

61A 1000.

61A 1000.

Microsystem - MOP_DGA



PLA

**Comparación LANDSAT - TM y NOAA - AVHRR
en Determinación de Superficie de Nieve**

CPR&SIG :
Carlos G. Pattillo
Martín S. Farías
María E. Pezoa

DGA-MOP
Fernando Escobar

Diciembre 1997

1.- Introducción :

A primera vista, comparar imágenes tomadas con el sensor Thematic Mapper (TM) a bordo del satélite Landsat con imágenes del sensor AVHRR del satélite NOAA no tendría sentido, dadas las diferencias de resolución espacial, espectral y temporal de ambos sistemas. De hecho, esta comparación sólo tiene sentido desde un punto de vista académico para enseñar las diferencias de precisión del dato de superficie obtenido con ambas imágenes y hacer hincapié en la ventaja de contar con una alta resolución temporal como la del satélite NOAA en aplicaciones de monitoreo continuo, en desmedro del dato preciso de superficie.

El primer paso en esta comparación es la forma como se determinan o separan las superficies cubiertas con nieve utilizando las características espectrales de ambos sensores. El segundo paso corresponde al análisis de las diferencias de superficie que entregan ambos métodos, partiendo de la base que el dato obtenido con LANDSAT, es mucho más preciso que el obtenido con NOAA.

Por último, se propone una metodología de monitoreo continuo de la cobertura nival y la utilización de los Sistemas de Información Geográficos como herramienta de manejo y determinación final de superficies.

2.- Obtención de Cobertura Nival con LANDSAT.

El sensor Thematic Mapper (TM) de LANDSAT tiene 7 bandas espectrales que captan las siguientes longitudes de onda :

Banda 1	0,45 - 0,52 μm (azul)
Banda 2	0,52 - 0,60 μm (verde)
Banda 3	0,63 - 0,69 μm (rojo)
Banda 4	0,76 - 0,90 μm (infrarrojo cercano)
Banda 5	1,55 - 1,75 μm (infrarrojo medio)
Banda 6	10,40 - 12,50 μm (infrarrojo termal)
Banda 7	2,08 - 2,35 μm (infrarrojo medio)

La metodología para determinar la cobertura de nieve requiere, a lo menos, contar con tres de las siete bandas del TM. Estas bandas espectrales son :

a) La banda 1 (o la banda 2), en la región visible del azul (del verde), porque en dichas bandas espectrales el efecto de dispersión atmosférica produce la iluminación indirecta de laderas bajo sombra, permitiendo ver si en dichas zonas existe o no cobertura de nieve. Sin embargo, este mismo efecto produce un albedo muy alto y como consecuencia de ello una pérdida de nitidez de la imagen. También en este rango espectral se confunden las nubes y cenizas volcánicas recientes, que son también objetos de alta reflectancia (blanco).

b) El problema anterior se soluciona utilizando la banda 5 (infrarrojo medio), rango espectral en el cual se separa fácilmente la nieve, de las nubes y cenizas volcánicas recientes.

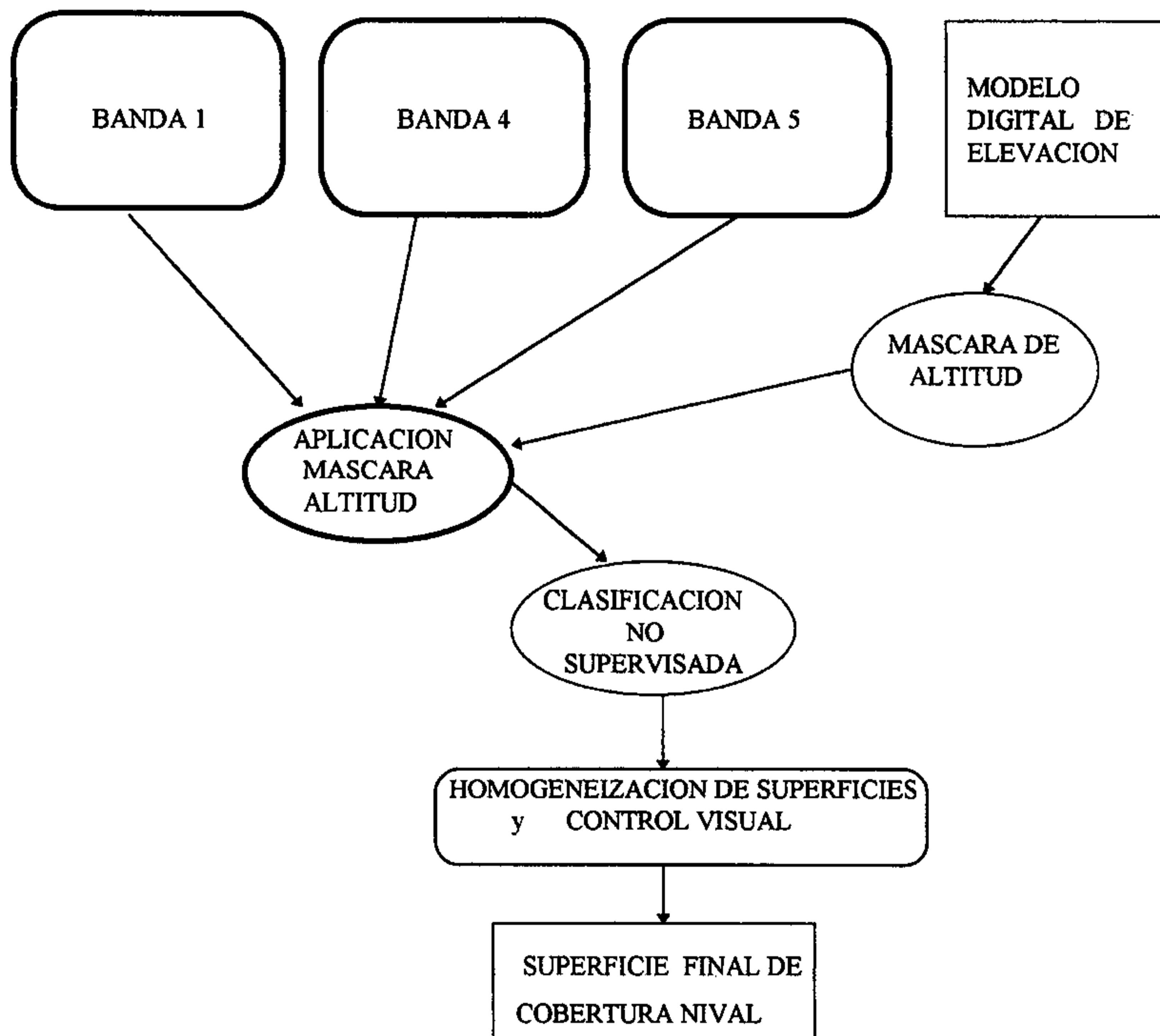
c) De acuerdo a la zona de estudio, pueden existir lagos con alto contenido de sedimentos en suspensión los cuales pueden llegar a confundirse con sectores con nieve, especialmente aquellas zonas que se encuentran en laderas de umbría. Para evitar esta confusión se agrega al análisis la banda 4, infrarrojo cercano, ya que permite separar cuerpos de agua cualquiera sea su contenido de sedimentos. Esta banda permite además identificar la nieve delgada en estado de derretimiento con respecto a la nieve seca.

Las zonas de nieve bajo sombra se resuelven mediante una división de bandas en el rango visible (i.e. 1/3 o 1/2) o mediante la clasificación digital. La habilidad de detectar manchones de nieve pequeños, que se forman durante la época de derretimiento, es una función directa con la resolución espacial del sensor. Este problema se analiza en el punto 4.- " Comparación de superficies", donde se especifica el tamaño de la superficie mínima a medir con más de un 95% de confiabilidad, según la resolución espacial del sensor.

Si se quiere utilizar metodologías automáticas que procesen imágenes tomadas en diferentes fechas, es necesario realizar una corrección atmosférica y de ángulo solar antes de aplicar la metodología de separación de cobertura nival. Este proceso es muy complejo ya que requiere contar con modelos de absorción atmosférica cuyas variables son difíciles de conseguir. Esta complejidad y el hecho de que no se necesita manejar valores físicos absolutos de reflectancia, no justifica su aplicación y es más que suficiente trabajar con límites relativos para cada fecha, los cuales son muy fáciles de determinar.

La Figura N°1, muestra un esquema de los pasos metodológicos con Landsat - TM.

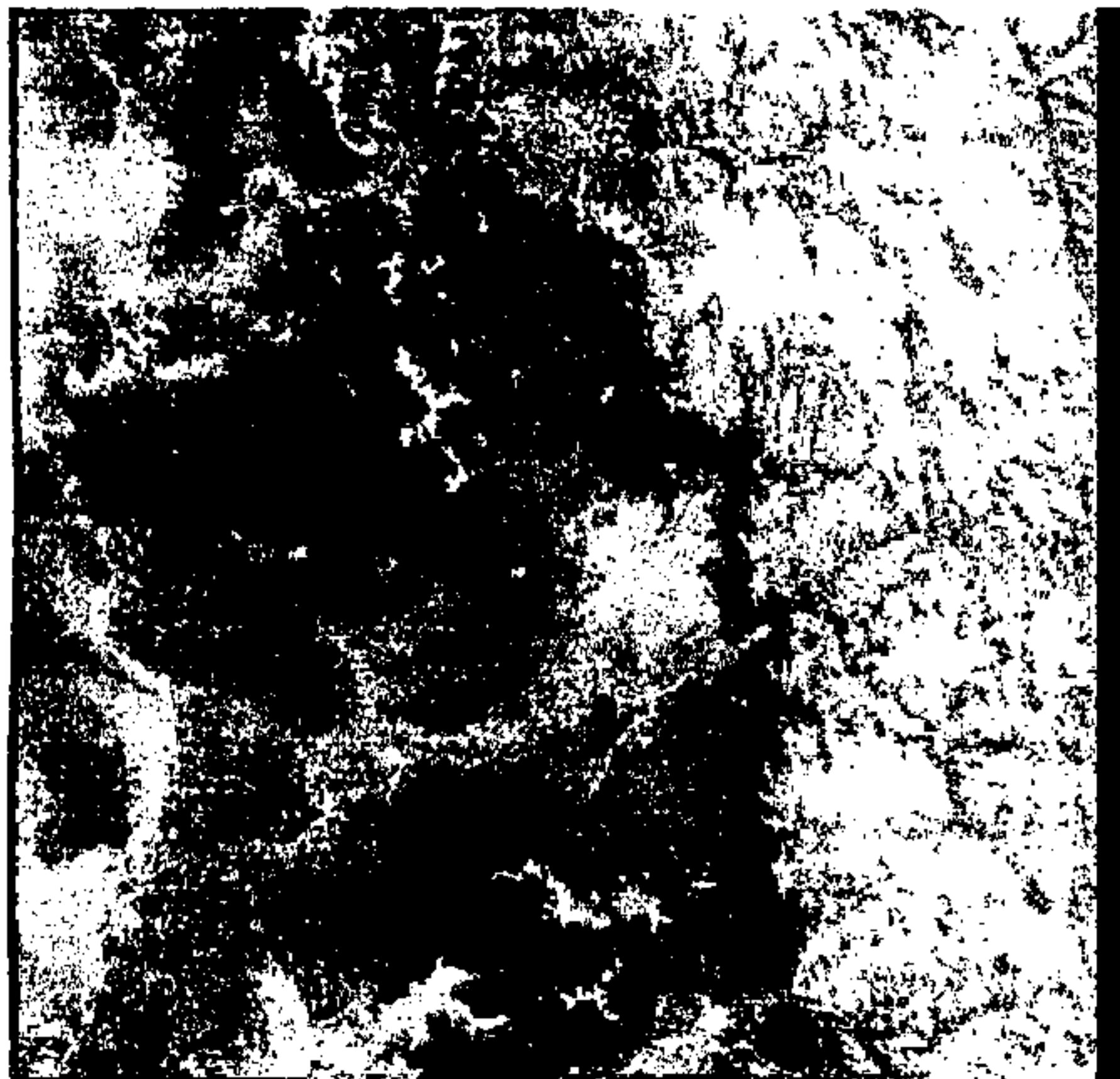
FIGURA N°1
Esquema Metodológico con LANDSAT



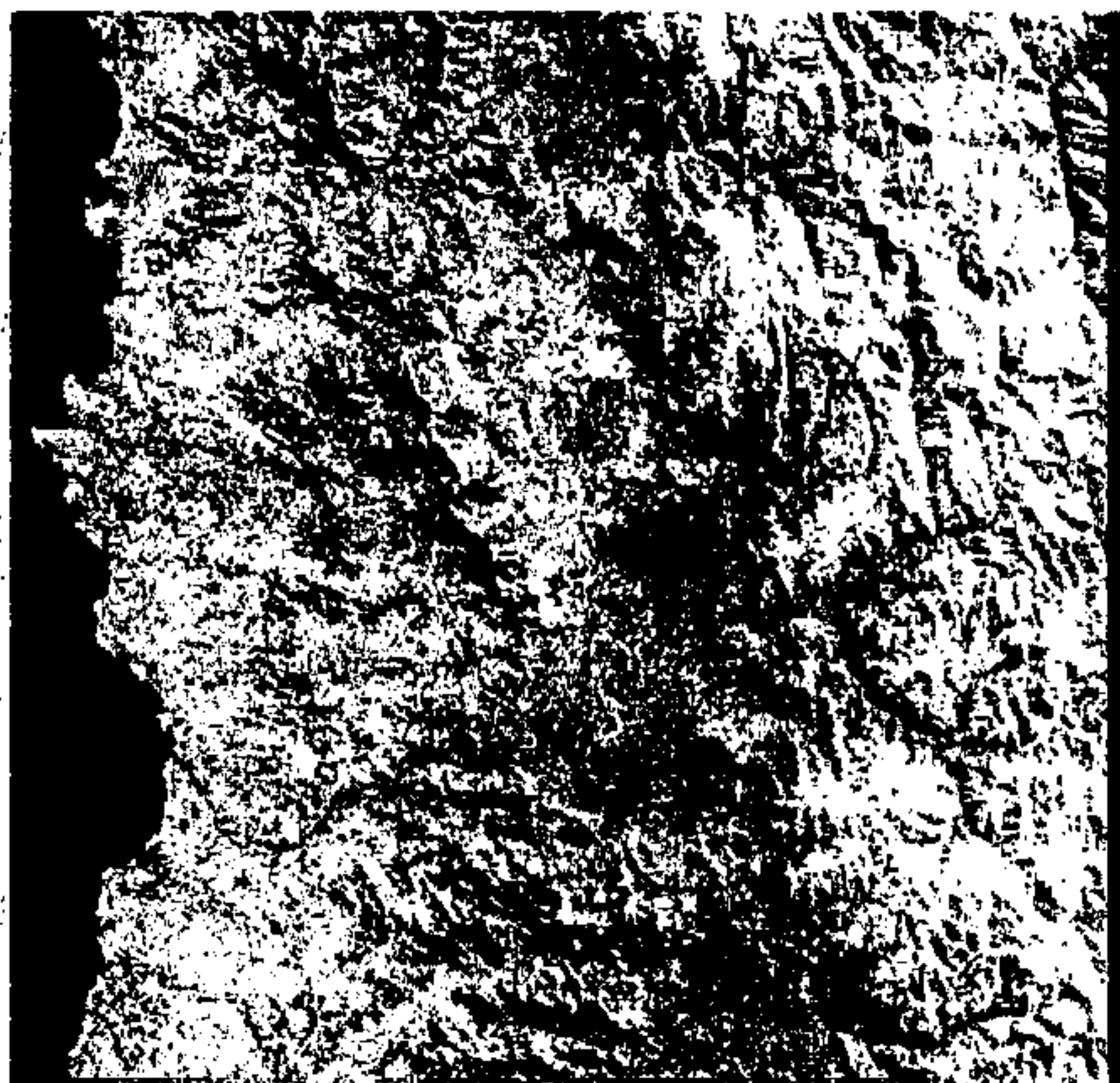
El modelo digital de elevación (MDE) permite generar una máscara de altitud con la cual se segmenta la imagen en dos zona, una donde es imposible encontrar nieve y otra donde la probabilidad de encontrar nieve es de un 100%. Esta máscara cambia según el mes del año que se esté analizando. La segmentación de la imagen tiene como objetivo la simplificación de los procesos de clasificación digital y las tareas de control visual de los resultados.

Las Figura N°2, presenta las bandas espectrales del azul (Banda 1), infrarrojo cercano (Banda 4) e infrarrojo medio (Banda 5) y la composición Falso Color realizada asignando la banda 4 al rojo, la banda 5 al verde y la banda 1 al azul. En este producto, la nieve aparece magenta y las nubes blancas.

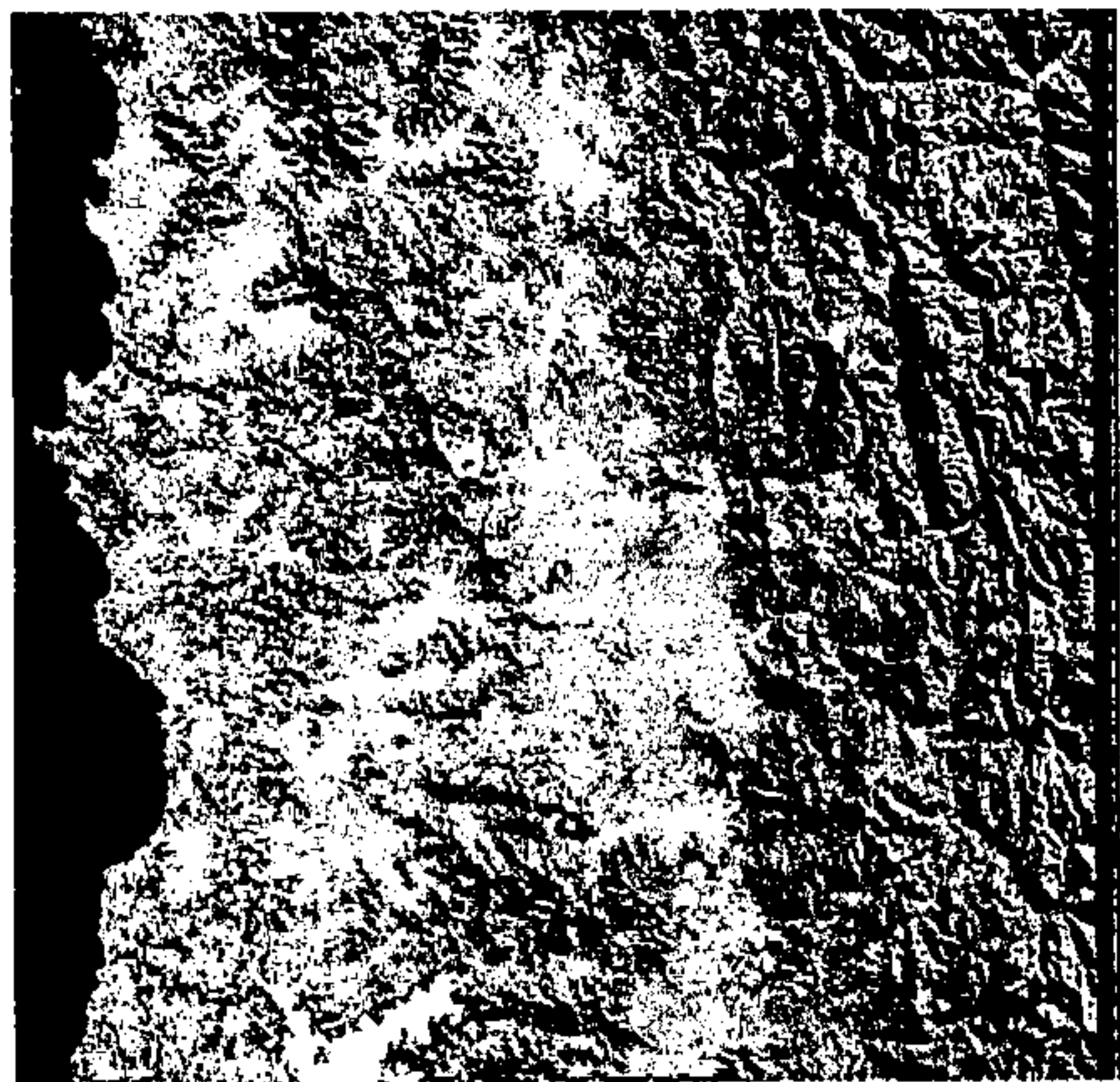
BANDA 1



BANDA 4



BANDA 5



FALSO COLOR (R=4 G=5 B=1)

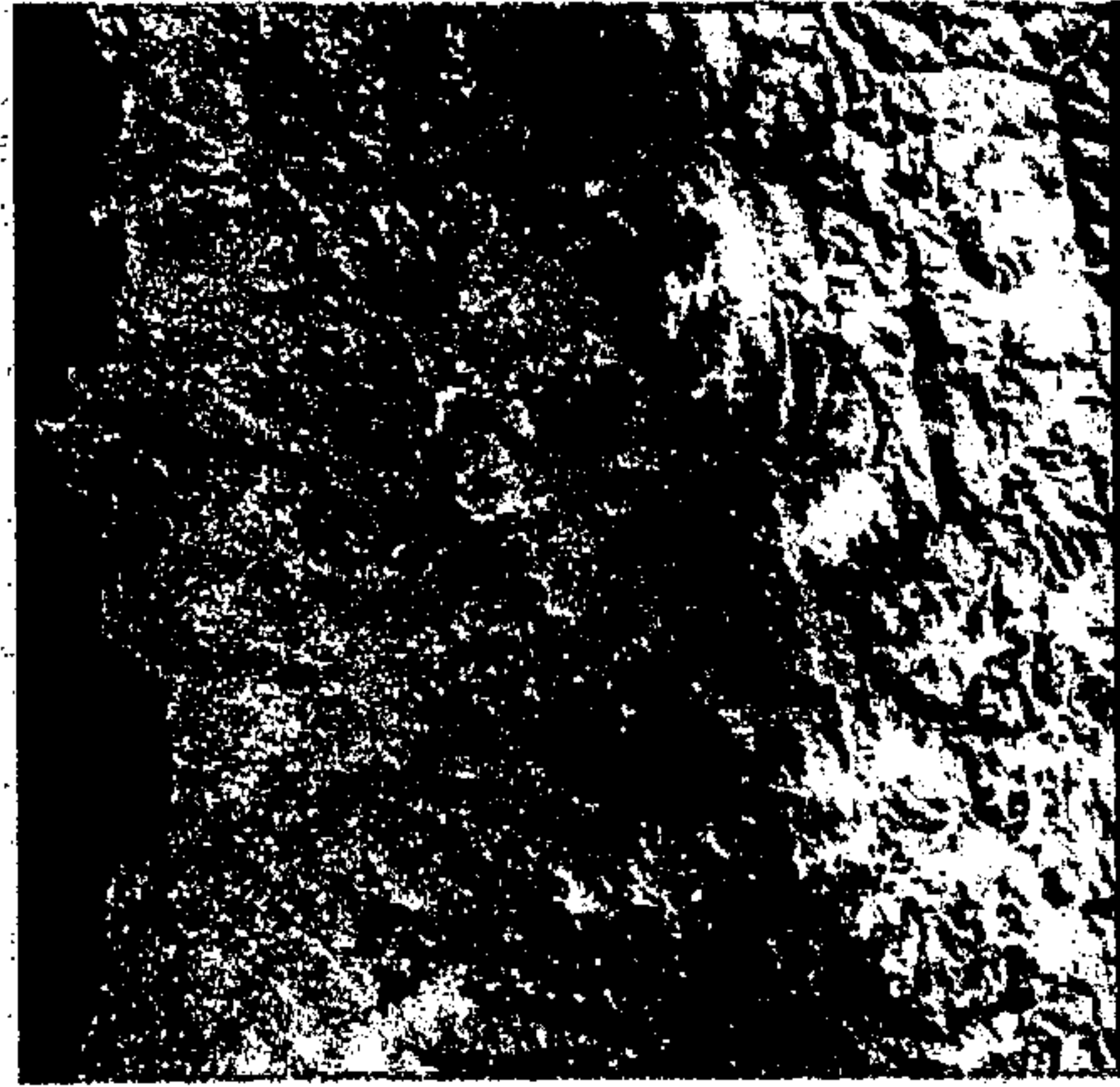


Figura N°2

La Figura N°3 muestra en a) el MDE, en b) su codificación por rangos de altura (bajo 1000 metros en verde, entre 1000 y 4000 metros en tonos cafés y sobre 4000 metros en cyan), en c) también la imagen cortada con la máscara de altitud mayor o igual a 1000 metros y en d) el resultado de la clasificación digital, con las áreas nevadas en tono beige.

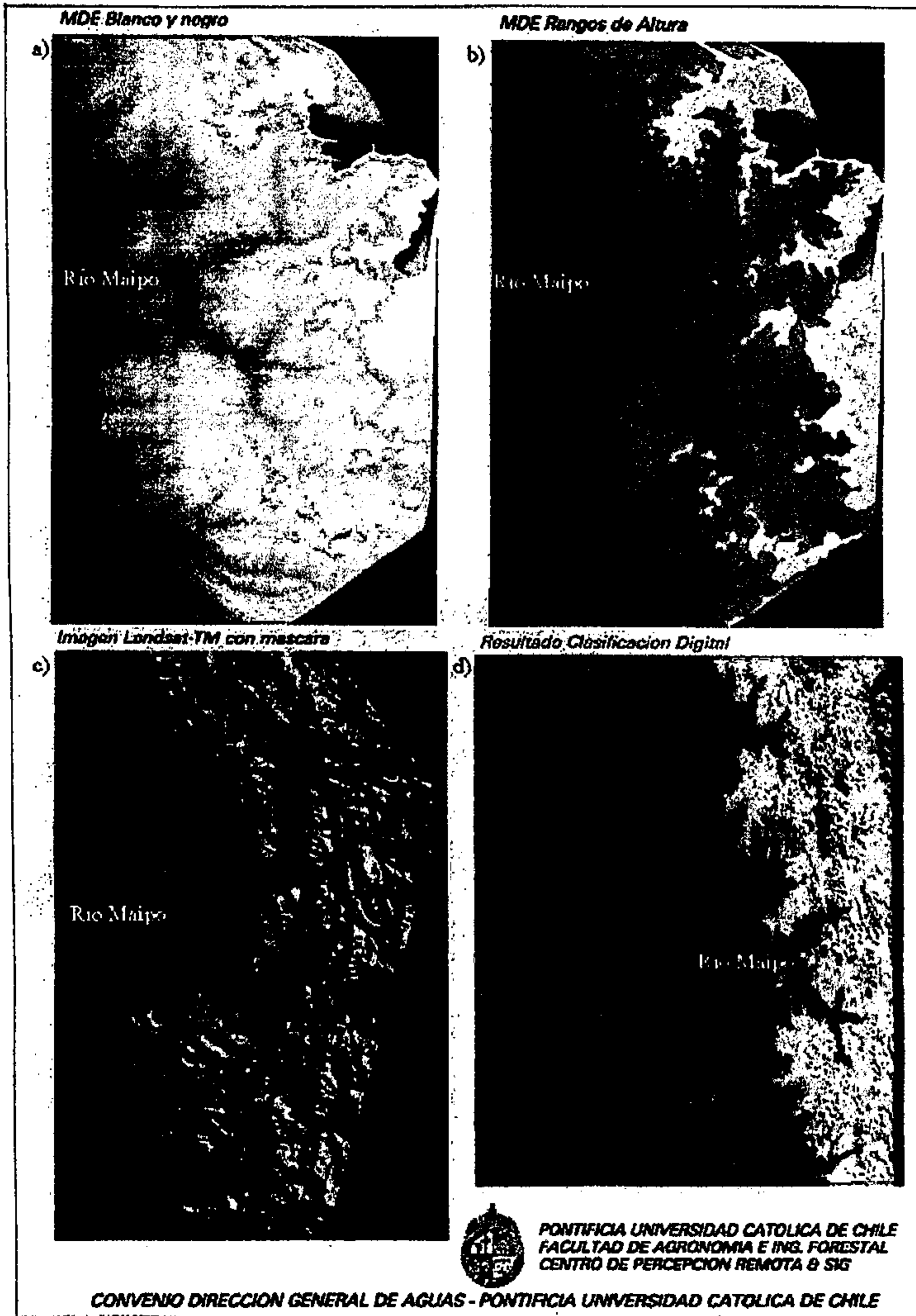


Figura N°3

3.- Obtención de Cobertura Nival con NOAA

El sensor AVHRR de NOAA tiene 5 bandas espectrales que captan las siguientes longitudes de onda :

- Banda 1 0,58 - 0,68 μm (rojo)
- Banda 2 0,72 - 1,10 μm (infrarrojo cercano)
- Banda 3 3,55 - 3,93 μm (infrarrojo medio)
- Banda 4 10,30 - 11,30 μm (infrarrojo termal)
- Banda 5 11,55 - 12,50 μm (infrarrojo termal)

Con NOAA - AVHRR se utilizan al menos tres formas para determinar la cobertura nival.

a) Clasificación Digital

Se aplica un algoritmo de clasificación digital no supervisado con el cual se generan grupos espectrales similares y posteriormente el intérprete los reagrupa en 4 categorías de cobertura del suelo : Nieve, Sombras, Nubes y Zonas sin nieve.

b) Detección por Diferencias de Albedo.

Utilizando las bandas 1(rojo) y 2 (infrarrojo cercano), se calcula de reflectancia del suelo en ausencia de cobertura nival (imagen de verano). Esta imagen será la referencia para cualquier cambio de albedo producto de la presencia de nieve.

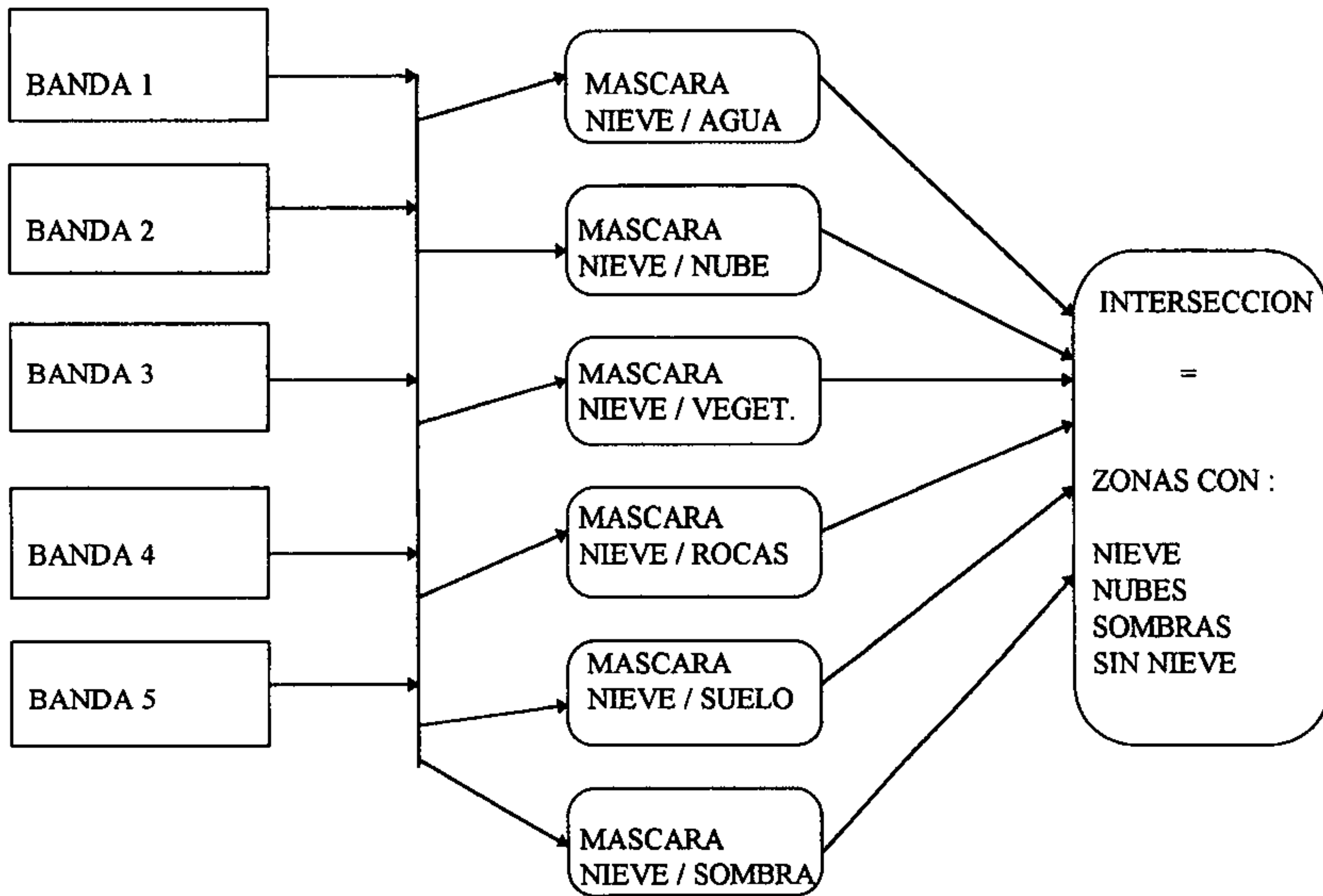
En la época de invierno, la nieve produce aumentos importantes de albedo y efectuando la diferencia de imágenes o calculando las componentes principales con la imagen de referencia (verano), las áreas con nieve se destacan inmediatamente.

c) Algoritmos de Correlación

Utilizando diferentes algoritmos de correlación entre las cinco bandas espectrales, se crean máscaras para separar la nieve de los otros tipos de cobertura del suelo. Posteriormente, estas máscaras se procesan en conjunto y mediante la asignación de umbrales determinados por el intérprete, se genera la cobertura final de nieve. Este método, aunque manual, es el más utilizado porque su resultado es más confiable, especialmente en la discriminación entre nube y nieve.

La figura Nº4, muestra esquemáticamente este proceso.

Figura N°4
Determinación de la Superficie Nival con NOAA



La Figura N°5, corresponde a la imagen Noaa impresa en Falso Color Convencional con el vector de límite de cuenca sobrepuesto.

La Figura N°6, muestra el resultado de la clasificación digital de áreas con nieve, nubes y sombras, de acuerdo a la metodología explicada en la Figura N° 2.

La Figura N°7, es una secuencia multitemporal de imágenes NOAA, en la cual se puede apreciar claramente la importancia de contar con información continua durante la época de deshielo.

Figura N°5

Imágenes NOAA-AVHRR para Observación de la Nieve

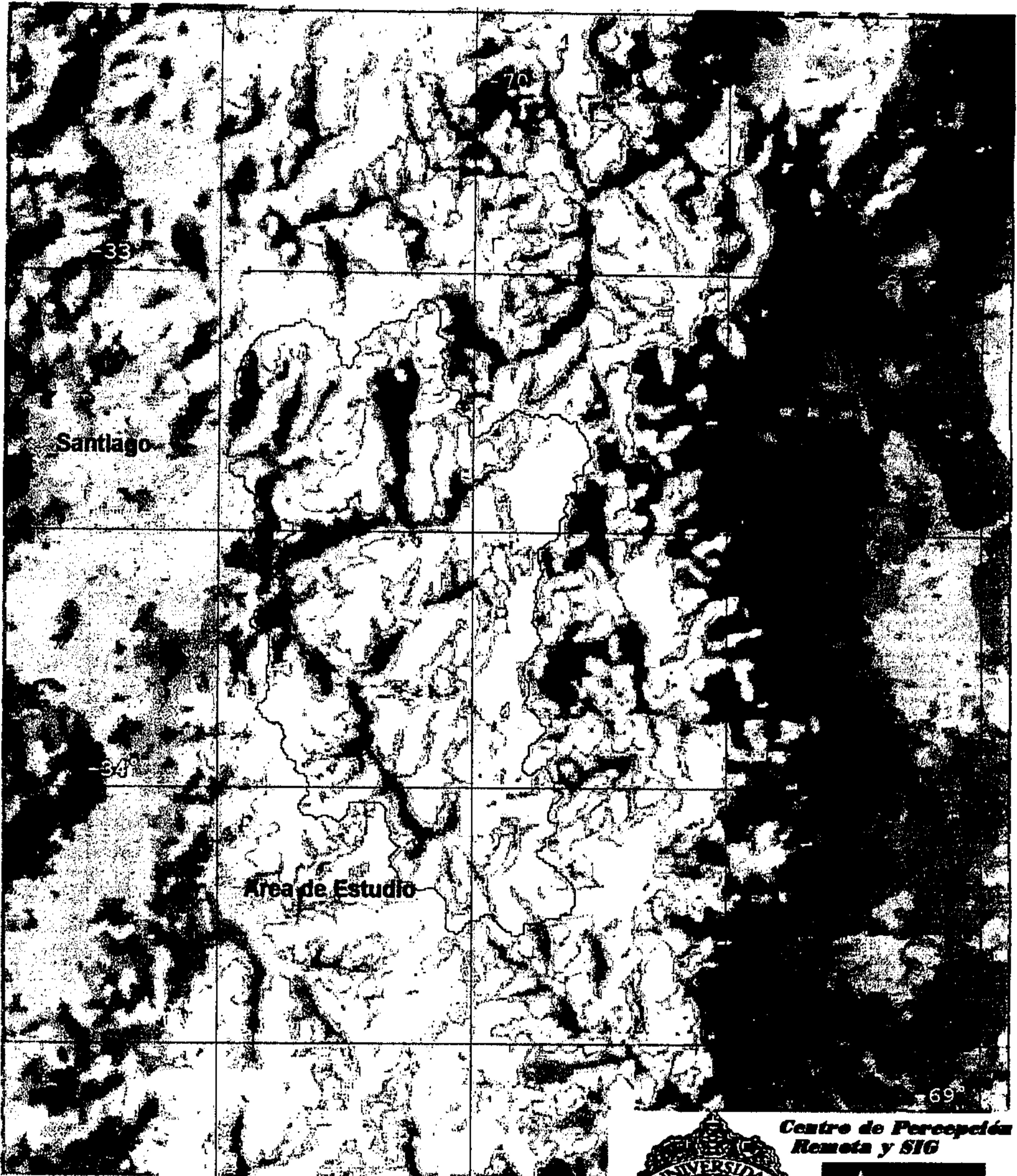


Imagen falso color convencional, generada a partir de datos captados por el radiómetro AVHRR a bordo de satélites NOAA, en el día 20 de Agosto de 1993 a las 17:18 horas.



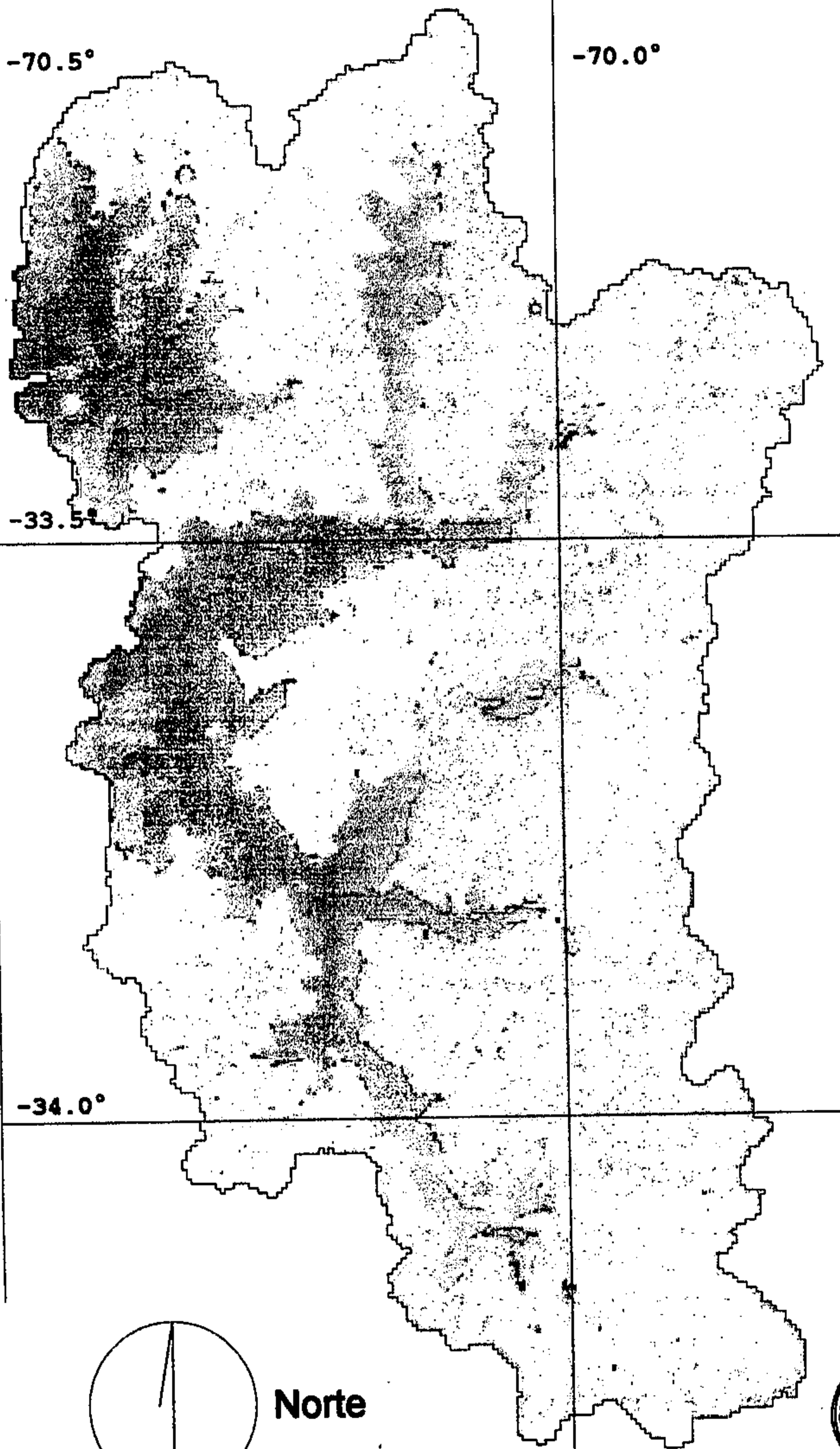
Centro de Percepción Remota y SIG



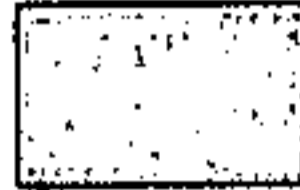

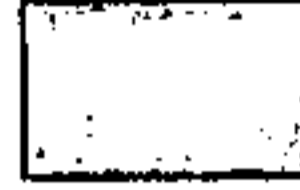
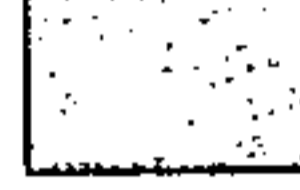

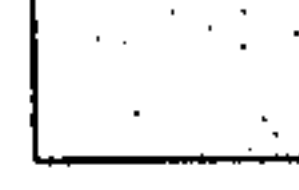


Fac. de Agronomía e Ingeniería Forestal

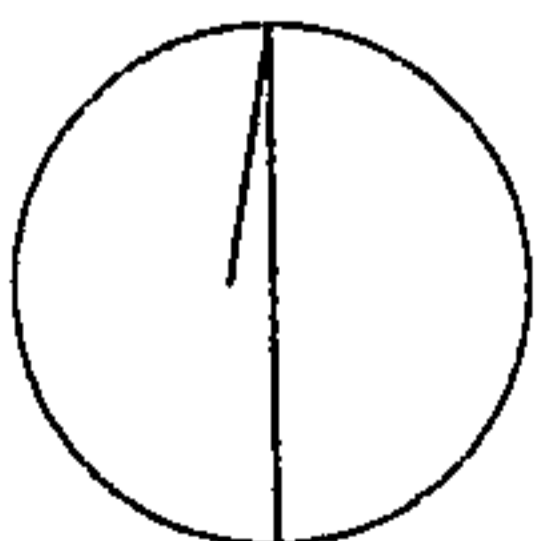
Figura N°6

Cobertura Nival 20-08-93 17:18Hrs



-  Sin Datos
-  Sin Nieve
-  Nubes
-  Sombras
-  Nieve 1
-  Nieve 2
-  Nieve 3
-  Nieve 4

Cobertura Nival generada a partir de imágenes NOAA-AVHRR. El área de estudio comprende las cuencas de los ríos Mapocho y Maipo. Los tipos de nieve están diferenciados por mayor opacidad (Nieve 1) a mayor brillantez (Nieve 4). Esta diferencia puede deberse a nieve en penumbras o nieve menos densa.



Norte

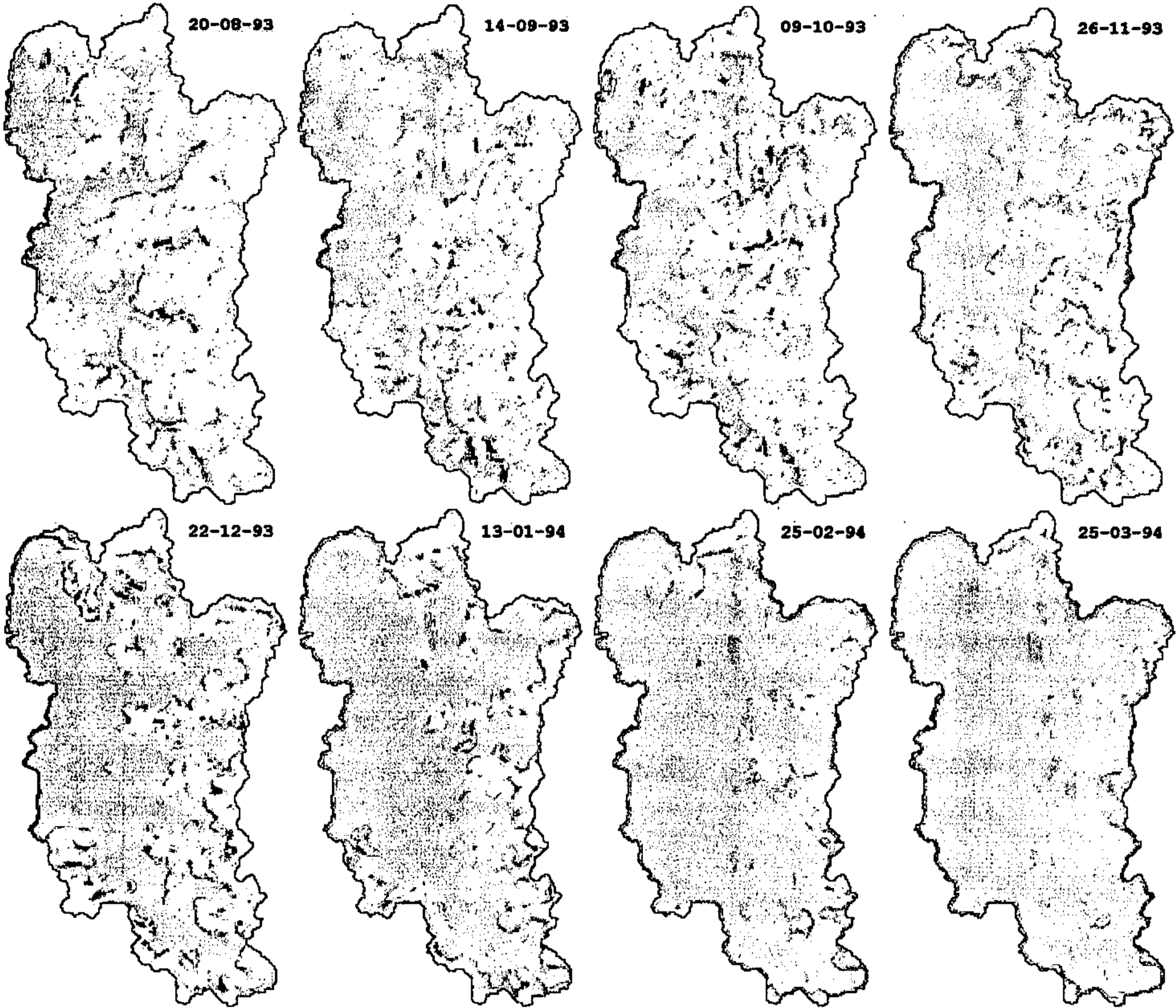


Centro de Percepción Remota y SIG



Fac. de Agronomía e Ingeniería Forestal

Observación de la Cobertura Nival



Observación mensual de las variaciones de Cobertura Nival para la temporada de deshielos 93-94. La cantidad de area cubierta con nieve y sus variaciones han sido muy bien correlacionadas con los caudales de los ríos que existen en estas cuencas.

4.- Comparación de superficies

La precisión en la medición de superficies es, por una parte, una función de la resolución espacial del sensor (pixel) y por otra, función de la escala de la cartografía utilizada. Ambos conceptos están relacionados y deben ser manejados cuidadosamente.

Se ha determinado en forma empírica que la superficie mínima a medir, con un 97% de precisión, utilizando un sensor con una resolución espacial (pixel) de X metros por Y metros es :

$$S = 10 * X * Y \quad (1)$$

Es decir, diez veces el área del pixel.

Con respecto a la escala, el estándar para la **precisión cartográfica real**, permite un error expresado en milímetros de $\pm 0,25$ mm y el error aceptado para la cartografía temática es de $\pm 0,50$ mm. Dichos valores, que convertidos a metros a la escala respectiva, se presentan en la columna "ERROR en metros" en las figuras N°8 y N°9.

Se debe considerar además, que la **información temática** que se incluye en toda cartografía, es aquella cuya superficie es mayor o igual a la **unidad mínima de cartografía**, normalmente fijada en $\frac{1}{4}$ de cm^2 ($0,5 \times 0,5$ cm). Este último valor es muy superior al determinado por la fórmula (1) y por lo tanto la escala en la cual se manejará la información, es un dato realmente importante. El valor de la unidad mínima de cartografía, expresado en hectáreas, se presenta en la columna "U. MIN. CART Has", en la figura N°9.

Estos parámetros permiten conocer de antemano la calidad del dato que se está manejando y fijar las escalas máximas de trabajo, dadas las características de resolución espacial del sensor o pixel. Para mayor claridad, se presenta en las Fig. N°8 y Fig. N°9, la tabulación de estos valores con respecto a la **precisión cartográfica** y a las exigencias para la **información temática** respectivamente.

La columna "PIXEL EQ. en metros" (pixel equivalente), corresponde a las dimensiones máximas que tendría que tener el pixel del sensor para no sobrepasar el error permitido en la cartografía. Lógicamente, las exigencias de calidad geométrica son mayores en un mapa con precisión cartográfica que en un mapa temático.

ESCALA	ERROR en metros	PIXEL EQ. en metros	SUP MIN 97% m^2	SUP MIN 97% Há.
1,000,000.0	250,0	500,0	2.500.000,0	2.500,0
500,000.0	125,0	250,0	625.000,0	625,0
250,000.0	62,5	125,0	156.250,0	15,625
100,000.0	25,0	50,0	25.000,0	2,5
50,000.0	12,5	25,0	6.250,0	0,625
25,000.0	6,3	12,5	1.562,5	0,156
10,000.0	2,5	5,0	250,0	0,025
5,000.0	1,3	2,5	62,5	0,00625

FIGURA N° 8
Información Precisión Cartográfica

ESCALA	ERROR en metros	U. MIN CART Há.	PIXEL EQ. en metros	SUP MIN 97% Há.	SUP MIN 97% Km ²
1.000.000	500,0	2.500,0	1.000	1.000	10,0
500.000	250,0	625,0	500	250,0	2,50
250.000	125,0	156,25	250	62,5	0,625
100.000	50,0	25,0	100	10,0	0,100
50.000	25,0	6,25	50	2,5	0,025
25.000	12,5	1,5625	25	0,625	0,00625
10.000	5,0	0,25	10	0,1	0,00100
5.000	2,5	0,0625	5	0,025	0,00025

FIGURA Nº 9
Información Temática

El cuadro de la Figura Nº 9 “ Información Temática” sólo debe utilizarse cuando se cuenta con cartografía regular a la escala de trabajo, es decir, una base con precisión cartográfica donde se vaciará la información resultante. Como se puede deducir también de dicho cuadro, la información temática al ser impresa en una cartografía final (papel), debe generalizarse aún más, de acuerdo al criterio de la unidad mínima de cartografía. Se debe diferenciar entonces, el manejo de la información en formato digital de la información vaciada en papel, especialmente si esta última proviene de una fuente de información temática externa.

Para el caso de LANDSAT, con un pixel de 30x30 m, la escala máxima que permite obtener una precisión cartográfica será de 1 : 60.000 y para el NOAA será de 1 : 2.000.000, en cambio, la escala máxima con precisión temática será de 1 : 30.000 y 1 : 1.000.000, para LANDSAT y NOAA respectivamente.

Se lee o deduce también del cuadro de la figura Nº9, que la superficie cubierta con nieve más pequeña que se puede medir con NOAA es de 1000 Hás (10 Km²) y con Landsat - TM es de 0,9 Hás (0,009 Km²).

Teniendo claro estos conceptos, los resultados esperados al comparar las superficies medidas con LANDSAT y NOAA para un área de estudio formada por cuencas de diferentes tamaños son lógicos. El resultado de dicha comparación se muestra en la tabla de la Figura Nº10.

Sin embargo, este análisis no incluye la medición de la formación típica de manchones de nieve que se producen durante la época de deshielo. En esta variante, se debe estudiar en que momento se produce la detección de un pixel como nieve, independiente del problema de medición.

La energía que llega al sensor se puede considerar como el promedio ponderado de la energía reflejada (bandas visible e IR cercano) o emitida (banda termal) por todos los tipos de superficie bajo dicho pixel. Este tema no deja de ser complejo, sin embargo, con el fin de entender el concepto de detectabilidad, es decir, si un pixel es marcado como nieve o no, es necesario conocer el contraste entre la nieve y los objetos circundantes, en cada una de las bandas espectrales.

Por ejemplo, se supone que la nieve en el sensor AVHRR del NOAA, presenta valores entre 150 y 255, rango que considera todas las posibilidades de nieve en terreno plano, inclinado hacia el sensor o en penumbra. Si los objetos que rodean a esta superficie con nieve tienen valor 0, el contraste es altísimo y una superficie de 0.6 Km² o mayor de nieve, hará que el pixel se identifique como nieve. Si los objetos circundantes tienen un valor promedio de 30, el contraste es alto y una superficie de nieve de 0,54 Km² o superior, hará que el pixel se identifique como nieve y si el promedio de los objetos circundantes es 100, el contraste es bajo y una superficie de nieve de 0,32 Km², hará aparecer el pixel como nieve.

Sobre valores de 150 para el promedio de los objetos circundantes, no existe contraste y todo el pixel quedaría como nieve, aunque realmente no exista nieve.

Al analizar estos contrastes en las diferentes bandas espectrales, se pueden separar en la mayoría de los casos las confusiones que se producen al interior de una banda. Sin embargo, puede ocurrir que esta separabilidad espectral no exista y el interprete debe corregir visualmente las incongruencias.

Teniendo esto claro, se debe diferenciar entonces lo que es medible (superficie) con lo que es identificable, cuya localización y medición tienen un grado de incertidumbre muy alto y más aún, es de tipo aleatorio. Esto está reflejado en los últimos tres polígonos de la tabla presentada en la figura N°10, donde, por ejemplo, un pequeño corrimiento del pixel entregaría una superficie de 100 Hás para los polígonos 12 y 13 o una superficie de 200 Hás (o 400 Hás) para el polígono 14.

Identificación	Sup. Há.	Sup. Há.	Sup. Há.	% Diferencia	%Diferencia
Polígono	REAL	LANDSAT	NOAA	LANDSAT	NOAA
1	65513.6	65512.9	65300	0.0011	0.3260
2	22363.9	22363.7	22300	0.0013	0.2859
3	102531.3	102532.1	102200	-0.0007	0.3231
4	85434.2	85433.1	85000	0.0012	0.5082
5	99450.8	99451.9	99800	-0.0011	-0.3511
6	106827.1	106828.5	106900	-0.0013	-0.0682
7	61229.4	61230.1	61200	-0.0010	0.0481
8	88108.1	88107.8	88000	0.0003	0.1227
9	3771.4	3772.6	3700	-0.0327	1.8929
10	1587.3	1586.6	1600	0.0433	-0.8002
11	1319.3	1318.9	1300	0.0305	1.4601
12	94.0	93.8	0	0.2344	100.0000 *
13	85.2	85.4	0	-0.1881	100.0000 *
14	332.1	332.2	300	-0.0177	9.6742 *
TOTALES	638647.8	638649.5	637600	-0.0003	0.1641
* Valor de superficie NOAA totalmente aleatorio					

Figura N°10
Comparación de superficies

5.- Metodología de trabajo

De acuerdo a lo expuesto en los puntos anteriores, la metodología de trabajo propuesta consiste en la integración del SIG y el procesamiento de imágenes.

Primero, en el SIG, se maneja la información de límites de cuenca, georreferenciada y cartográficamente precisa para la escala de trabajo. En este caso, se deberá utilizar la escala 1 :250.000 como escala máxima con NOAA, tomando como referencia la unidad mínima cartográfica de 1.500 Há. y escala 1 : 10.000 para trabajar con Landsat.

Dada la poca exactitud con que aparece el drenaje a escala 1 : 250.000, se recomienda mejorar el límite de cuencas con una imagen Landsat como fondo y sobre ella corregir su trazado. Lo ideal es que esta imagen sea georreferenciada utilizando cartas escala 1 : 50.000, de forma tal de asegurar la precisión cartográfica de los límites.

En segundo lugar, se sobreponen los vectores de límites sobre la imagen NOAA y se traza solamente el límite de la línea de nieve. Para esto, el intérprete se apoyará en los productos obtenidos del procesamiento digital de imágenes (Falso Color Convencional y Clasificación Digital). En el caso de manchones de nieve, conviene identificar aquellos manchones que se localizan a menos de 3 Km de los límites de una cuencas. Esto con el fin de tomar en cuenta el error de localización de los pixeles y corregir o evaluar la certeza del dato de superficie para superficies pequeñas.

Por último, se intersectan los vectores de límites de cuencas, áreas con nieve y línea de nieve, separando de esta forma las superficies cubiertas con nieve a nivel de cada cuenca. El sistema genera polígonos nuevos con el área (planimétrica) de la cobertura de nieve y con un identificador de la cuenca al cual pertenece.

Con respecto a los polígonos correspondientes a manchones de nieve aislados, se conservará la marca que separa los mayores a diez veces la superficie del pixel del sensor de aquellos más pequeños y se mediante un criterio de evaluación, basado en los conceptos discutidos en los puntos anteriores, se decidirá si es válido o no conservarlos