campo se realizó con la utilización de instrumental GNSS. El sistema global de navegación por satélite (GNSS), es una constelación de satélites artificiales orbitando, que transmiten rangos de señales utilizados para el posicionamiento y localización en cualquier parte del planeta. Estas señales llevan un código de tiempo y datos geográficos que permite al usuario identificar la posición exacta, la velocidad y el tiempo en cualquier parte del planeta. (Huerta Eduardo; Mangiaterra Aldo; Noguera Gustavo. 2005)

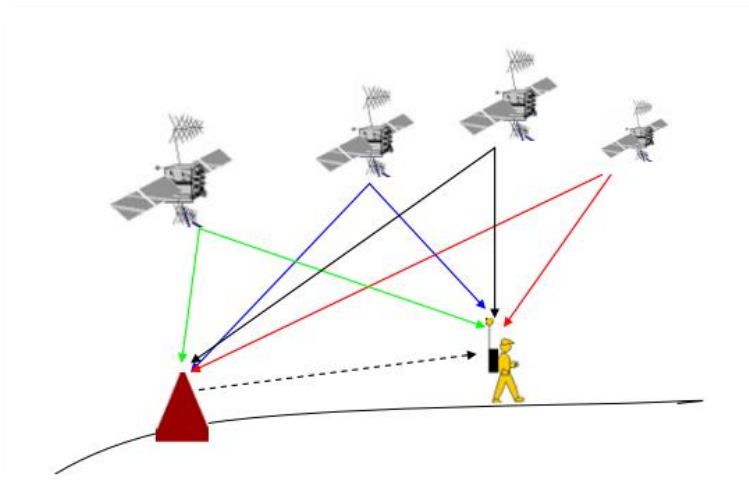


Figura 25- Posicionamiento usando GNSS diferencial.(Dr.-Ing. Stefan Knedlik (Team Leader), M.E. Miao Zhang, M.Sc. Ezzaldeen Edwan, M.Sc. Zhen Dai, M.Sc. Junchuan Zhou 2008)

El principio básico fundamental en el funcionamiento del sistema GNSS, consiste en utilizar los satélites situados en distintas órbitas en el espacio, como puntos de referencia precisos para determinar nuestra posición en la superficie de la Tierra.

Esto se consigue obteniendo una medición muy precisa de nuestra distancia hacia al menos tres satélites de la constelación, pudiéndose así realizar una "triangulación" que determine nuestra posición en el espacio.

Debido a la existencia de errores en las mediciones (perturbación ionosférica, fenómenos meteorológicos, imprecisiones en los relojes, interferencias eléctricas imprevistas, etc.) se trabaja en modo diferencial para atenuarlas.

Para realizar esta tarea es necesario tener dos receptores operando simultáneamente. El receptor base permanece en su estación y supervisa continuamente los errores, y después

transmite o registra las correcciones de esos errores con el fin de que el segundo receptor (ROVER) pueda aplicar dichas correcciones a las mediciones que está realizando, ya sea en tiempo real (con tecnología RTK), o en post-proceso. (Universidad Politécnica de Madrid 2015)

Dentro de los métodos de medición se encuentran los *estáticos* (utilizados para obtener mayor precisión en el posicionamiento de un solo punto) y *cinemáticos* (utilizados para relevamientos donde se deben posicionar gran cantidad de puntos).

La precisión alcanzada en los diferentes métodos se muestra en la siguiente tabla:

Fase diferencial				
Modo	Equipos			
	L1 + L2	L1 (12 can)	L1 (6 can)	L1 cód (6 can)
Estático	5 mm + 1 ppm	5 – 10 mm. + 2ppm	5 – 10 mm. + 2ppm	No disponible
Estático rápido	5 – 10 mm. + 1 ppm			No disponible
Reocupación	5 – 10 mm. + 1 ppm			No disponible
Stop & go	10 – 20 mm. + 1 ppm	10 – 25 mm. + 2 ppm	10 – 30 mm. + 2 ppm	No disponible
Cinemático	10 – 20 mm. + 1 ppm	10 – 25 mm. + 2 ppm	10 – 30 mm. + 2 ppm	No disponible

Código diferencial				
Modo	Equipos			
	L1 + L2	L1 (12 can)	L1 (6 can)	L1 cód (6 can)
Estático	30 – 50 cm	30 cm	1 m	1 m
Cinemático	50 – 100 cm	50 cm	1 – 2 m	1 – 2 m

Tabla 8. Precisiones en los Métodos de Posicionamiento GNSS. (Enr 2006)

Para la medición realizada en la Laguna Hinojo Chica, se utilizaron dos equipos GNSS Trimble R3 simple frecuencia y el método adoptado fue el cinemático Stop and Go.

Se ubicó la base estática en el punto TLAU de la Red Geoba, ubicado a 6 Km de la laguna, para poder vincular todo el relevamiento a esta red. Con el receptor móvil (ROVER) se recorrió todo el “pelo de agua” de la laguna, grabando puntos cada 50 pasos aproximadamente.

Nombre Punto	Latitud (Posgar 94)	Longitud(Posgar 94)	H. Elipsoidal (m) (Posgar 94)
TLAU	35° 55' 3.2333" S	62° 38' 5.8735" W	107.229



Figura 26. Equipo GNSS estático ubicado sobre el mojón del punto TLAU de la Red Geoba.



Figura 27. Levantamiento de Puntos del “pelo de agua” de la Laguna Hinojo Chica

Para comenzar el posicionamiento, se inicializó durante 15 minutos (dejando el ROVER fijo sobre un punto) para la resolución de ambigüedades. Una vez inicializado, se comenzaron a medir y almacenar los puntos (realizando una parada durante 5 segundos en cada uno de ellos). Esta metodología se repitió en todo el borde de la laguna, llegándose a levantar 420 Puntos en el transcurso de 10 horas de trabajo ininterrumpido.

En todo el relevamiento se tuvo la precaución de no perder la señal de los satélites, para no realizar nuevamente la inicialización de 15 minutos.

Se procesaron todos los puntos en el software *Trimble Business Center* y se guardaron en Posgar 94-Faja 5 (Datum WGS 84), sistema usado actualmente en Arba. Todo este relevamiento se exportó a formato vectorial.

En el software Qgis se abrió la imagen COSMO-SkyMed y los puntos medidos ya procesados, para comenzar con los análisis que se describen a continuación.

5.2.1 Análisis del posicionamiento: Resultados

Se identificaron 4 puntos inamovibles en la imagen COSMO-SkyMed, los cuales también fueron medidos con instrumental GNSS, para analizar la calidad del posicionamiento de la imagen con nivel de procesamiento GEC (Nivel 1c).

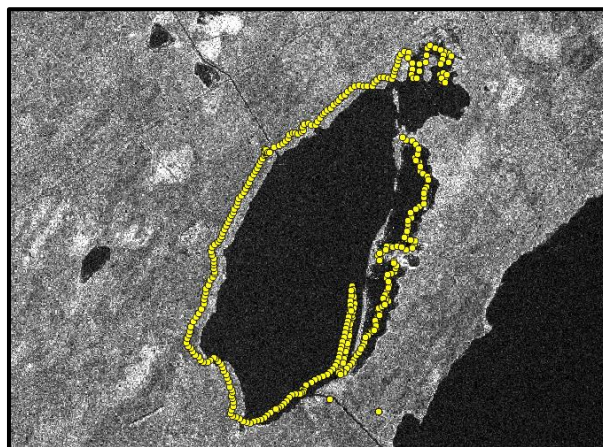


Figura 28. Relevamiento GNSS superpuesto a la Imagen original COSMO-SkyMed nivel GEC de fecha 21-07-2016.

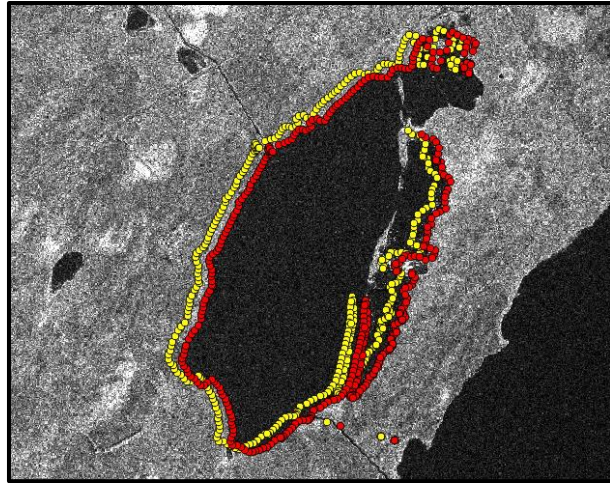


Figura 29. Relevamiento GNSS superpuesto a la Imagen corregida COSMO-SkyMed nivel GEC de fecha 21-07-2016.

Debido a que a imagen ya viene georreferenciada de fábrica, se movieron los puntos GNSS para hacerlos coincidir con esta y poder cuantificar el corrimiento existente.

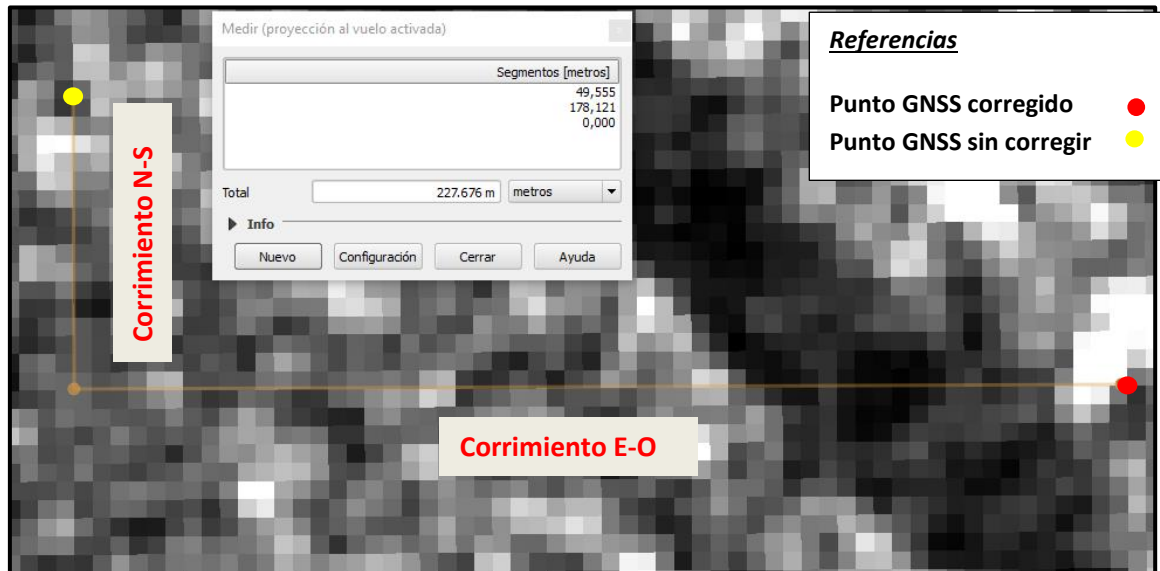


Figura 30. Corrimiento de la imagen COSMO-SkyMed GEC de fecha 21-07-2016 con respecto al posicionamiento preciso del relevamiento realizado con instrumental GNSS.

El corrimiento en el posicionamiento es de aproximadamente 49m (16 píxeles) en sentido Norte-Sur y 178m (58 píxeles) en sentido Oeste-Este.

Para saber si este corrimiento estaba relacionado con el nivel de procesamiento de la imagen, se solicitó la misma, pero con un nivel menos (Nivel 1B-DGM), y se utilizó el software SNAP para realizar el pre-procesamiento que se describe en el siguiente gráfico.

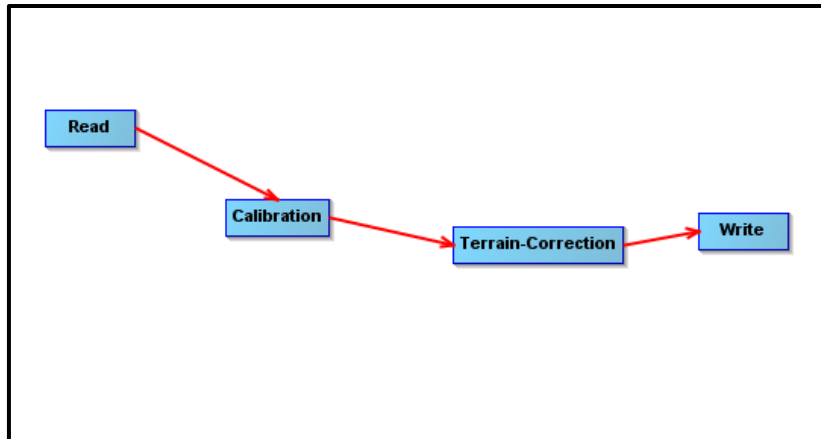


Figura 31. Pre-procesamiento de la imagen DGM realizado con el software SNAP de la ESA (Agencia Espacial Europea)

No se aplicó ningún filtro en la etapa de pre-procesamiento, para que los píxeles no sufran modificaciones y puedan ser comparados con el mismo nivel de detalle que el utilizado en la imagen GEC.

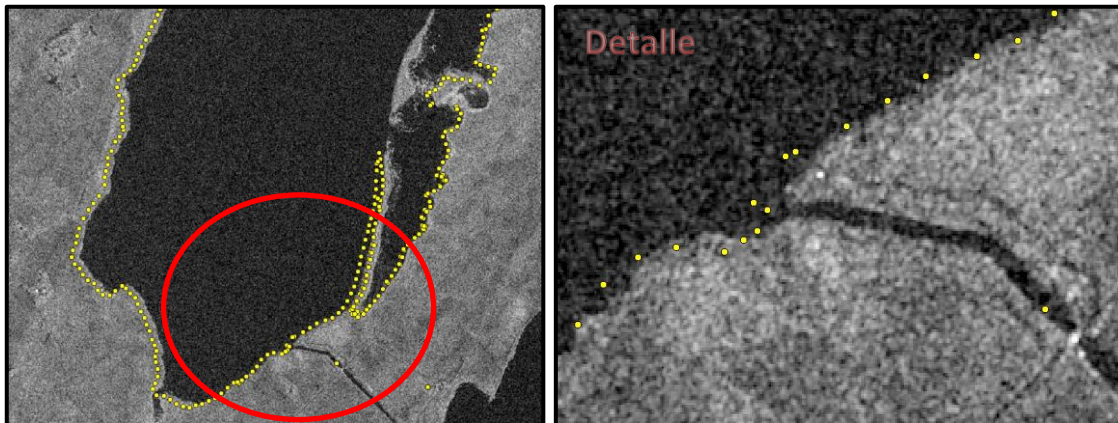


Figura 32. Relevamiento GNSS superpuesto a la Imagen COSMO-SkyMed nivel DGM pre-procesada con el software SNAP.

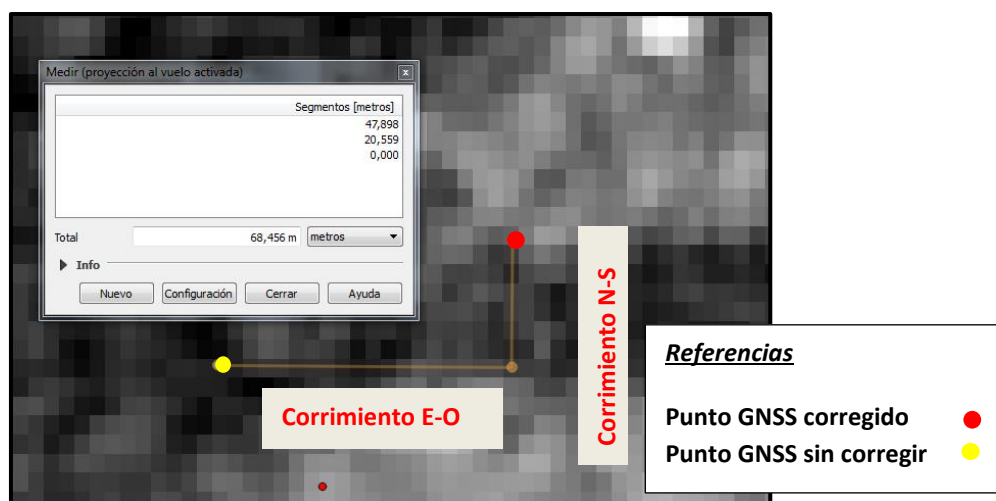


Figura 33. Corrimiento de la imagen COSMO-SkyMed DGM con respecto al posicionamiento preciso del relevamiento realizado con instrumental GNSS.

Con la solicitud de las imágenes en este nivel de procesamiento se observa una mejoría en el posicionamiento. El corrimiento existente es de aproximadamente 20m (7 píxeles) en sentido Norte-Sur y 48m (20 píxeles) en sentido Oeste-Este.

5.2.1 Análisis del posicionamiento: Conclusiones

En base a los resultados obtenidos del análisis llevado a cabo, se considera conveniente realizar la solicitud de imágenes COSMO-SkyMed en nivel de procesamiento 1-B (DGM) y que el usuario realice la georreferenciación en la etapa de pre-procesamiento, para obtener mejores resultados en el posicionamiento y no cometer errores en la ubicación de las capas vectoriales de información que se generen.

5.3. Detección de Cuerpos de Agua en imágenes COSMO-SkyMed

Para tener un control de calidad con nivel de detalle por pixel y cuantificar las omisiones o excesos cometidos en la clasificación de cuerpos de agua, utilizando la imagen COSMO-SkyMed Himage de polarización HH, se midieron perfiles transversales en un sector de la laguna, donde cada punto se correspondiera a una cobertura superficial diferente. En total se midieron **30 puntos**.

- **Cobertura 1:** Pastizal sin agua en superficie.
- **Cobertura 2:** Pastizal con agua en superficie.
- **Cobertura 3:** Agua en superficie (profundidad $\leq 10\text{cm}$)
- **Cobertura 4:** Agua en superficie (profundidad $> 10\text{cm}$)

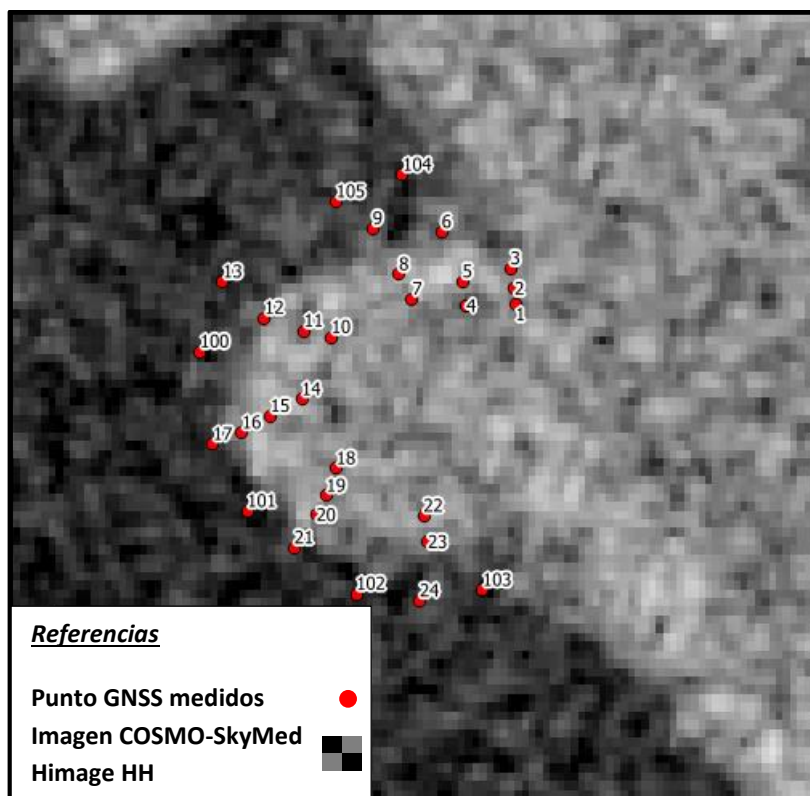


Figura 34. Perfiles medidos con instrumental GNSS superpuesto a la imagen COSMO-SkyMed.

- Los puntos **1, 4, 7, 10, 14, 18 y 22** fueron tomados en un sector totalmente seco, donde la cobertura de suelo era solo pasto.



- Los puntos **2, 5, 8, 11, 15, 19 y 23** fueron tomados en un sector donde la cobertura del suelo estaba comprendida por pastizal con agua en superficie.



- Los puntos **3, 6, 12, 16 y 20** fueron tomados en sectores con agua en superficie, donde la profundidad no superara los 10cm.



- Los puntos **9, 13, 17, 21, 24, 100, 101, 102, 103, 104 y 105** fueron tomados en sectores con agua en superficie, donde la profundidad era mayor a los 10cm.



Sobre la imagen SAR COSMO-SkyMed se realizó la clasificación del cuerpo de agua correspondiente a la laguna (usando el método descrito en el **Anexo 3**) y se analizó en **Qgis** el valor digital de cada uno de los píxeles coincidentes con los puntos medidos con instrumental **GNSS**.

Se analizó primeramente este cuerpo de agua clasificado sin filtrar y posteriormente luego de aplicarle un filtro de *Lee de 3x3*.

Con la medición de la cota del *“pelo de agua”* y la cota del *“terreno natural”*, se calculó un *“Delta_H”* que corresponde a la profundidad del agua encontrada en cada punto.

5.3.1. Análisis de los píxeles clasificados: Resultados

En primer lugar, se tomaron los datos de la imagen sin filtrar, se armó un gráfico de dispersión en *Excel* y se comparó en cada uno de los 30 puntos medidos, los siguientes datos de interés:

- Tipo de cobertura clasificada (*“Agua”* o *“No Agua”*)
- Valor del píxel (en dB)
- Profundidad del agua (Δh en metros)

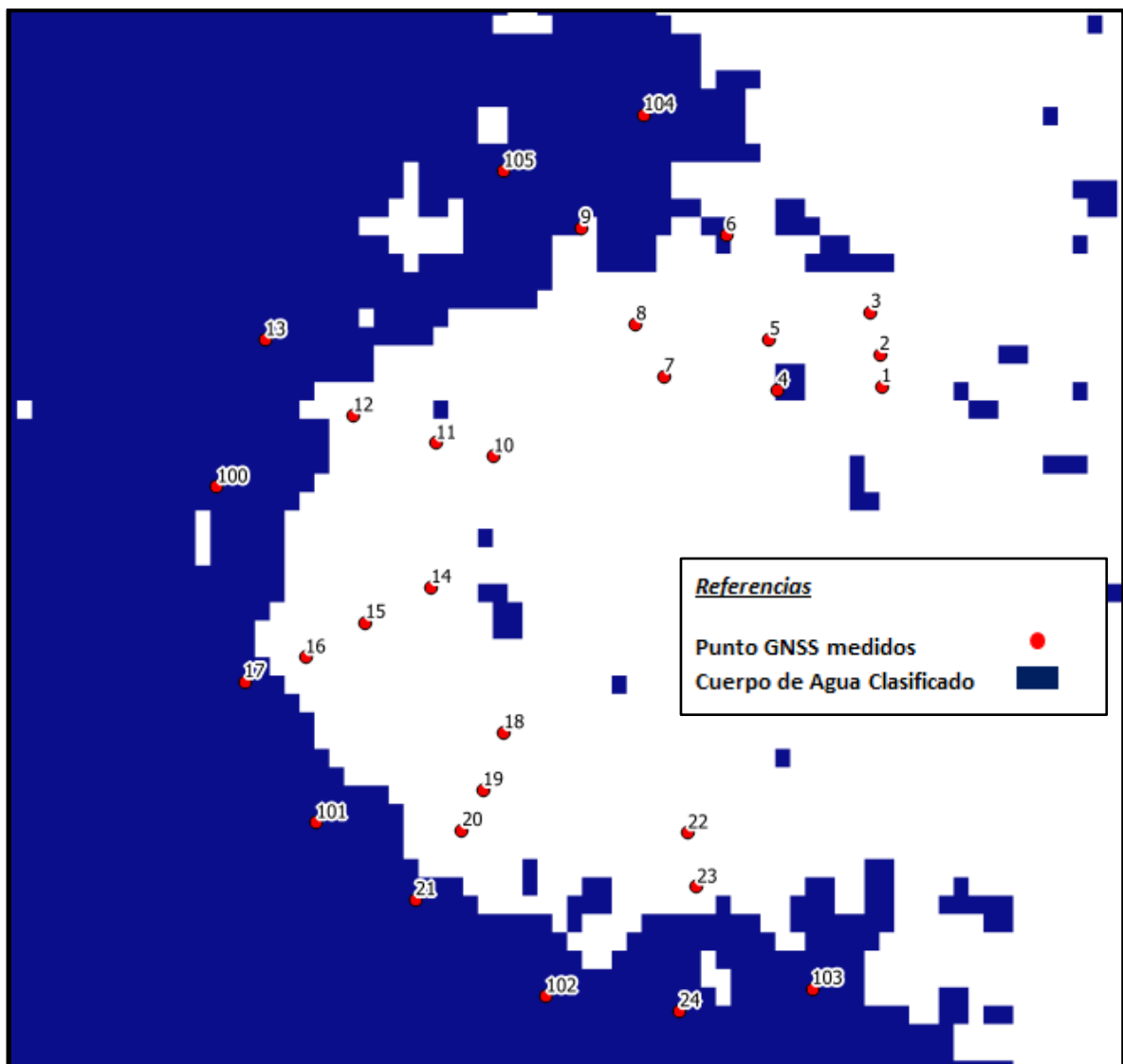


Figura 35. Cuerpo de Agua clasificado *“Sin Filtrar”* y perfiles medidos con instrumental GNSS.

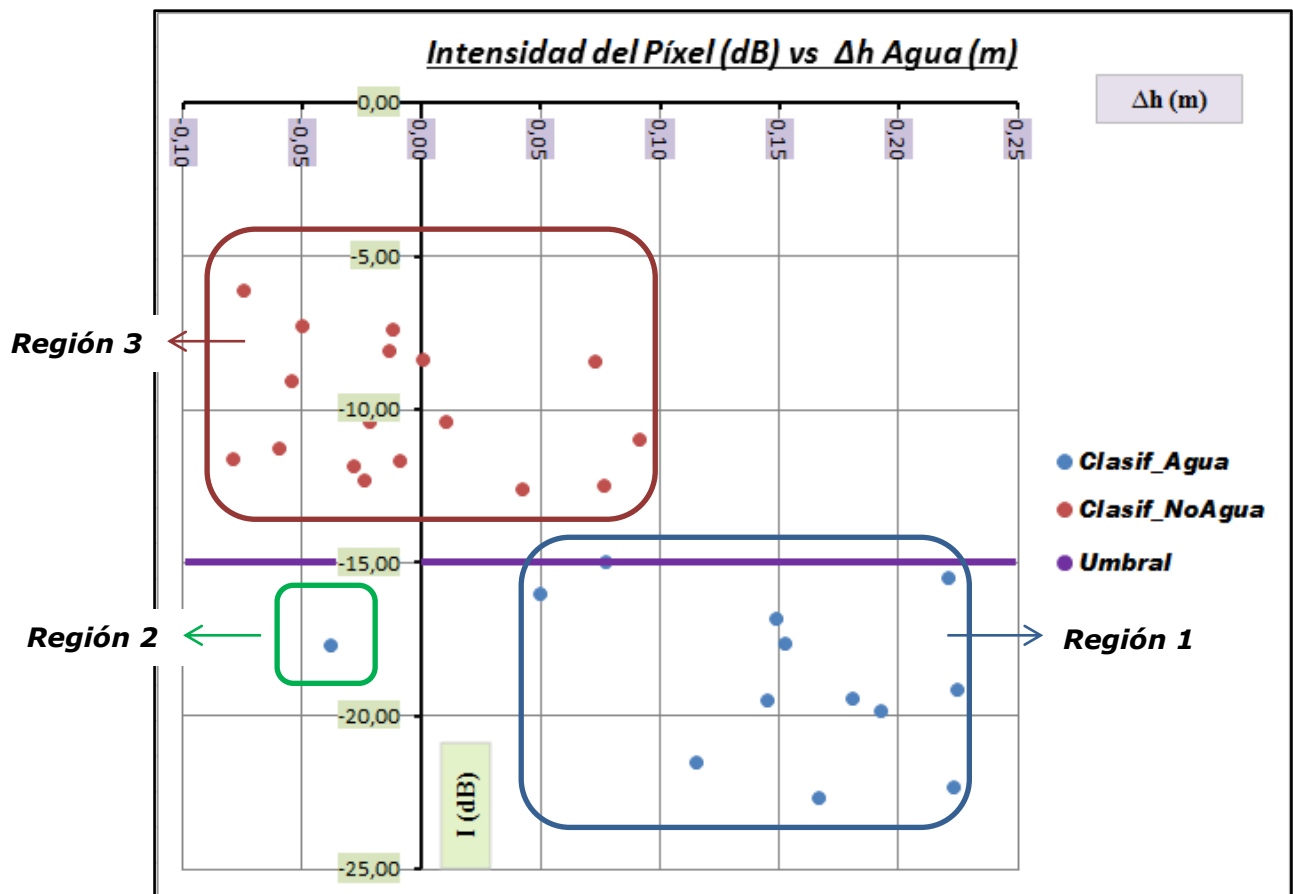


Figura 36. Gráfico de dispersión donde se muestra la diferencia de altura del agua, Intensidad y clasificación de cada píxel en la imagen COSMO-SkyMed "No Filtrada".

Con el gráfico de dispersión se puede observar el siguiente análisis:

- El umbral encontrado para la clasificación de cuerpos de agua es -15dB.
- Se clasificaron correctamente 12 puntos como "Agua" (marcados en la Región 1)
- Se clasificó incorrectamente 1 punto como "Agua" (marcado en la Región 2)

De los 17 puntos restantes (Región 3), 6 deberían ser clasificados como "Agua" y 11 como "No Agua", pero esto no ocurre así. Para aclarar esta situación, se realiza una matriz de confusión.

Cantidad de Puntos Medidos		Clasificación	
		Agua	No Agua
Verdad Terreno	Agua	12	11
	No Agua	1	6

Porcentajes		Clasificación	
		Agua	No Agua
Verdad Terreno	Agua	52	48
	No Agua	14	86

Tabla 9. Matriz de Confusión de la clasificación realizada con la imagen COSMO-SkyMed "No Filtrada"

En la matriz de confusión se observa que, de los 23 puntos medidos en el terreno, que contenían agua, son clasificados correctamente el 52% de estos, mientras que el 48% restante es omitido.

De los 7 puntos medidos en el terreno, que no contenían agua, fueron clasificados correctamente el 86%.

En segundo lugar, se tomaron los datos de la imagen filtrada (*Lee 3x3*), y se volvió a realizar el mismo análisis comparativo.

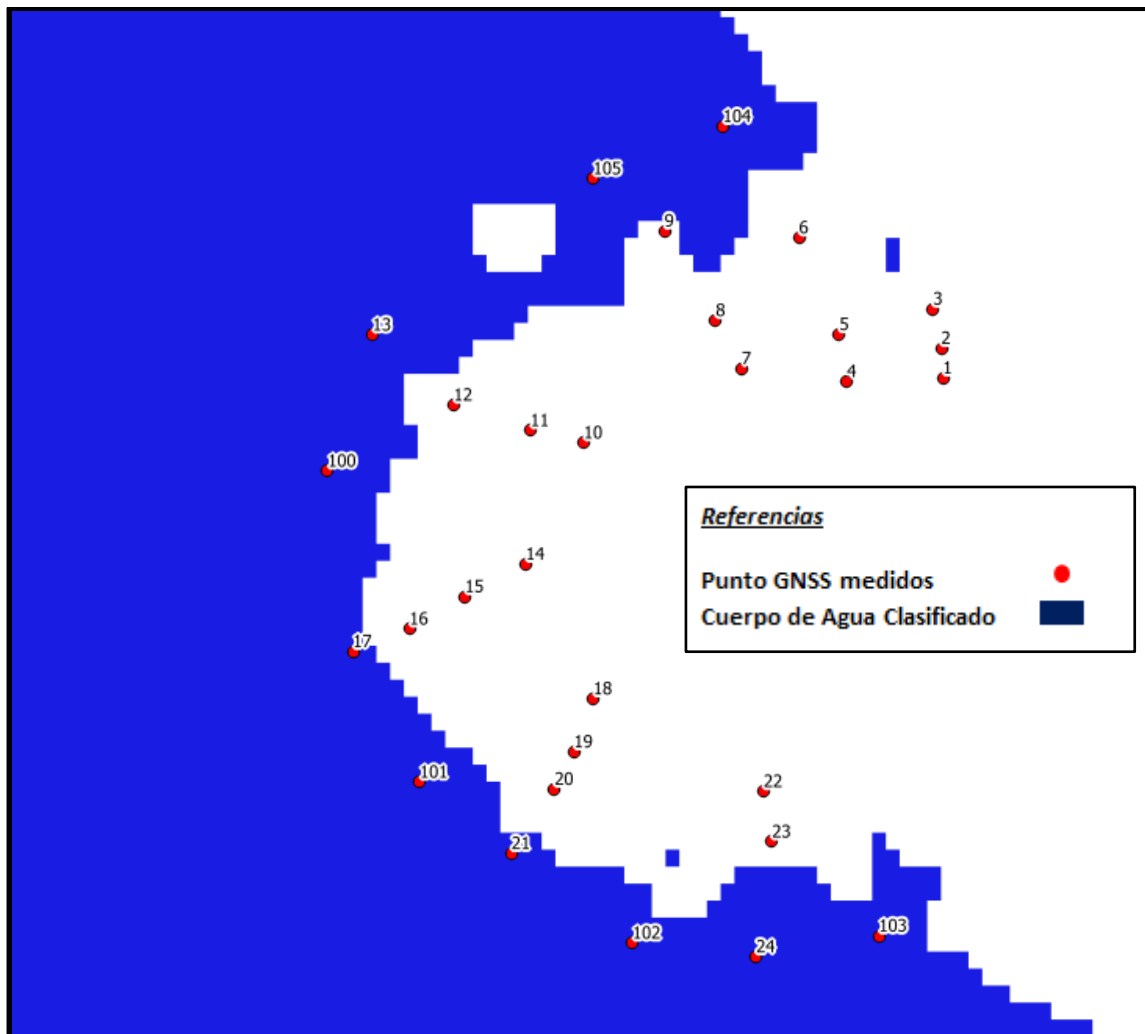


Figura 37. Cuerpo de Agua clasificado "Filtrado" y perfiles medidos con instrumental GNSS.

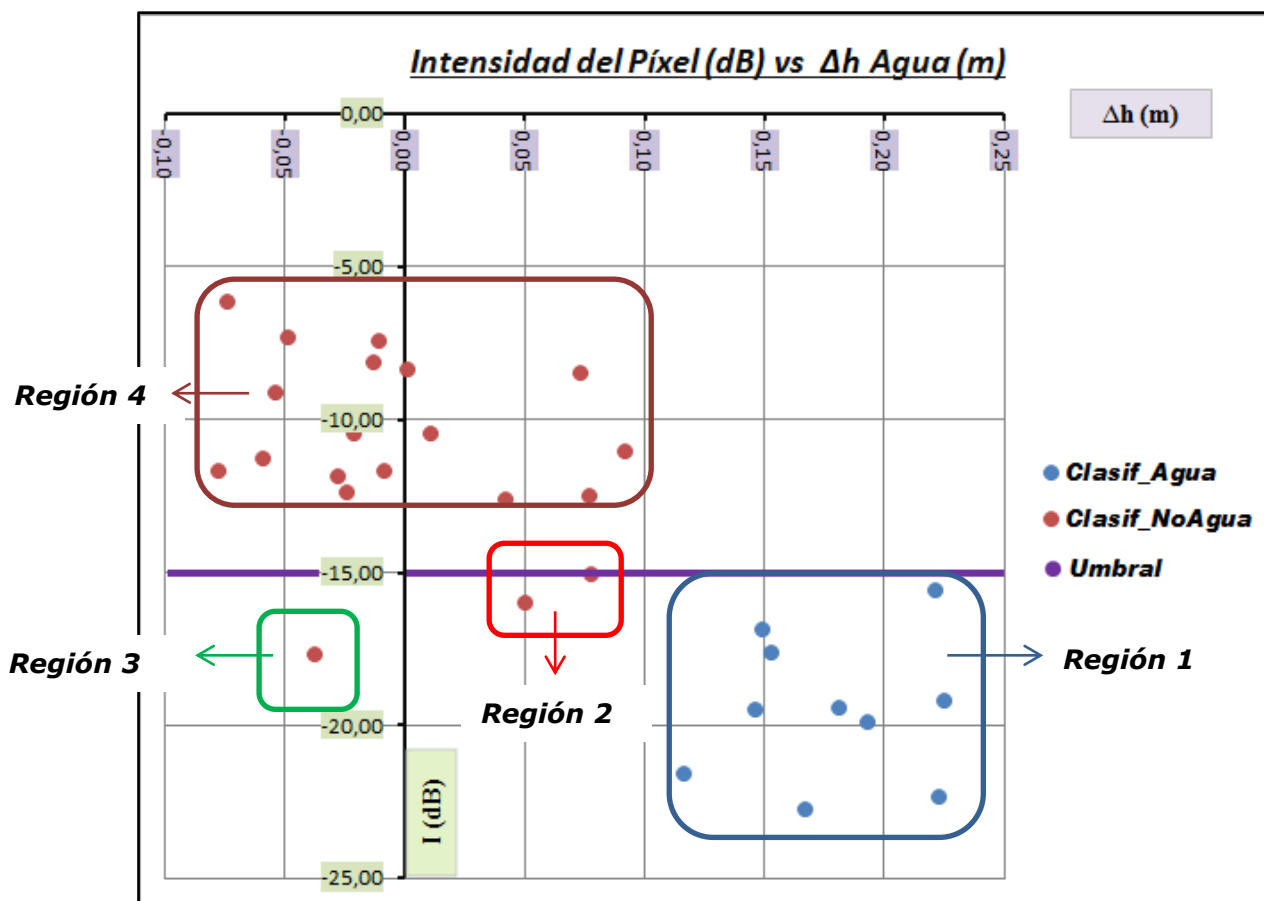


Figura 38. Gráfico de dispersión donde se muestra la diferencia de altura del agua, Intensidad y clasificación de cada píxel en la imagen COSMO-SkyMed "Filtrada".

Con el gráfico de dispersión se puede observar el siguiente análisis:

- El umbral encontrado para la clasificación de cuerpos de agua es -15dB.
- Se clasificaron correctamente 10 puntos como "Agua" (marcados en la Región 1)
- Se clasificaron incorrectamente 2 puntos como "No Agua" (marcados en la Región 2)

De los 18 puntos restantes (Región 3 y 4), 7 deberían ser clasificados como "Agua" y 11 como "No Agua", pero esto no ocurre así. Para aclarar esta situación, se vuelve a realizar otra matriz de confusión.

		Clasificación	
		Agua	No Agua
Verdad Terreno	Agua	10	13
	No Agua	0	7

Porcentajes		Clasificación	
		Agua	No Agua
Verdad Terreno	Agua	43	57
	No Agua	0	100

Tabla 10. Matriz de Confusión de la clasificación realizada con la imagen COSMO-SkyMed "Filtrada"

En la matriz de confusión se observa que, de los 23 puntos medidos en el terreno, que contenían agua, son clasificados correctamente el 43% de estos, mientras que el 57% restante es omitido.

De los 7 puntos medidos en el terreno, que no contenían agua, fueron clasificados correctamente el 100%.

5.3.2. Análisis de los píxeles clasificados: Conclusiones

Áreas semicubiertas por agua, debido a su alta respuesta de la energía retrodispersada percibida por el radar, no pudieron ser clasificadas como tal, detectándose solo las zonas cubiertas por agua superficial. Se corroboró que para el sistema de banda X, existe una gran confusión de los valores de energía retrodispersada para coberturas tales como: camalotes, pastizales inundados, pajonales inundados y bosques inundados, limitando esto a su identificación y clasificación por medio de su respuesta ante el pulso eléctrico emitido y recibido por el radar. (Lic. Rodrigo Martín Edrosa 2011).

Teniendo en cuenta este antecedente sobre la temática estudiada, se describen las conclusiones obtenidas de los análisis realizados, las cuales se utilizan para complementar las ya mencionadas.

Cabe destacar que las conclusiones que se describen a continuación, solo se pueden aseverar para el uso de imágenes COSMO-SkyMed HIMAGE con tamaño de pixel de 2.5m y Polarización HH.:

1. Se clasifican correctamente los "*Cuerpos de Agua*" en todas aquellas zonas cuya profundidad del agua en superficie supere los 10cm, y los valores de los píxeles de la imagen estén por debajo de los -15dB.
2. Existe un sector (entre 1 y 10cm de profundidad del agua en superficie) que se omiten en la clasificación y no son tomadas como "*Cuerpo de Agua*". Por lo tanto, es recomendable realizar un buffer de 15m (6 píxeles) al vector clasificado, para agregar aquellas zonas que pueden estar comprometidas con la inundación y que son omitidas por las limitaciones propias del método de clasificación utilizado.
3. El filtro de las imágenes ayuda a la eliminación de los píxeles aislados que suman excesos a la clasificación, pero puede llevar a agregar algunas omisiones en otros sectores.

Capítulo 6. Conclusiones y Perspectivas futuras

El protocolo de emergencia fue puesto en práctica durante las inundaciones rurales sufridas los primeros meses de este año 2017, siendo de gran utilidad para el ordenamiento de los procedimientos, y derivando en una mejor y más rápida respuesta en la generación de información geográfica. La información se entregó a diferentes entes provinciales como la Comisión Provincial de Emergencia y Desastre Agropecuario- *CEDABA* y la Dirección Provincial de Gestión de Riesgos y Emergencias, donde se decidió declarar la emergencia para distintos partidos. Esta declaración generó la exención en el impuesto inmobiliario por un tiempo de 6 o 12 meses (según porcentaje de afectación) por parte de la Agencia de Recaudación de la Provincia de Buenos Aires- *Arba* y el otorgamiento de créditos por parte del Banco Provincia, para que los productores puedan paliar sus pérdidas económicas.

La utilización de la imagen satelital como herramienta de uso es primordial para acortar los tiempos de respuesta, pero siempre es conveniente la visita al lugar en el momento de la inundación y posterior, para corroborar y tener un control de calidad de las zonas declaradas en emergencia.

En lo que respecta a la calidad de la información geográfica generada en la segunda etapa del protocolo, se observaron buenos resultados con las imágenes *SAR COSMO-SkyMed HIMAGE* de polarización HH, a pesar de que se encontraron omisiones en aquellos sectores que contenían agua en superficie con una profundidad menor a 10cm. Teniendo en cuenta esta limitante propia de la imagen y del método de clasificación utilizado, se corrigió agregándole un buffer de 15m (6 píxeles) para abarcar aquellas zonas inundadas que quedaban afuera. La utilización de estas imágenes SAR provistas por la CONAE sirvió para poder tener información de las zonas afectadas, en los momentos donde las imágenes ópticas se encontraban cubiertas en casi su totalidad por nubes.

El posicionamiento de estas imágenes SAR en nivel 1C (GEC) no fue el deseado, llegándose a encontrar hasta 178m de corrimiento, por lo que se recomienda la solicitud de imágenes en un nivel menos (1B-DGM) para que el usuario pueda georreferenciarlas.

Sería recomendable complementar esta etapa, con la utilización de imágenes SAR *Sentinel 1*, que se encuentran disponibles para descarga directa y gratuita por parte de la Agencia Espacial Europea- *ESA*.

Por el lado de las imágenes ópticas MODIS y Landsat 8, cada una de ellas mostró un correcto posicionamiento espacial, por lo que solo se les debió aplicar una reproyección al sistema de coordenadas utilizado actualmente en ARBA, sin tener que realizarles ninguna georreferenciación.

La información geográfica generada con los productos MODIS, utilizada en la primera etapa del protocolo fueron de utilidad para un análisis a nivel macro de toda la provincia, pero debido a la inminente finalización de tomas, se deberían reemplazar a con productos VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite), ya que es el sensor que más se le asemeja en característica de imagen y tiempo de revisita.

La información geográfica generada con imágenes Landsat 8 en la tercera etapa del protocolo, arrojó buenos resultados para la correcta delimitación de zonas rurales afectadas. El índice para clasificación de cuerpos de agua *MNDWI* utilizado con estas imágenes fue el que arrojó mejores resultados. Se debería complementar la información utilizando imágenes ópticas *Sentinel 2*, puesta a disposición por parte de la ESA, de la misma manera que las *Sentinel 1*.

Se deja como discusión, tratar de aprovechar los productos generados en la etapa posterior a la inundación, para poder tener un control estadístico de recurrencias de zonas inundadas y una delimitación de aquellos sectores vulnerables que se encuentren en planicies de inundación. Se cree que con esta información se puede estar más alerta en futuras inundaciones e ir mejorando los tiempos de respuesta para casos de evacuaciones.

La aplicación de este protocolo puede ser también muy útil en instituciones y ministerios relacionados con medioambiente, ya que el seguimiento de la evolución de las inundaciones puede dar indicios sobre las causas que las están generando: uso de la tierra, deforestación, cambio climático, entre otros.

Anexos

Anexo 1

Imágenes MODIS-Procesamiento con Softwares SeaDAS y ENVI

Para llevar a cabo la clasificación con imágenes MODIS, se utiliza como prueba el producto MOD09GA, cuyas características detalladas se describen en la página web lpdaac.usgs.gov.

MOD09GA: productos que proporcionan una estimación de la reflectancia espectral de superficie, medido a nivel del suelo en ausencia de la dispersión atmosférica o absorción. Los datos de nivel bajo son corregidos por los gases y aerosoles atmosféricos. Son productos diarios de 7 bandas (1-7) incluyendo valores de reflectancia de 500 metros y estadísticas de observación y geolocalización de 1km.

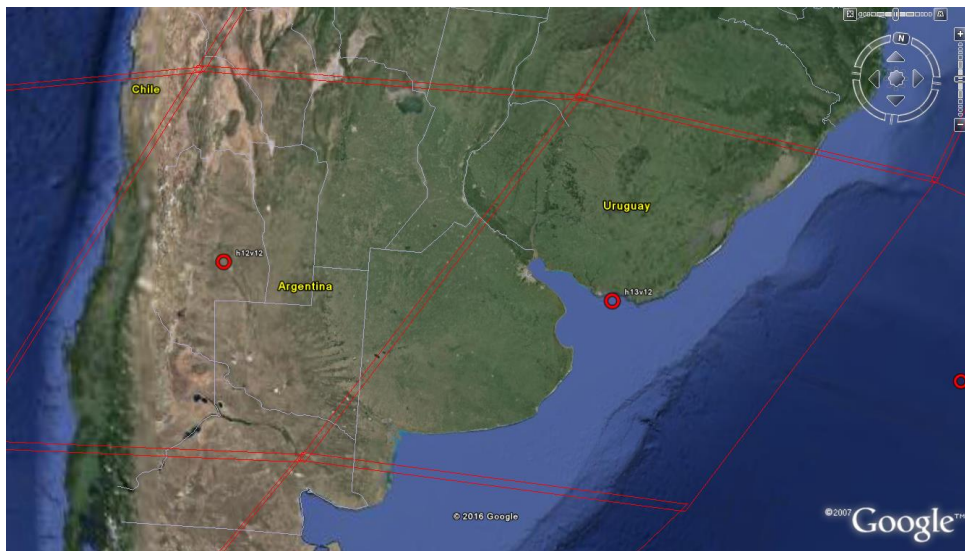
A) DESCARGA DE IMÁGENES

Para la descarga de imágenes se utiliza la siguiente página web perteneciente a la NASA:

<http://e4ftl01.cr.usgs.gov/MOLT>

Una vez ingresado, se debe seleccionar la carpeta de la fecha de interés, y dentro de esta carpeta elegir la imagen.

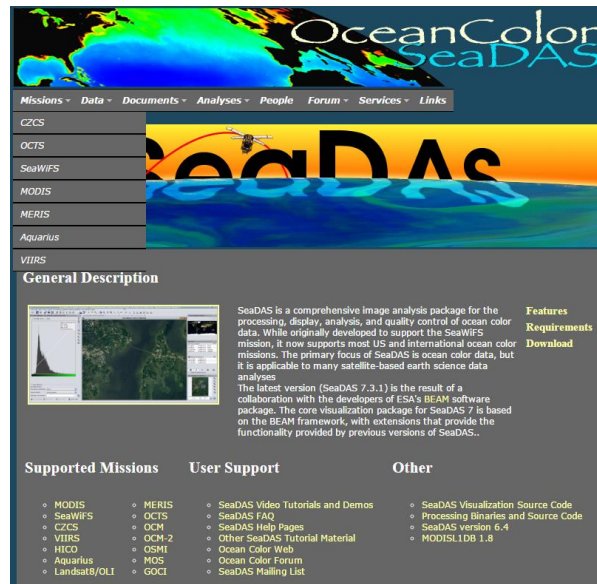
Para cubrir la totalidad de la Provincia de Buenos Aires, se debe descargar la **h12v12** y la **h13v12**.



B) APERTURA Y REPROYECCIÓN

La apertura, visualización y reproyección de las imágenes se realiza con el software gratuito de la NASA **SeaDAS**, que se puede descargar de la siguiente página:

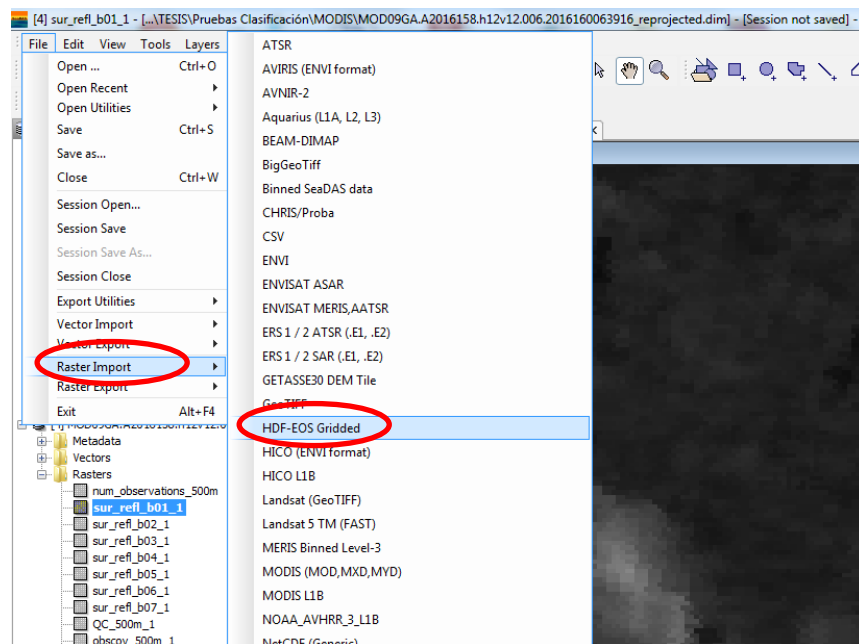
<http://seadas.gsfc.nasa.gov/>



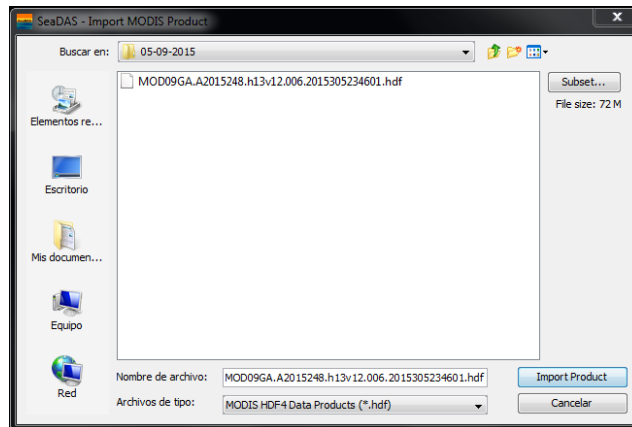
El procedimiento para la manipulación de las imágenes MODIS se describe a continuación:

1) Importar el producto *MOD09GA*.

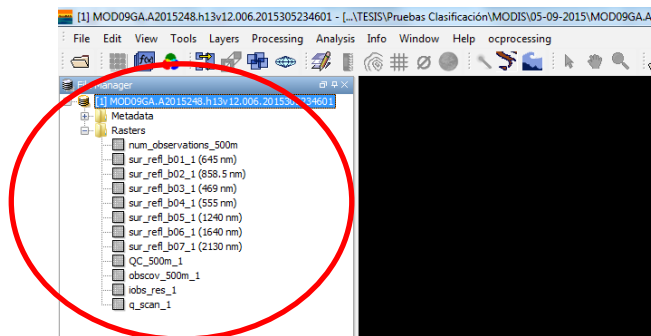
File → **Raster Import** → **HDF-EOS Gridded**.



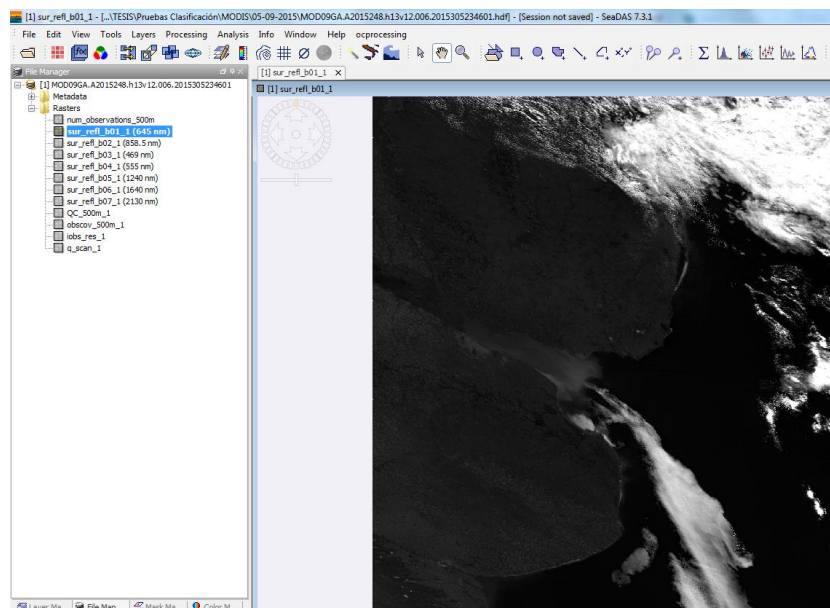
- 2) Seleccionar el archivo **.hdf** e importarlo.



- 3) Verificar que el producto se haya importado correctamente, observando que contenga todas las bandas que se muestran a continuación:



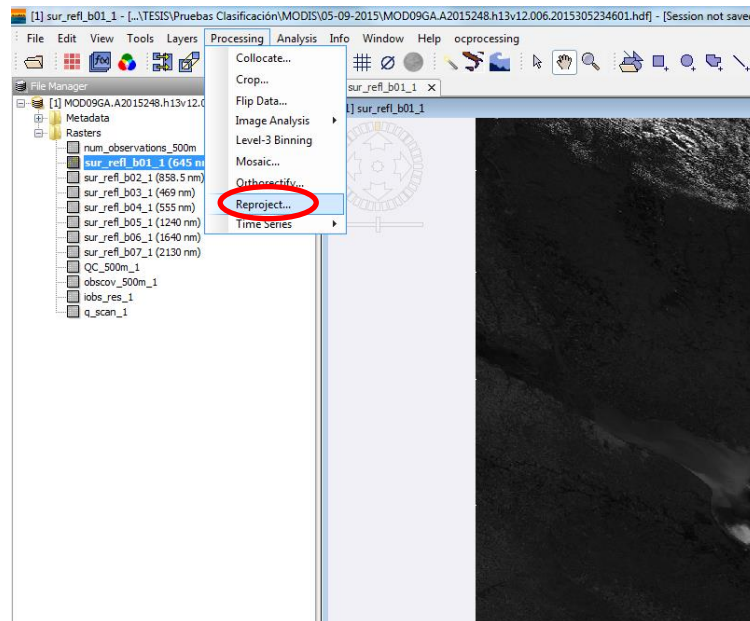
- 4) Haciendo **doble click** en cualquiera de las bandas, se pueden observar desplegadas en la pantalla.



Nota: Aquí se puede apreciar la deformación en la Provincia de Buenos Aires, debido a que todavía no se realizó la proyección.

- 5) Dentro del menú principal, picar en **Processing** y seleccionar la opción que permite reproyectar la imagen.

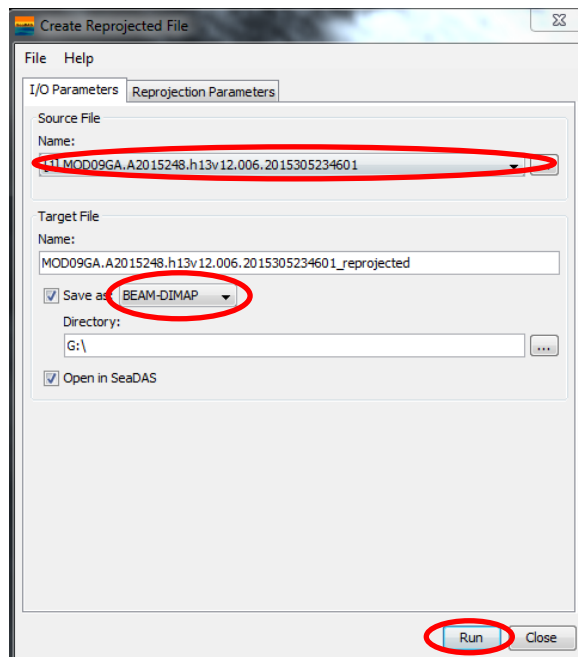
Processing → **Reproject**



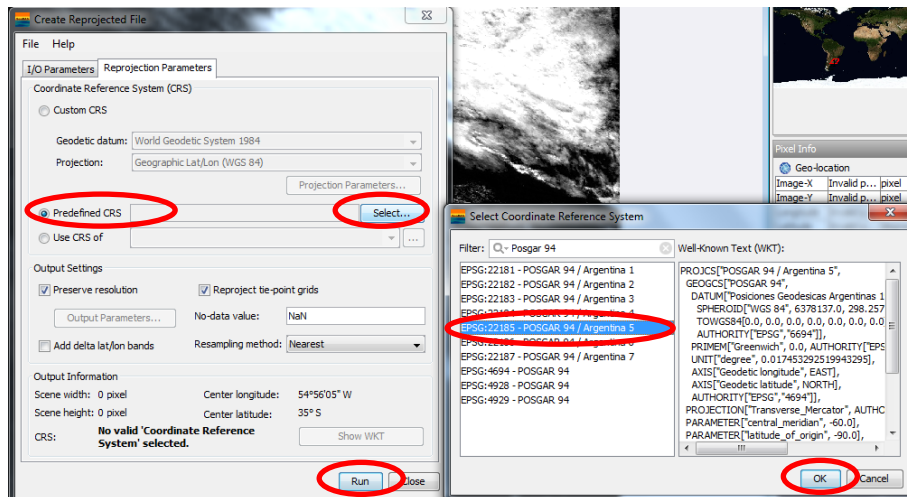
- 6) Se abre un cuadro con dos pantallas.

- a) En la primera se debe seleccionar la imagen importada, el directorio de trabajo donde la vamos a guardar, y el formato de salida de la imagen.

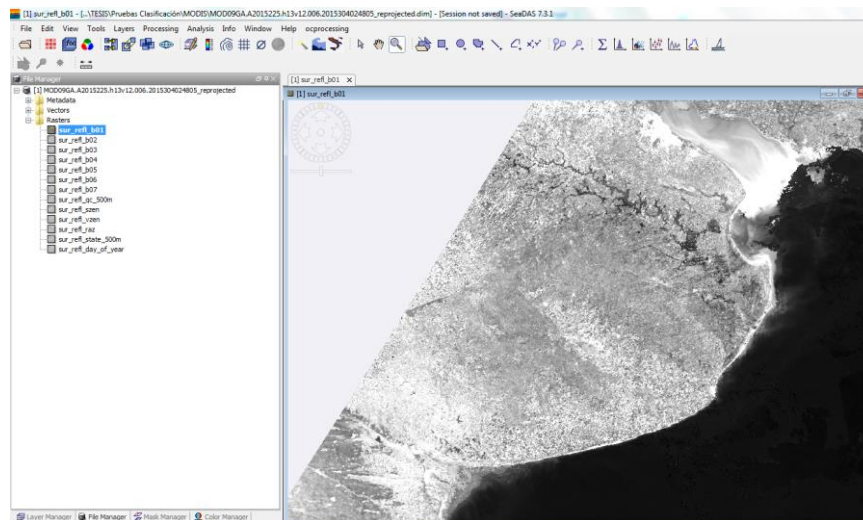
Nota: Es recomendable, por el tamaño del archivo de salida, seleccionar **BEAM-DIMAP**. Posteriormente podemos abrir este formato con el programa **ENVI**.



- b) En la segunda pantalla seleccionar el Sistema de Referencia de Coordenadas, tildando en **“Predefined CRS”** y seleccionando **POSGAR 94 faja 5**, utilizado actualmente en Arba. Finalmente picar en **“Run”**, previendo que exista suficiente espacio libre en disco (más de 500 mb) para que se pueda generar sin errores la imagen reproyectada.



- 7) Una vez finalizado el proceso, la imagen se debe ver de la siguiente manera:



C) UMBRALIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN

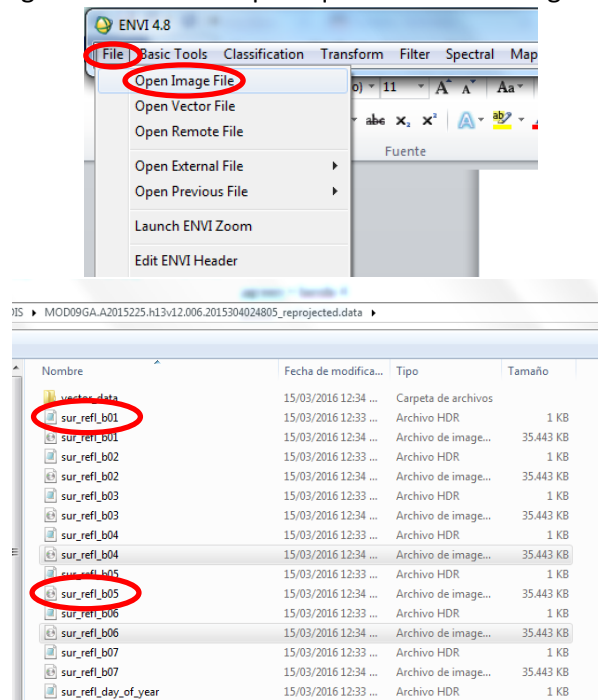
Para la clasificación de cuerpos de agua se utiliza el índice NDWI. A continuación, se indica cómo está compuesta esta fórmula, y que bandas se utilizan en las imágenes MODIS.

$$\text{NDWI} = \frac{\text{banda 1} - \text{banda 5}}{\text{banda 1} + \text{banda 5}}$$

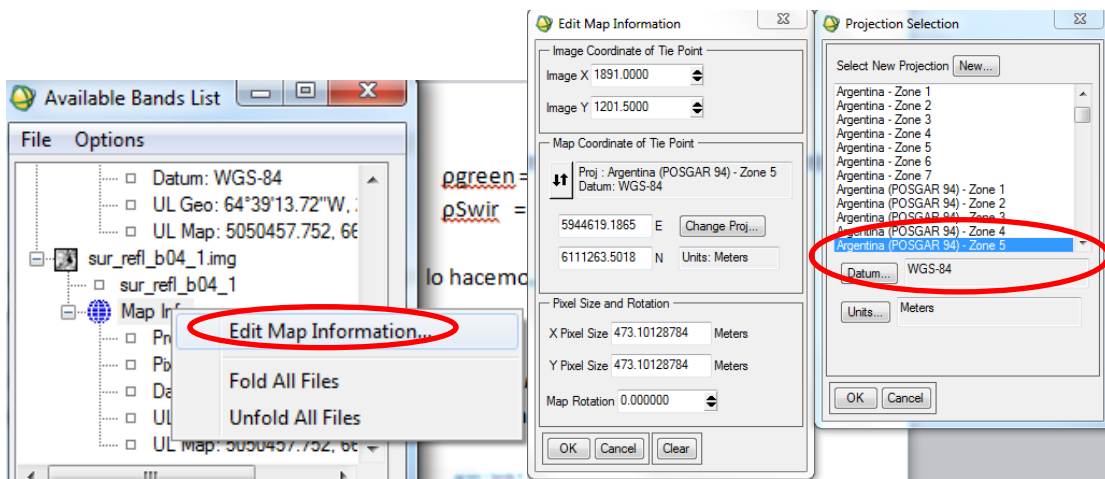
banda 1 (620-670nm) y banda 5 (1.230-1.250nm)

El procedimiento para realizar la clasificación se lleva adelante en ENVI, siguiendo la metodología que se describe a continuación:

1) Abrir las bandas 1 y 5, llamadas “*sur_refl_b01*” y “*sur_refl_b05*” respectivamente, que se encuentran guardadas en la carpeta que contiene la imagen reproyectada.

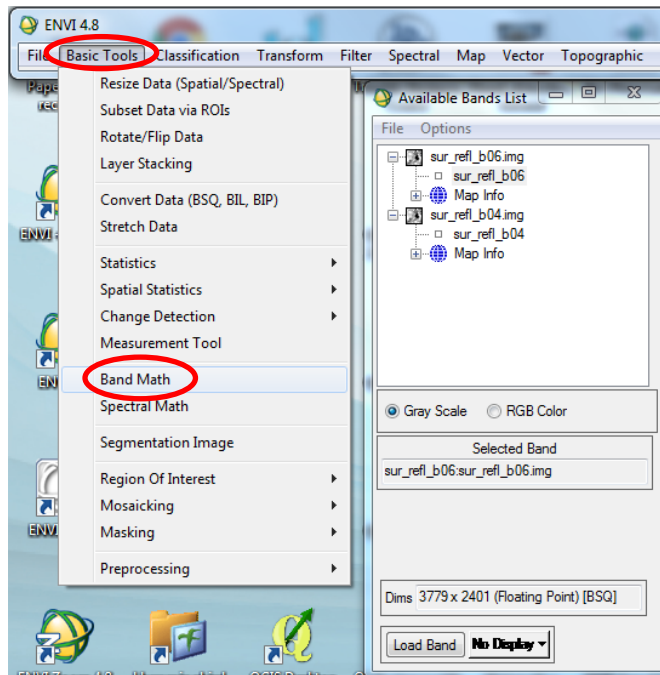


2) En cada una de las bandas tocar con botón derecho sobre “*Map Info*” y seleccionar “*Edit Map Information*”. Finalmente elegir la proyección utilizada en Arba, que es “*Argentina (POSGAR 94)-Zona 5*” y el Datum “*WGS 84*”. Finalmente picar en **OK**.

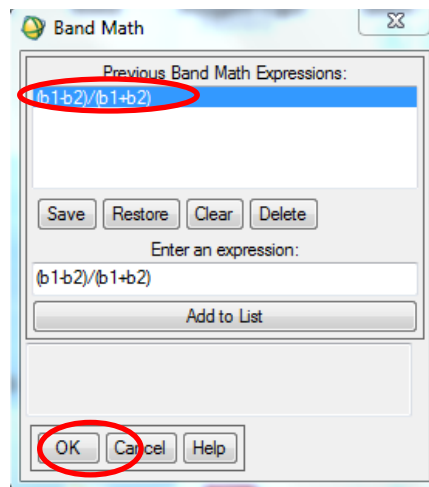


3) Armar la matemática de bandas para poder calcular el NDWI.

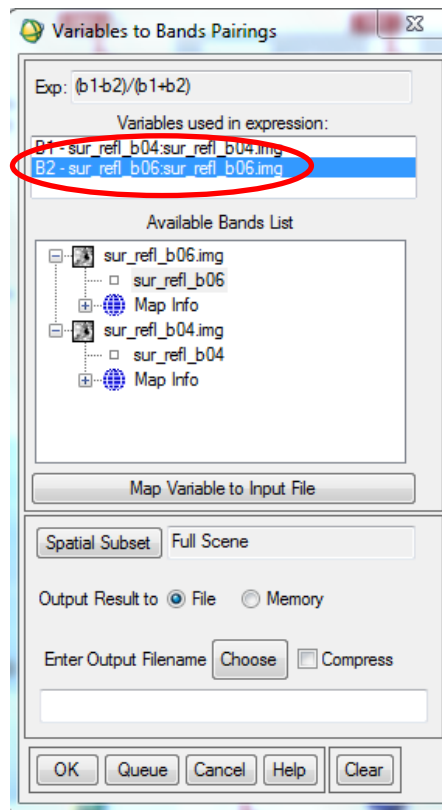
Basic Tools → **Band Math**



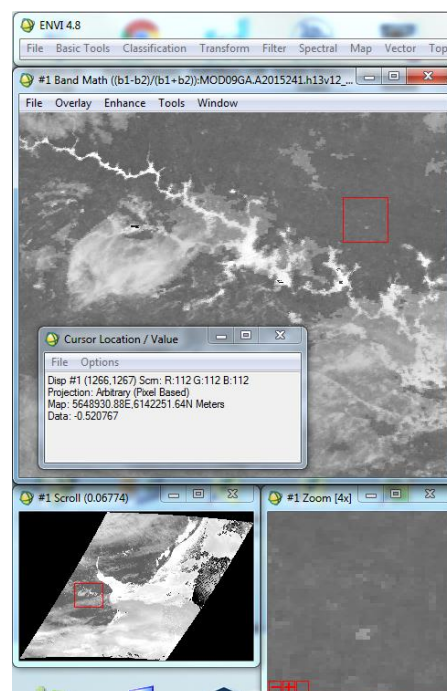
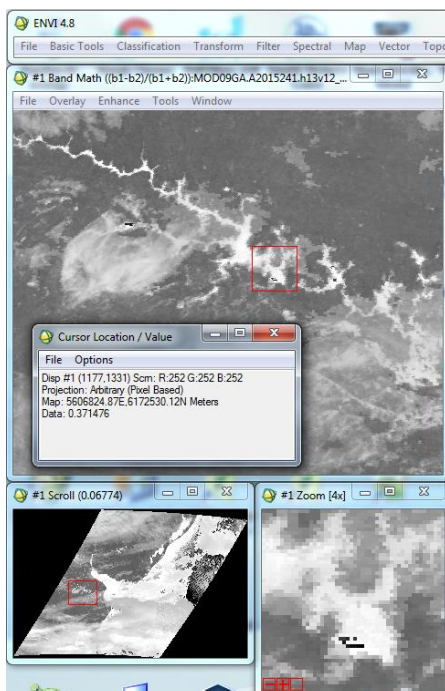
4) Escribir la ecuación $(b1-b2)/(b1+b2)$, picar en "Add to List" y finalmente **OK**.



5) En “B1 - [undefined]” seleccionar la banda 1 “sur_refl_b01” y en “B2 - [undefined]” seleccionar la banda 5 “sur_refl_b05”. Finalmente guardar en la carpeta de trabajo con el nombre original de la imagen y en el final agregarle _NDWI.

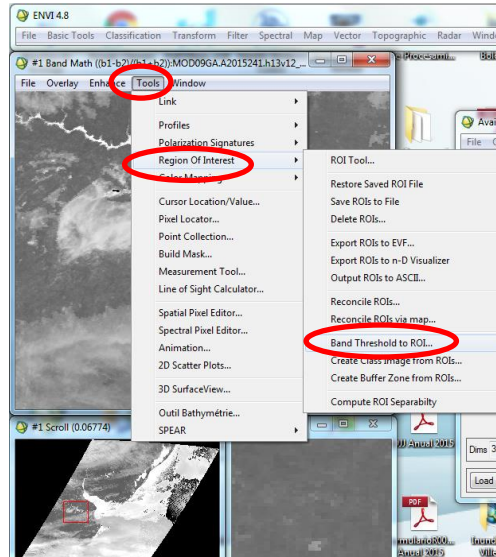


6) Abrir la imagen NDWI y verificar los valores de reflectancia en las zonas que, según interpretación visual, corresponden a cuerpos de agua y las que no.

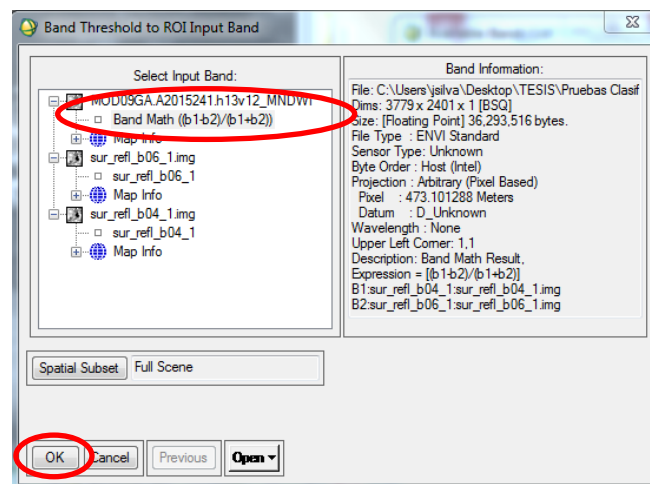


- 7) Sobre la imagen de “NDWI”, se debe seleccionar el umbral que corresponda a los cuerpos de agua. En el índice NDWI, los valores de píxeles que quedan por encima de “0” (cero) corresponden a “Cuerpos de Agua”.

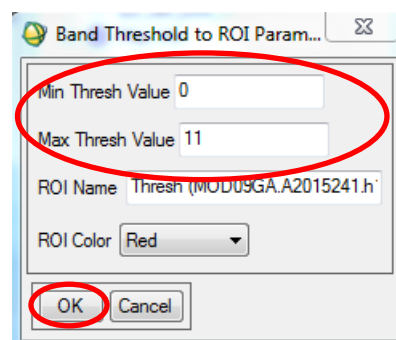
Tools → **Region Of Interest** → **Band Threshold to ROI**



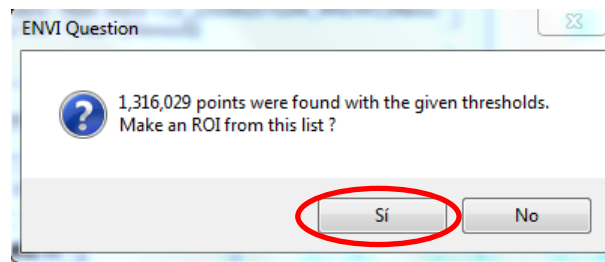
- 8) Seleccionar la imagen y dar **click** en **OK**. Si se quiere trabajar con una zona específica de la imagen, picar en “**Spatial Subset**” y seleccionarla.



- 9) Completar los límites de umbrales y dar **click** en **OK**.



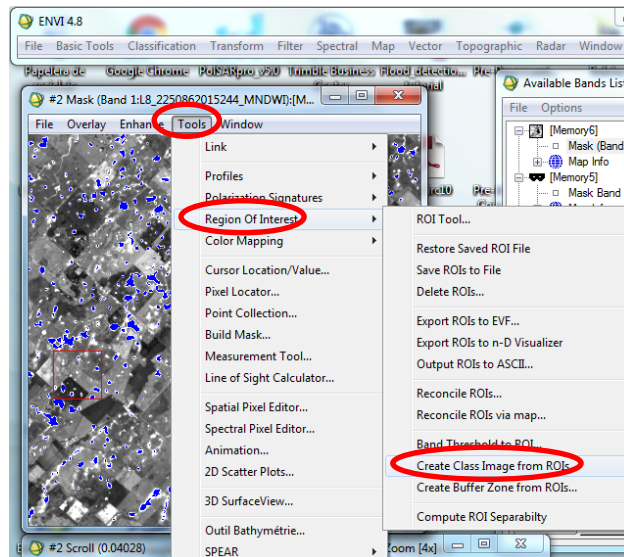
- 10) Se abre un cartel que nos indica la cantidad de puntos generados y nos pregunta si queremos generar un **ROI** de esta lista, en el cual se debe picar en **SI**.



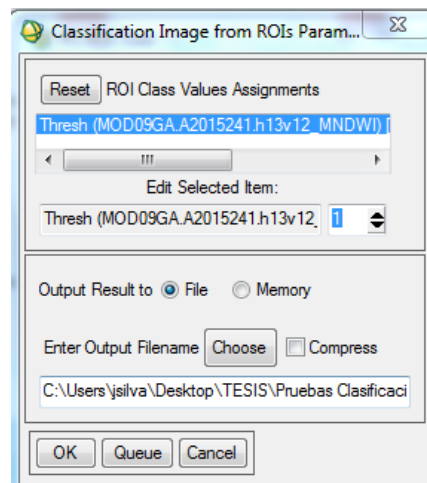
Nota: es recomendable analizar visualmente los cuerpos de agua clasificados, y en caso de que se crea necesario, ir modificando los umbrales máximos y mínimos.

- 11) Crear una imagen de la clase llamada **"Agua"**, utilizando el **ROI** generado en el paso anterior.

Tools → **Region of Interest** → **Create Class Image from ROIs**



- 12) Seleccionar la imagen y guardarla en el directorio de trabajo con el nombre **"Agua"**.

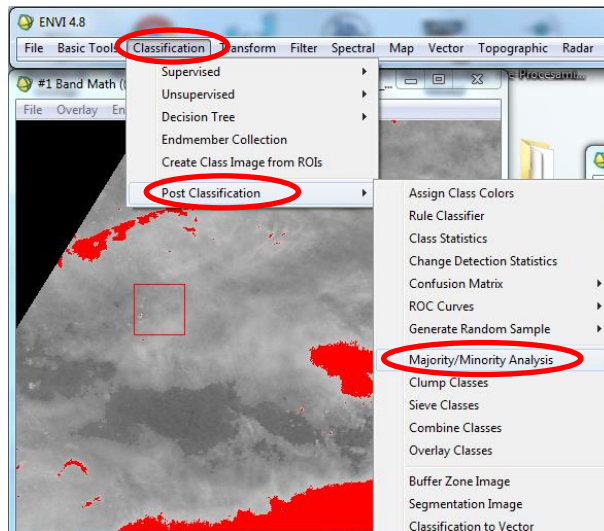


D) FILTRADO Y ELIMINACIÓN DE PÍXELES AISLADOS

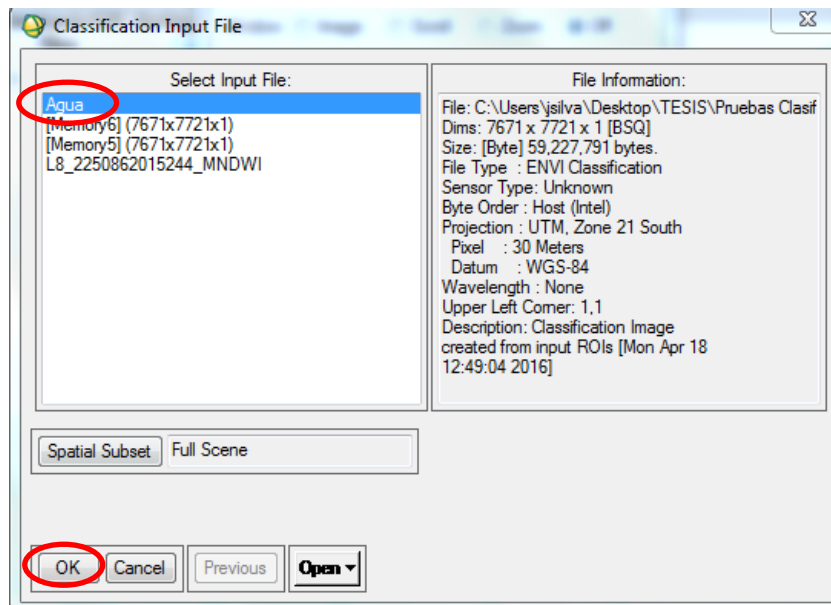
Para suavizar los polígonos clasificados y eliminar los polígonos de menor tamaño que no son de interés, y que pueden generar grandes errores en la clasificación, se aplica un filtro siguiendo la metodología que se indica a continuación:

- 1) En el menú principal elegir el tipo de filtro a aplicar dentro de la etapa de post clasificación.

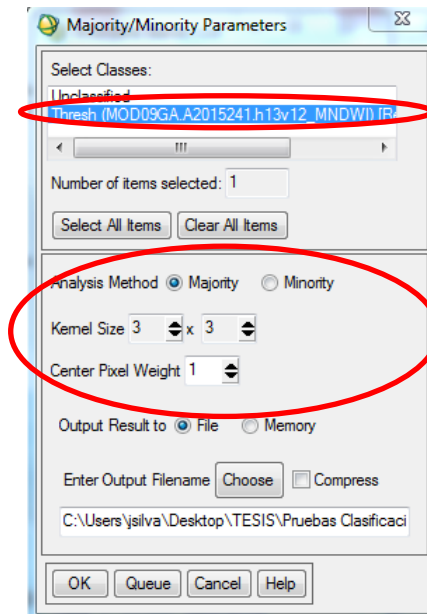
Classification → **Post Classification** → **Majority/Minority Analysis**



- 2) Se abre un cuadro en donde se debe seleccionar el archivo de entrada. En este caso es el archivo nombrado como **"Agua"**. Finalmente picar en **OK**.

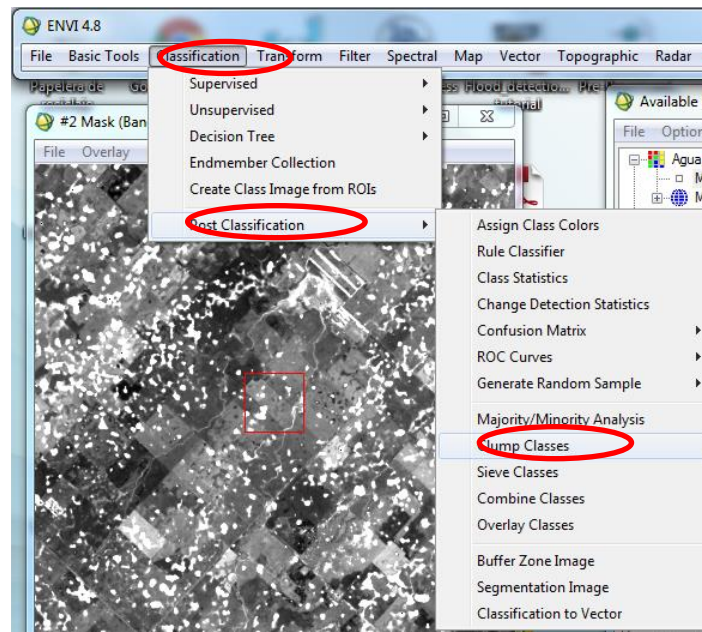


- 3) Se abre otro cuadro, donde se deben seleccionar las clases que corresponden a los **cuerpos de agua**, dejando de lado las no clasificadas **“Unclassified”**. En **“Analysis Method”** elegir la opción **Majority**, con un **kernel de 3x3**. Finalmente guardar el archivo con el nombre **“Agua_Majority_3x3”**

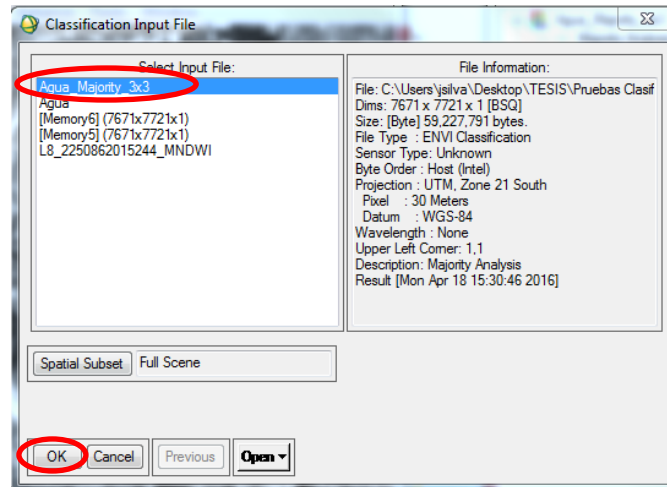


- 4) Utilizar la opción **“Clump Classes”** para eliminar los pixeles aislados.

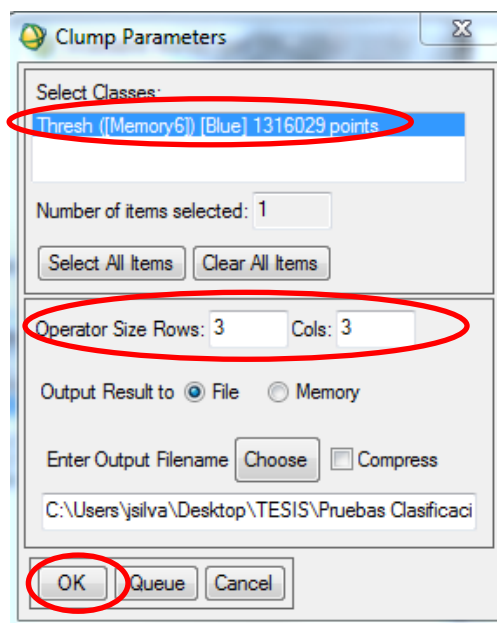
Classification → **Post Classification** → **Clump Classes.**



- 5) Se abre el cuadro **“Classification Input File”**, en donde se debe seleccionar **“Agua_Majority_3x3”**. Finalmente picar en **OK**.



- 6) Se abre el cuadro **“Clump Classes”**. En **“Operator Size”** elegir el tamaño de filas y columnas. En este caso se usa 3x3. Finalmente guardar en el directorio de trabajo la clasificación, renombrándola como **“Agua_Final”**.

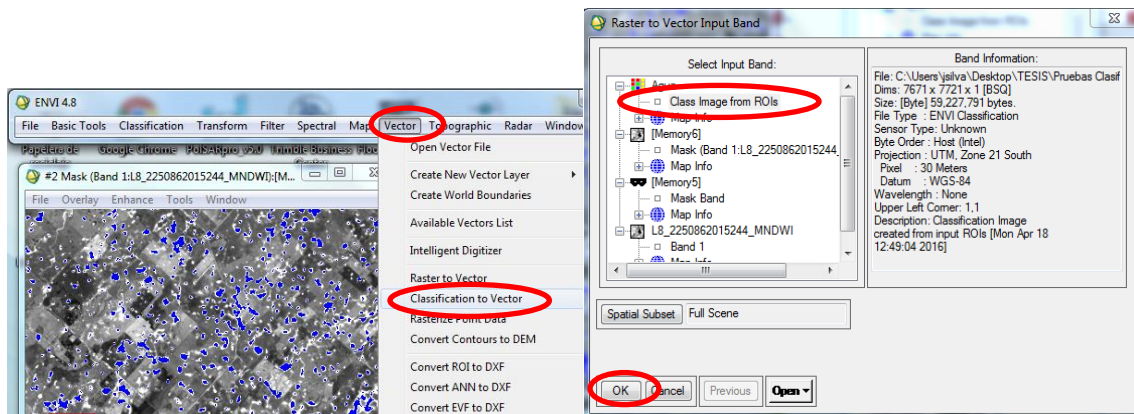


E) VECTORIZACIÓN Y EXPORTACIÓN A FORMATO SHAPE

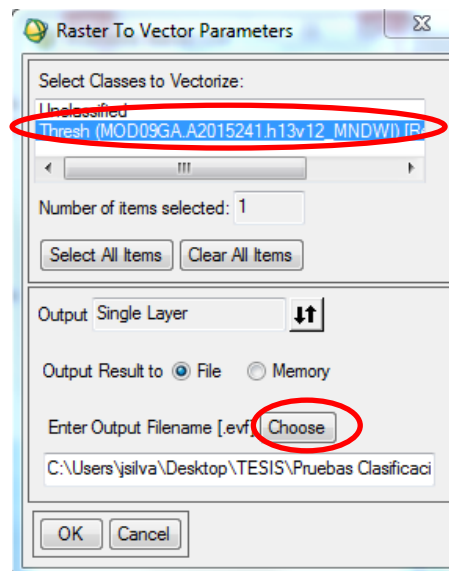
Para poder utilizar la clasificación de los cuerpos de agua en una plataforma GIS, se debe convertir la imagen de la clasificación a un formato “*shape*”.

- 1) Convertir la imagen “*Agua_Final*” a un vector.

Vector → Classification to Vector → Seleccionar la imagen “*Agua_Final*” → OK

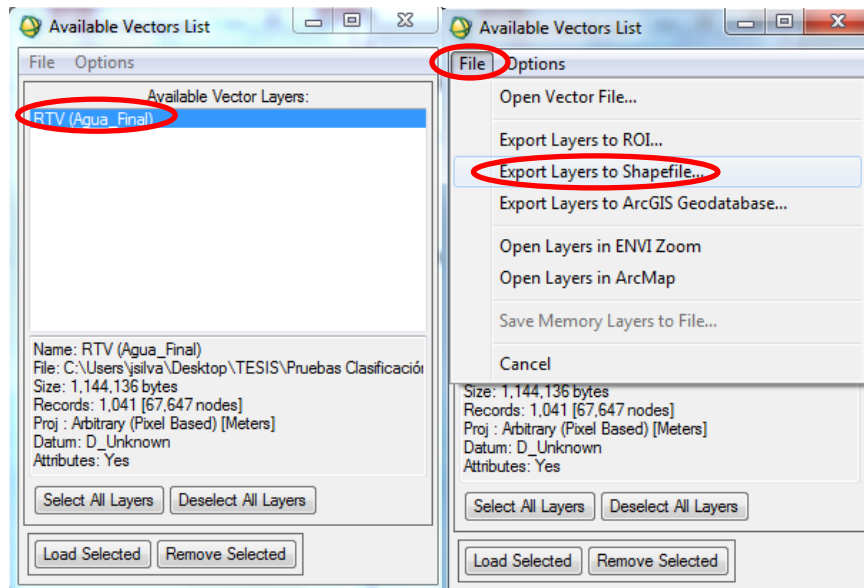


- 2) Se abre un cuadro, donde se debe seleccionar la clase que se quiere vectorizar. Finalmente guardar con el nombre “*Agua_Final*”, en formato de archivo *.evf*, en el directorio de trabajo.



- 3) Al finalizar la conversión, se abre el cuadro **“Available Vectors List”**. Seleccionar el vector **RTV (Agua_Final)**, y exportar el vector a un archivo de formato **“shape”**.

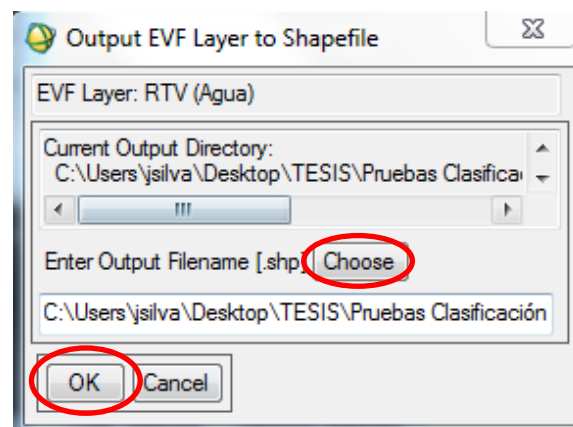
File → Export Layers to Shapefile



- 4) Elegir el directorio de trabajo y guardar el **shape (capa vectorial)**, con el nombre como se indica a continuación:

“Nombre Producto Modis. Data de Adquisición (Año-Día Juliano)_Path_Raw_NDWI_Final_Agua”.

Ejemplo: “MOD09GA.A2015241.h13v12_NDWI_Final_Agua”



Anexo 2

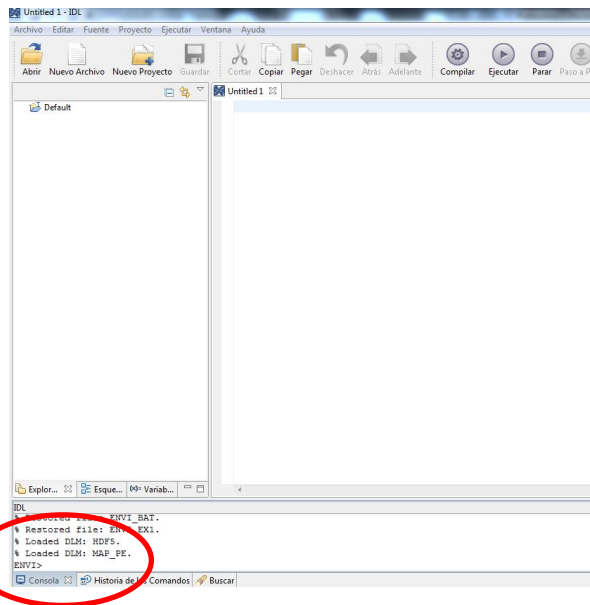
Imágenes Cosmo-SkyMed-Procesamiento con Software ENVI

Para imágenes mayores que 10000x10000 pixeles

F) CALIBRACIÓN

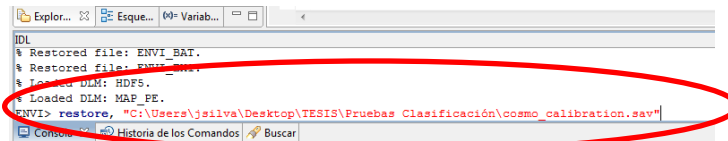
Opción 1: Como primera posibilidad se realiza la calibración utilizando el módulo “*cosmo_calibration.sav*”, generado por *Sofía Lanfri*.

- 1) Abrir *IDL*, y en la línea de comandos escribir “*ENVI*”, para abrirlo. Luego dentro del programa *ENVI* abrir la imagen *COSMO- SkyMed*.

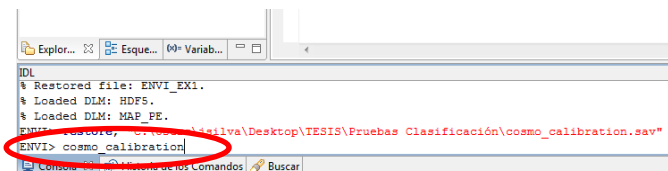


- 2) En la línea de comandos de *IDL* escribir:

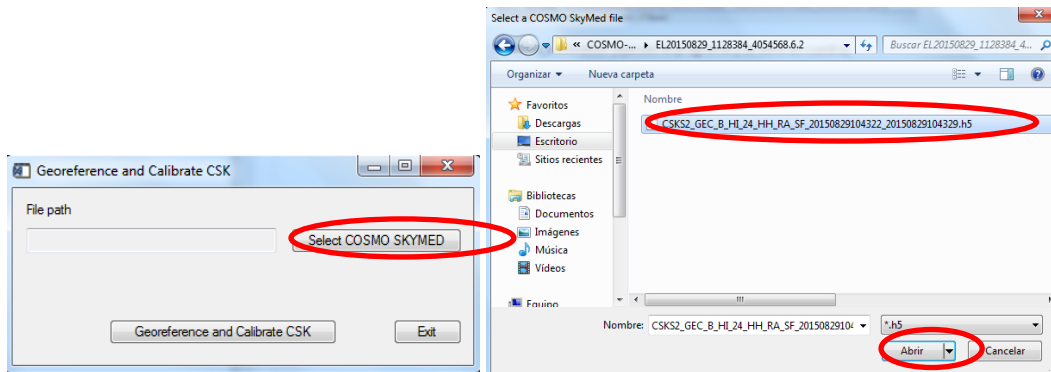
> *restore*, “*path al archivo cosmo calibration.sav*” (para ubicarse en la dirección donde se encuentra guardado el programa)



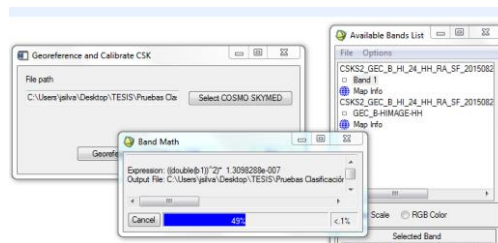
> *cosmo_calibration* (se ejecuta el programa y se abre un cuadro)



- 3) En el cuadro que se abre, picar en el botón **“Select COSMO SKYMED”** y seleccionar la imagen cruda (archivo ***.h5**)



- 4) Picar en **“Georeference and Calibrate CSK”** para que comience el proceso



- 5) Se generan 3 imágenes y 2 archivos de texto. Para los pasos posteriores, se debe utilizar solo la calibrada en decibeles (**“CSK ... sigma db”**)

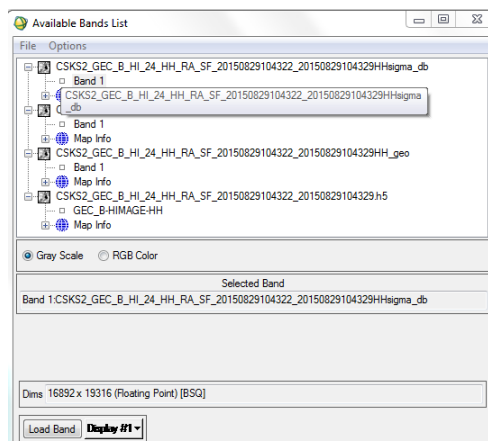
‘CSK ...geo’: Imagen reproyectada/georreferenciada (en amplitud, no calibrada) en proyección UTM. A la zona la define según el área de captura de la imagen.

‘CSK ... sigma’: Imagen en intensidad calibrada, con precisión decimal doble.

‘CSK ... sigma db’: Imagen en decibeles calibrada, con precisión decimal simple.

‘Header.txt’: Header de la imagen

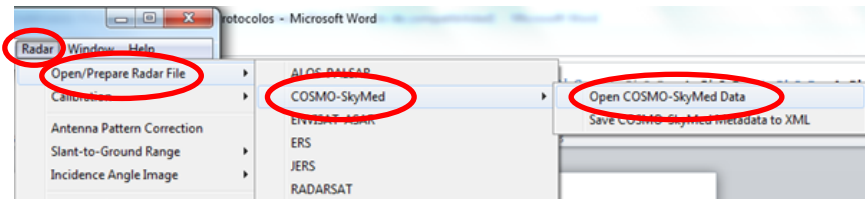
‘exp.txt’: Archivo que guarda la constante de calibración.



Opción 2: Para casos donde no se pueda calibrar la imagen mediante el método creado por **Sofia Lanfri** (debido a cualquier error que arroje la ejecución en del programa **IDL** provocados por la falta de memoria RAM, debido al peso de la imagen), se procederá a realizar la calibración de manera manual en ENVI, siguiendo la metodología que se describe a continuación:

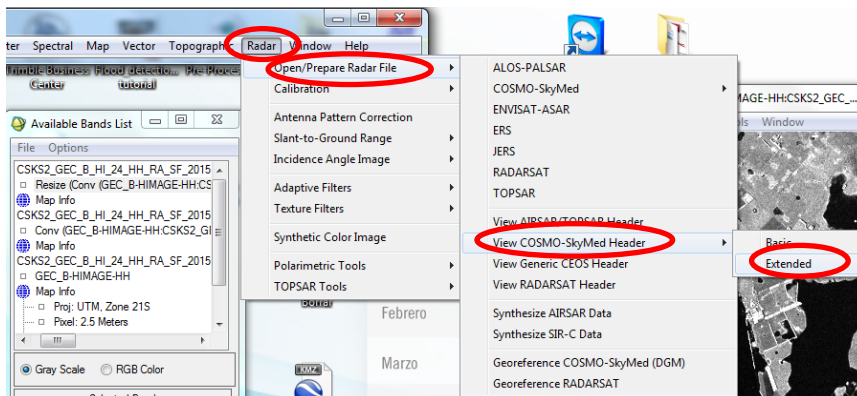
1) Abrir la imagen

Radar → **Open/Prepare Radar File** → **COSMO-SkyMed** → **Open COSMO-SkyMed Data** → **Seleccionar el archivo *.h5**

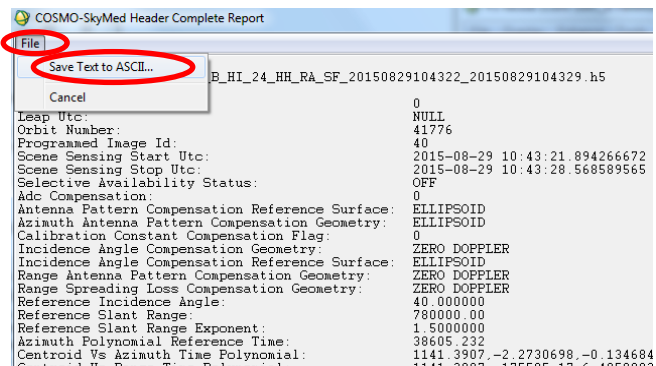


2) Abrir el **header** de la imagen.

Radar → **Open/Prepare Radar File** → **View COSMO-SkyMed** → **Extended** → **Seleccionar el archivo *.h5**



3) Guardar el **header** como archivo ASCII, para poder abrirlo con un editor de texto, y buscar los parámetros de nuestro interés que se describen en el paso siguiente.



4) Leer el **header** y buscar los siguientes parámetros.

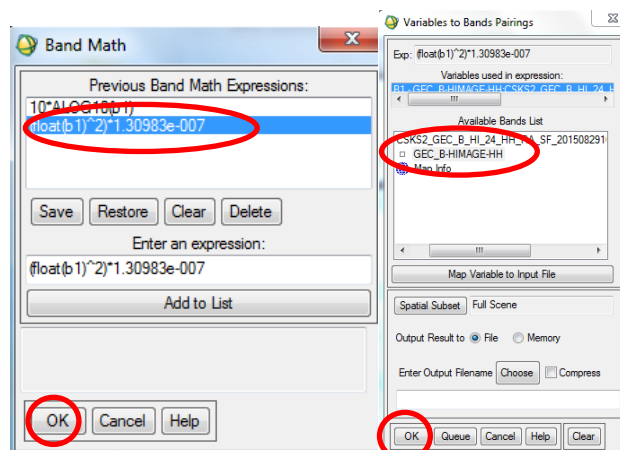
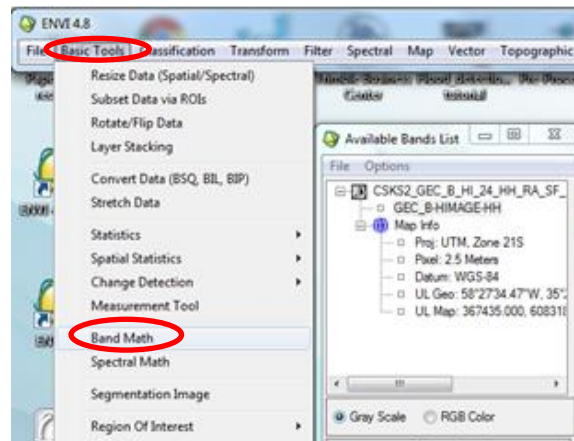
- **Reference Slant Range**
- **Reference Slant Range Exponent**
- **Reference Incidence Angle**
- **Rescaling Factor**
- **Calibration Constant**

5) Utilizando **IDL** o cualquier otro programa de cálculos, utilizar estos parámetros para obtener el valor "**Ftot**", que se va a utilizar para la calibración de la imagen.

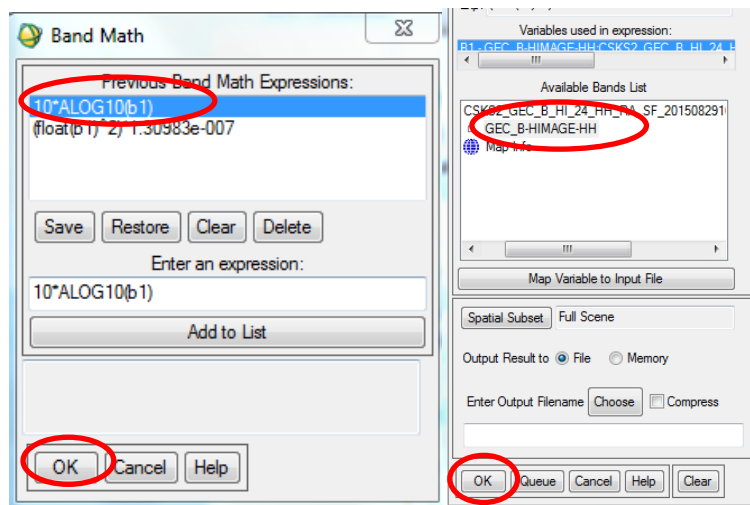
```
a=Reference Slant Range^(2*Reference Slant Range Exponent)
b=a*sin(Reference Incidence Angle*!PI/180)
Ftot=b/Calibration Constant
```

6) Abrir el **Band Math** y escribir la formula como se indica a continuación:

(float(b1)^2)*Ftot, dar **OK** y finalmente seleccionar la imagen a calibrar en el lugar que le corresponde a **b1** de la formula.



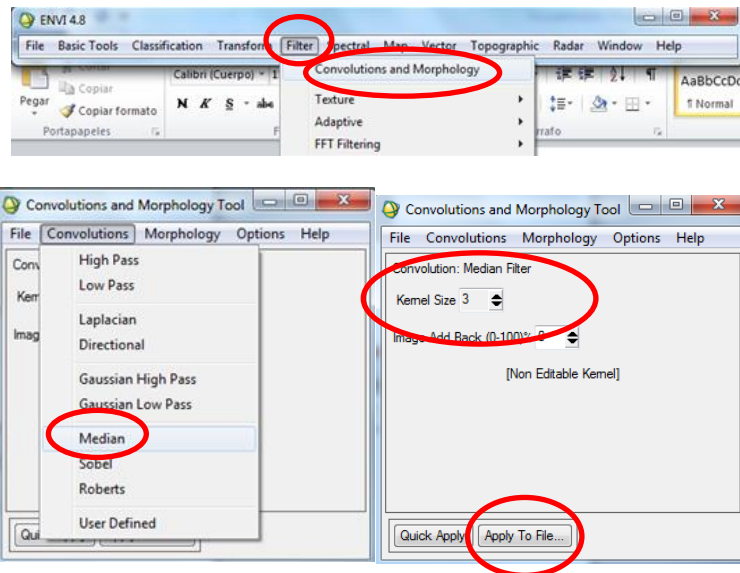
- 7) Pasar a los valores de los píxeles de **DN** a **dB**, escribiendo la ecuación como se indica a continuación: **$10 \cdot \text{ALOG}_{10}(b1)$** , dar **OK** y seleccionar la imagen en el lugar que le corresponde a **b1** de la formula.



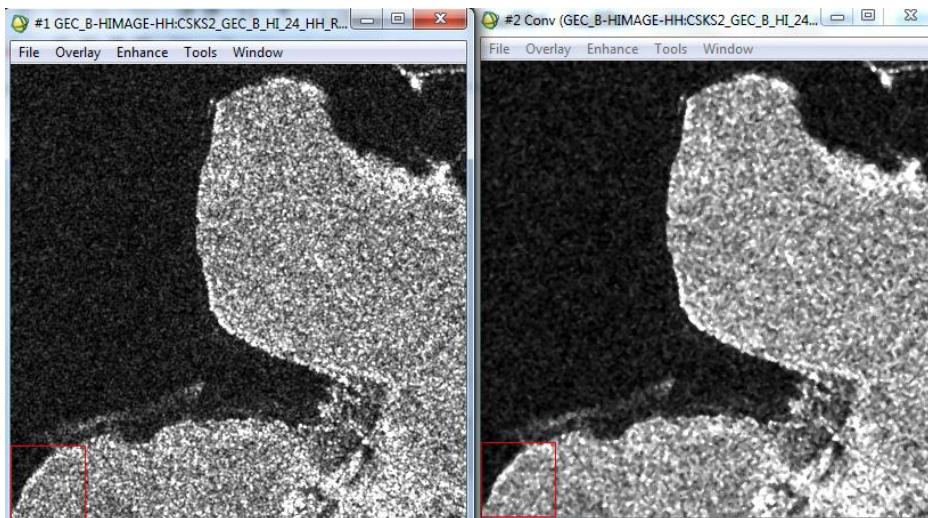
G) FILTRADO Y REMUESTREO

- 1) Aplicar un **filtro de mediana de 3x3** a la imagen para atenuar el **Speckle**.

Filter → **Convolutions and Morphology** → **Median** → **Kernel Size=3** → **Image Add Back=0**
Apply to File y seleccionar el archivo a procesar *.h5

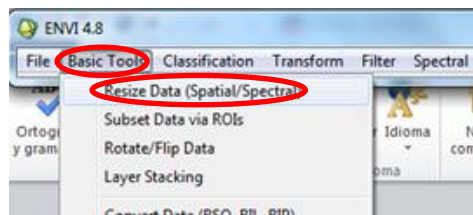


- 2) Guardar la imagen con el mismo nombre original, agregando **Median3x3** al final.

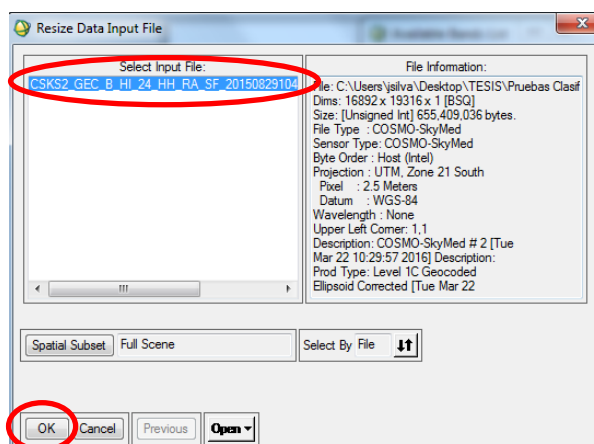


- 3) Debido a que, para casos de inundaciones, se pretende trabajar en grandes extensiones de la zona rural, es conveniente realizar un remuestreo de los píxeles y llevarlos a un tamaño parecido al de una imagen **Landsat (30m)**. En caso que se requiera un nivel de detalle superior, no se debe realizar este remuestreo.

Basic Tools → Resize Data (Spatial/Spectral)

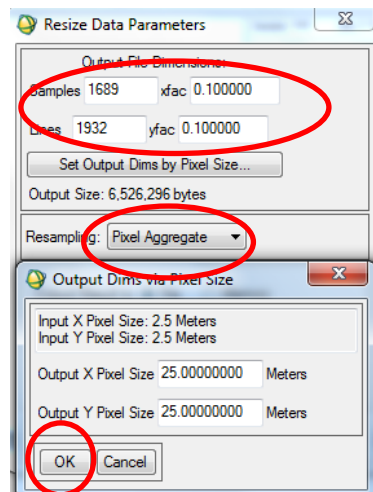


- 4) Se abre un cuadro de dialogo donde se debe seleccionar la **imagen a remuestrear (Input)** y finalmente dar **OK**.



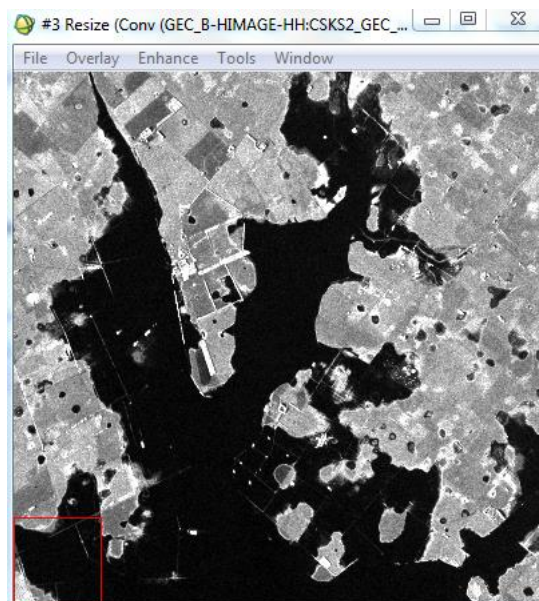
Aclaración: Para saber cuáles son los factores correctos que se deben colocar en **x** e **y** para realizar el remuestreo, se debe tener en cuenta el tamaño de pixel de la imagen original.

Ejemplo: Tomamos una imagen **COSMO-SkyMed** con un tamaño de pixel de 2,5mts. Para llevarlo a un tamaño de 25mts, le aplicamos un **xfactor** y un **yfactor** de 0.10. En **Resampling** se debe elegir la opción **Pixel Aggregate**. Para ver el tamaño de pixel luego del **remuestreo**, se debe picar en **“Set Output Dims by Pixel Size...”**



Nota: Para poder observar a que tamaño de pixel se va a remuestrear la imagen, es necesario refrescar la pantalla, tocando en **Memory** y de vuelta en **File**. De esta manera ya se puede verificar el tamaño de pixel en **Set Output Dims by Pixel Size**, y se puede elegir la opción **Pixel Aggregate**.

5) Finalmente guardar la imagen agregandole **“remuestreoX10”**

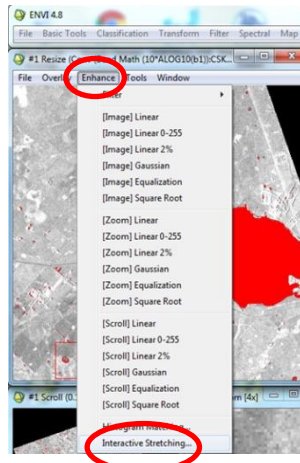


H) UMBRALIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN

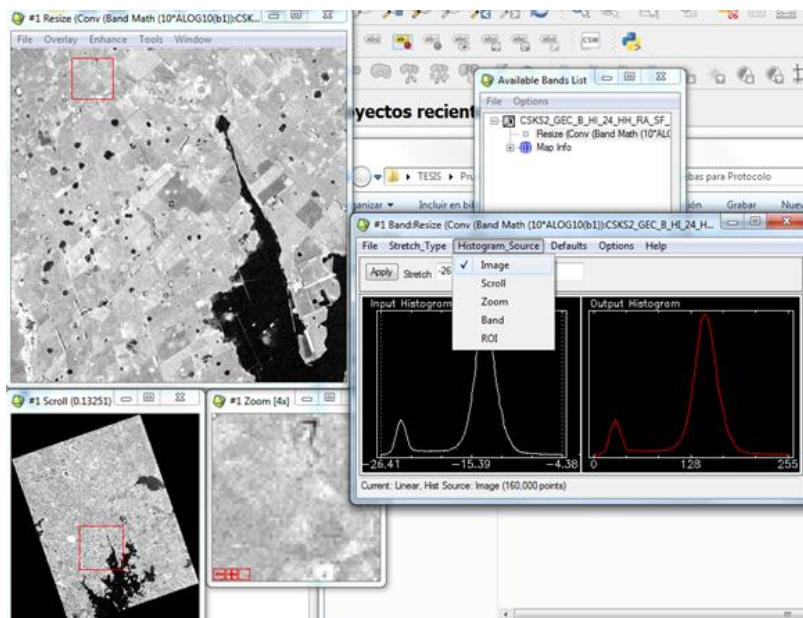
Se debe buscar el umbral que corresponda a las zonas con cuerpos de agua, siguiendo los pasos que se describen a continuación:

- 1) Sobre la pantalla que contiene la imagen a clasificar, abrir el histograma

Enhance → **Interactive Stretching**



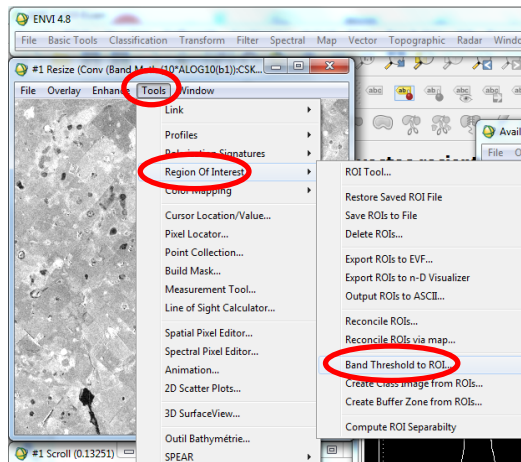
- 2) Cuando se despliega la ventana del histograma, seleccionar la opción **Image**. Según interpretación visual, tratar de seleccionar en la ventana **Scroll**, cualquier zona que contenga una parte de “**Agua**” y una parte de “**No Agua**”. De esta manera se logra analizar un histograma con distribución bimodal, lo que simplifica la tarea de encontrar el umbral de clasificación (*explicación teórica del procedimiento para elección del umbral, descrita en el Capítulo 2.3.2 COSMO-SkyMed de esta Tesis*).



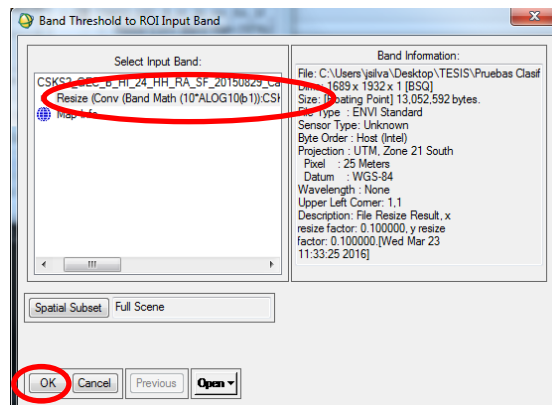
Nota: generalmente los valores correspondientes a las zonas con cuerpos de agua en superficie, van desde -26dB a -18dB . Estos límites pueden variar según la imagen utilizada, por eso se debe analizar visualmente si se cometen omisiones o excesos, y de esta manera ir ajustándolos.

3) Una vez encontrado el umbral inferior y el superior, se procede a realizar la clasificación:

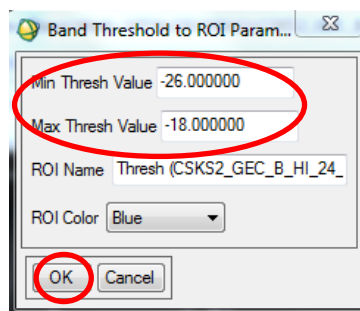
Tools → Region Of Interest → Band Threshold to ROI



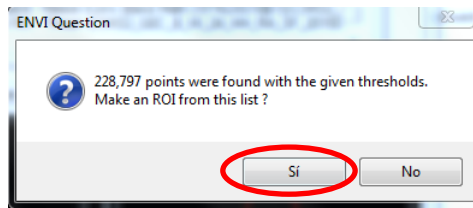
4) Seleccionar la imagen y dar **click en OK**. Si se quiere trabajar con una zona específica de la imagen, picar en **“Spatial Subset”** y seleccionarla.



5) Completar los límites de umbrales y dar click en OK.

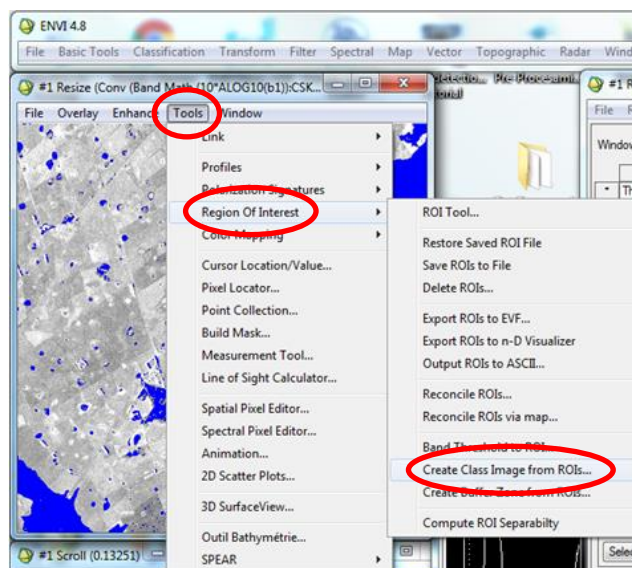


- 6) Se abre un cartel que indica la cantidad de puntos generados y pregunta si se quiere generar un **ROI** de esta lista, en el cual se debe picar en **SI**.

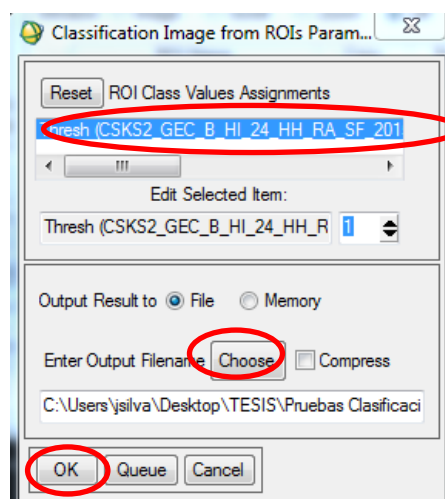


- 7) Crear una imagen de la clase llamada **"Agua"**, utilizando el **ROI** generado en el paso anterior.

Tools → **Region of Interest** → **Create Class Image from ROIS**



- 8) Seleccionar la imagen, renombrarla como **"Agua"** y guardarla en el directorio de trabajo.

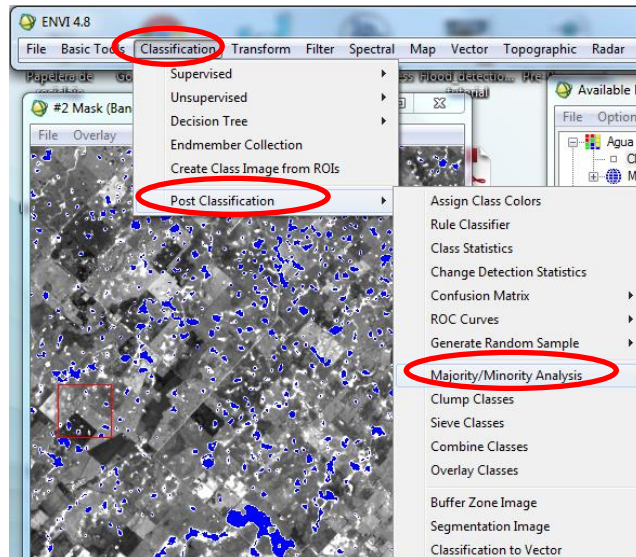


I) FILTRADO Y ELIMINACIÓN DE PÍXELES AISLADOS

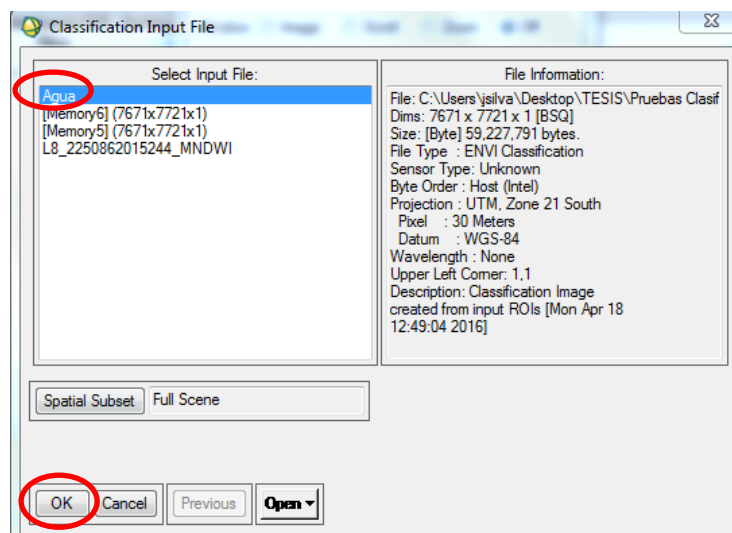
Para suavizar los polígonos clasificados y eliminar los aislados de menor tamaño, se aplica un filtro siguiendo la metodología que se indica a continuación:

- 7) En el menú principal elegir el tipo de filtro a aplicar dentro de la etapa de post clasificación.

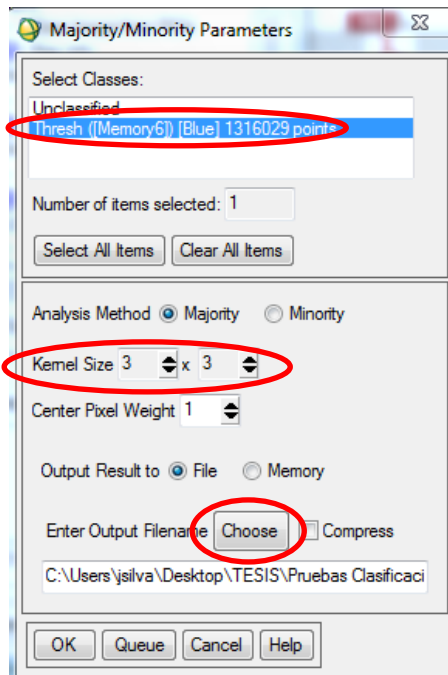
Classification → Post Classification → Majority/Minority Analysis



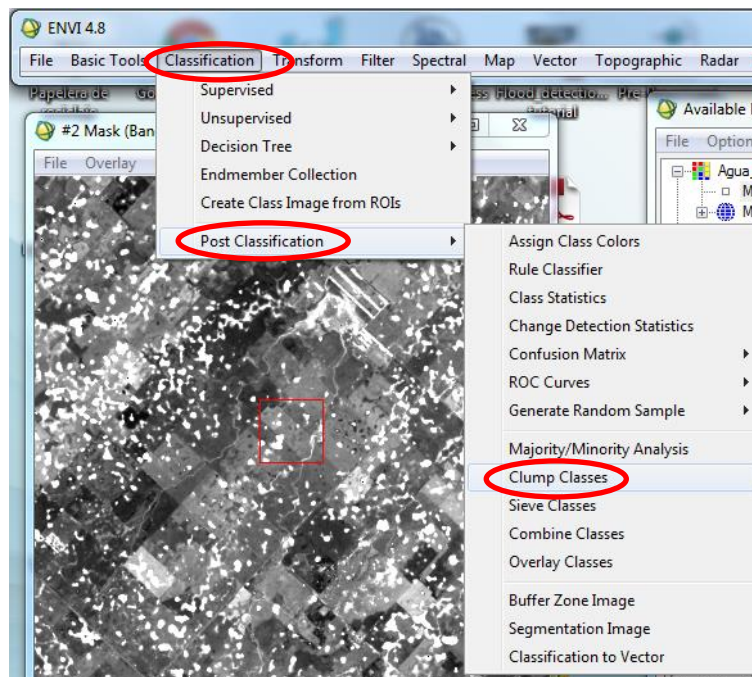
- 8) Se abre un cuadro en donde se debe seleccionar el archivo de entrada. En este caso es el archivo renombrado como "Agua". Finalmente picar en **OK**.



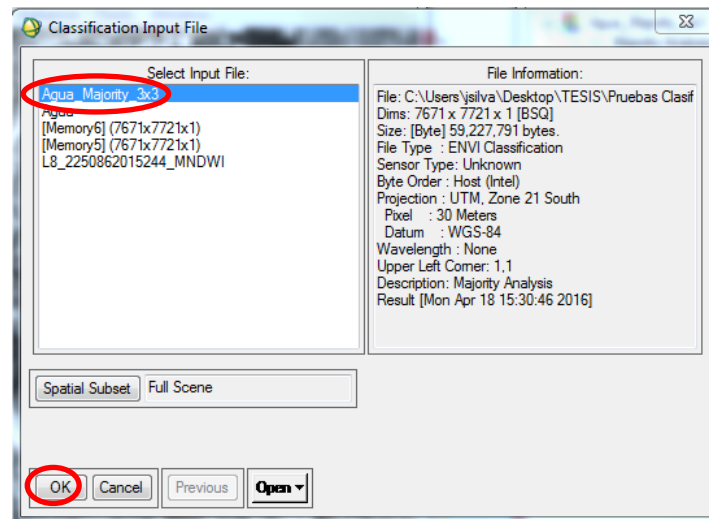
- 9) Se abre otro cuadro, donde se debe seleccionar las clases que corresponden a los cuerpos de agua, dejando de lado las no clasificadas “*Unclassified*”. En “*Analysis Method*” elegir la opción *Majority*, con un *kernel de 3x3*. Finalmente guardar el archivo con el nombre “*Agua_Majority_3x3*”



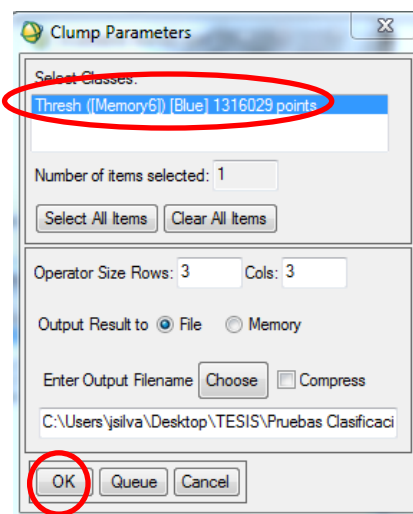
- 10) Utilizar la opción “*Clump Classes*” para eliminar los pixeles aislados.
***Classification* → *Post Classification* → *Clump Classes*.**



- 11) Se abre el cuadro **“Classification Input File”**, en donde se debe seleccionar **“Agua_Majority_3x3”**. Finalmente picar en **OK**.

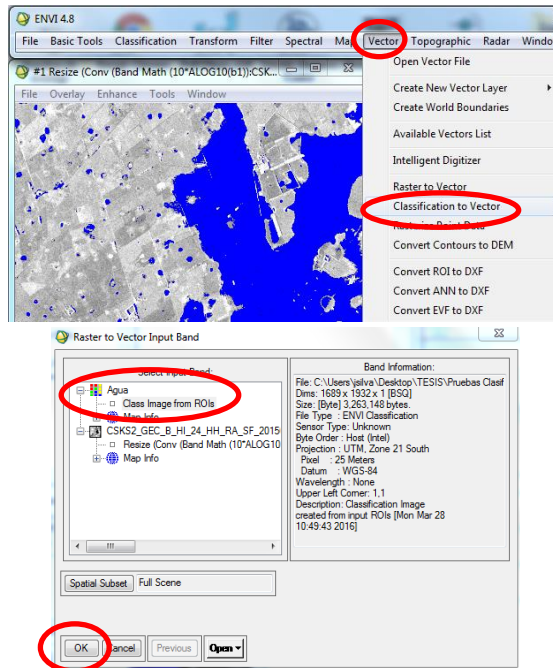


- 12) Se abre el cuadro **“Clump Parameters”**. En **“Operator Size”** elegir el tamaño de filas y columnas. En este caso se usa 3x3. Finalmente guardar en el directorio de trabajo la clasificación, renombrándola como **“Agua_Final”**.



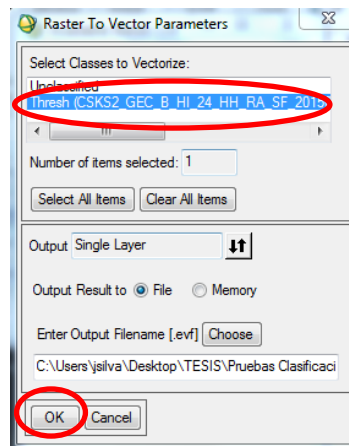
13) Convertir la clasificación “*Agua_Final*” a un vector.

Vector → Classification to Vector → Seleccionar la clasificación “*Agua_Final*” → OK



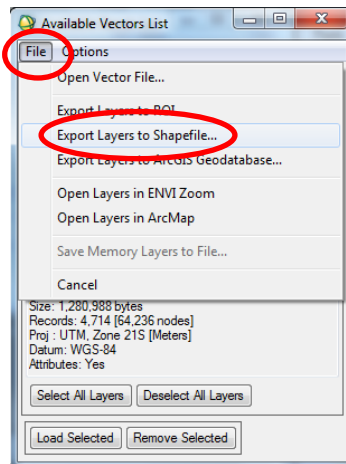
14) Se abre un cuadro, donde se debe seleccionar la clase que se quiere vectorizar.

Finalmente guardar con el nombre “*Agua*”, en formato de archivo *.evf*, en el directorio de trabajo.



- 15) Al finalizar la conversión, se abre el cuadro **“Available Vectors List”**. Seleccionar el vector **RTV (Agua)**, y exportar el vector a un archivo de formato **shape**.

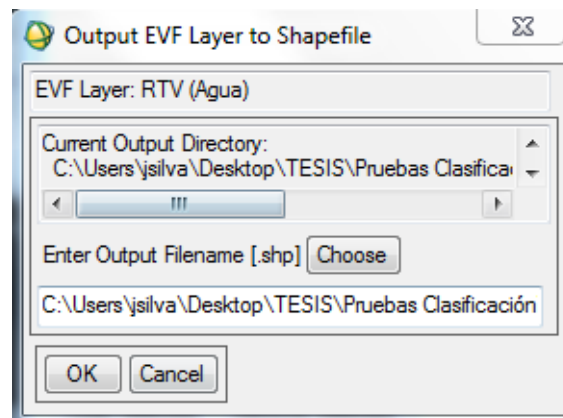
File → Export Layers to Shapefile



- 16) Elegir el directorio de trabajo, y guardar el **shape**, con el nombre como se indica a continuación:

“Nombre de la imagen original hasta la fecha”_Agua

Ejemplo: CSKS2_GEC_B_HI_24_HH_RA_SF_20150829_Agua



Para imágenes menores que 10000x10000 pixeles

Para las imágenes que tienen un tamaño inferior a 10000x10000 pixeles, se utiliza el módulo para la gestión de archivos Cosmo SkyMed **“cosmo_calibration.sav”** y el módulo para detección automática de umbrales **“class_aproxotsu.sav”**, ambos creados por Sofía Lanfri. Estos módulos también se pueden usar para subset de imágenes. Los pasos para llevar a cabo el procedimiento, se describe a continuación:

A) CALIBRACIÓN

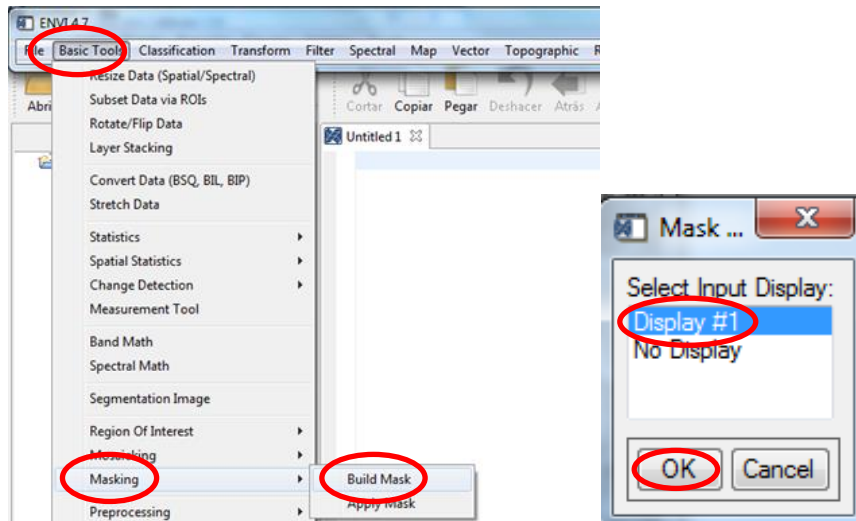
Para la calibración se deben realizar los pasos descrito en **Opción 1** de este **Anexo** (procedimiento para **“imágenes mayores que 10000x10000 pixeles”**). Para los pasos posteriores, se debe utilizar la imagen georreferenciada y calibrada en decibeles obtenida (**“CSK ... sigma db”**).

B) CONVERSIÓN DE LOS “NO DATOS”

Para que el módulo de clasificación funcione correctamente se deben convertir los valores “**INF**” en “**NaN**”, siguiendo la metodología que se describe a continuación.

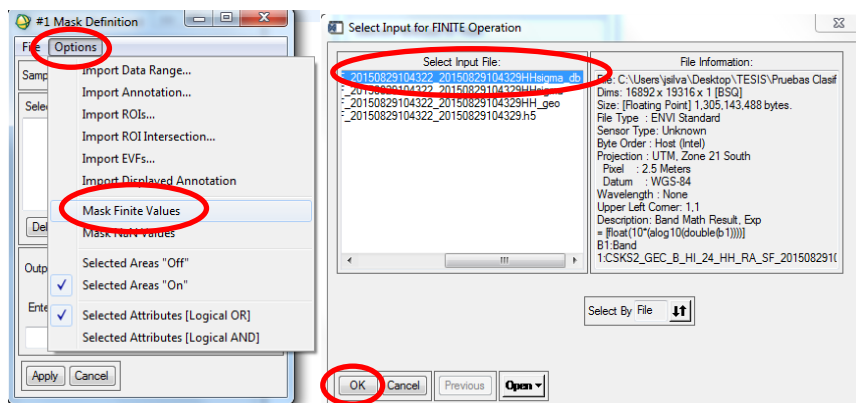
- 1) Crear una máscara de los valores “**INF**”. Para realizar este proceso, antes se debe tener la imagen abierta en display.

Basic Tools → **Masking** → **Build Mask** → “Elegir el display donde esté abierta la imagen”

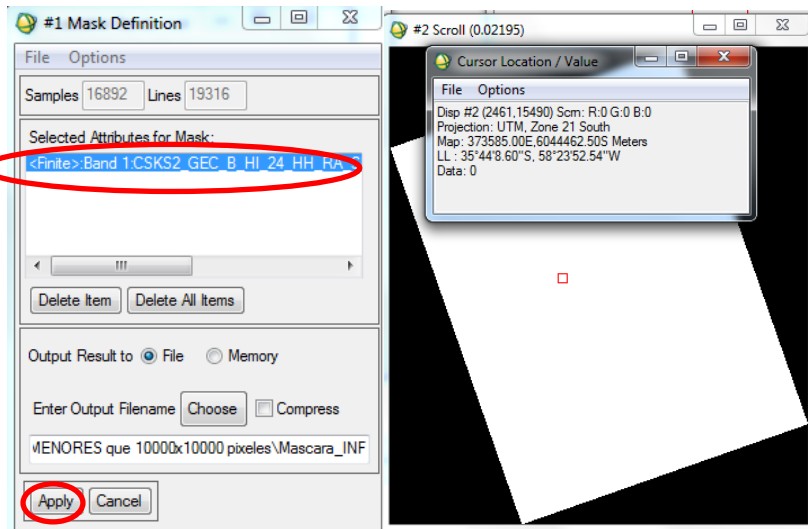


- 2) Se abre un cuadro, donde se debe seleccionar sobre qué opción se va a crear la máscara. En este caso se debe elegir sobre los “**Finite Values**”.

Options → **Mask Finite Values** → **Seleccionar la imagen (“CSK ... sigma db”)**.



- 3) Guardar en el directorio de trabajo con el nombre **“Mascara_INF”**

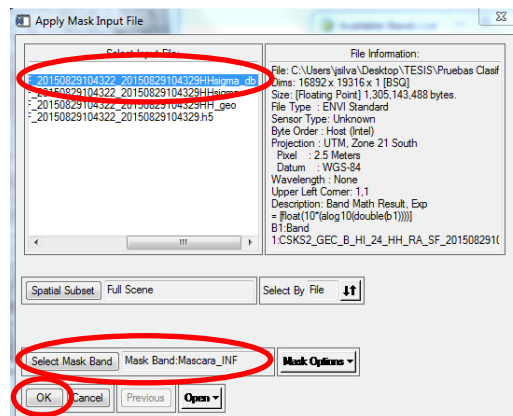


Nota: La máscara generada debe contener la zona oscura con valores 0 (cero) y la zona clara con valores 1 (uno).

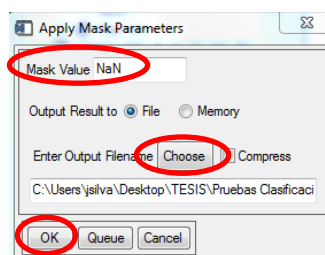
- 4) Aplicar la máscara sobre la imagen (**“CSK ... sigma db”**).

Basic Tools → **Masking** → **Apply Mask**

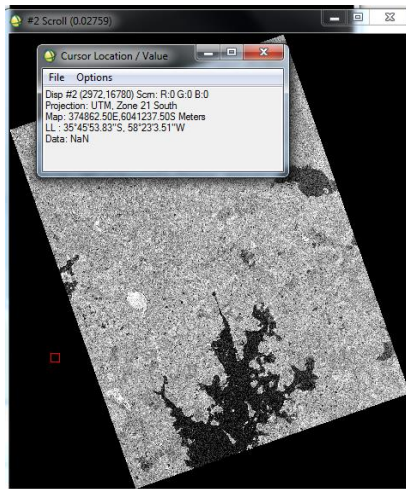
En **“Select Input File”** seleccionar la imagen (**“CSK ... sigma db”**) y en **“Select Mask Band”** seleccionar la máscara generada en el paso anterior.



- 5) En **“Mask Value”** escribir **“NaN”** y guardar la imagen en el directorio de trabajo, agregándole **“NaN”** al nombre.



- 6) Comprobar que se haya aplicado bien la máscara, verificando que los valores fuera de la imagen arrojen valores “NaN”.

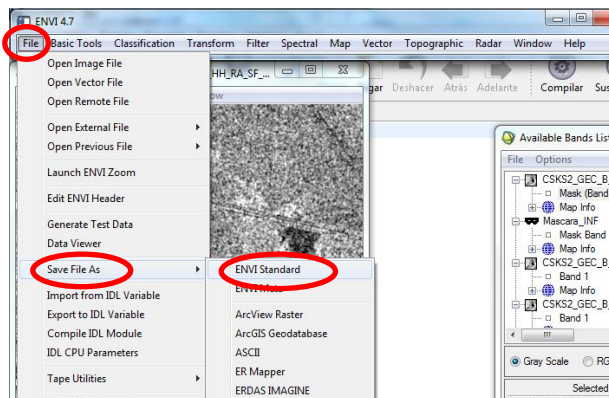


C) RECORTE DE LA ZONA DE INTERÉS

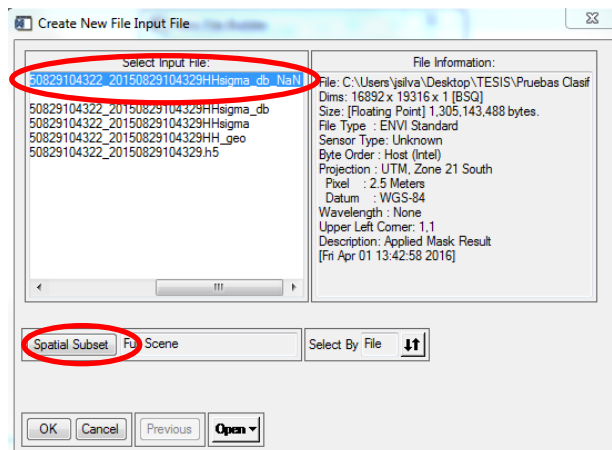
Cuando las imágenes disponibles son mayores a 10000x10000 píxeles, y se desea continuar con este proceso de clasificación automática, se debe realizar el recorte de la zona que se pretende analizar. En caso de que la imagen sea menor a 10000x10000 píxeles, se puede omitir este paso, y continuar con el paso “D) **UMBRALIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN**”.

- 1) Realizar el recorte de la zona de interés de la imagen generada en el paso anterior (con los NaN).

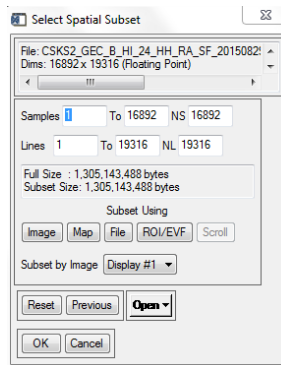
File → Save File As → ENVI Standard



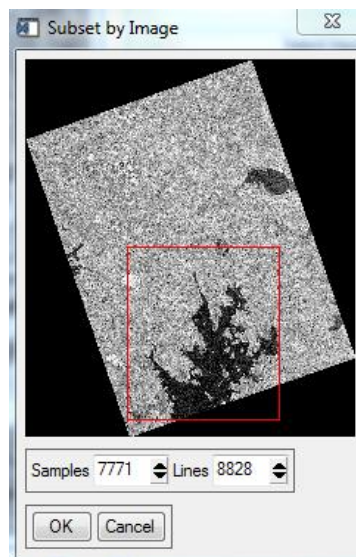
- 2) Se abre un cuadro. Seleccionar la imagen a recortar, y picar en **Spatial Subset**.



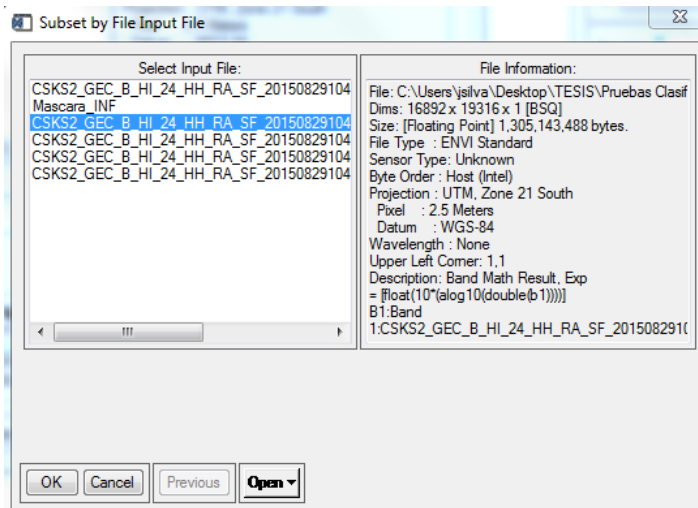
- 3) Para elegir la zona a recortar, existen diferentes posibilidades:



- a) **Image:** Se selecciona manualmente la zona de interés, moviendo la ventana y modificando su tamaño.

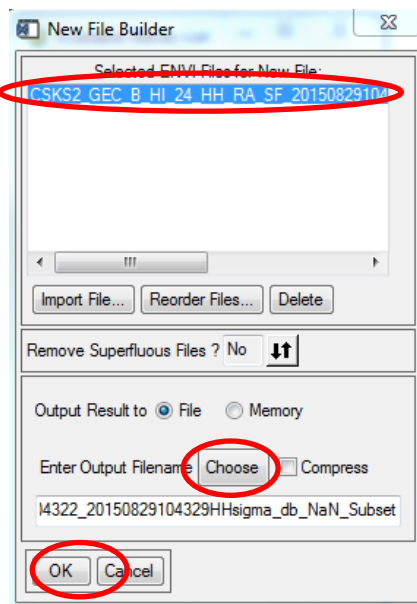


- b) **File:** Se selecciona la zona de interés, basándose en otra imagen existente. De esta manera el tamaño y ubicación de la imagen a recortar, será coincidente con la que se usa como base.

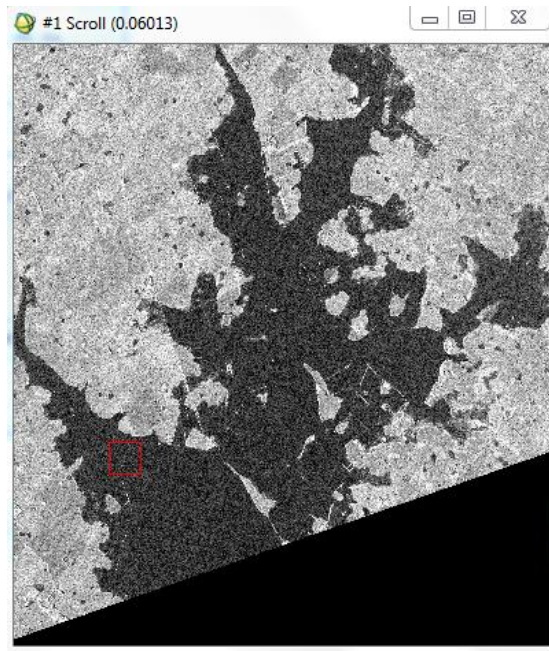


c) **ROI/EVF**: Se utiliza, si tenemos armado previamente, un vector (**ROI o EVF**) que abarque la zona de interés.

4) Guardar el recorte en el directorio de trabajo, agregándole **"Subset"** al nombre de la imagen.



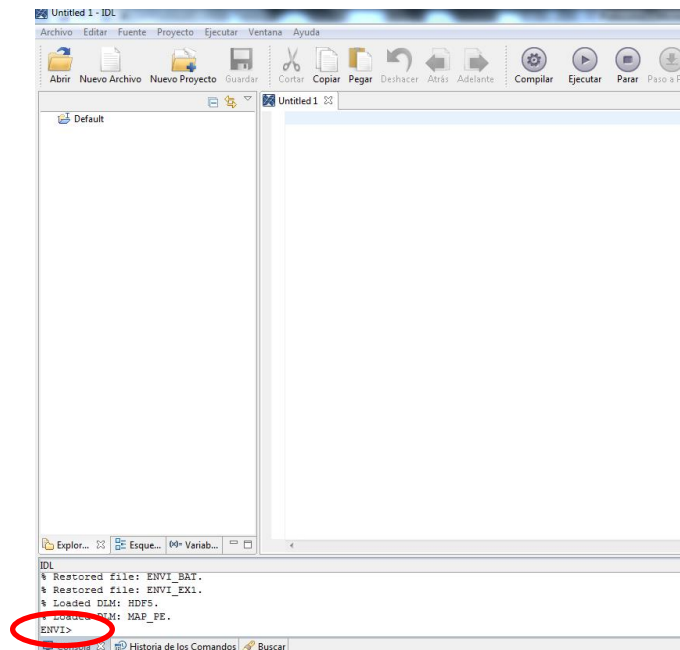
- 5) Observar que haya realizado correctamente el recorte, abarcando la zona de interés.



D) UMBRALIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN

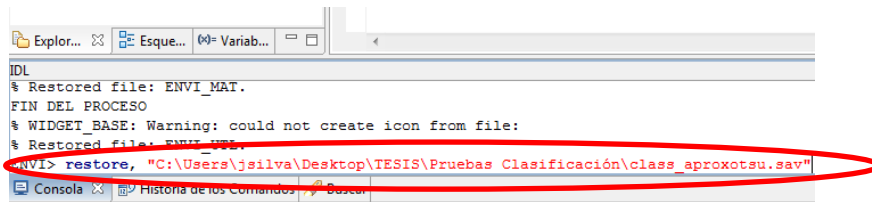
Para la detección automática de umbrales se utiliza en Módulo *"class_aproxotsu.sav"*.

- 1) Abrir *IDL*, y en la línea de comandos escribir *ENVI*, para poder abrirlo. Luego en *ENVI* abrir el recorte de imagen, generado en el paso anterior.



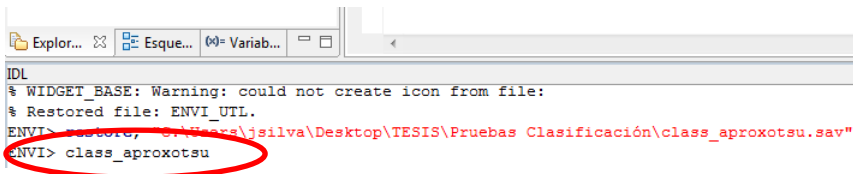
2) En la línea de comandos de **IDL** escribir:

> **restore, "class_aproxotsu.sav"** (de esta manera me ubico en la dirección donde se encuentra guardado el programa).



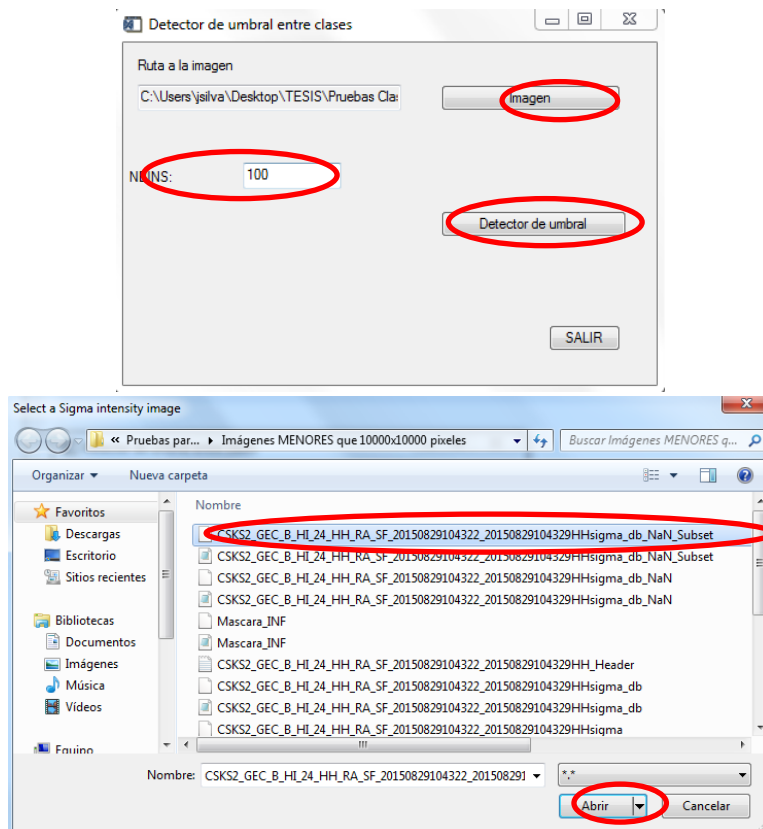
```
IDL
% Restored file: ENVI_MAT.
FIN DEL PROCESO
% WIDGET_BASE: Warning: could not create icon from file:
% Restored file: ENVI_UTL.
ENVI> restore, "C:\Users\jsilva\Desktop\TESIS\Pruebas Clasificación\class_aproxotsu.sav"
```

> **class_aproxotsu** (ejecuto el programa y se abre un cuadro).



```
IDL
% WIDGET_BASE: Warning: could not create icon from file:
% Restored file: ENVI_UTL.
ENVI> restore, "C:\Users\jsilva\Desktop\TESIS\Pruebas Clasificación\class_aproxotsu.sav"
ENVI> class_aproxotsu
```

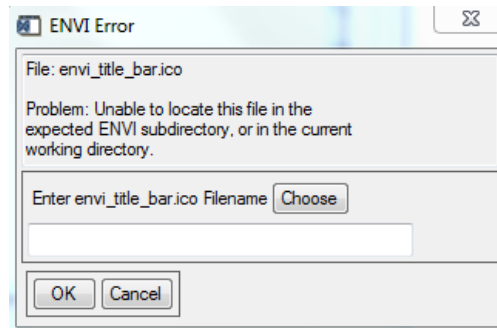
3) En el cuadro que se abre, picar en el botón **"Select COSMO SKYMED"** y seleccionar el recorte de imagen en el cual pretendemos realizar la clasificación. La parte donde se colocan los números de **Bins (NBINS)** se deja por default. Finalmente picar en **"Detector de umbral"** para que comience el proceso.



4) Al finalizar el proceso aparece un cuadro preguntando si termina la sesión de **ENVI**. Seleccionar la opción **"NO"**.

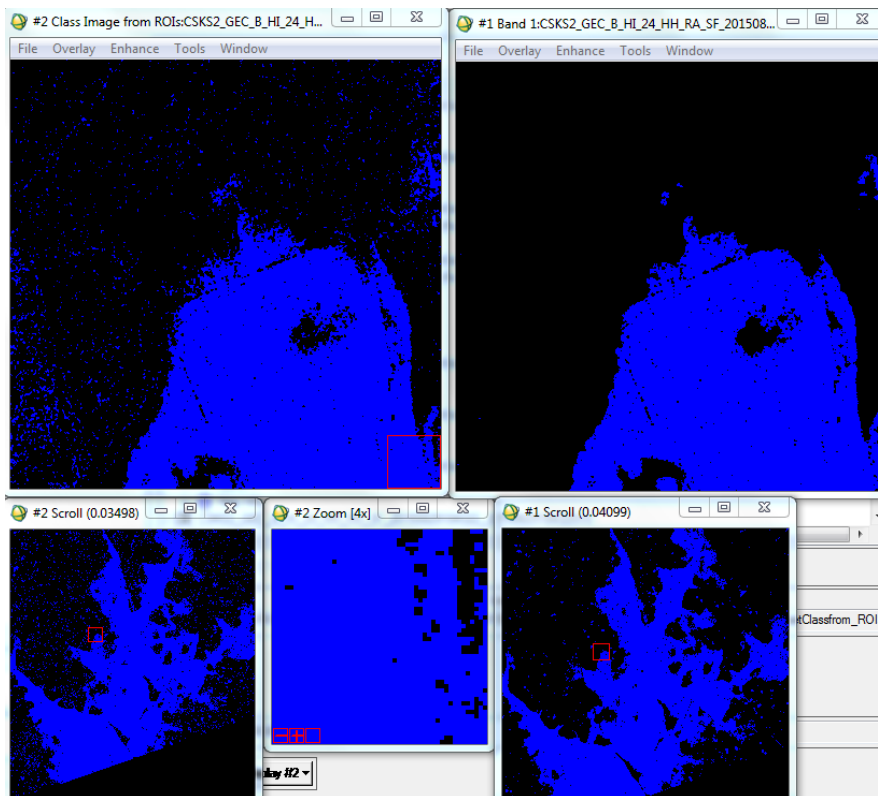
Si aparece el mensaje de error que se muestra en el cuadro, no se habrán generado los siguientes archivos:

- 'ROI agua.txt' (ROIs de cuerpos de agua como archivo .txt)
- 'Samples ROIs.roi' (ROI de los cuerpos de agua).



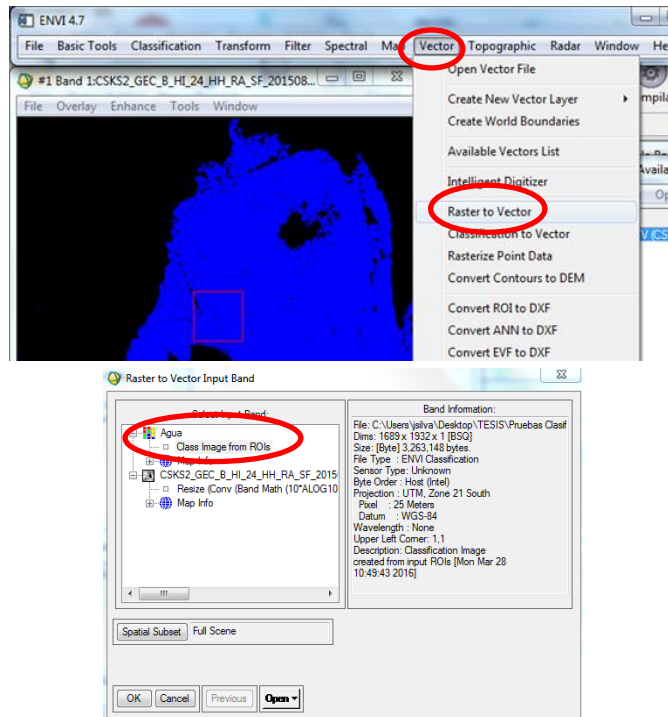
Nota: Si los dos archivos no generados, son requeridos por algún usuario final, se debe volver a realizar el proceso. Caso contrario, continuar con la imagen de clasificación generada, que se indica en el punto siguiente.

- 5) Se generan dos imágenes de clasificación. La diferencia es que una no está filtrada, y la otra tiene aplicado un filtro de mayoría.

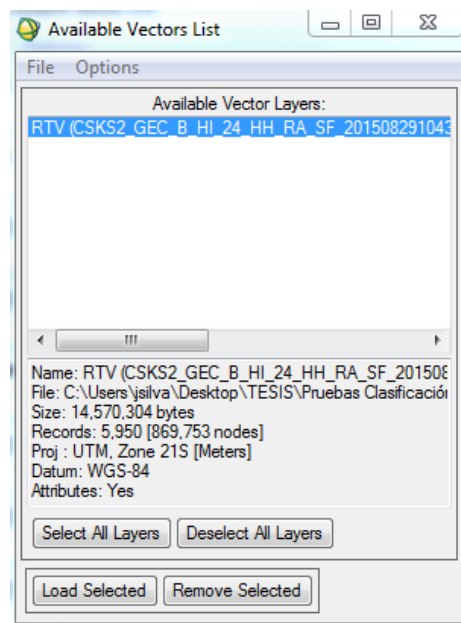


6) Convertir la imagen “**Agua**” a un vector.

Vector → **Raster to Vector** → **Seleccionar la imagen “Agua”** → **OK**

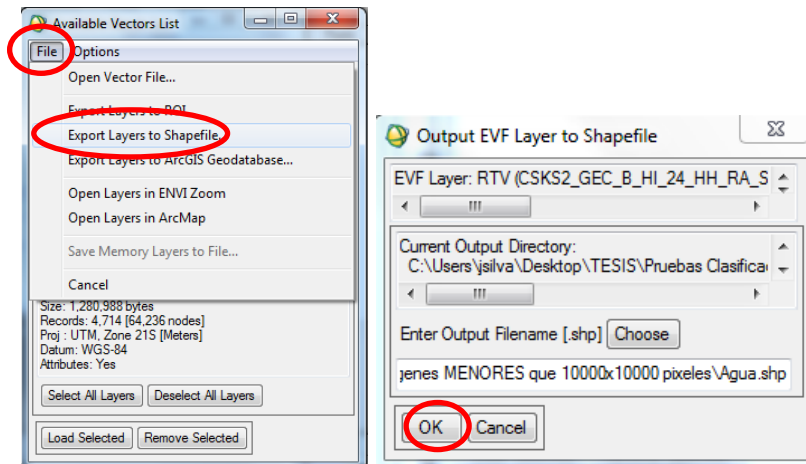


7) Se abre un cuadro, donde se debe seleccionar la clase que se quiere vectorizar. Finalmente guardar con el nombre “**Agua**”, en formato de archivo **.evf**, en el directorio de trabajo.



- 8) Al finalizar la conversión, se abre el cuadro **“Available Vectors List”**. Seleccionar el vector **RTV (Agua)**, y exportar el vector a un archivo de formato **shape**.

File → Export Layers to Shapefile



- 9) Elegir el directorio de trabajo, y guardar el shape, con el nombre como se indica a continuación:

“Nombre de la imagen original, hasta la fecha”_Agua

Ejemplo: CSKS2_GEC_B_HI_24_HH_RA_SF_20150829_Agua

Anexo 3

Imágenes LANDSAT 8-Procesamiento con Software ENVI

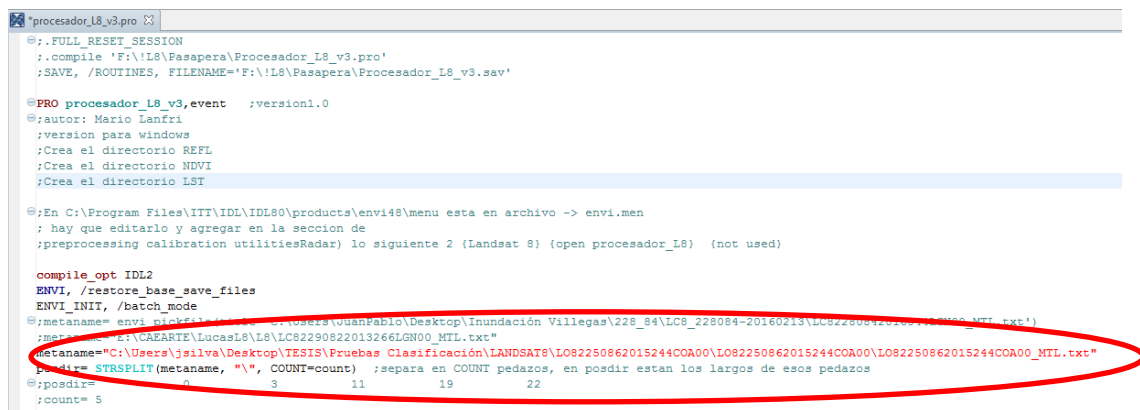
Método Automático- programa en IDL generado por Mario Lanfri

A) CALIBRACIÓN Y GENERACIÓN DEL ÍNDICE “MNDWI”

- 1) Guardar todas las bandas de la imagen **Landsat 8** a clasificar (9 bandas + 1 banda calidad) y el archivo ***.txt** con la **metadata**, en el directorio de trabajo que vamos a utilizar.
- 2) Abrir en **IDL**, el programa creado por Mario Lanfri: **“Procesador_L8_v3.pro”**
- 3) En la línea 21 del código (**metaname**), escribir la ruta donde está guardado el archivo ***.txt** correspondiente a la **metadata**. Debe estar contenido entre comillas, y debe quedar con letra roja. Finalmente **Compilar y Ejecutar**.

Ejemplo:

```
metaname="C:\Users\jsilva\Desktop\TESIS\Clasificación\LANDSAT8\LO82250862015244COA00\LO82250862015244COA00_MTL.txt"
```



```
*procesador_l8_v3.pro
@; FULL_RESET_SESSION
;.compile 'F:\L8\Pasapera\Procesador_L8_v3.pro'
;SAVE, /ROUTINES, FILENAME='F:\L8\Pasapera\Procesador_L8_v3.sav'

@PRO procesador_L8_v3,event ;version1.0
@;autor: Mario Lanfri
;version para windows
;Crea el directorio REFL
;Crea el directorio NDVI
;Crea el directorio LST

@;En C:\Program Files\ITT\IDL\IDL80\products\envi48\menu esta en archivo -> envi.men
; hay que editarlo y agregar en la seccion de
;preprocessing calibration utilitiesRadar) lo siguiente 2 (Landsat 8) (open procesador_L8) (not used)

compile_opt IDL2
ENVI, /restore_base_save_files
ENVI_INIT, /batch_mode
@;metaname= envi_pickfile('C:\Users\JuanPablo\Desktop\Inundación Villegas\228_84\LC8_228084-20160213\LC8228084-20160213_MTL.txt')
;metaname='E:\CAEARTE\LucasL8\L8\LC82290822013266LGN00_MTL.txt'
@;metaname="C:\Users\jsilva\Desktop\TESIS\Pruebas Clasificación\LANDSAT8\LO82250862015244COA00\LO82250862015244COA00_MTL.txt"
;posdir= STRSPLIT(metaname, "\", COUNT=count) ;separa en COUNT pedazos, en posdir estan los largos de esos pedazos
@;posdir=
;count= 5
```

- 4) Al finalizar este proceso, dentro del mismo directorio de trabajo, se genera una carpeta llamada **“OUTPUT”** que contiene los siguientes productos:

- a) **Cada una de las bandas calibradas y separadas (con valores de reflectividad)**
- b) **Imagen MNDWI**
- c) **Imagen NDVI**

Fuera de la carpeta **OUTPUT**, se generan dos imágenes calibradas. Una que contienen todas las bandas y la otra Pancromática.

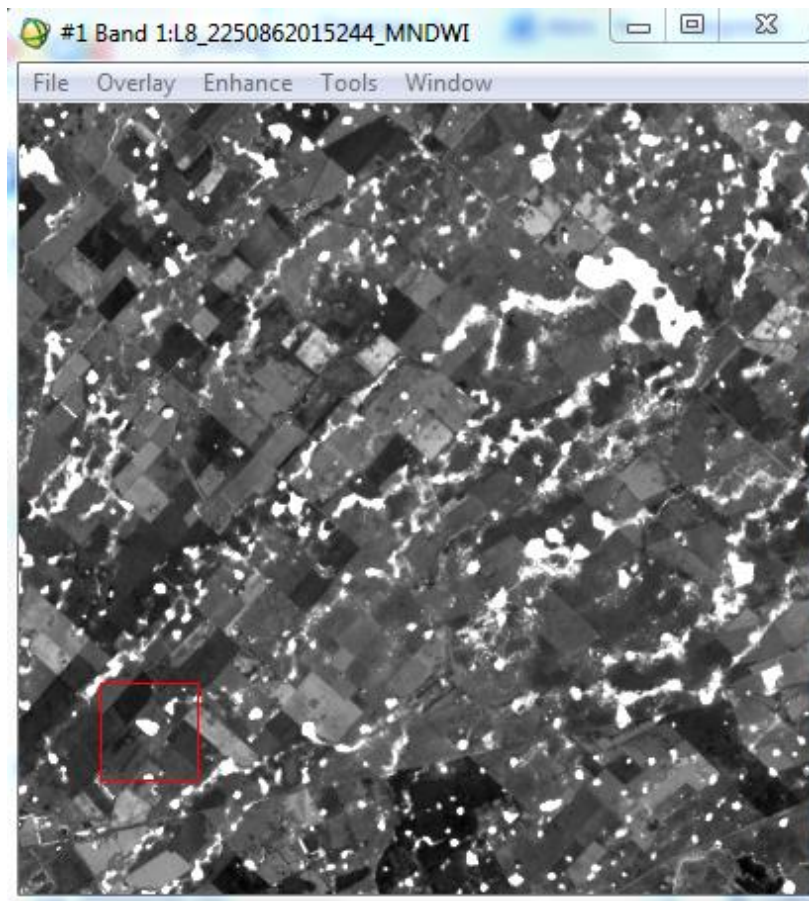
B) GENERAR Y APLICAR MÁSCARA A LA IMAGEN “MNDWI”

En la imagen de “MNDWI” se observa que los píxeles que quedan fuera de la misma (zona negra), tienen valores “ceros”. Para que estos píxeles no queden clasificados como “AGUA”, se debe generar y aplicar una máscara, asignándoles un valor que no influya en la calidad del resultado final (puede ser “-9.9999” o bien “NaN”), siguiendo la metodología que se describe a continuación:

- 1) Abrir en **ENVI** la imagen “MNDWI”, cuyo nombre está comprendido de la siguiente manera:

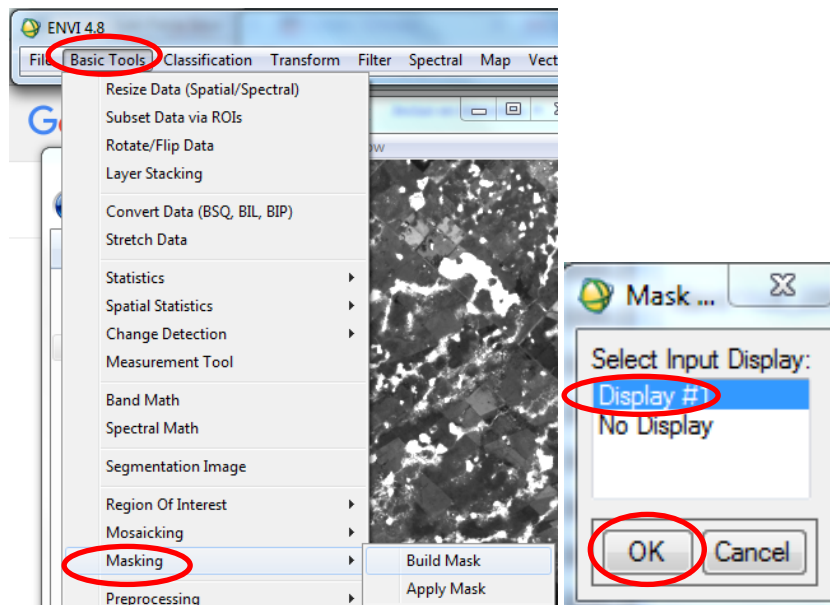
“L8_PATH-ROW y Data de Adquisición (Año-Día Juliano)_MNDWI”.

Ejemplo: “L8_2250862015244_MNDWI”.



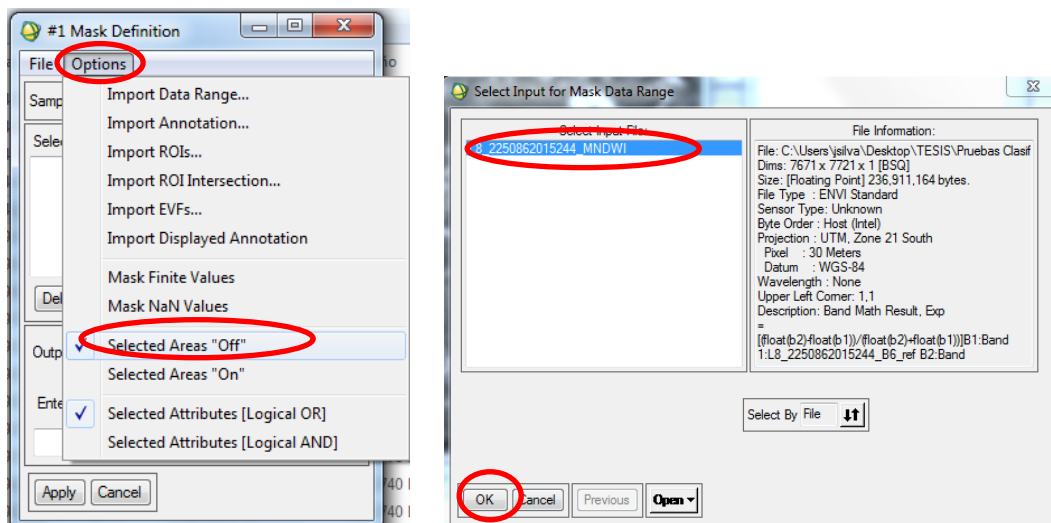
a) **Basic Tools** → **Masking** → **Build Mask**.

Se abre un cuadro en donde se debe seleccionar **"Display #1"** y dar **"OK"**.



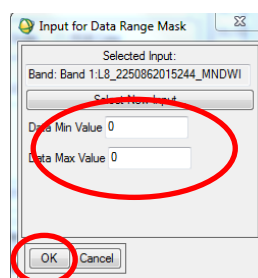
b) Se abre un cuadro donde se debe elegir sobre qué imagen se crea la máscara.
Options → **Import Data Range**.

En **"Select Input File"** seleccionar la imagen y dar **"OK"**.

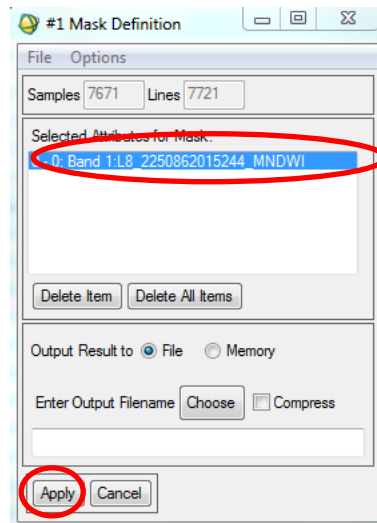


Se debe tildar la opción **Selected Areas "Off"**. Lo demás dejarlo por default.

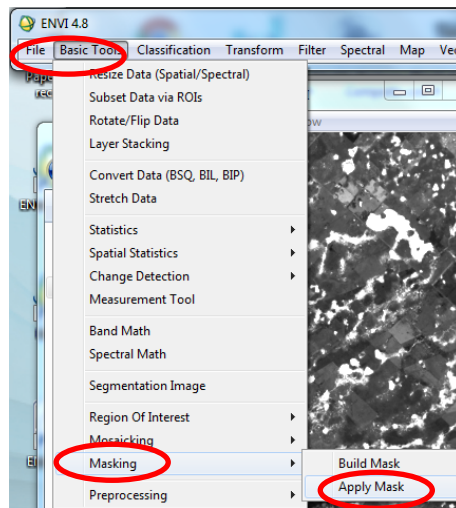
c) Escribir **0 (cero)** tanto en valor máximo como mínimo. Finalmente dar **"OK"**.



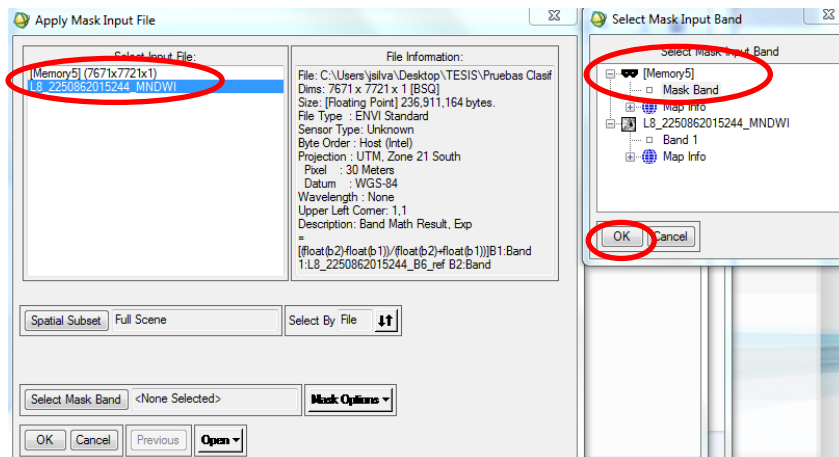
- d) Guardar la máscara en el directorio de trabajo, o si se prefiere seguir trabajando en la memoria. Finalmente aplicar.



- e) Una vez generada la máscara, aplicarla sobre la imagen **"MNDWI"**
Basic Tools → **Masking** → **Apply Mask**

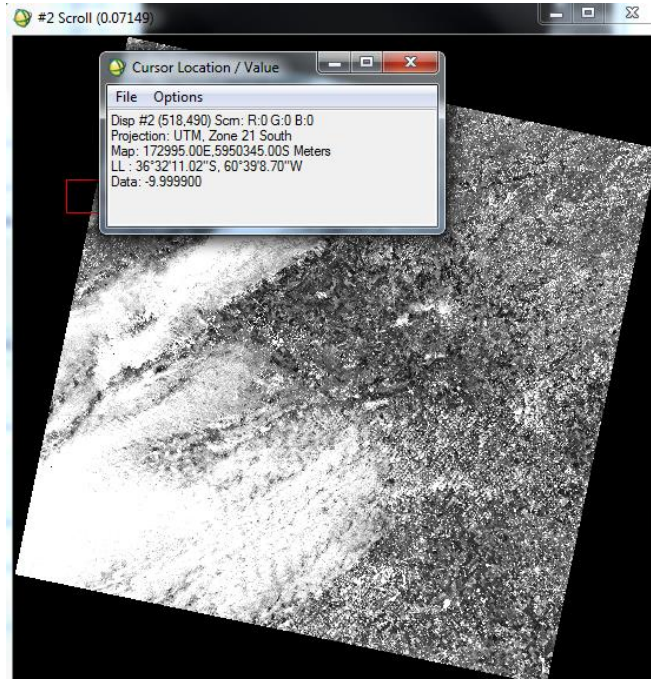


- f) En **"Select Input File"** seleccionar la imagen **"MNDWI"**, y en **"Select Mask Band"** elegir la máscara creada.



- g) En el directorio de trabajo, guardar la imagen con el nombre **“L8_PATH-ROW y Data de Adquisición (Año-Día Juliano)_MNDWI_Final”**
(Ej. L8_2250862015244_MNDWI_Final).

Esta imagen es la que se va a utilizar para realizar la clasificación de los cuerpos de agua.

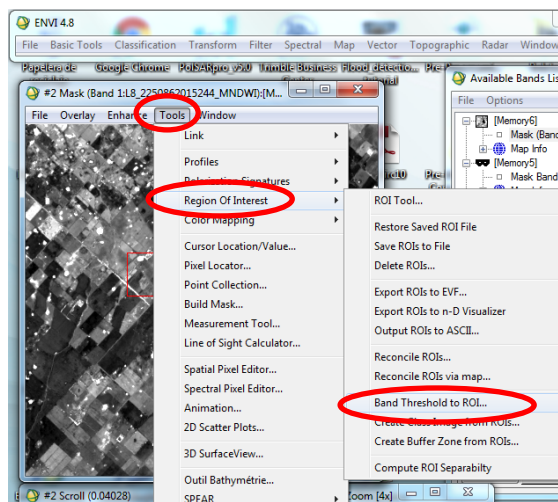


C) UMBRALIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN

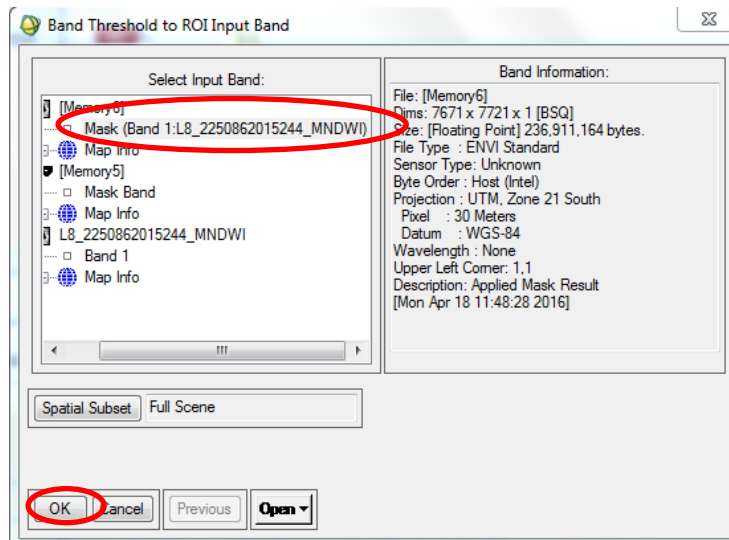
Buscar el valor del umbral que corresponda a las zonas que contienen cuerpos de agua, siguiendo los pasos que se describen a continuación:

1. Sobre la imagen de **“MNDWI_Final”**, se debe seleccionar el umbral que corresponda a los cuerpos de agua. En el índice **MNDWI**, los valores de píxeles que quedan por encima de **“0” (cero)** corresponden a **“Cuerpos de Agua”**.

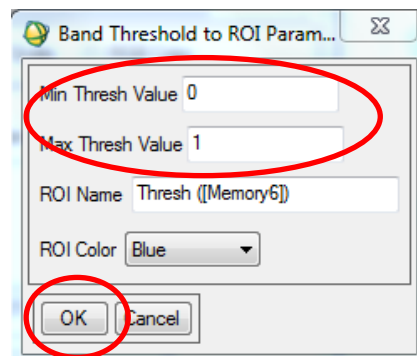
Tools → Region Of Interest → Band Threshold to ROI



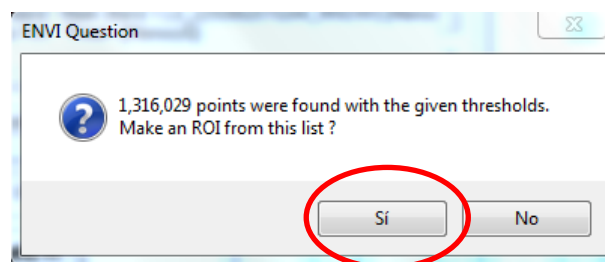
2. Seleccionar la imagen y dar **click en OK**. Si se quiere trabajar con una zona específica de la imagen, picar en **"Spatial Subset"** y seleccionarla.



3. Completar los límites de umbrales y dar **click en OK**.



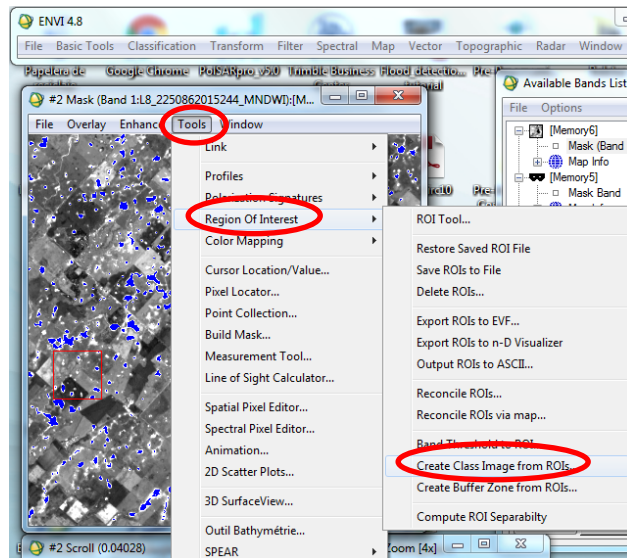
4. Se abre un cartel que nos indica la cantidad de puntos generados y nos pregunta si queremos generar un **ROI** de esta lista, en el cual se debe picar en **SI**.



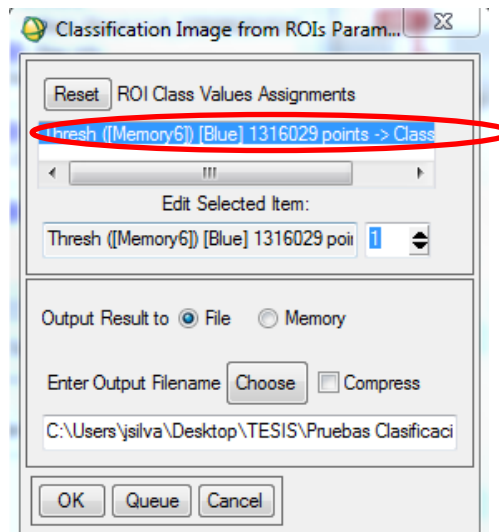
Nota: es recomendable analizar visualmente los cuerpos de agua clasificados, y en caso de que se crea necesario, ir modificando los umbrales máximos y mínimos.

5. Crear una imagen de la clase llamada **“Agua”**, utilizando el **ROI** generado en el paso anterior.

Tools → **Region of Interest** → **Create Class Image from ROIS**



6. Seleccionar la imagen **“MNDWI_Final”**, y guardarla en el directorio de trabajo con el nombre **“Agua”**.

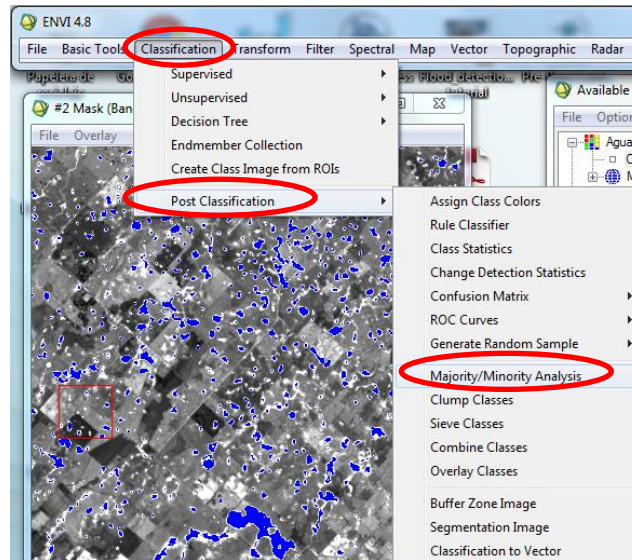


D) FILTRADO Y ELIMINACIÓN DE PÍXELES AISLADOS

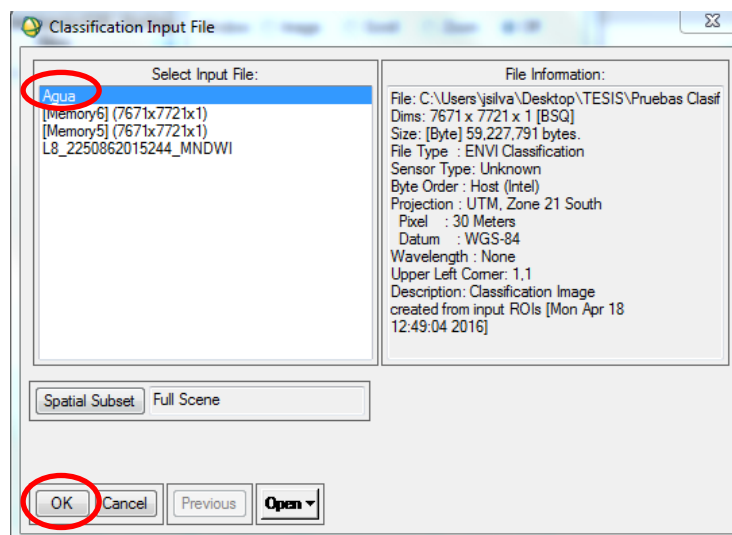
Para suavizar los polígonos clasificados y eliminar los polígonos de menor tamaño, se aplica un filtro, siguiendo la metodología que se indica a continuación:

- 1) En el menú principal elegir el tipo de filtro a aplicar dentro de la etapa de post clasificación.

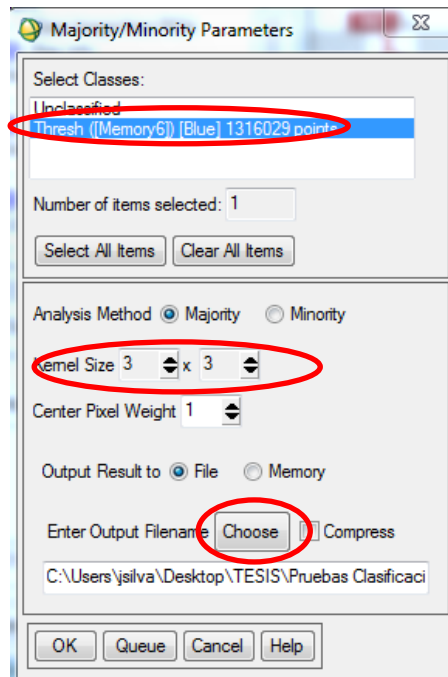
Classification → Post Classification → Majority/Minority Analysis



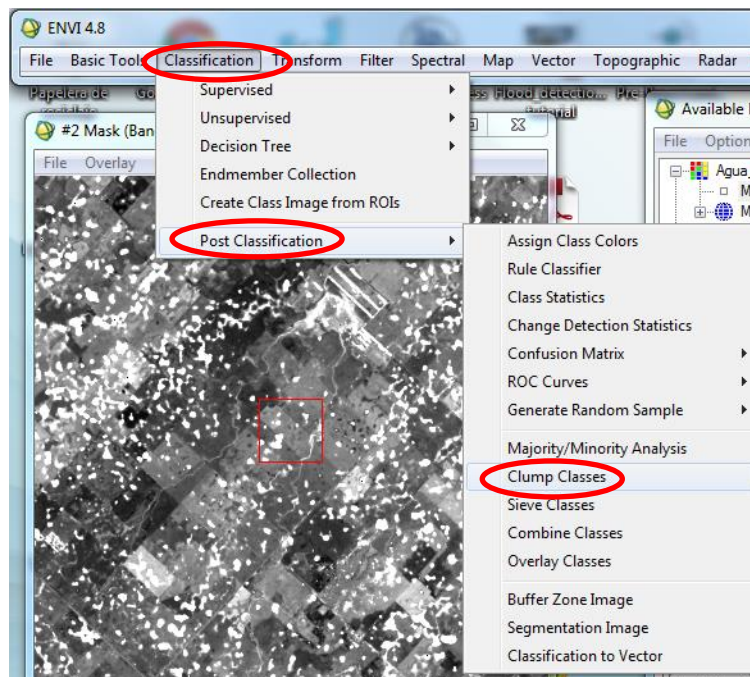
- 2) Se abre un cuadro en donde se debe seleccionar el archivo de entrada. En este caso es el archivo renombrado como "Agua". Finalmente picar en **OK**.



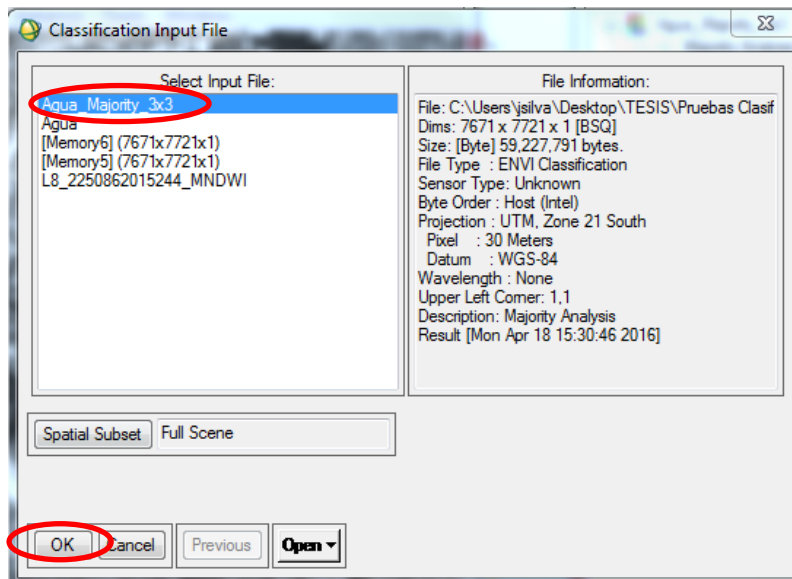
- 3) Se abre otro cuadro, donde se debe seleccionar las clases que corresponden a los cuerpos de agua, dejando de lado las no clasificada “**Unclassified**”. En “**Analysis Method**” elegir la opción **Majority**, con un kernel de 3x3. Finalmente guardar el archivo con el nombre “**Agua_Majority_3x3**”



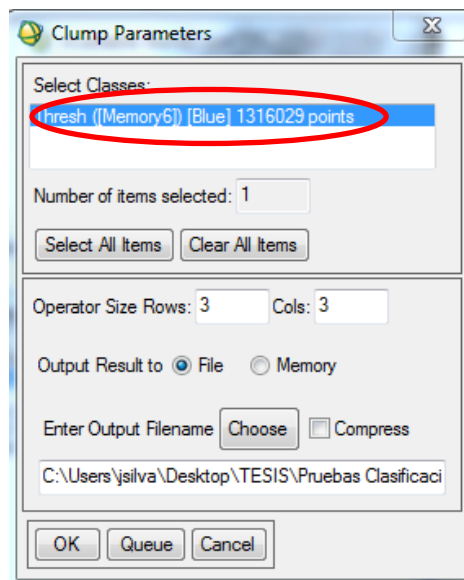
- 4) Utilizar la opción “**Clump Classes**” para eliminar los pixeles aislados.
Classification → **Post Classification** → **Clump Classes**.



- 5) Se abre el cuadro **“Classification Input File”**, en donde se debe seleccionar **“Agua_Majority_3x3”**. Finalmente picar en **OK**.



- 6) Se abre el cuadro **“Clump Classes”**. En **“Operator Size”** elegir el tamaño de filas y columnas. En este caso se usa 3x3. Finalmente guardar en el directorio de trabajo la clasificación, renombrándola como **“Agua_Final”**.

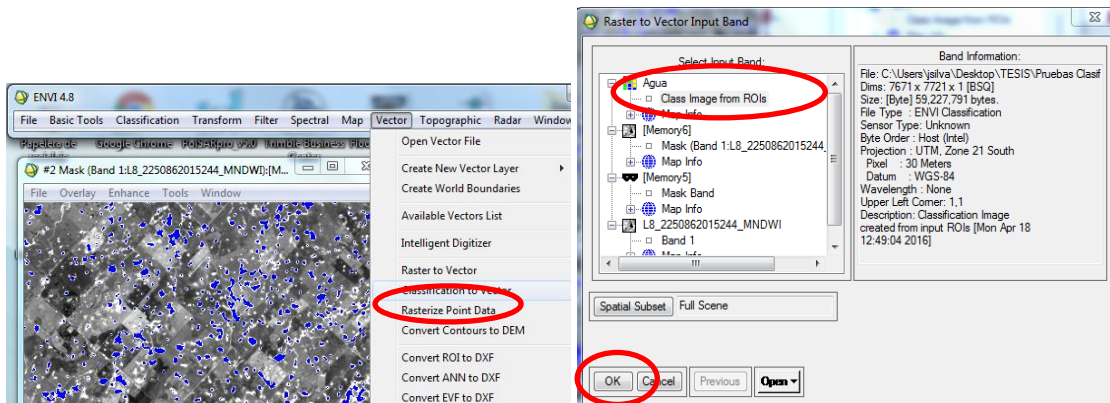


E) VECTORIZACIÓN Y EXPORTACIÓN A FORMATO SHAPE

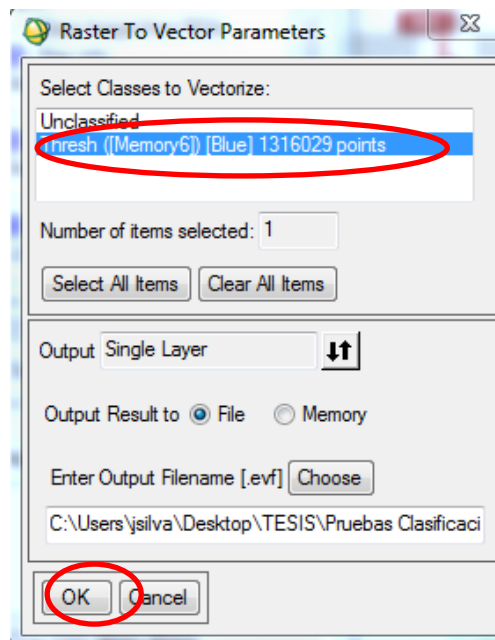
Para poder utilizar la clasificación de los cuerpos de agua en una plataforma GIS, se debe convertir la imagen de la clasificación a un formato vectorial y posteriormente a formato *shape*.

- 1) Convertir la imagen "Agua" a un vector.

Vector → Classification to Vector → Seleccionar la imagen "Agua" → OK

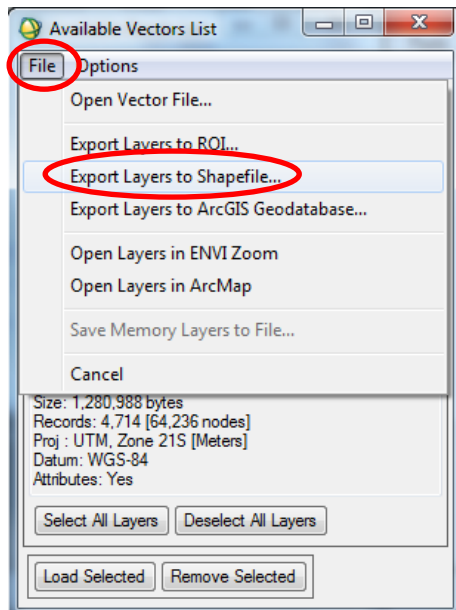


- 2) Se abre un cuadro, donde se debe seleccionar la clase que se quiere vectorizar. Finalmente guardar con el nombre "Agua" en formato de archivo *.evf*, en el directorio de trabajo.



- 3) Al finalizar la conversión, se abre el cuadro **“Available Vectors List”**. Seleccionar el vector **RTV (Agua)**, y exportar el vector a un archivo de formato **shape**.

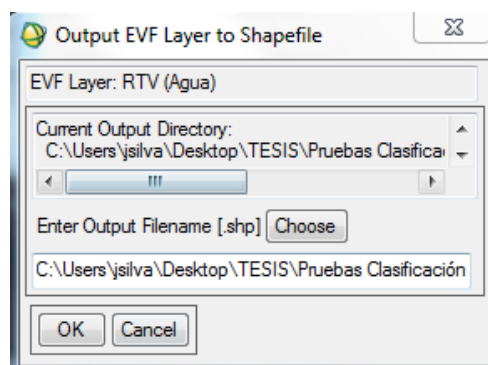
File → Export Layers to Shapefile



- 4) Elegir el directorio de trabajo, y guardar el shape con el nombre como se indica a continuación:

“L8_PATH-ROW y Data de Adquisición (Año-Día Juliano)_MNDWI_Final_Agua”.

Ejemplo: “L8_2250862015244_MNDWI_Final_Agua”



Bibliografía

- Agency, Italian Space. 2016. "Italian Space Agency COSMO-SkyMed Mission COSMO-SkyMed System Description & User Guide." : 1–46.
- Agency, Italian Space 2016. 2016. "COSMO-SkyMed Mission and Products Description." (2): 1–151.
- ASI. 2007. "COSMO-SkyMed Mission COSMO SkyMed SAR PRODUCTS HANDBOOK."
Organization: 1–103.
- Charter, International. 2015. *Emergency On-Call Officer Procedure*.
- Chuvieco, E. 1995. "Fundamentos De Teledeteccion Espacial." : 449.
- Dr.-Ing. Stefan Knedlik (Team Leader), M.E. Miao Zhang, M.Sc. Ezzaldeen Edwan, M.Sc. Zhen Dai, M.Sc. Junchuan Zhou, M.Sc. Jieying (Cathy) Zhang. 2008. *GPS/INS INTEGRATION FOR FOOTPRINT CHASING IN BISTATIC SAR EXPERIMENTS*.
- E-geos. 2017. "COSMO-SkyMed." http://www.e-geos.it/products/pdf/Cosmo_FAQ.pdf.
- Gao, Bo Cai. 1996. "NDWI - A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water from Space." *Remote Sensing of Environment* 58(3): 257–66.
- Guenther, Bruce et al. 2011. "Performance Continuity of the A-Train MODIS Observations : Welcome to the NPP VIIRS." : 1000.
- Huerta Eduardo; Mangiaterra Aldo; Noguera Gustavo. 2005. *GPS Posicionamiento Satelital*.
- JIMMY ALEXANDER NAVIA. 2011. "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA EL MONITOREO DE LOS CUERPOS DE AGUA EN LA REGIÓN DE LA MOJANA, UTILIZANDO PRODUCTOS MODIS Y SOFTWARE LIBRE." : 74.
- "LANDSAT 8 (L8) DATA USERS HANDBOOK Version 1.0 June 2015." 2015. 8(June).
- Lanfri, Sofía. 2011. "Cuerpos de Agua Mediante El Análisis de Imágenes SAR COSMO SkyMed Y de DEMs."
- Lic. Rodrigo Martín Edrosa. 2011. "Aplicación de La Teledetección Para El Monitoreo de Eventos Hídricos Superficiales Mediante Imágenes Cosmo SkyMed."
- 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* 17(7): 1425–32.
- Pierdicca, N. et al. 2013. "Observing Floods from Space: Experience Gained from COSMO-SkyMed Observations." *Acta Astronautica* 84: 122–33.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.actaastro.2012.10.034>.
- Rodriguez, O, H Arredondo, and Nelson Obregón Neira. 2005. "Manual Para El Manejo Y Procesamiento de Imágenes Satelitales Obtenidas Del Sensor MODIS de La Nasa, Aplicado En Estuod En Ingeniería Civil." *Departamento de Ingeniería Civil* Ingeniero: 230.
- Universidad Politécnica de Madrid. 2015. "Aplicaciones Topográficas Del G.P.S." : 1–38.
<http://ocw.upm.es/ingenieria-cartografica-geodesica-y-fotogrametria/topografia-cartografia-y-geodesia>.
- Vermote, E.F. 2011. "MODIS Surface Reflectance User ' S Guide." *Orbit An International Journal On Orbital Disorders And Facial Reconstructive Surgery*: 1–40.
- Xu, Hanqiu. 2006. "Modification of Normalised Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery." *International Journal of Remote Sensing* 27(14): 3025–33.
- Zarco-Tejada, P. J., C. A. Rueda, and S. L. Ustin. 2003. "Water Content Estimation in Vegetation with MODIS Reflectance Data and Model Inversion Methods." *Remote Sensing of Environment* 85(1): 109–24.
- Zhai, Ke, Xiaoqing Wu, Yuanwei Qin, and Peipei Du. 2015. "Comparison of Surface Water Extraction Performances of Different Classic Water Indices Using OLI and TM Imageries in Different Situations." *Geo-spatial Information Science* 18(1): 32–42.
<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10095020.2015.1017911>.