

DETERMINACIÓN DE ÁREAS INUNDADAS EN LA REGIÓN METROPOLITANA DE CHILE.

Marion Espinosa Toro

Centro de Información de Recursos Naturales de Chile (CIREN - CORFO).
Manuel Montt 1164, Santiago, Chile
Tel.: 2008964 Fax: 56-2-3412910
Email: mespinosa@minagri.gob.cl
ciren@reuna.cl

Roberto Castro Ríos

Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal.
Vicuña Mackenna 4860, Santiago, Chile.
Tel.: 6865751 Fax: 56-2-5520780
Email: rcastro@puc.cl

RESUMEN

El presente trabajo se orienta a desarrollar una metodología basada en datos de imágenes de radar (RADARSAT) con los siguientes objetivos: i) identificar en imágenes de RADARSAT áreas inundadas, saturadas y distintos niveles de humedad, ii) determinar el procesamiento digital y los factores de análisis visual más apropiado para su identificación, iii) determinar las ventajas y desventajas de estas técnicas y, iv) determinar la conveniencia de la utilización combinada de imágenes de radar con imágenes ópticas.

Para el logro de los objetivos propuestos se utilizó una imagen modo S7 del 28 de Junio de 1997, correspondiente a la situación del área de estudio 4 días después de un periodo de 3 días de lluvias intensas.

Para comparar los datos de RADARSAT con una situación anterior y posterior, se adquirió una imagen SPOT XS del 15 de Febrero de 1996 y una imagen Landsat TM del 26 de Enero de 1998. Sobre los datos RADARSAT se realizó corrección de Speckel, transformación a coeficiente de retrodispersión y aplicación de distintos filtros de realces para contrastar las áreas inundadas. Posteriormente se aplicaron los procesos de clasificación supervisada y no supervisada tanto para los datos de retrodispersión por sí solos como para los datos integrados de Landsat y Radar. Se confeccionaron Índices de humedad para los datos Landsat y se compararon con la clasificación supervisada de los datos de retrodispersión de Radar.

Los resultados indicaron que es necesario tener datos de radar lo más cercano al periodo de inundación y tener presente las características de los suelos y la topografía del área, con el fin de explicarse para igual intensidad del fenómeno las distintas respuestas que se registran.

En la imagen se observa claramente que los suelos con altas pendientes no presentan posibilidades de definir grados de saturación salvo que se realicen análisis cuantitativos para obtener la correlación entre los datos de humedad de terreno y los datos de retrodispersión registrados. En el caso de los suelos con drenaje imperfecto y pendientes planas a ligeramente onduladas, la retención de agua perdura por más tiempo visualizándose con claridad en la imagen tomada 4 días después de ocurrido el evento y posibilitando su delimitación en las imágenes de RADAR, esto se comprobó mediante la comparación multitemporal RADARSAT - SPOT- LANDSAT e información auxiliar de topografía y suelo.

Se concluye que es posible determinar áreas inundadas y distintos niveles de humedad a partir de una sola imagen radar y que la unión de los datos de radar con datos ópticos permiten determinar grados de humedad clasificados por uso de suelo (cultivos, frutales, urbanos, suelos desnudos, etc.).

Introducción

Históricamente el territorio nacional ha sido afectado por fenómenos naturales como aluviones e inundaciones producidos por cambios de las condiciones climáticas, siendo, en los últimos años, el "fenómeno del Niño" una de sus principales causas. Como consecuencia de ello, existe la necesidad de cuantificar los daños que producen las inundaciones en las zonas urbanas y rurales del país. Los métodos que se utilizan a la fecha corresponden a técnicas tradicionales, sin embargo, en las últimas décadas, la teledetección satelital y en especial los sensores ópticos y de radar, han surgido como una herramienta alternativa y eficiente para determinar los efectos de estos fenómenos.

Las inundaciones ocurridas el año 1997 en Santiago de Chile, dejaron en evidencia la necesidad de contar con el conocimiento en las aplicaciones de las tecnologías satelitales con el fin de evaluar los daños producidos en las zonas urbanas y rurales en forma oportuna.

El presente trabajo presenta la investigación realizada en este sentido, con los datos RADAR y la combinación de estos con datos ópticos. Las primeras experiencias de trabajo con estos datos (Espinosa y Castro, 1998) permitieron avanzar a los resultados finales que se presentan a continuación.

Área de Estudio

El área piloto correspondió a las comunas de Tiltil, Lampa y Colina de la Región Metropolitana, sectores donde ocurrieron las principales inundaciones el invierno del año 97. Estas comunas se ubican en el sector norte de la ciudad de Santiago entre los 70°15' y 71° 15' de Latitud Sur y los 33°00' y 33°30' de Longitud Oeste. Se caracterizan por corresponder a sectores periurbanos, donde se combina lo urbano con lo rural. Se ubican en la Depresión Intermedia rodeados por cordones montañosos de la Cordillera de la Costa y la Cordillera de Los Andes. Los suelos en general son de texturas finas en superficie y media en profundidad, de buen drenaje con excepción de los suelos de la Comuna de Batuco que se caracterizan por ser fuertemente salinos y alcalinos, presentar texturas arcillosas en todo el perfil y mal drenaje. En términos de recursos hídricos, se caracterizan por la presencia de esteros que drenan de norte a sur interceptando el área y creando numerosos canales de riego, estos últimos asociados a embalses como el Huechún y la laguna Batuco.

Materiales

Para la realización del estudio se contó con una imagen del sensor RADARSAT, del 28 de Junio de 1997, modo Standard 7 (S7), banda C, ascendente. Esta imagen corresponde a la situación del área de estudio 4 días después de un periodo de 3 días de lluvias.

Para efecto de complementar la información y comparar los datos de RADARSAT con una situación anterior y posterior, se adquirió una imagen SPOT XS del 15 de Febrero de 1996 y una imagen Landsat TM del 26 de Enero de 1998. Con la colaboración de la Secretaría Ministerial de Vivienda de la Región Metropolitana, se obtuvieron las muestras de terreno del área piloto, correspondientes a las áreas inundadas y afectadas por el fenómeno de las inundaciones, debidamente delimitadas en cartografía topográfica regular, escala 1:50.000. De igual forma, se contó con fotografías terrestres de estas áreas.

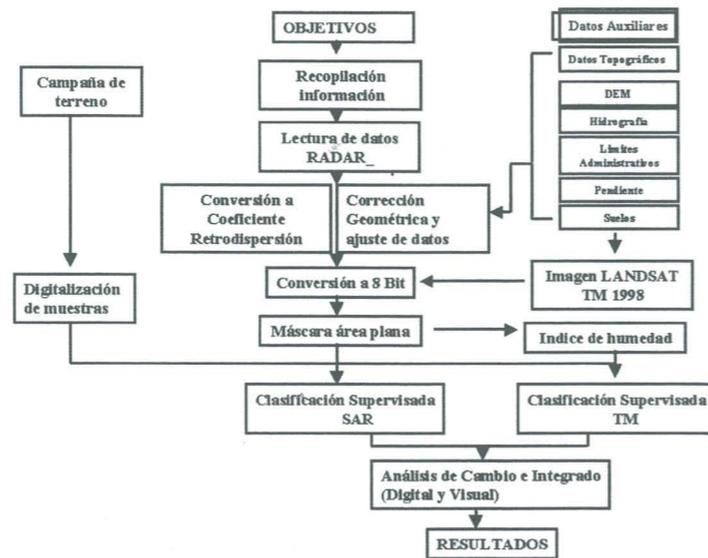
Metodología

El trabajo se dividió en dos partes. La primera, estuvo destinada a cumplir los dos primeros objetivos orientados a la identificación de áreas inundadas, saturadas y distintos niveles de humedad junto a determinar el procesamiento digital más apropiado. La segunda parte estuvo destinada a establecer las ventajas y desventajas de utilizar datos de radar y su utilización combinada con imágenes ópticas.

La metodología utilizada se presenta en la figura 1.

A partir de los objetivos señalados en la introducción, se inicia la recopilación de información con los organismos encargados de emergencia y se determinaron muestras de terreno de las distintas áreas estudiadas.

Figura 1
Esquema Metodológico Utilizado



Luego de la lectura de los datos de radar, estos fueron convertidos a valores de retrodispersión (dB), los que fueron corregidos geoméricamente. En una primera etapa se realizó corrección de Speckel utilizando el filtro Gamma Map de 3 x 3 y distintos filtros de reales para contrastar las áreas inundadas, para finalmente aplicar los procesos de clasificación supervisada y no supervisada para la identificación de las distintas clases temáticas presentes en la imagen, para finalmente realizar una zonificación temática utilizando datos de SPOT.

En esta segunda etapa, cuyo objetivo era la identificación del aporte y uso combinado de datos radar con datos provenientes de las imágenes ópticas, los datos de radar fueron convertidos a valores de retrodispersión (dB), escalados a 8 bit y corregidos geoméricamente al igual que los datos ópticos. Se aplicó una máscara al área plana de cada una de las bandas del TM y a los datos de retrodispersión.

Se aplicó el proceso de clasificación supervisada sobre los datos de retrodispersión con las muestras de terreno del área de estudio.

Con el objeto de identificar el aporte de datos ópticos en la determinación de niveles de humedad, se derivó el Índice de Humedad (IH) de la imagen TM, a partir de las bandas del infrarrojo cercano y el infrarrojo medio, de la siguiente forma:

$$IH = \left(\frac{TM\ 4 - TM\ 5}{TM\ 4 + TM\ 5} + 1 \right) * 100$$

Una vez obtenido este índice se realizó una clasificación supervisada de este, con las muestras de terreno utilizadas en el paso anterior. Los resultados obtenidos fueron analizados apoyándose en información auxiliar de curvas de nivel y red de drenaje del área de estudio.

Para determinar el aporte de cada uno de los procesos realizados, se realizó un análisis visual comparativo entre las clasificaciones obtenidas de los datos de retrodispersión del RADAR y el Índice de Humedad.

Finalmente, para analizar el uso combinado de los datos, se realizó una clasificación supervisada utilizando los datos de retrodispersión del RADAR y las bandas 4 y 5 del TM, para esto se utilizaron las muestras

identificadas en terreno. Se analizó la separabilidad de las clases espectrales y se utilizó el asignador de máxima verosimilitud.

Resultados

Los resultados obtenidos de la clasificación supervisada de los datos de retrodispersión se presentan en la Figura 2. En ella se observa, que al enmascarar el sector de cerros y clasificar los datos de retrodispersión disminuye la confusión entre las clases, lográndose distinguir con mayor precisión los distintos niveles de humedad.

Figura 2. Clasificación de RADAR (Retrodispersión).



Las clases que se pudieron diferenciar son las siguientes:

- Cuerpos de Agua: en color azul oscuro
- Sectores inundados y saturados: en colores oscuros (negro y azul)
- Suelos desnudos húmedos: en tonos café y azul más claro
- Suelos agrícolas húmedos, con cultivos y frutales
- Sectores Urbanos: en tonos amarillos y verdes

Las principales confusiones fueron las áreas urbanas con áreas húmedas con vegetación arbórea. En menor grado, se confunden aquellas áreas inundadas con cuerpos de agua (lagunas, embalses) y sombras en los sectores de serranías que no fueron enmascaradas y por último, las áreas saturadas de lecho de río con áreas secas en superficie correspondientes a cerros.

Al comparar estos resultados con el mapa de inundación otorgado por los organismos gubernamentales, se obtuvo algunas diferencias debido principalmente a que este mapa se realizó con observaciones de campo, consultas e interpretación de lo ocurrido el mismo día de las inundaciones, a diferencia de la imagen radar que corresponde a cuatro días después de ocurrido el evento, en donde, muchos sectores que se inundaron ya había disminuido su contenido de humedad.

La verificación de las clases definidas se realizó considerando las muestras obtenidas de terreno, la consulta a expertos y del análisis de los coeficientes de retrodispersión (dB) de cada una de ellas. Este análisis indicó que:

- i) las áreas inundadas al igual que los cuerpos de agua en general, responden de una manera especular, presentando bajos valores de retrodispersión.

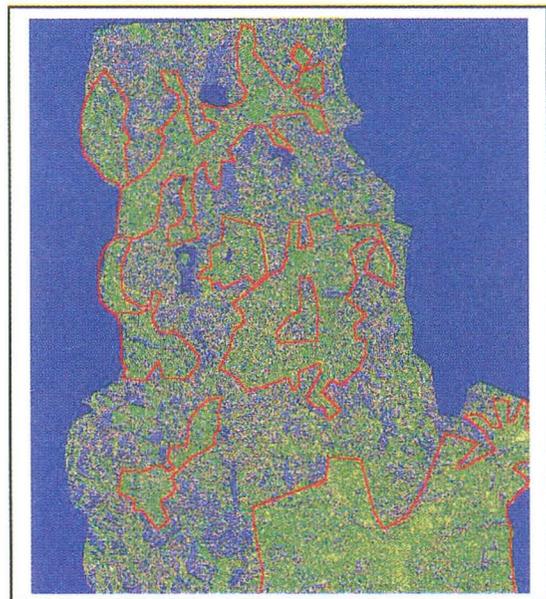
ii) los suelos saturados, en el sector de Baticó, corresponden a suelos de textura arcillosa, altamente salinos y altamente calcáreos, lo que implica una mayor presión osmótica ejercida por estas sales aumentando la conductividad eléctrica de estos suelos y por tanto aumentando la constante dieléctrica del agua. Este contenido de humedad crea una película superficial sin rugosidad (barro) que responde en forma casi especular (bajos coeficientes de retrodispersión).

iii) los suelos agrícolas saturados, son zonas con tratamientos culturales (arados, surcados, etc.) que agregan a la humedad la característica de rugosos, provocando una mayor retrodispersión que en los casos anteriores (cuerpos de agua, suelos inundados y saturados sin cultivos) pero menor que en el caso de la vegetación arbórea y zonas urbanas.

iv) las áreas urbanas y la vegetación arbórea, por su estructura tienen una alta retrodispersión de rincón lo que aumenta la retrodispersión en su totalidad, correspondiendo a las clases de mayor retrodispersión en la escena.

En términos generales, de acuerdo a los resultados obtenidos de la clasificación supervisada de los datos de retrodispersión del radar, es posible zonificar en términos de niveles de humedad como se presenta en la figura 3. En ella se encuentran delimitadas las áreas urbanas y sectores húmedos con vegetación. El área sin delimitación corresponde a los sectores con mayor niveles de humedad, saturación y cuerpos de agua.

Figura 3. Zonificación de Humedad.



Por su parte, el Índice de Humedad (IH) obtenido con los datos del sensor TM del Landsat, bandas 4 y 5, correspondiente al mes de Enero (verano) entrega los patrones de humedad del área analizada. Al superponer la red de drenaje sobre la imagen, los resultados indican que las áreas en donde existe una mayor concentración de drenes corresponde a suelos de texturas livianas y de mayor velocidad de infiltración. Al contrario, en las áreas donde existe una menor concentración de drenes generalmente coincide con aquellos suelos de texturas pesadas de menor velocidad de infiltración. Esta última situación, asociada a la topografía del sector, generalmente coincide con las áreas inundadas o saturadas.

Los resultados de la clasificación supervisada del Índice de Humedad (Figura 4) entregan una clara tendencia de la distribución de niveles de humedad.

En la imagen se observa en colores azul y negro los cuerpos de agua y sectores de mayor humedad (sectores agrícolas principalmente); en color verde las áreas con cobertura vegetal de bajos niveles de humedad y las áreas urbanas, y en tonos amarillo-café las áreas de menor contenido de humedad correspondiente a sectores de serranías y suelos desnudos o escasa vegetación.

Figura 4. Índice de Humedad. Imagen Landsat TM



El análisis combinado de los datos de RADAR (retrodispersión) con las bandas 4 y 5 del TM a través de una clasificación supervisada se entrega en la Figura 5.

Figura 5. Clasificación Supervisada Radarsat- Landsat TM



Los resultados de este análisis, comprueba los patrones y las tendencias espaciales obtenidos con el Índice de Humedad. Así por ejemplo, las zonas con mayor presencia de vegetación se relacionan con las áreas de mayor humedad y los suelos inundados y cuerpos de agua quedan claramente definidos permitiendo de esta manera, la cuantificación de la superficie inundada.

Análisis y Conclusiones

En general los resultados indicaron que es necesario tener datos de radar lo más cercano al periodo de inundación y tener presente las características de los suelos y la topografía del área, con el fin de explicarse para igual intensidad del fenómeno las distintas respuestas que se registran.

Los distintos niveles de humedad determinados en los análisis de clasificación supervisada de los datos de retrodispersión del radar indican que los sectores inundados y saturados son fácilmente detectados a partir de una sola imagen de radar tomada lo más cercano al periodo de inundación. Sin embargo, para la determinación de grados menores de humedad, se requiere apoyar el análisis con información auxiliar como tipos de suelo, cobertura vegetal, red de drenaje, curvas de nivel, así como de muestras de terreno.

En el caso de los suelos con drenaje imperfecto y pendientes planas a ligeramente onduladas, la retención de agua perdura por más tiempo visualizándose con claridad las áreas inundadas en la imagen tomada 4 días después de ocurrido el evento, lo que posibilita su delimitación. En el caso de los suelos con buen drenaje así como los asociados a altas pendientes, no presentan posibilidades de definir grados de saturación. En los primeros debido a su buena capacidad de infiltración y en el segundo, por la geometría del sensor. En estos casos, la delimitación de niveles de humedad se puede abordar mediante mediciones en terreno que permitan calibrar la respuesta de retrodispersión.

La corroboración de lo anterior, realizada mediante la creación de un Índice de Humedad con datos TM, permitió validar la cartografía obtenida, tanto la distribución como los grados de humedad asignados.

La incorporación de datos ópticos permite además, establecer con claridad la cobertura vegetal y uso de la tierra, obteniendo la relación de estos con la humedad del suelo.