

ZONAS DE RIESGO DE INUNDACIÓN ENTRE SANTIAGO Y RANCAGUA, CHILE

Proyecto Chile - 8

Ana María Bustamante V. (*)
José L. Gómez Avendaño (*)

(*)CENTRO DE INFORMACIÓN DE RECURSOS NATURALES - CIREN

Manuel Montt 1164 Providencia, Santiago, Chile

Tel.: 56-2-2008900 Fax.: 56-2-2008914

Email: ciren@reuna.cl

RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados del estudio tendiente a desarrollar una Metodología basada en imágenes de radar que permita definir y delimitar las Áreas de Riesgo de Inundación y Aluvional en áreas preandinas y/o cuencas andinas del país. En dichas áreas, posteriormente, se podrán establecer las zonas de riesgo mediante estudios de ingeniería (zonas de prohibición, restricción y precaución).

En el estudio se están utilizando cuatro imágenes de RADARSAT las cuales contienen las cuencas de los ríos Paine, Peuco, Tronco San Francisco de Mostazal y el estero Codegua que conforman el área de estudio. La primera imagen fue tomada el 1° de Mayo de 1997, cuando todavía no se registraban precipitaciones en la zona y representa un período seco; la segunda imagen fue tomada el 28 de Junio de 1997, seis días después de un fuerte temporal que afectó al país y representa un período húmedo; la tercera imagen fue tomada el 2 de Abril de 1998, representa el período seco y la última imagen, correspondiente al período húmedo, fue tomada el 18 de Octubre de 1998.

Las dos primeras imágenes, correspondientes al año 1997, después de ser integradas y procesadas han revelado un importante aporte en la obtención de resultados, ya que han permitido identificar sectores afectados por las crecidas de los ríos y esteros aún después de seis días de ocurrido el fenómeno. Las dos imágenes del año 1998 no representan el período seco y húmedo necesario para los análisis, debido a que fue un año extremadamente seco en la zona y prácticamente no se registraron precipitaciones.

Introducción

El territorio de Chile continental se extiende desde los 17° 30' a los 56° 30' de Latitud Sur, sin considerar el territorio Antártico tiene aproximadamente 4.000 km de longitud y un ancho promedio de 190 km entre la Cordillera de los Andes y el Océano Pacífico. Los núcleos urbanos, agrícolas e industriales se encuentran mayoritariamente al pie de la cordillera, en las áreas de proyección de masa y energía de los torrentes de montaña.

En efecto, las ciudades de la Zona Central de Chile en su mayoría fueron fundadas a orillas de los ríos, las cuales, producto del crecimiento urbano y de la expansión de la ciudad, han quedado insertos dentro de ellas. Posteriormente, la presión socioeconómica por suelo y el desconocimiento de la dinámica de los ríos ha llevado a la ocupación de sus riberas y lechos reduciendo drásticamente el ancho de los cauces.

Esta ocupación antrópica ha traído como consecuencia grandes pérdidas materiales y de vidas humanas, debido a que al producirse fenómenos de tipo aluvional o de crecidas extraordinarias, los ríos recuperan nuevamente su cauce natural erosionando fuertemente sus riberas y destruyendo las obras construidas en su lecho.

Las precipitaciones extraordinarias ocurridas en los últimos diez años (1987, 1993 y 1997), han provocado inundaciones en extensas áreas de la Zona Central, donde se asienta la Capital del país, produciendo daños de diversa consideración y difícil cuantificación. Entre ellos podemos indicar: pérdidas de vidas humanas, inundación de zonas urbanas, destrucción de infraestructura vial, e inundación de zonas agrícolas e industriales.

En atención a lo anterior, CIREN decidió iniciar un proyecto en esta área geográfica, con el objeto de definir y delimitar zonas de riesgo de inundación y aluvional, determinar los orígenes de las crecidas extraordinarias y de los movimientos de remoción en masa, identificar las causas de las inundaciones, y proponer soluciones y medidas de mitigación a los problemas provocados por estos fenómenos en las áreas de riesgo.

En este sentido el proyecto contempla aplicar la tecnología de imágenes de RADARSAT, de origen canadiense, en la investigación de los fenómenos aluvionales y de inundaciones en Chile. Se trata de desarrollar una metodología basada en imágenes de radar que permita evaluar cuantitativa y cualitativamente las áreas de riesgo de inundaciones, aluviones y otros procesos de remoción en masa en la zona de precordillera y depresión intermedia de la Zona Central de Chile.

Área de Estudio

El área de estudio corresponde a las cuencas del estero Paine, río Peuco, río Tronco San Francisco de Mostazal y del estero Codegua, localizadas en la Zona Central del país, entre las coordenadas 33° 45' y 34° 05' de Latitud Sur y entre los 70° 30' y 70° 50' de Longitud Oeste, con una superficie total aproximada de 720 km². El régimen de estos ríos y esteros es predominante pluvial con significativas crecidas invernales, los cuales, en eventos extremos, desbordan sus cauces ocasionando graves daños en áreas urbanas y rurales.

Objetivos

El objetivo general de este Proyecto es establecer metodologías para definir y delimitar zonas de riesgo de inundación y aluvional que incorporen tecnologías basadas en imágenes de radar.

Los objetivos específicos del proyecto son los siguientes:

- Definir y delimitar Zonas de Riesgo Aluvional y de Inundación en el área de estudio.
- Determinar los orígenes de los flujos sedimentarios y de las crecidas extraordinarias, y determinar las causas que originan las inundaciones en las áreas rurales y urbanas del área de estudio.
- Proponer alternativas de control y de restricción al uso de las áreas de riesgo en el área de estudio y eventuales soluciones a los problemas de inundaciones.
- Disponer de un instrumento técnico-metodológico aplicable a otras zonas con iguales características de riesgo hidrológico.

Metodología General

El Proyecto pretende desarrollar una metodología que parte del reconocimiento general de las variables básicas e índices derivados que definen la condición de las cuencas de un territorio, evaluando al mismo tiempo el riesgo específico de que se generen aluviones, inundaciones o ambos procesos al interior de cada cuenca. Con ello, en un segundo nivel, definir a una escala de mayor detalle, 1: 20.000 o 1:10.000, las zonas de riesgo aluvional y de inundación, categorizando y caracterizando sus niveles de riesgo físico y los daños potenciales. Finalmente, definir para estas zonas una reglamentación general de uso de la tierra.

La metodología se basa en probar la combinación de técnicas tradicionales y modernas como son la percepción remota satelital y el uso SIG, de tal forma que los resultados sean una respuesta espacial georreferenciada, confiable y exacta, que indirectamente permita la aplicación en otras cuencas de condiciones similares, permitiendo definir al mismo tiempo un sistema de clasificación de tierras y un sistema de prevención de riesgos, así como una disminución de los costos de los estudios relacionados.

En una primera etapa, nivel de semidetalle, se plantea definir las áreas de riesgo considerando como variables básicas las geológicas, geomorfológicas, cobertura vegetal, uso del suelo, hidrografía, topografía, clima, centros poblados, infraestructura, embalses y obras de riego; utilizando como datos básicos los que se derivan de las imágenes de radar del satélite canadiense Radarsat.

Todas las variables anteriores se integrarán en un SIG, donde se crearán las bases de datos relacionadas, se realizarán distintos análisis espaciales conducentes a definir dos índices intermedios, uno que representará la condición de la cuenca y del territorio (índice físico y ambiental) y otro que representará la importancia del punto de vista de los bienes amenazados (infraestructura, población, belleza escénica etc.), que se denominará índice de sistema. La tabulación cruzada de ambos índices determinará las áreas de riesgo

En una segunda etapa, nivel más detallado, se parte de las áreas de riesgo para llegar a definir las zonas de riesgo mediante estudios de ingeniería. En este nivel el problema se sitúa en los valles de las cuencas y en la llanura de inundación, donde los procesos traspasan las propias cuencas y están relacionados con las dinámicas fluviales y directamente con las obras de riego y uso de la tierra en un sentido amplio.

Los datos básicos, en este caso, serán información detallada a obtener de levantamientos topográficos, fotografías aéreas y cartografía detallada de infraestructura en general.

Las variables a elaborar son: topográficas, geomorfológicas, geológica, vegetación, uso actual del suelo, hidráulica fluvial, mecánica fluvial, viviendas, centros poblados, infraestructura y obras de riego.

Al igual que en el nivel de semidetalle todas las variables se ingresarán al SIG creándose las bases espaciales y alfanuméricas relacionadas, posteriormente se analizarán, creándose un modelo de priorización de las zonas según el riesgo, categorizado en alto, medio y bajo.

El paso siguiente consistirá en la validación de los resultados, determinando la fiabilidad de los datos y los niveles de precisión alcanzados.

Los resultados se expresarán en cartografía detallada, con la caracterización y bases de datos asociadas, indicando para cada una de las zonas de riesgo la reglamentación y el sistema de prevención riegos más adecuado.

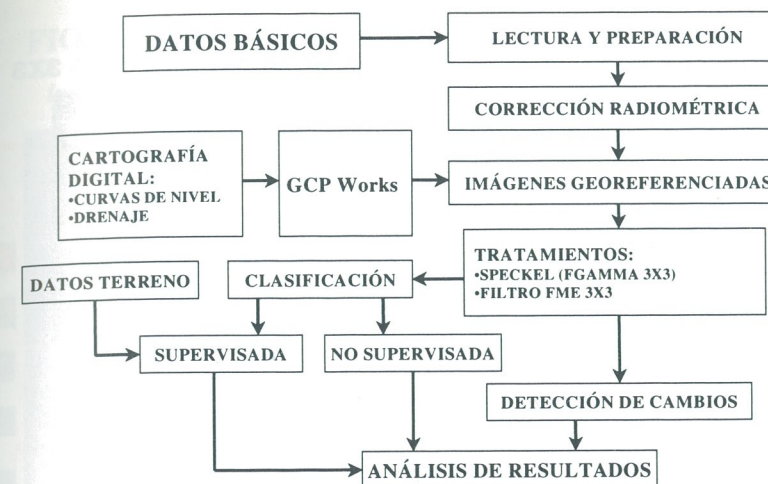
Actividades Realizadas

El material utilizado en la primera etapa, correspondiente al estudio a nivel de semidetalle, es el siguiente:

- Cuatro imágenes de **RADARSAT**, sensor SAR: una imagen modo fino ascendente F1 del 1° de Mayo de 1997, una imagen modo estándar ascendente S7 del 28 de Junio de 1997, una imagen modo fino ascendente F1 del 2 de Abril de 1998 y una imagen modo estándar ascendente S3.
- Cartografía con fondo fotográfico, escala 1:20.000, con las muestras de terreno correspondientes a las fechas de toma de imágenes.
- Cartografía digital de curvas de nivel, red de drenaje y embalses, escala 1:50.000.

Todas las imágenes de radar fueron integradas y procesadas con el software PCI. V. 6.01 y V. 6.02. El procesamiento comenzó con la lectura de las imágenes, delimitando dentro de ellas el área de estudio. Posteriormente, a cada una de las imágenes se les aplicó corrección radiométrica y corrección geométrica; dado que los análisis se realizaron básicamente en los sectores de valle, los cuales no poseen diferencias importantes de elevación, no fue necesario la utilización de un modelo digital de terreno para corregir las imágenes geométricamente, ésta se realizó utilizando puntos de control obtenidos de la cartografía digital disponible y aplicando corrección polinomial y convolución cúbica para el remuestreo. Las imágenes se rectificaron a un tamaño de pixel de 15 m, con esto fue posible la superposición de las distintas imágenes y los posteriores análisis cuantitativos de ellas. Los valores digitales se transformaron a coeficiente de retrodispersión (dB), variable física que corresponde a la respuesta de los objetos y por lo tanto, permite la comparación entre imágenes de distintas fechas. En la Figura 1.1 se muestre el esquema metodológico aplicado en el procesamiento de las imágenes.

FIGURA 1.1.: ESQUEMA METODOLÓGICO APLICADO



De acuerdo a las necesidades temáticas se realizaron distintos tipos de realce de los datos, con el fin de facilitar la interpretación y análisis visual.

De igual forma, se aplicaron distintos tipos de filtros, el primer paso fue reducir el moteado (Speckel) utilizando el filtro Gamma, se aplicó Fgamma 3x3 y 5x5 observando que el de 3x3 entregaba mejores resultados, posteriormente se aplicó filtro FME 3x3 para facilitar la interpretación de las imágenes.

Posteriormente se realizó el análisis de detección de cambio, o análisis multitemporales, el proceso de detección de cambios que se realizó con las imágenes de Mayo y Junio de 1997 fue el que entregó los mejores resultados para la identificación de sectores afectados por las inundaciones. También se obtuvo imágenes en composición "RGB" y "Falso Color" las cuales también permitieron detectar cambios entre las distintas fechas. Finalmente se realizaron clasificaciones no supervisadas y supervisadas de las imágenes.

Resultados

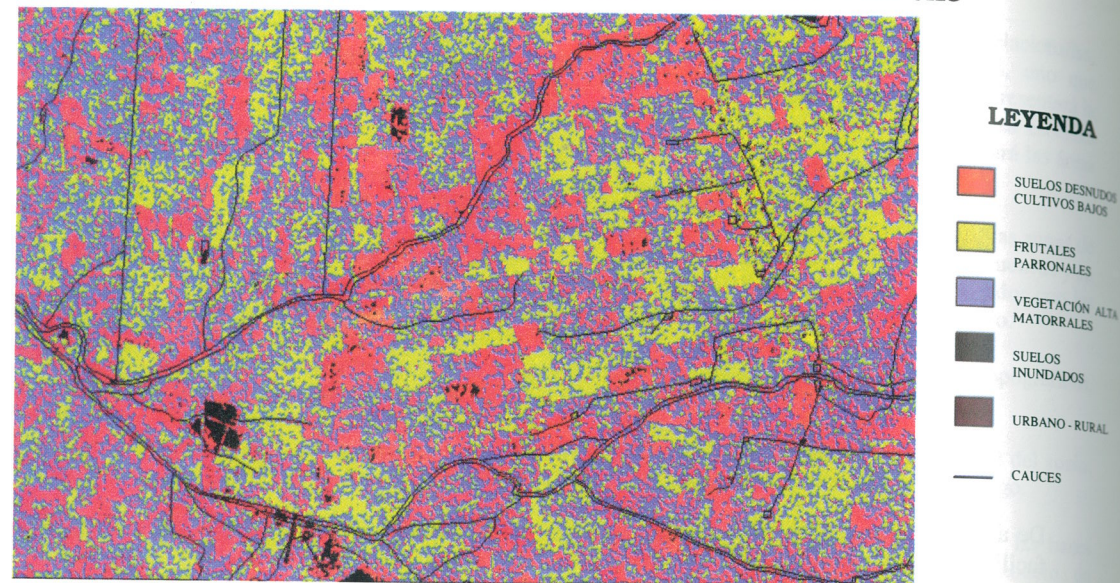
Las imágenes de radar de Mayo y Junio de 1997, por las fechas en que fueron tomadas, revelaron ser de gran utilidad en el análisis de los fenómenos estudiados. La imagen de Mayo fue tomada antes del período de lluvias, por lo tanto los suelos se encontraban con bajos contenidos de humedad; la de Junio, en cambio, fue tomada seis días después de un fuerte temporal el cual provocó las mayores inundaciones del período invernal en la zona, por lo tanto los suelos se encontraban con una alta humedad y algunos todavía permanecían anegados. Al realizar las clasificaciones y los análisis multitemporales de ambas imágenes se observó que los suelos húmedos presentan tonalidades más claras que los suelos secos, esto debido a que la humedad de los suelos aumenta la retrodispersión. Se observó, además, que los suelos anegados presentan una tonalidad oscura, esto permitió identificar zonas en las cuales dichas tonalidades están relacionadas con las crecidas de los cauces.

El análisis de detección de cambio realizado con las imágenes del año 1997, fue el que entregó los mejores resultados para la identificación de las zonas afectadas por las inundaciones. Para los fines del estudio, el análisis multitemporal realizado con las imágenes de Abril y Octubre de 1998, por ser este un año en que prácticamente no se registraron precipitaciones en la zona, no entregó buenos resultados.

Además, los análisis de las imágenes de distintas fechas en composición "RGB" y "Falso Color" entregaron resultados muy similares a los obtenidos con el análisis de detección de cambios.

En la Figura 1.2 se muestra el resultado de la clasificación realizada sobre la imagen del 28 de Junio de 1997 en la cual se identifican claramente los sectores inundados.

**FIGURA 1.2: CLASIFICACIÓN SUPERVISADA
IMAGEN DEL 28/06/97 - RETRODISPERSIÓN CON FME 3X3**



Conclusiones

Como conclusión de los trabajos realizados durante el desarrollo del estudio, se comprueba que las imágenes de radar entregan información de utilidad en el estudio de las inundaciones. Los análisis multitemporales son los que entregan mejores resultados, ya que permiten determinar los cambios producidos en imágenes de distinta fecha.

Para realizar los análisis multitemporales conducentes a detectar los cambios en imágenes de distintas fechas es necesario calibrar radiométricamente las imágenes y corregirlas geométricamente, con el fin de que la comparación se realice con los datos precisos.

La aplicación de filtro Fgamma 3x3 entregó los mejores resultados en la disminución del moteado o "speckle".

El procesamiento de las imágenes realizado durante el desarrollo del estudio entregó resultados que pueden ser de gran utilidad para el monitoreo del comportamiento de los cauces.

Para cuantificar la magnitud de una inundación lo ideal es tener una imagen lo más próxima a la fecha de ocurrido el fenómeno, esto debido a que es muy fácil identificar las áreas cubiertas por el agua, las cuales se presentan de color negro en las imágenes debido a la reflexión especular que produce el agua libre.

El trabajo en terreno realizado simultáneamente con la toma de la imagen resulta fundamental en aplicaciones de monitoreo y de uso del suelo. En la Figura 1.3 se observa una composición en RGB realizada con las imágenes del 1° de Mayo y 28 de Junio de 1997 y las fotos de terreno que muestran las inundaciones provocadas por la crecida del Estero Paine.

Pasado unos días de producidas las inundaciones, como es el caso de este estudio, de todas maneras es posible identificar las áreas afectadas por las crecidas de los ríos, ya que las imágenes entregan información que permite identificar la presencia de suelos inundados, suelos saturados y suelos con distintos grados de humedad lo cual permite observar o monitorear la extensión de las inundaciones.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Centro Canadiense de Sensores Remotos (CCRS) por la provisión de las imágenes y por el apoyo brindado durante la realización de este estudio.

FIGURA 1.3 : Zonas inundadas en Sector del Estero Paine

Imagen del 1° de Mayo de 1997 y 28 de Junio de 1997

