



**OBSERVACIONES AL INFORME TÉCNICO IT27-20-01
'ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LAS ÁREAS LAGUNARES
EN EL SALAR DE ATACAMA'**

PDC SQM

ELABORADO	REVISADO	APROBADO
Nombre: Jordan Jofré GEÓLOGO - CPA	Nombre: Francisco Mondaca COORDINADOR	Nombre: Manuel Salvatierra PRESIDENTE
Firma: 	Firma: 	Firma: 
Fecha: 1 septiembre de 2021	Fecha: 02-09-2021	Fecha: 03-09-2021



OBSERVACIONES AL INFORME TÉCNICO IT27-20-01 'ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LAS ÁREAS LAGUNARES EN EL SALAR DE ATACAMA'

Introducción

Las presentes observaciones se realizan a la metodología utilizada para la evaluación de la evolución de las superficies lacustres de los sistemas lagunares del Salar de Atacama. Dichas observaciones guardan relación con deficiencias en las consideraciones metodológicas, procedimientos en software y en la selección de las zonas de estudios.

Satélites utilizados

Según se indica en el informe presentado, se utilizaron los satélites Landsat 7 para el periodo de imágenes disponibles entre el 1986-2013 y Landsat 8 para el periodo 2013-2018.

De esto último se observa que el satélite Landsat 7 fue lanzado en el año 1999 y a partir del año 2003 las imágenes disponibles por este sensor presentan franjas de errores. Por tanto, no queda claro cuáles son los satélites específicamente utilizados para los diferentes periodos de tiempo.

Algoritmo de teledetección utilizado

Según se indica para la detección de los cuerpos de agua superficiales se utiliza la metodología planteada por McFeeters (1996) con modificaciones introducidas por Ji et. al., 2009.

De esto último, el informe no detalla específicamente cuál es la modificación que se realiza al NDWI de McFeeters, en términos de la fórmula matemática utilizada para el procesamiento de las bandas espectrales de las imágenes satelitales.

Según el documento, se indica que tales modificaciones atienden a que existirían ciertas consideraciones respecto al umbral de detección de agua del índice las que varían según la proporción del 'subpixel' y los componentes ambientales que caracterizan la zona de análisis. Esto quiere decir que el umbral y los valores del NDWI tanto en su versión sin modificar como modificada, estará influenciado por el porcentaje de componentes del terreno analizado. Estas componentes son suelo, vegetación y agua.

Respecto a esto se indica lo siguiente:

- En el trabajo de Ji et. al., 2009., se presentan 4 ecuaciones matemáticas para el estudio de cuerpos de agua superficiales mediante el procesamiento de imágenes satelitales. Por lo que no queda claro cuál es la fórmula finalmente utilizada en el presente trabajo.





- Sin perjuicio de lo anterior, en el trabajo de Ji et. al., 2009 se indica que el algoritmo que entregaría mejores resultados respecto a los umbrales de detección sería el MDWI planteado por Xu, 2006. A lo cual se solicita indicar si efectivamente es ese el algoritmo utilizado y si existen modificaciones al mismo.

Umbrales de detección

En el informe presentado se indica que las consideraciones respecto a los umbrales de detección están basadas en el trabajo de Sheng et. al., 2016. Según lo indicado por el titular se indica que no se puede asumir que todos los valores sobre cero corresponden a agua umbral mínimo podría tomar valores de más de 0,1 o incluso de 0,3 (Shen et. al., 2016).

Respecto a esto último se indica lo siguiente:

- El trabajo de Sheng et. al., 2016, utiliza en la evaluación de los umbrales de detección el índice NDWI basado en la fórmula matemática original de McFeeters, 1996. considerando las bandas VERDE y NIR. Esto sería incongruente con la recomendación entregada por Ji et. al., 2009., en la cual recomienda utilizar el índice MNDWI basado en el trabajo de Xu, 2006. y que por lo demás utiliza las bandas VERDE y SWIR. Toda vez que aparentemente es el algoritmo utilizado en el estudio presentado.

Sin perjuicio de lo anterior, en el trabajo de Sheng et. al., 2016, en el apartado de resultados se indica que para lagunas salinas los umbrales de detección podrían llegar a incluso -0.6, aunque normalmente los valores estarían cercanos al -0.2.

Se cita textual:

"The spatial distribution of these thresholds also depends on lake types. Among water pixels, low values (i.e., b-0.2) are mainly found in salt lakes across the extensive endorheic basins, making the lake delineation challenging."

Por tanto, la consideración de umbrales mayores a 0.1 en el informe presentado no se ajusta a las recomendaciones y no es coherente con las consideraciones respecto a los algoritmos utilizados por los autores.

- La escala de análisis de Sheng et. al., 2016 es diametralmente diferente a la escala de análisis de los sistemas lagunares del Salar de Atacama. Específicamente, Sheng et. al., 2016 utiliza como escala de análisis a toda Oceanía. La implicancia de esto guarda relación en que a una escala regional como en el estudio de Sheng, la cuantificación de las superficies para diferentes umbrales no se verá tan afectada. A la escala local de análisis de los sistemas lagunares del Salar de Atacama, considerar diferentes umbrales de detección influirá en gran medida en la superficie determinada.

Lo último descrito lo podemos ver reflejado en el siguiente ejercicio de referencia para explicar lo comentado, ver figura 1. Se aplicó una combinación de bandas basada en el índice MNDWI de Xu, 2006., dicha combinación fue realizada en el software Arcgis 10.5. La imagen satelital corresponde al satélite Landsat 4 con fecha de enero del 2000, para el área de la laguna Chaxa. Posteriormente se aplicó una reclasificación de píxeles basada en intervalos de 0.1 con el módulo 'Reclasyfy' de dicho software. Posteriormente se





cuantifican el número de cada píxel asociado a las nuevas clases y en el Excel se multiplica por el tamaño del píxel, que para el caso del satélite Landsat 4 corresponde a 30x30 m, es decir una superficie de 900 m² o 0,09 hectáreas. Dicho ejemplo no considera la aplicación de correcciones radiométricas ni atmosféricas.

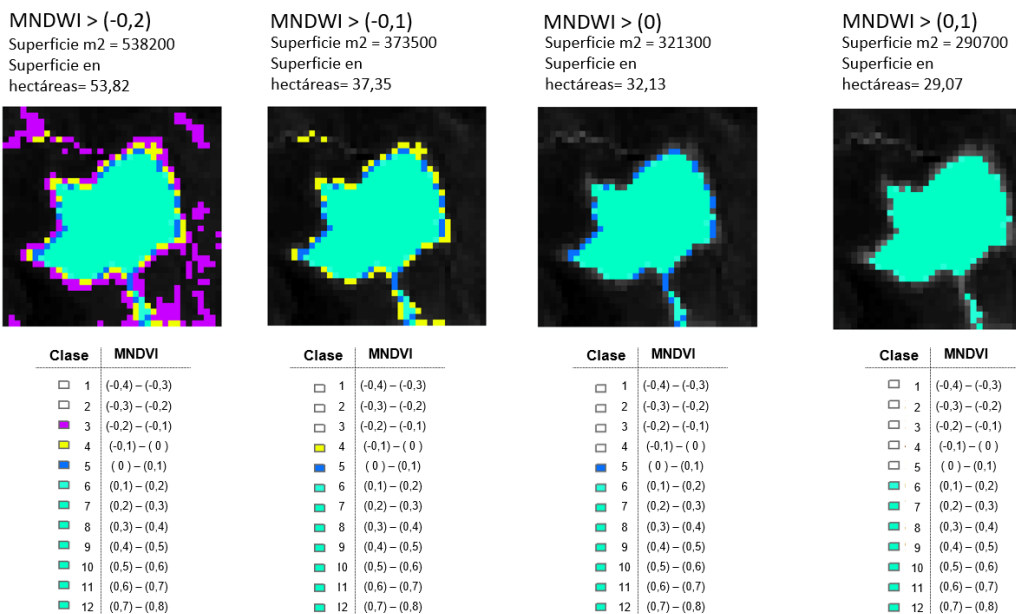


Figura 1. Aplicación de índice MNDWI para diferentes umbrales de detección en la laguna Chaxa.

Los resultados en este ejercicio indican que existiría una diferencia de 8 hectáreas como mínimo entre la elección de un umbral de -0.1 y un umbral de valor 0.1 para el MNDI. Es decir, que en términos de proporción estamos hablando que existen una diferencia de a lo menos 11 canchas de futbol de diferencias, asumiendo que una cancha mide 0.7 hectáreas.

Esto se explica debido a que consideraciones de umbrales mayores a cero, eliminan los píxeles de los bordes de la laguna, los que justamente son aquellos sectores en los que son mas notorias las variaciones asociadas a la expansión y retracción del sistema lagunar.

- Según Ji et. al., 2009 los umbrales de detección de cuerpos de agua estarían influenciados por la proporción de elementos que existen en el terreno y por tanto el valor del índice de detección de agua estará influenciado por esto, ver figura 2. Dado que el tamaño del píxel asociado al satélite landsat es de 30x30m, en la superficie abarcada por el píxel contendrá elementos mixtos.



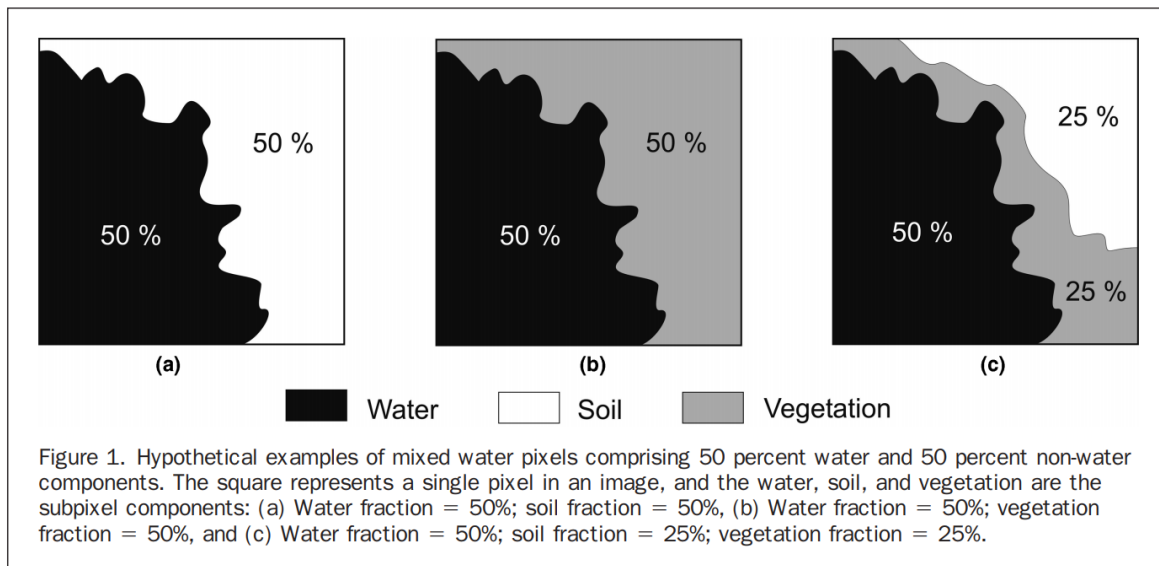


Figura 2. Imagen tomada de Ji. et. al, 2009. Proporciones de diferentes elementos en una superficie de terreno hipotética.

Tomando como referencia los productos generados de la figura 1, sobrepuesto a una imagen RGB de la laguna Chaxa es posible observar que la condición indicada por Ji et. al., 2009 se cumple para los pixeles con valores entre -0.1 y 0.1, ver figura 3.

Por lo tanto, no considerar aquellos pixeles correspondientes a los valores entre -0.1 y 0.1 tiene como resultado una subestimación de las superficies lacustres y muy probablemente no reflejar las condiciones de borde de la laguna susceptibles a las variaciones producto de la expansión o retracción del sistema. Las que disminuirán o aumentarán la proporción de agua/tierra y por tanto el valor de del índice MNDWI, ver figura 4.



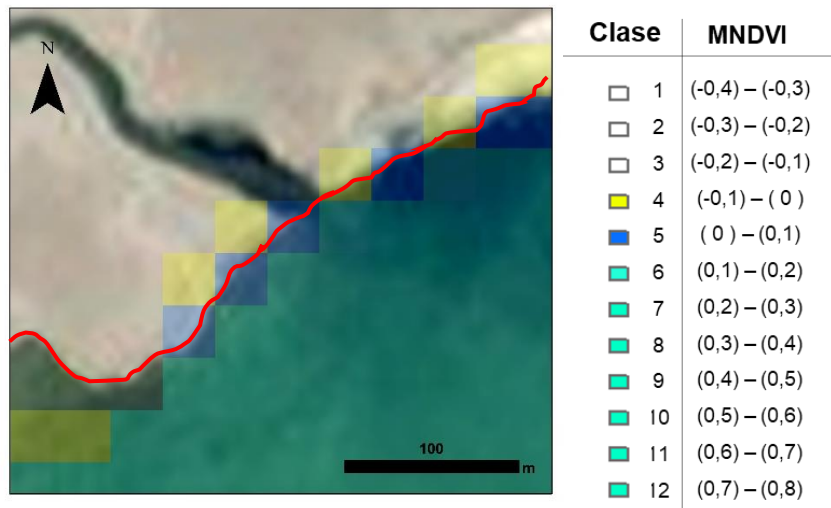


Figura 3. En la imagen se observa una imagen en RGB del borde de la laguna Chaxa y sobre ella se observa los pixeles correspondientes a la aplicación del índice MNDWI coloreado solo para los valores mayores a -0.1. En rojo se marcó el borde de la laguna.

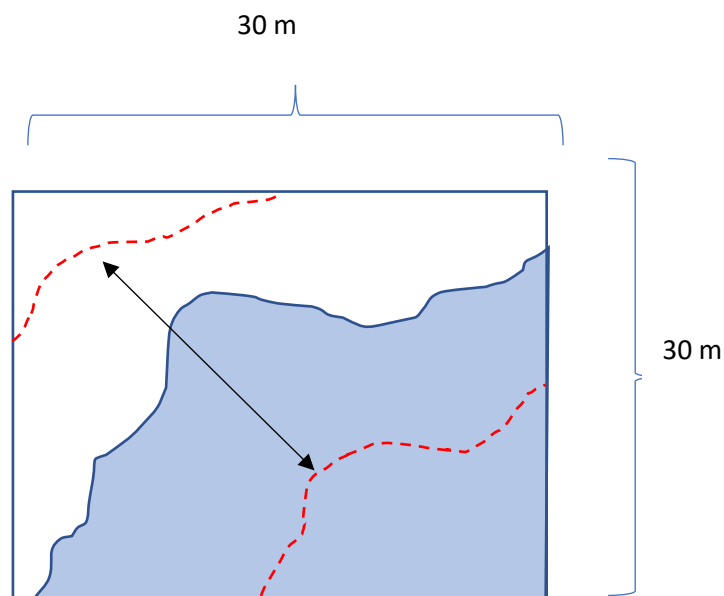


Figura 4. La imagen muestra de forma esquemática la expansión y retracción del borde de una laguna. Hipotéticamente se indica el pixel de dimensiones de 30x30 metros de un satélite Landsat en la detección de dichos procesos, aplicando un índice de detección de agua.





Área de estudio sistema Soncor.

Según lo presentado en el informe se indica que no se consideró a la laguna Puilar en el análisis satelital dado que su morfometría requiere de una precisión espacial mayor para ser capturada de forma realista. Respecto a esto se tiene que:

- El descarte no es congruente con las consideraciones metodológicas realizadas por el mismo titular, dado que para el sistema Aguas de Quelana se utilizaron imágenes tamaño 2x2 metros.
- Si se realiza una comparación en términos de superficie lagunar para la laguna Puilar y Chaxa podemos observar que sus dimensiones son totalmente factibles de abarcar por el satélite Landsat o Quickbird.

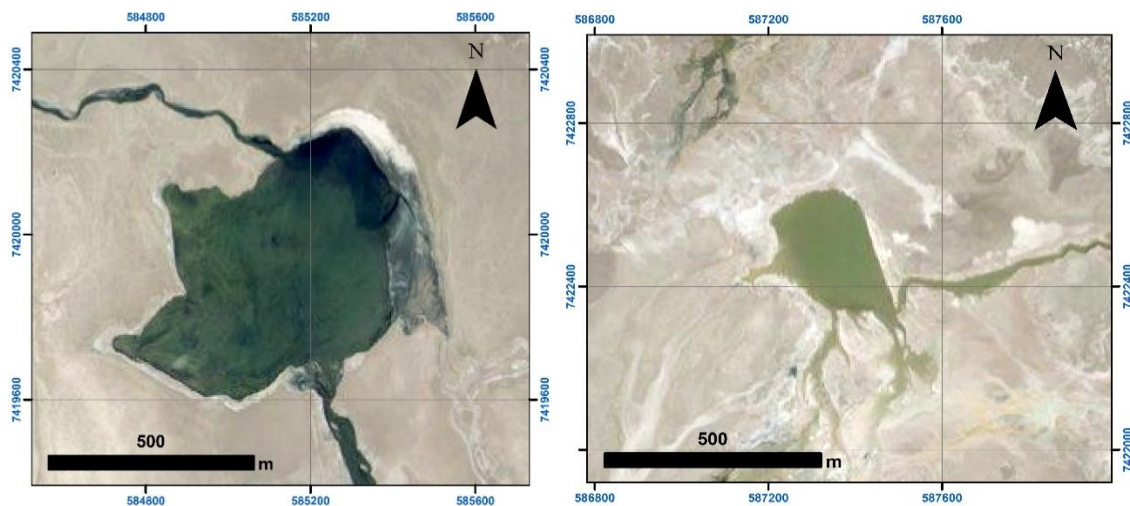


Figura 4. Lagunas Chaxa y Puilar.

- No se entregan coordenadas asociadas a los polígonos de estudio para los diferentes sistemas lagunares y mucho menos la superficie que el mismo polígono considera.

Softwares y procedimientos metodológicos para la cuantificación de superficies de los sistemas lagunares.

Según lo indicado por el titular el procedimiento metodológico para la cuantificación de las superficies lagunares se realiza en las siguientes etapas:

- 1) Mascara de color. Aplicación de máscaras de color en software Python 3.8 con el paquete "opencv". Se menciona que en dicho software las imágenes se ingresan con el índice NDWI ya aplicado.





Respecto a esto no se menciona en que software se generó la combinación de bandas. No se menciona en el informe si los productos en bruto fueron preprocesados mediante correcciones atmosféricas, radiométricas y otros. Dichas metodologías y flujos de trabajos, así como también los softwares han sido sistematizados en el trabajo de Nicholas E. Young, et. Al., 2017.

- 2) Conversión binaria. Respecto a este procedimiento no se tienen observaciones.
- 3) Máscara de ruido. Se indica que este procedimiento consiste en eliminar aquellas zonas en las que el algoritmo NDWI identificaría cuerpos de agua, sin que esto sea efectivo. Respecto a esto se observa que la eliminación de píxeles identificados como agua por el índice NDWI se realiza mediante un procedimiento manual y sin respaldo técnico. Este procedimiento de 'eliminación de ruido' no tiene lógica, puesto que la aplicación del índice NDWI y la designación de umbrales con la respectiva combinación binaria de los mismos es el procedimiento acogido para la designación de existencia o no de cuerpos de agua.
Dado que no existen antecedentes de campo para el periodo antes del 2007, no se deberían eliminar aquellos píxeles dado que efectivamente podrían haber existido cuerpos de agua en esos sitios. Esto sumado a la lógica de que es de esperar de que los bombeos tanto de salmuera como de agua dulce generen una disminución en la disponibilidad de agua en los márgenes del salar, más si se considera la sensibilidad de los sistemas ante los efectos del cambio climático.
- 4) Conversión de píxeles a área en m²:
Se menciona que el procedimiento de conversión de píxel a m² se realiza de forma manual en el software Inkscape, el cual posteriormente complementado en el software QGIS. Respecto a esto se obtiene una equivalencia de 324 m²/px.
Este procedimiento manual deja dudas ya que si se realiza el procedimiento de aplicar la raíz cuadrada a los metros cuadrados del píxel, se llega a una dimensión de 18 metros por lado de píxel. Esto es un error garrafal, puesto que la dimensión del píxel entregado por los satélite Landsat es de 30 x 30 metros, entregando una superficie de 900 m² por píxel.





Conclusiones

Las deficiencias metodológicas y consideraciones técnicas en la determinación de las superficies lagunares podría tener las siguientes implicancias:

- La designación de umbrales de detección mayores al 0.1 para el índice NDWI (asumiendo que corresponde a la ecuación de Xu, 2006) podría no entregar información de la superficie lagunar asociada a la variación espacial en expansión y retracción de los sistemas lagunares. En los bordes de las lagunas los píxeles abarcan superficie del terreno con elementos mixtos (tierra y agua) y entregarán valores de NDWI cercanos al cero o negativos.
- La consideración de los umbrales de detección mayores a 0.1 puede afectar la detección de las láminas de agua más delgadas, las que entregarían valores de índices cercanos al cero e incluso valores negativos (Xu., 2006. y Ji. Et. Al 2009).
- La rectificación de los umbrales mediante técnicas topográficas no es aplicable en el caso de estudio puesto que el nivel de precisión no se corresponde a las dimensiones de los píxeles de los satélites Landsat. En analogía, sería tratar de identificar una aguja en el terreno con un pixel de detección de dimensiones métricas.
- El procedimiento de 'filtro de ruido' no tiene justificación técnica, dado que no se tienen observaciones de campo para indicar si lo observado como ruido corresponde o no a superficies de terreno en las que existen láminas de agua. Mucho menos cuando es un procedimiento posterior a la aplicación del índice NDWI, el cuál es el proceso metodológico en sí junto con su designación de umbrales, el encargado de distinguir las superficies de terreno con agua en superficie. La eliminación arbitraria de estos píxeles implica que se subestima considerablemente aquellas superficies de terreno en las que pudo haber existido agua en superficie, sobre todo para el periodo anterior al 2007.
- El proceso metodológico en la conversión de pixel a superficie en m2 no realizado con las herramientas clásicas de reclasificación y conteo de píxeles en software tipo GIS, tiene como consecuencia una incorrecta cuantificación de las superficies lagunares.
- Los procedimientos de 'calibración' de los productos satelitales no se ajustan a los flujos de trabajos y softwares indicados por Nicholas E. Young, et. Al., 2017.

Se sugiere utilizar una metodología clásica basada en las herramientas de reclasificación y conteo de píxeles de softwares especializados como Arcgis, con la posterior conversión de datos en hojas de cálculo Excel. Este proceso se puede ver en la figura 5.

Algoritmos y umbrales sugeridos:

Según la revisión de los antecedentes bibliográficos referenciados se sugiere los siguiente:





- Utilizar la metodología de caracterización de superficies con agua basada en Xu, 2006., quién plantea el índice MNDWI basado en las bandas GREEN y SWIR. Que a su vez es respaldado mediante una verificación de detección realizada por Ji. Et. Al, 2009.
- Utilizar el umbral de -0.1 o cero para cuantificar las superficies de terreno con o sin agua. Esto respaldado que los píxeles que abarcan los bordes de los sistemas lagunares presentan una superficie mixta de tierra/agua y según lo indicado por Ji, et. Al, 2009, entregarían valores menores a cero. Toda vez que los márgenes de los sistemas lagunares son los más sensibles a ser afectados a las variaciones de la disponibilidad hídrica de los sistemas en cuestión.

Metodología sugerida:

- 1) Procesamientos raster en softwares tipo Arcgis o Envi para la aplicación de algoritmos NDWI o MNDI.
- 2) Reclasificación de píxeles basadas en la división mínima considerada, en el caso del ejemplo se considera una reclasificación basada en intervalos de 0.1.
- 3) Revisión del conteo de píxeles de la zona de estudio elegida y conversión del número de píxel a superficie lagunar mediante la multiplicación del tamaño del píxel en m^2 por el número de píxel de cada clase.
- 4) Cuantificación de lo considerado como agua o suelo mediante la sumatoria de la superficie para cada una de las clases, según el umbral definido.

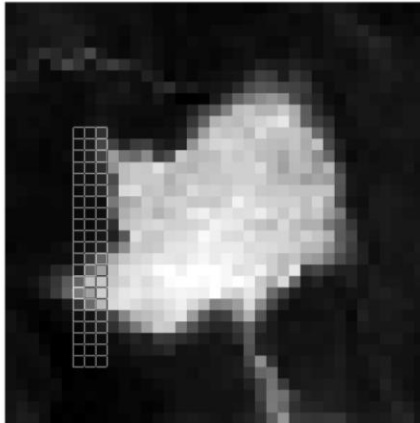




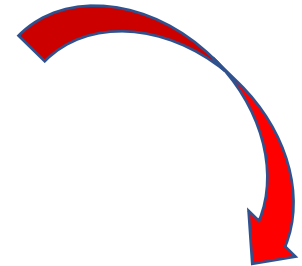
CONSEJO DE PUEBLOS
ATACAMEÑOS
SAN PEDRO DE ATACAMA
II REGIÓN - CHILE



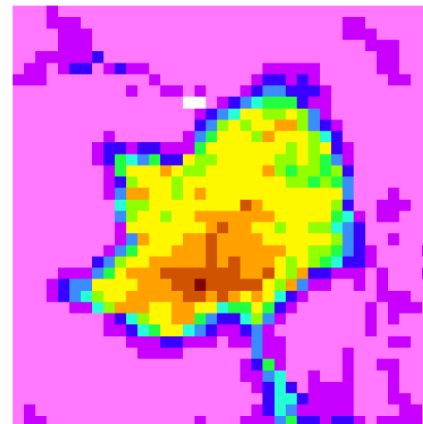
1)



Pixel Inspector			
	0	1	2
0	-0,25	-0,21863798797130585	-0,10798121988773346
1	-0,234726682305336	-0,19844357669353485	-0,038759689778089523
2	-0,2384105920791626	-0,18181818723678589	-0,048387095332145691
3	-0,22397476434707642	-0,21052631735801697	-0,12077295035123825
4	-0,23270440101623535	-0,23692308366298676	-0,15199999511241913
5	-0,25	-0,21250000596046448	-0,15537849068641663
6	-0,25161290168762207	-0,23899370431900024	-0,23913043737411499
7	-0,253333333015441895	-0,24916943907737732	-0,23674911260604858
8	-0,25	-0,24914675951004028	-0,21554769575595856
9	-0,24590164422988892	-0,24398624897003174	-0,21088434755802155
10	-0,24414715170860291	-0,21594683825969696	-0,16078431904315948
11	-0,21568627655506134	-0,08943089097738266	0,094017095863819122
12	-0,19819819927215576	0,081081077456474304	0,2982456080661011
13	0,073170728981494904	0,42307692766189575	0,43999999761581421
14	0,16129031777381897	0,31034481525421143	0,4716981053352356
15	-0,10144927352666855	0,10000000149011612	0,3928571343421936
16	-0,23745819926261902	-0,22666667401790619	-0,1428571492433548
17	-0,26126125454902649	-0,22784809768199921	-0,18215613067150116
18	-0,28528529405593872	-0,25609755516052246	-0,24271844327449799
19	-0,28742516040802002	-0,27878788113594055	-0,25552049279212952
20	-0,27810651063919067	-0,28313252329826355	-0,26349207758903503
Raw Values Rendered Values			



2)



Clase	MNDVI
1	(-0,4) – (-0,3)
2	(-0,3) – (-0,2)
3	(-0,2) – (-0,1)
4	(-0,1) – (0)
5	(0) – (0,1)
6	(0,1) – (0,2)
7	(0,2) – (0,3)
8	(0,3) – (0,4)
9	(0,4) – (0,5)
10	(0,5) – (0,6)
11	(0,6) – (0,7)
12	(0,7) – (0,8)





3)

Reclass.tif22		
OBJECTID	Value	Count
1	1	2
2	2	769
3	3	183
4	4	58
5	5	34
6	6	21
7	7	25
8	8	47
9	9	136
10	10	69
11	11	24
12	12	1

4)

Clases	Rango MNDWI	Numero de pixel	Tamaño pixel en m2	Superficie para la clase (numero_de_pixel)x(tamaño_de_pixel_en_m2)	Hectareas
1	(-0,4)-(-0,3)	2	900	1800,0	0,2
2	(-0,3)-(-0,2)	769	900	692100,0	69,2
3	(-0,2)-(-0,1)	183	900	164700,0	16,5
4	(-0,1)-0	58	900	52200,0	5,2
5	0-0,1	34	900	30600,0	3,1
6	0,1-0,2	21	900	18900,0	1,9
7	0,2-0,3	25	900	22500,0	2,3
8	0,3-0,4	47	900	42300,0	4,2
9	0,4-0,5	136	900	122400,0	12,2
10	0,5-0,6	69	900	62100,0	6,2
11	0,6-0,7	24	900	21600,0	2,2
12	0,7-0,8	1	900	900,0	0,1

Figura 5. Ejemplo de cuantificación de superficies lagunares mediante el proceso de reclasificación, conteo y conversión de pixeles en software Arcgis.

