

2925
c.1

INSTITUTO DE INVESTIGACION DE RECURSOS NATURALES
CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION



EVALUACION MULTIDISCIPLINARIA DE IMAGENES DEL
SATELITE ERTS. ZONA DE MALLECO - CAUTIN

2925

MARZO - ABRIL 1974 .

INSTITUTO DE INVESTIGACION DE RECURSOS NATURALES-CORFO

INSCRIPCION Nº 42994 SANTIAGO - CHILE - 1974

Impresores Sociedad de Artes Gráficas Cepco Ltda.

Diseño Gráfico: Gloria Medina C. - Ana Paz Toro A.

EQUIPO DE TRABAJO

GEOLOGIA : GEOLOGO ARNOLDO ORTIZ
CLIMA : METEOROLOGO ENRIQUE ZARATE
DRENAJE : ING. AGRONOMO JUAN VALLEJOS
SUELOS : ING. AGRONOMO MARIO FAJARDO
FORESTAL : ING. FORESTAL CARLOS URBINA
USO ACTUAL : .
DE LA TIERRA : ING. AGRONOMO GUILLERMO DALANNAIS

COORDINADOR : GUILLERMO DALANNAIS

I N D I C E

	Páginas
1.- INTRODUCCION	1
2.- MATERIAL Y METODO	3
2.1.- Material	3
2.2.- Metodología	3
3.- ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS	5
3.1.- Interpretación de Características Geológicas	5
3.1.1.- Análisis de la fotografía Erts bandas 4 y 7	7
3.1.2.- Conclusiones	8
3.2.- Interpretación Climática	8
3.3.- Interpretación de Drenaje Natural	9
3.4.- Interpretación de Suelos	10
3.4.1.- Análisis de la fotografía Erts	12
3.4.2.- Conclusiones	14
3.5.- Interpretación de Cubierta Vegetal	14
3.6.- Interpretación de Uso Actual de la Tierra	16
4.- CONCLUSIONES GENERALES	19

1.- INTRODUCCION

La investigación de la corteza terrestre ha recibido, por siglos, la atención permanente del hombre ya que constituye la base misma de su existencia y la fuente de sus riquezas.

Hoy día el hombre se ve enfrentado al problema de emplear, en la mejor forma posible, los recursos naturales como una manera de obtener mejores condiciones de vida. De ahí que ha buscado incesantemente, tecnologías que le permitan conocer y evaluar con rapidez y exactitud los recursos que posee la Tierra.

Durante años, el hombre utilizó métodos lentos y engorrosos para investigar el medio ambiente hasta que, a principios de siglo, dió un salto sorprendente al lograr ocupar un punto en el espacio desde el cual pudo obtener registros de la corteza terrestre. Logra, entonces, con la fotografía aérea, tener una visión panorámica que, según COLWELL (*), corresponde a una perspectiva vertical de la tierra.

Este nuevo campo de la tecnología ha ido avanzando en forma acelerada. Se logran fotos aéreas desde plataformas ubicadas cada vez a mayor altura, se perfeccionan las cámaras y se crean nuevos sensores que otorgan resoluciones más exactas de la biósfera.

Actualmente el hombre cuenta con imágenes provenientes de naves espaciales y satélites orbitales, situándose ante un nuevo campo de investigación en el cual la experimentación de metodologías de trabajo y la aplicación de la información obtenida debe ser su preocupación fundamental.

Ya que la fotointerpretación tradicional no se adecúa a estas nuevas herramientas de prospección, es necesario ahondar en este campo hasta determinar métodos útiles, eficientes y económicos.

El Instituto de Investigación de Recursos Naturales, (IREN-CORFO), conciente de lo anterior, ha aceptado la invitación extendida por el Instituto Geográfico Militar para participar en la evaluación de imágenes del Satélite ERTS.(*)

IREN, nominó cinco profesionales relacionados con Geología, Clima, Hidrología, Suelos, Bosques, más un técnico fotográfico, para evaluar la utilización de las fotografías espaciales en el desarrollo de proyectos integrados.

(*) COLWELL, ROBERT. *Remote Sensing of Natural Resources*. Scientific American 218 : 54-69; 1968.

(*) Seminario de Evaluación de imágenes ERTS.

La utilización de esta técnica es experimental, de tal manera que la información obtenida puede adolecer de defectos e ineficiencias en su manipulación, factores que son subsanables en la medida que su uso comience a ser frecuente.

2.- MATERIAL Y METODO

2.1.- MATERIAL

Se contó con imágenes ERTS en cuatro bandas espectrales, cubriendo desde 0.5 micrones a 1.1 micrones, es decir, desde el rango visible hasta la región del cercano infra-rojo del espectro electromagnético.

Las fotografías, tomadas el 4 de Marzo de 1973 por el sensor MSS (Multi Spectral Scanner System), corresponden, geográficamente, a la zona de Malleco - Cautín, entre los meridianos 71° 00' y 73° 00' longitud Oeste y los paralelos 37° 30' y 39° 30' latitud Sur. Presentan una cubierta nubosa en los sectores noreste y sureste, abarcando más de 1/3 de la superficie total barrida por el sensor.

Se utilizó cartas 1:250.000 del Instituto Geográfico Militar para componer el transparente base de toponimia.

Con los positivos de las cuatro bandas espectrales, se confeccionaron imágenes de falso color, utilizando para ello, colores rojo, azul, verde y sepia por cada banda, permitiendo probar numerosas combinaciones de falso color aditivo.

2.2.- METODOLOGIA

Frente a la imposibilidad de contar con fotografías ampliadas a 1:500.000, se trabajó directamente en los originales 1:1.000.000.

El método de análisis seguido consistió en interpretar separadamente cada disciplina, obteniéndose transparentes con la información respectiva. Se estimó lógico establecer una secuencia de evaluación desde las disciplinas más generales hasta aquellas más específicas. Con el fin de facilitar la interpretación de la disciplina siguiente, se practicó en la secuencia el orden dado a continuación:

- Interpretación Geológica
- Interpretación Climática
- Interpretación de Drenaje Natural
- Interpretación de Suelos
- Interpretación de Cubierta Vegetal
- Interpretación de Uso Actual de la Tierra

Cada disciplina siguió su propia metodología de trabajo seleccionando la o las bandas o combinaciones de transparentes más adecuados a los fines perseguidos.

Además de tonos, texturas y densidades entregados por el material fotográfico, se tuvo en consideración factores relacionados con la interacción energía-materia en las distintas bandas espectrales.

Por otra parte, Cautín es una provincia estudiada anteriormente por IREN (*), constituyendo una excelente experiencia la utilización de este nuevo sensor, por cuanto permitió calibrar el sistema perceptor y determinar su potencialidad como instrumento de trabajo.

(*) IREN - CORFO, 1970. *Estudio Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de Cautín.*

3.- ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

3.1.- INTERPRETACION DE CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

Tradicionalmente, la fotografía convencional obtenida desde plataformas aéreas, ha significado una tremenda ayuda para el geólogo en la investigación de la corteza terrestre. A pesar de ello, presentan una serie de limitantes que, aunque no la restringe como herramienta común de prospección geológica, tampoco permite salvar algunas deficiencias que le son propias.

Ejemplos de estas son:

- En zonas de bruscas diferencias de elevación, con pendientes abruptas o relieve riguroso, se hace imposible mantener una visión integral entre puntos de gran altitud y los más bajos.
- El modelo tridimensional que se obtiene de la observación estereoscópica, da un relieve exagerado en relación al eje vertical, llevando a cometer errores en la estimación de pendientes, potencias de estratos, dislocación de fallas. etc...
- Distorsión óptica producida en el modelo estereoscópico en relación a la forma real del terreno. Este problema se agudiza en fotografías a escala detallada.
- Tonalidades fotográficas uniformes producidos por otro agente natural que dificulta la investigación geológica.

Con el advenimiento de imágenes obtenidas desde satélites artificiales, muchas limitantes de las fotos aéreas convencionales, han sido obviadas. Entre ellas se tiene que:

- La distorsión prácticamente no existe.
- Dado que las fotos satélites es posible conseguirlas en distintos rangos espectrales, las limitantes tonales de las fotos aéreas convencionales quedan superadas por la obtención de un gran número de imágenes en diferentes longitudes de onda, que facilitan la interpretación.
- La exageración del eje vertical del modelo estereoscópico queda eliminada.

Además de estas ventajas, las fotografías obtenidas desde satélite cubren una gran superficie permitiendo una visión integrada, rápida y veraz de los elementos fotogeológicos; las características estructurales, unidades litológicas, relación entre distintas formaciones, sistemas de drenaje etc. son fácilmente detectables a nivel regional.

Por último la ventaja de contar con imágenes de falsos colores en los diferentes rangos del espectro electromagnético, permite realizar combinaciones entre ellas, haciendo relevante ciertas características geológicas de acuerdo con la banda. Se obtiene así, una variada información que da como resultado una acabada visión de la región en estudio.

El área estudiada comprendió la Cordillera de Los Andes, en sus vertientes Este y Oeste tomando parte del territorio argentino de Neuquén y desde el río Malleco por el Norte hasta el lago Villarrica por el Sur.

Hidrográficamente, el territorio estudiado, es drenado en su parte occidental por las cuencas del río Cautín y la subcuenca del río Malleco. Hacia el lado argentino, la Cordillera de Los Andes es drenada por la cuenca del río Neuquén y subcuenca del río Aluminé.

Orográficamente, la zona de estudio, comprende la Cordillera de Los Andes cuyo promedio de altura respecto al mar es de aproximadamente 1.500 metros y sus alturas máximas son Tolhuaca 2.780 m., Lonquimay 2.820 m. y Llaima 3.124 m.

Fisiográficamente, la Cordillera de Los Andes está modelada por un relieve culminado en el Terciario y una fuerte erosión posterior. Esta se hace evidente al distinguir una densa red de drenaje con valles, productos de acciones glacial, fluvioglacial y fluvial. A pesar de ello, en algunas regiones, parte central, se advierten rasgos de peneplanización que afectaron a la Cordillera a fines del Terciario.

El modelado de la Cordillera es, finalmente, afectado por un neovolcanismo constituyendo aparatos volcánicos que destacan en el relieve general del área, como es el caso de los volcanes Tolhuaca, Lonquimay, Llaima y Villarrica.

Hacia la parte occidental, es posible detectar el relieve del borde oriental de la depresión intermedia o Valle Longitudinal, recubierto por materiales que se desprendieron de centros volcánicos de la Cordillera de Los Andes. La constitución de estos conos corresponden a conglomerados volcánicos parcial o totalmente intemperizados que dieron origen a sedimentos y suelos altamente arcillosos.

En la parte oriental de la foto, se destaca una depresión intermedia que constituye el nacimiento del río Bío-Bío para luego formar la base de la laguna Aluminé y valle del río del mismo nombre.

3.1.1.— Análisis de la fotografía ERTS bandas 4 y 7

Al analizar la imagen banda 4 se detecta con relativa facilidad las coladas de lavas básicas Andesitas—Basálticas de los centros volcánicos modernos siendo más claras aquellas correspondientes al volcán Llaima y en menor grado las de los demás Centros. En los casos señalados, la textura y tono difiere notoriamente de las unidades litológicas circundantes lo que permite, a escala regional, separar el tipo litológico descrito.

Analizadas las transparencias de falso color, se determinó que la combinación de banda 5, región visible en azul, con banda 7, cercano infra-rojo en color rojo, permitía detectar más claramente las características de drenaje, formas de las unidades y estructura, logrando separar las siguientes entidades:

Relleno Cuaternario.— Presenta una fuerte absorción de energía electromagnética por estar constituido en general por sedimentos de granulometría fina a media, con humedad relativamente alta aunque en sectores hay reflexión marcada derivada de la cubierta vegetal existente.

Dentro de este relleno Cuaternario se considera a las arenas, limos y gravas de origen glacial, fluvio-glacial, aluvial y eólico que se encuentran en los valles intermontanos, depresión intermedia y zona de la cuenca del río Aluminé, en el sector argentino.

Lavas Basálticas y Andesíticas (Cuaternario).— Corresponden a coladas de lava de aparatos volcánicos modernos y que se aprecian en mayor grado en la banda 7, donde manifiesta un marcado tono de continuidad y textura homogénea.

Serie Efusiva—Máfica.— Corresponde, a lavas andesíticas y basálticas, que en la combinación falso color descrito anteriormente denota un marcado drenaje subparalelo con fuerte tendencia a capturas y además una textura característica.

Conglomerados Multicolores. (Terciario Superior, Cuaternario Inferior).— Se distinguen en las fotografías principalmente por la morfología que presentan. Constituyen conos de aglomerados volcánicos que se desprenden de la vertiente oriental de la Cordillera de Los Andes, relleno la depresión intermedia o Valle Central. Poseen un drenaje paralelo típico de sedimentos de granulometría compacta que ocasiona cárcavas y quebradas profundas debido a su posición de plano inclinado.

Rocas Graníticas.— En la composición de falso color, se destaca nítidamente el drenaje dendrítico y a veces radial de los intrusivos que se delimita claramente del drenaje subparalelo de las rocas volcánicas básicas de fácil erosión.

Lagos y Lagunas.— Se detecta una fuerte absorción de energía por el agua en todas las bandas, especialmente en la banda 7. Estas aguas continentales son de fácil individualización debido a lo resaltado de sus límites.

3.1.2.— Conclusiones.

- Ventaja sobre la fotografía pancromática convencional en cuanto a permitir la cobertura de una gran superficie, aspecto de suma importancia en geología regional.
- Las diferentes bandas han permitido complementar la caracterización de determinados fenómenos geológicos.
- Facilidad para establecer los contactos de las unidades.

3.2.— INTERPRETACION CLIMATICA

Uno de los usos de la fotografía constituyó el poder delimitar en mejor forma, el área correspondiente a la tipología "Clima de estepa frío" (BSk') definido por Koeppen y delimitada por Fuenzalida (1966) (*)

La cordillera de Litrancura, que cierra el paso occidental del valle de Lonquimay, es una barrera más que suficiente para impedir la acción directa de los sistemas frontales provenientes del S.O.

El efecto "foehn" que genera la topografía que en este sector alcanza una altura media superior a 1.200 m., hace depositar en las vertientes occidentales, la mayor parte de la humedad, antes de lograr traspasarla.

Estas diferencias de humedad, por aporte de precipitación, aparecen claramente delimitadas en la composición de falso color, banda 5 en azul, banda 7 en rojo, por el cambio brusco del tono azul-verdoso o café-rojizo.

La escasa disponibilidad de agua, aunada al factor edáfico, limita el posible desarrollo de una formación boscosa similar a la que se encuentra en el sector occidental adyacente. Las asociaciones de bosques tipo valdiviano bosques de araucarias se ven sustituidos por coironales, que junto a otras plantas de carácter xerófito necesitan menos cantidad de agua, pudiendo adaptarse mejor a condiciones térmicas extremas.

(*) FUENZALIDA, HUMBERTO: *Geografía Económica de la CORFO*. Texto refundido, 1966.

La masa de aire que logra traspasar al sector argentino, no conduce humedad suficiente como para generar lluvias al encontrarse en obstáculos orográficos, es así como el sector de la Pampa de Loncoloan, donde las alturas promedio superan los 2.000 m., no produce precipitaciones como en el sector chileno, sino que por el contrario, las condiciones de aridez se acentúan.

3.3.- INTERPRETACION DE DRENAJE NATURAL

Con el fin de establecer la red de drenaje y sus características, a partir de las diferentes bandas espectrales y combinaciones de falso color, se analizaron las bandas separadamente, llegando a establecerse lo siguiente:

Las bandas 4 y 5, por encontrarse en la región visible del espectro, presentan características similares a las fotos pancromáticas convencionales.

Como las masas de agua son absorbentes de energía, en estas imágenes, los cauces y lagos se ven de color gris oscuro semejantes a la vegetación boscosa que también absorbe energía electromagnética visible para ser utilizada en fotosíntesis, adquiriendo, por lo tanto, un tono gris oscuro levemente más claro que el del agua. Estas características hacen que las bandas analizadas sean especialmente útiles en la depresión intermedia, donde el uso de la tierra no corresponde al arbustivo. Resaltan los cursos de agua debido a la vegetación arbustiva asociada a ella. No sucede lo mismo en la zona cordillerana, la cubierta boscosa cubre la mayor parte de la superficie, impidiendo delimitar con claridad los drenes que se ven confundidos con otros rasgos naturales.

En la banda 7, que registra información en el cercano infra-rojo, la vegetación arbórea se aprecia de tonos claros debido a la mayor reflexión, que es característica en esta región del espectro. Esta situación impide apreciar con claridad la vegetación asociada a los cursos de agua, dificultando la delimitación de las secciones de ríos y drenes mayores. En cambio el agua de los ríos y drenes principales es posible de establecer con relativa facilidad, pudiendo seguir así los cursos de agua. El agua en la región 0.8 - 1.1 micrones absorbe la energía incidente con extraordinaria intensidad.

En la cordillera es una ventaja ya que, prácticamente, queda eliminado el efecto de la vegetación, apareciendo el relieve y sus drenes en forma relevante.

La transparencia de falso color, compuesta por las bandas 7 en color rojo y 4 en color azul, presenta las mejores posibilidades pues complementa en una sola imagen la información entregada en el rango visible y en el cercano infra-rojo.

Basándose en lo observado, fue posible distinguir y trazar cinco tipos de drenaje que corresponden a :

- Drenaje paralelo entre los ríos Mulchén y Cautín.
- Drenaje subparalelo entre los ríos Quepe y Cautín.
- Drenaje radial en la cima de los volcanes.
- Drenaje dendrítico modificado en los alrededores del lago Caburgua y
- Drenaje dendrítico en el resto de la Cordillera de Los Andes.

Sería posible establecer sistemas de drenajes mixtos y aún afinar más la interpretación si se dispusiera de ampliaciones y se profundizara el análisis.

Las imágenes del satélite presentan ventajas sobre las convencionales, para la interpretación del drenaje, en los siguientes tópicos:

-Exactitud. La foto tiene muy poca distorsión, por lo que es posible trazar mapas de drenaje con gran exactitud a pesar de la pequeña escala (1:1.000.000).

-Rapidez. Como la imagen abarca una gran extensión, permite interpretar rápidamente ya que hace posible observar la continuidad de los drenajes.

-Visión regional. Permite una visión panorámica que hace posible separar y clasificar eficientemente los sistemas de drenaje.

-Facilidad de delimitación. Permite determinar los cursos de agua con facilidad al ser posible complementar la información por medio de los transparentes de falso color.

3.4.- INTERPRETACION DE SUELOS

La fotointerpretación de suelos, en su sentido más amplio, puede ser hecha desde diferentes puntos de vista; entre los que se puede señalar:

- a) análisis generalizado tendiente a ubicar tipos de suelos diferentes.
- b) análisis de características relacionadas con la génesis de los suelos.
- c) análisis de las condiciones de uso (actual y potencial) del suelo.
- d) determinación de características limitantes para los cultivos.
- e) análisis de condiciones particulares de suelos (drenaje, capacidad de uso, etc.).

Siendo este trabajo, una evaluación preliminar, se ha tratado de hacer una separación que indique, a grandes rasgos, suelos diferentes, con el convencimiento previo que un análisis en profundidad permitirá obtener una mayor cantidad de antecedentes.

La interpretación en suelos con fotografías convencionales (pancromáticas) presenta variados problemas (*), algunos de los cuales, se señalan a continuación:

- a) Poca representatividad, en la fotografía, de los rasgos internos del suelo (color, textura, estructura, profundidad, horizontes y su ordenamiento, etc.).
- b) Escalas. El individuo-suelo se presenta, en general, en unidades relativamente pequeñas, razón por la cual las escalas menores que 1:50.000 dan escasos resultados directos. Como norma general, se estima que escalas entre 1:10.000 y 1:30.000 son las más indicadas.
- c) Necesidad de conocimientos adicionales en otras disciplinas relacionadas con suelos (geomorfología, vegetación, clima, drenaje, uso de la tierra, etc.).
- d) Necesidad de algunos conocimientos sobre las características propias de la fotografía (tonalidad, alineamiento, textura, etc.) y, si es posible, experiencia en la comparación fotografía-terreno, a fin de poder establecer "patrones de interpretación".

De lo antes expuesto, ya es posible concluir que, en buena medida, el fotointérprete de suelos no examina el suelo directamente sino que infiere sus características apoyado en otros elementos del paisaje. Esto es aún más cierto en el análisis de fotografías a escalas pequeñas; por lo tanto, obvio en las fotografías espaciales (escala 1:1.000.000).

Finalmente, la evaluación de fotografías de satélites y utilización de fotos en distintas bandas del espectro electromagnético, uso de "falsos colores", fotos de contacto y transparentes, etc., ofrece la posibilidad de ensayar nuevas técnicas en la fotointerpretación de suelos y, tal vez inferir otros aspectos en morfología, génesis, clasificación o cartografía de suelos, que aquellos posibles en las escalas mayores. La condición panorámica de la foto espacial ayuda, por ejemplo, a discernir fenómenos geológicos y geomorfológicos vinculados estrechamente con el origen de los suelos.

(*) AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. *Manual of Photographic Interpretation*, 1960.

3.4.1.— Análisis de la fotografía ERTS.

Aunque se hicieron evaluaciones de las distintas copias disponibles, se trabajó principalmente en la foto de contacto correspondiente a la banda 5 del espectro (0.6--0.7 micrones) estimando que proporcionaba condiciones adecuadas a la interpretación. Además se utilizó la información ya obtenida de geología, clima y drenaje.

a) Método.— Se realizó un breve análisis de los elementos de separación, estimando que los principales eran los tonos de gris, los lineamientos, la textura y las combinaciones de ellos. La posible correspondencia fue:

- Tonos de gris : tipos de materiales y algunas características de depositación, vegetación nativa y/o exótica, o bien ausencia de ella.
- Lineamientos : principalmente tipos de drenajes naturales (entre ellos los principales fueron paralelos, subparalelos, dendríticos, radiales, anulares, mixtos); algunas características topográficas y ciertas formas geomorfológicas.
- Texturas : homogeneidad en la cubierta terrestre (áreas planas, cubierta vegetal densa, materiales homogéneos, ausencia total de vegetación), etc.
- Combinaciones : formas topográficas, áreas erosionadas o sin vegetación, mezclas de cultivos y bosques, tipos de materiales del sustrato, etc.

Separados los diferentes patterns, se observó que el elemento predominante en la mayoría de ellos era el color (tonos de gris) de tal manera que la Leyenda Estimativa de Suelos preparada, se basó preferentemente en esta característica. Los otros elementos ayudaron a definir y caracterizar cada una de las divisiones de la leyenda.

b) Leyenda Estimativa de Suelos.— Los tonos de blanco a negro se indican con un número por la dificultad de expresarlo en términos relativos. Cada división se acompaña de su respectiva interpretación.

Tono 1: Nubes, nieve.

Tono 2: Suelos de zonas altas, de desarrollo incipiente, muy delgados y/o erosionados, roca desnuda.

Tono 3: Suelos de valles intermontanos, recientes, de escaso desarrollo, materiales fluvio-volcánicos, áreas coluvionarias, vegetación natural, cultivos muy escasos.

Tono 4: Suelos de desarrollo moderado, texturas medias, aluviales, topografía moderada a casi plana, suelos de cultivo.

Tono 5: Suelos sin desarrollo a incipientes, laderas volcánicas, escorias volcánicas de texturas gruesas a moderadas, topografía ondulada a abrupta.

Tono 6: Suelos incipientes o sin desarrollo, erosionados, vegetación arbustiva y/o bosques, topografía ondulada, cultivos ocasionales o extensivos.

Tono 7: Suelos de montaña, sin desarrollo, vegetación de bosques, erosionados, topografía abrupta.

Tono 8: Aguas(lagos, cursos de aguas visibles a esta escala).

Es necesario recalcar que esta clave, se refiere **exclusivamente** a esta fotografía, puesto que el "pattern" puede variar en otros tipos de fotos, ya que las diferencias de técnicas fotográficas puede cambiar las relaciones entre los tonos.

a) **Discusión de la Leyenda Estimativa.**— Es necesario destacar que las posibilidades de este tipo de sensor remoto, para la interpretación de suelos, son amplias, pero que no han sido aún, suficientemente exploradas. Ha habido escasez de materiales e información bibliográfica referida a la técnica misma del sensor y a estudios anteriores relacionados con la ciencia del suelo, que permitiera preparar un sistema de interpretación más acabado.

En cuanto a la leyenda estimativa elaborada, presenta un factor dominante de separación cual es el tono gris, sin embargo, influyeron en ella, el resto de los elementos de separación para poder fijar una caracterización algo más definida.

Se está conciente, sin embargo, que la clave es muy general pues en ella se presentan distintas posibilidades; así por ejemplo la vegetación (bosque nativo, plantación u otro) puede presentar varios matices de gris, de la misma forma, ciertos rasgos de topografía vinculados al drenaje pueden también ocurrir en diferentes tonos de gris. Es difícil, en general, asociar un color determinado con tipos de suelos específicos. Es por lo tanto el conjunto de elementos con un predominio del tono el que ha permitido establecer la clave.

Por otra parte, la leyenda muestra la **inferencia** hecha con el apoyo de otros factores, así por ejemplo el desarrollo de los suelos no es visible, sin embargo, los suelos en una ladera o en un piedmont, el material volcánico grosero (escorias) con sus características propias o por la posición fisiográfica en el paisaje impiden que el suelo pueda desarrollarse en condiciones normales. Diferente es el caso de los suelos de la Depresión Central donde la fisiografía es más estable y los factores formadores del suelo actúan de manera más permanente, pudiendo así suponer que hay una acción de materiales, organismos, u otros fenómenos bio-físicos que están produciendo una cierta diferenciación de horizontes y un perfil pedológico normal.

Finalmente, se estima que es posible elaborar una leyenda más precisa, si se realiza un análisis más exhaustivo de otros parámetros asociados al suelo.

3.4.2.— Conclusiones

1.— El análisis de la fotografía espacial puede ser muy eficaz para la interpretación de suelos, siempre y cuando se cuente con información previa de disciplinas complementarias (geomorfología, vegetación, antecedentes climáticos, etc.).

2.— Aunque, hasta el momento, la experiencia está basada en la fotografía pancromática convencional, la evaluación de multibandas en distintas zonas del espectro puede hacer resaltar algunas características determinadas según la banda que se use. En este sentido la interpretación de suelos, sería la consecuencia del análisis de diferentes tipos de fotos.

3.— La escala 1:1.000.000 no es adecuada para la interpretación de suelos, aunque su condición panorámica puede hacer resaltar fenómenos naturales ligados a la génesis de los suelos.

4.— Los elementos fotográficos más adecuados, en la banda 5 (0.6 a 0.7 micrones), para separar patterns diferentes de suelos resultaron ser la textura y densidad de la foto, los lineamientos y especialmente los distintos tonos de gris.

5.— La interpretación de suelos debe ser posterior y contar con los antecedentes previos de disciplinas conexas.

3.5.— INTERPRETACION DE CUBIERTA VEGETAL

La prospección de los recursos forestales, requiere de elementos cartográficos básicos que permitan delimitar las áreas boscosas y ubicar espacialmente, los distintos tipos o asociaciones de especies. De esta forma se construye la base para estudios más detallados, cuyo propósito final sea lograr un aprovechamiento máximo de la producción sectorial.

En los últimos 10 ó 12 años, los elementos cartográficos básicos usados para la prospección de los recursos forestales en nuestro país, han sido fotografías aéreas verticales de diferentes escalas, mosaicos fotográficos y cartas topográficas.

Hoy día, se presenta al país, la oportunidad de analizar la utilidad de un nuevo elemento cartográfico en esta materia, cual es la fotografía escala 1:1.000.000 proporcionada por el programa ERTS de NASA.

Para evaluar su utilidad, se interpretaron varias imágenes en distintas bandas espectrales y composiciones de falso color, correspondiente al área de Precordillera y Cordillera de Los Andes de Malleco y Cautín, comparándolas con la carta de tipos forestales del Instituto Forestal. (*)

En general, se pudo constatar que la escala de la imagen limita fuertemente su utilización en esta materia, ya que solo permite la delimitación de las áreas cubiertas con bosques y de los terrenos con matorrales o renovales con escaso desarrollo de copa.

En relación a la diferenciación de especies permiten establecer con cierta precisión los terrenos con plantaciones artificiales de pino insigne, lo que se ve facilitado por la forma geométrica de ellas. Para probar más adecuadamente la utilidad de estos márgenes en el reconocimiento de plantaciones (de especies y edades diferentes) se debería analizar aquellas en que estas formaciones sean predominantes.

De las imágenes analizadas se concluyó que la de mayor utilidad era la fotografía blanco y negro, de la banda 5 en la que se distinguen las siguientes unidades:

- B: Bosque : Tono gris oscuro de textura lisa.
- M: Matorral : Tono gris más o menos claro dependiendo de la densidad y desarrollo de la vegetación.
- p: Pino insigne: Tono prácticamente negro de textura lisa.

Los grises muy claros y lisos corresponden a terrenos en que predominan los pastos y prácticamente no hay vegetación de carácter arborescente.

Por otra parte, también se ha detectado la utilidad de la imagen para visualizar la renovación de vegetación arborescente de terrenos donde ella ha sido arrasada o destruida por efectos de explotaciones intensas o quemas indiscriminadas, por comparación con estudios anteriores. En este sentido y para este análisis, se puede observar como buen ejemplo que en la fotografía existe un área de consideración entre los ríos Renaico y Bío-Bío que presentan una cubierta arborescente importante donde el Instituto Forestal no había reconocido la presencia de bosques o renovales, lo que estaría indicando, al menos, que la naturaleza ha estado obrando por restablecer el equilibrio natural necesario para la recuperación y conservación de los recursos de flora, fauna, suelos y aguas. Indudablemente que esta apreciación supone que estos terrenos tienen condiciones topográficas, edáficas y climáticas tales que requieren de la existencia de una cubierta arbórea que preste las funciones de conservación mencionadas, y que a la vez se puede transformar posteriormente en proveedora de productos forestales.

(*) INSTITUTO FORESTAL. *Mapa preliminar de Tipos Forestales. Provincia de Ñuble a Valdivia, 1964.*

3.6.— INTERPRETACION DE USO ACTUAL DE LA TIERRA

Utilizando las imágenes espaciales, se intentó la identificación de algunos patrones de uso de la tierra, los que, de acuerdo a la escala de trabajo, necesariamente tuvieron que ser muy generalizados.

El análisis de las cuatro bandas espectrales más la revisión de varias combinaciones de falso color construídas con transparentes coloreados superpuestos, determinó que la combinación de banda 5, en color azul, con banda 7 en rojo, resultaba la mejor para los fines perseguidos.

Además de la información entregada por el transparente de falso color, que comprende tonos, textura y densidad, se tuvo presente variables adicionales para interpretar la fotografía.

La época del año en que se consiguió la imagen, 4 de Marzo de 1973, indica por los ciclos vegetativos, que los cultivos anuales tales como cereales, ya han sido cosechados o se están cosechando, quedando sólo pequeñas superficies sin hacerlo. Se infiere que debe existir una predominancia de los rastrojos, que estarán reflejando de manera similar a los potreros no cosechados, solo que en tono más oscuro. Como la mayor parte de los cultivos de las Provincias de Malleco y Cautín son de secano y predomina en la primera el cultivo de cereales, es bastante aproximado señalar los patrones de uso.

Además, con los antecedentes de reflexión de la vegetación en la banda del cercano infra-rojo, es posible deducir algunos otros datos que ayudan a la identificación de patrones de uso.

Los pastos secos, potreros cosechados, rastrojos y potreros aún no cosechados, reflejan en esta banda muy poca energía debido a la pérdida de agua de las células del mesófilo de las hojas (*). En la medida que las células pierden turgencia, la reflexión de cercano infra-rojo disminuye. Los suelos ocupados con empastadas, que desarrollan un elevado índice de área foliar, reflejan con gran intensidad la energía electromagnética, haciendo aparecer tonos verde claro en la composición de falso color.

Por otro lado, los bosques reflejan fuerte en el cercano infra-rojo siendo de un tono verde más oscuro los bosques artificiales (ver transparente de prospección forestal).

(*) MYERS, VICTOR. *Soil, water and plant relations*. IN: National Academy of Sciences. *Remote Sensing with Special Reference to Agriculture and Forestry*. Washington D.C., 1970.

Sobre la base de todos los antecedentes comentados, sumado a los elementos tradicionales de fotointerpretación, se logró determinar siete unidades de uso actual de la tierra, que corresponden a los siguientes:

–Unidad N° 1: Empastadas–Cultivos Anuales. En esta unidad cartográfica predominan las empastadas. Los cultivos anuales, a esta fecha, se encuentran cosechados o secos, por lo que la reflexión es baja y toman un color rojizo en la composición de falso color. La línea de contacto de esta unidad es bastante clara, permitiendo delimitarla fácilmente.

–Unidad N° 2: Cultivos Anuales y Bosques. En esta unidad se nota un fuerte predominio de los cultivos anuales, probablemente cereales, la reflexión es muy pobre en el cercano infra-rojo, lo que hace pensar en suelos cosechados o rastrojos. La unidad se observa, matizada con una gran superficie de bosques aislados tanto artificiales (pino) como nativos.

–Unidad N° 3: Cultivos Anuales–Empastadas. En esta unidad se aprecia una distribución uniforme de las empastadas y los cultivos anuales, pero en la medida que se sube hacia el volcán Llaima, predominan los pastos para luego llegar al límite de los bosques.

–Unidad N° 4: Empastadas. Se observa una fuerte reflexión en esta unidad, indicando probablemente, la presencia de vegetación de elevada densidad (cubierta vegetal) que cubre el suelo completamente. Presenta un tono muy parejo de verde claro, muy distinto al de la zona boscosa. Predomina hacia el Sur, en los bordes del lago Villarrica, donde existe una gran masa ganadera.

–Unidad N° 5: Pastizales de Cordillera. En esta unidad se incluyen los pastizales secos de la Cordillera que correspondería a vegetación estacional del género *Stipa*.

El clima de estas zonas, al igual que en el interior de los valles cordilleranos permite el desarrollo de estas especies (coironales) que durante el verano, por falta de humedad, se secan completamente. Es un pattern muy característico. En esta unidad hay una reflexión del suelo, pues la densidad de los pastizales no es tan alta como para cubrirlo totalmente.

–Unidad N° 6: Uso Forestal. La cubierta boscosa es posible de observar perfectamente definida, ocupando de preferencia los sectores más altos. Facilitando la demarcación de límites de vegetación forestal.

–Unidad N° 7: Suelos probablemente desnudos o con escasa cubierta vegetacional Xerófila.

Es indudable que de haber contado con un sitio de control terrestre, donde efectuar un levantamiento de Uso de la Tierra habría sido más fácil y detallada la interpretación en esa materia, siendo posible extrapolar lo levantado en terreno hacia otras áreas barridas por el Scanner.

Es imprescindible conocer en detalle el comportamiento frente a la energía de los cultivos del área en las diferentes bandas del espectro, especialmente más allá de los 0.7 micrones, con el fin de facilitar la identificación de respuestas espectrales específicas.

Resumiendo, la fotografía de ERTS, permite distinguir grandes grupos vegetacionales, lo importante está en determinar la época precisa para la adquisición de las imágenes. Esto debe coincidir con la mayor diferenciación de las especies en cuanto a sus ciclos vegetativos y cambios en la pigmentación de manera tal que permita separarlos fácilmente por las diferentes respuestas espectrales.

4.- CONCLUSIONES GENERALES

Después de un primer análisis se ha llegado a las siguientes conclusiones generales:

1.- Uno de los elementos de ventaja de las imágenes Scanner multibanda se refiere a la posibilidad de obtener combinaciones de colores, formando los falsos colores que permiten complementar la información aislada en cada banda. Se produce una adición de la información que trae positivos beneficios.

2.- Es evidente la necesidad de ampliar los conocimientos sobre manipulación y metodologías de trabajo con las imágenes multibanda espaciales, de manera que posibilite a los investigadores nacionales, extraer de ellas toda la información posible. Es entonces, imprescindible adquirir tecnología y ciencia, especialmente, en el campo de la reflexión espectral de los cuerpos naturales (rocas, vegetales, animales). La determinación de respuestas espectrales específicas de los objetos es la principal variable a considerar en la interpretación, especialmente en las bandas que van más allá de 0.7 micrones.

3.- Se concluye la necesidad de establecer sitios de Prueba o Sitios Control donde se mapee lo existente en forma paralela a la adquisición de las imágenes con el fin de calibrar el sistema para hacer posible las extrapolaciones a lugares desconocidos.

4.- Se ha considerado de gran importancia la escala de las imágenes entregadas por el satélite.

Por un lado permite una visión panorámica de la corteza terrestre lo que es una gran ayuda para los investigadores pensando que, además de brindar información a numerosas disciplinas, es una excelente base cartográfica debido a su baja distorsión. Para las instituciones que trabajan a nivel regional, serían de gran utilidad.

Por otro lado, lo pequeño de la escala trae como consecuencia que la adquisición e inferencia de información desde las imágenes sea pobre comparado con el nivel actual de trabajo de la mayoría de las instituciones que laboran en recursos naturales. El país prácticamente ha superado la etapa exploratoria, exceptuando algunas regiones de los extremos Norte y Sur, por lo que la utilidad evaluada en este primer y elemental análisis, pareciera estar restringida a aquellas zonas desconocidas o difíciles de fotografiar, como Aysén y Magallanes.

De todas maneras, este punto tiene directa relación con el punto 3 que se refiere a la adquisición de tecnología y experiencia en la materia.

5.— Se ha considerado la periodicidad del satélite, hecho de suma importancia en la evaluación del Uso de la Tierra en el sentido de permitir observar las variaciones estacionales o anuales experimentadas.

6.— Los resultados obtenidos en el presente trabajo indiscutiblemente están fuertemente influenciados por el conocimiento de la zona que tienen los profesionales encargados de evaluar las imágenes. Aunque se trató de hacer abstracción de ello, es indudable que pudo haber pesado bastante en los resultados de las interpretaciones.

Interesante sería poder trabajar con imágenes de una zona totalmente desconocida o con escasa información disponible, experiencia que pudiera ser lo más cercano a una evaluación realmente objetiva de esta nueva técnica.

7.— Derivado de la escala de las imágenes, resulta notorio las ventajas que para algunas disciplinas representan las fotografías de satélite. Los aspectos de geología, agroclimatología, geomorfología y drenaje a nivel regional pueden ser estudiados con relativa facilidad.

8.— Para los fines de estudios integrados de los recursos naturales las imágenes satélite, presentan utilidad, aún al estado actual de conocimiento sobre técnicas de percepción remota existentes en el país. La base cartográfica sumada a la visión regional son unas excelentes herramientas de análisis previo, permitiendo seleccionar las áreas que requieren estudios a niveles de detalle superior.

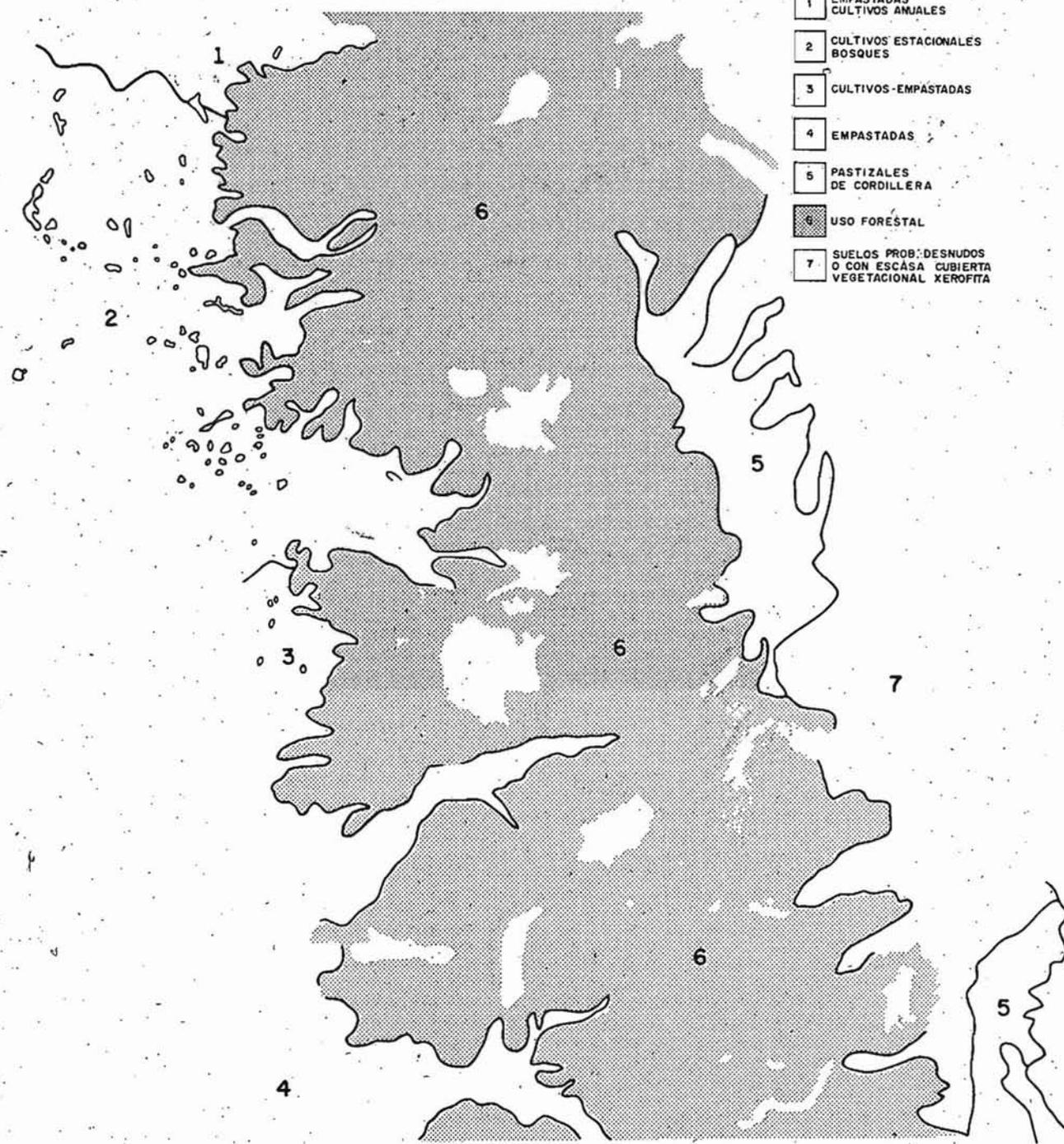
Al contar con escalas mayores, no cabe duda que serían extraordinarios medios de evaluación y prospección de los recursos naturales del país, asegurando una exactitud, economía y rapidez difíciles de igualar por los sistemas convencionales.

Un programa destinado a sistematizar el uso de este sensor podría redundar en caracterizaciones más precisas en el campo de los Recursos Naturales: a modo de ejemplo, se cita la posibilidad de establecer Paisajes Naturales, apoyándose en la condición panorámica de las imágenes que permite abstraerse de los detalles que poseen las escalas grandes.



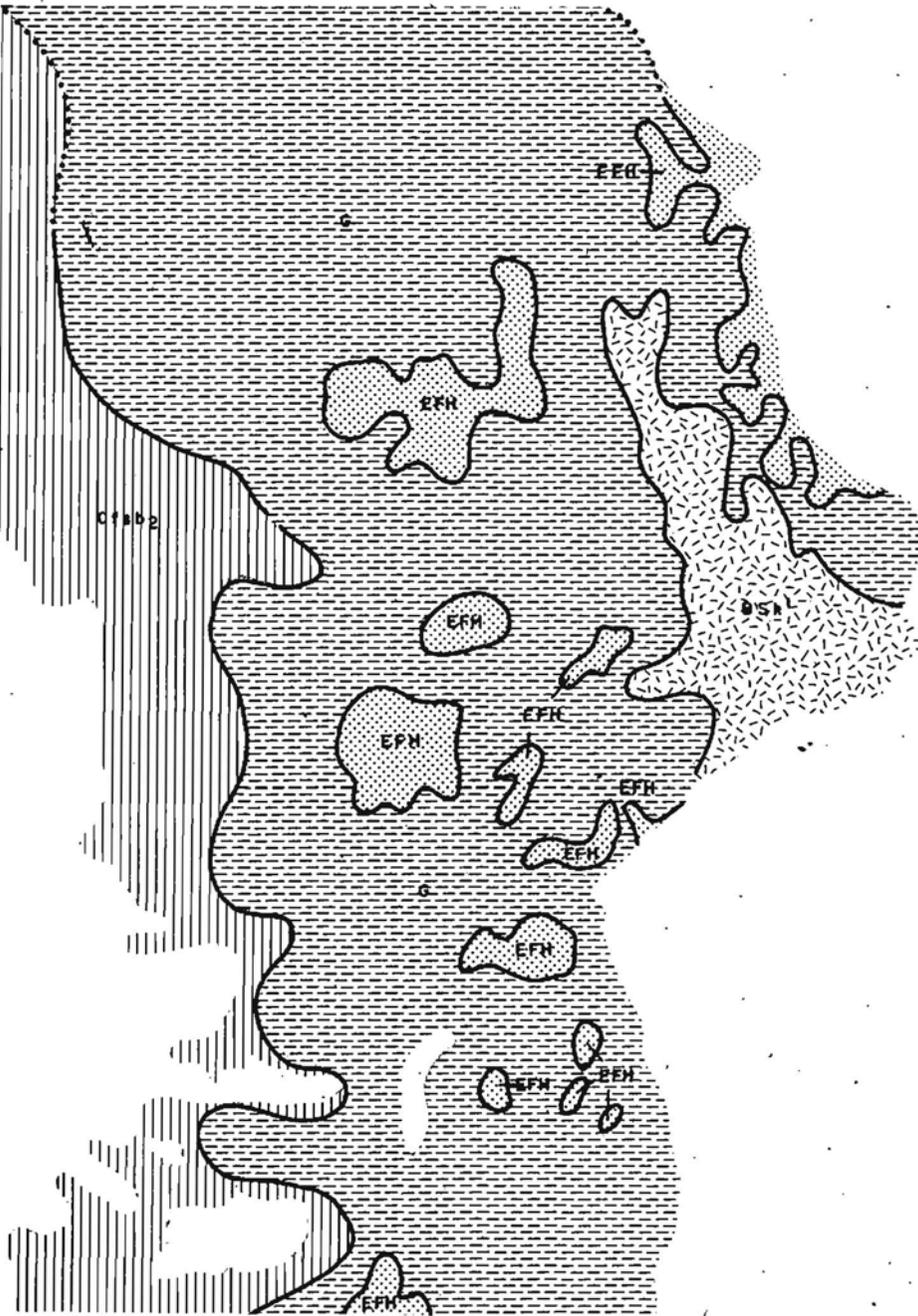
USO ACTUAL

- 1 EMPASTADAS
CULTIVOS ANUALES
- 2 CULTIVOS ESTACIONALES
BOSQUES
- 3 CULTIVOS-EMPASTADAS
- 4 EMPASTADAS
- 5 PASTIZALES
DE CORDILLERA
- 6 USO FORESTAL
- 7 SUELOS PROB. DESNUDOS
O CON ESCASA CUBIERTA
VEGETACIONAL XEROFITA

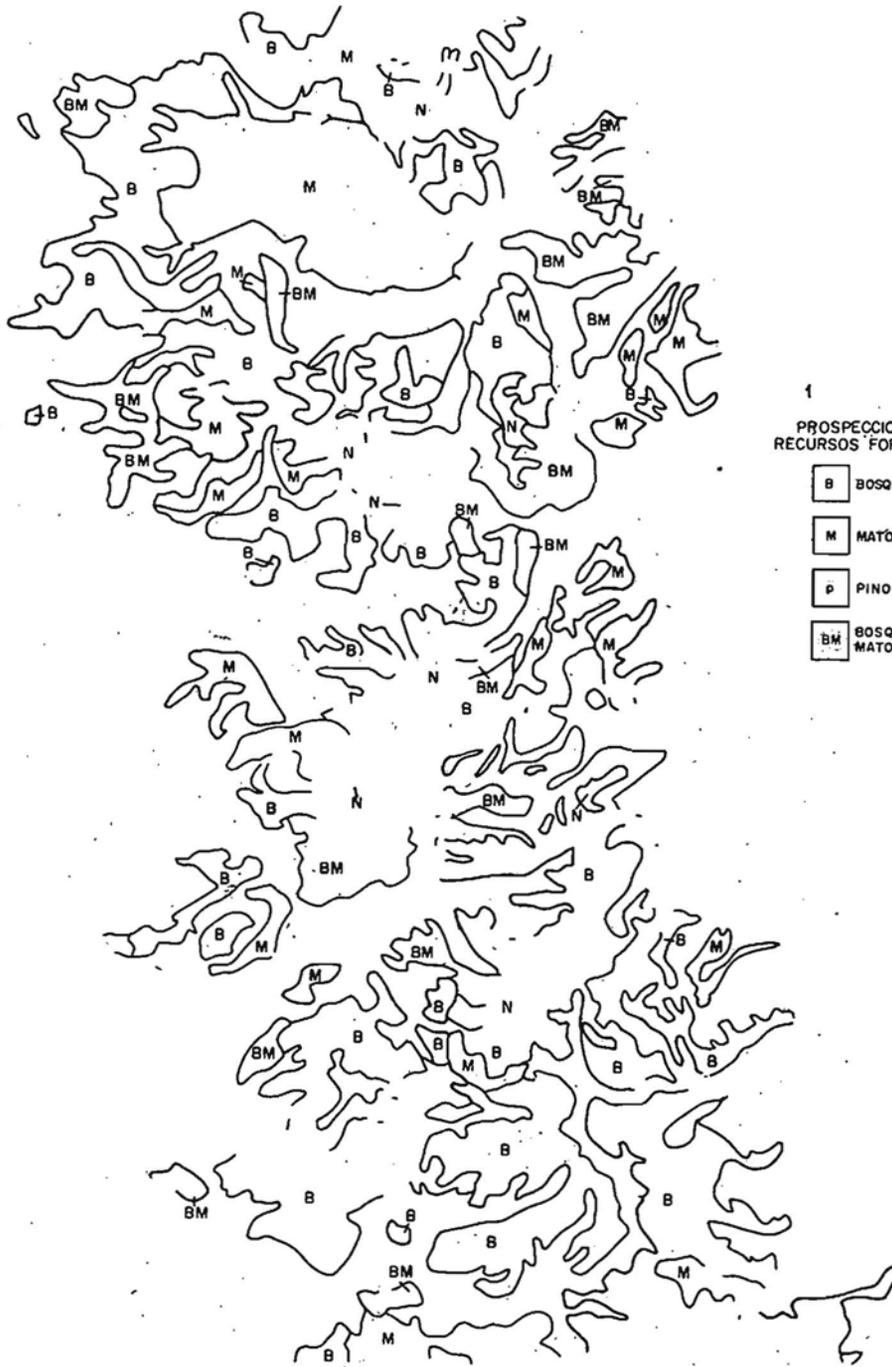


BANDA 5 AZUL
BANDA 7 ROJO

-  CLIMA DE COSTA OCCIDENTAL
CON INFL. MEDITERRANEA
-  CLIMA DE ESTEPA FRIO
-  CIMA DE HIELO POR
EFECTO DE LA ALTURA
-  CLIMA DE MONTAÑA



BANDA 5 AZUL
BANDA 7 ROJO



1
PROSPECCION DE
RECURSOS FORESTALES

- B BOSQUE
- M MATORRAL
- P PINO
- BM BOSQUE Y
MATORRAL



LEYENDA ESTIMATIVA DE SUELOS

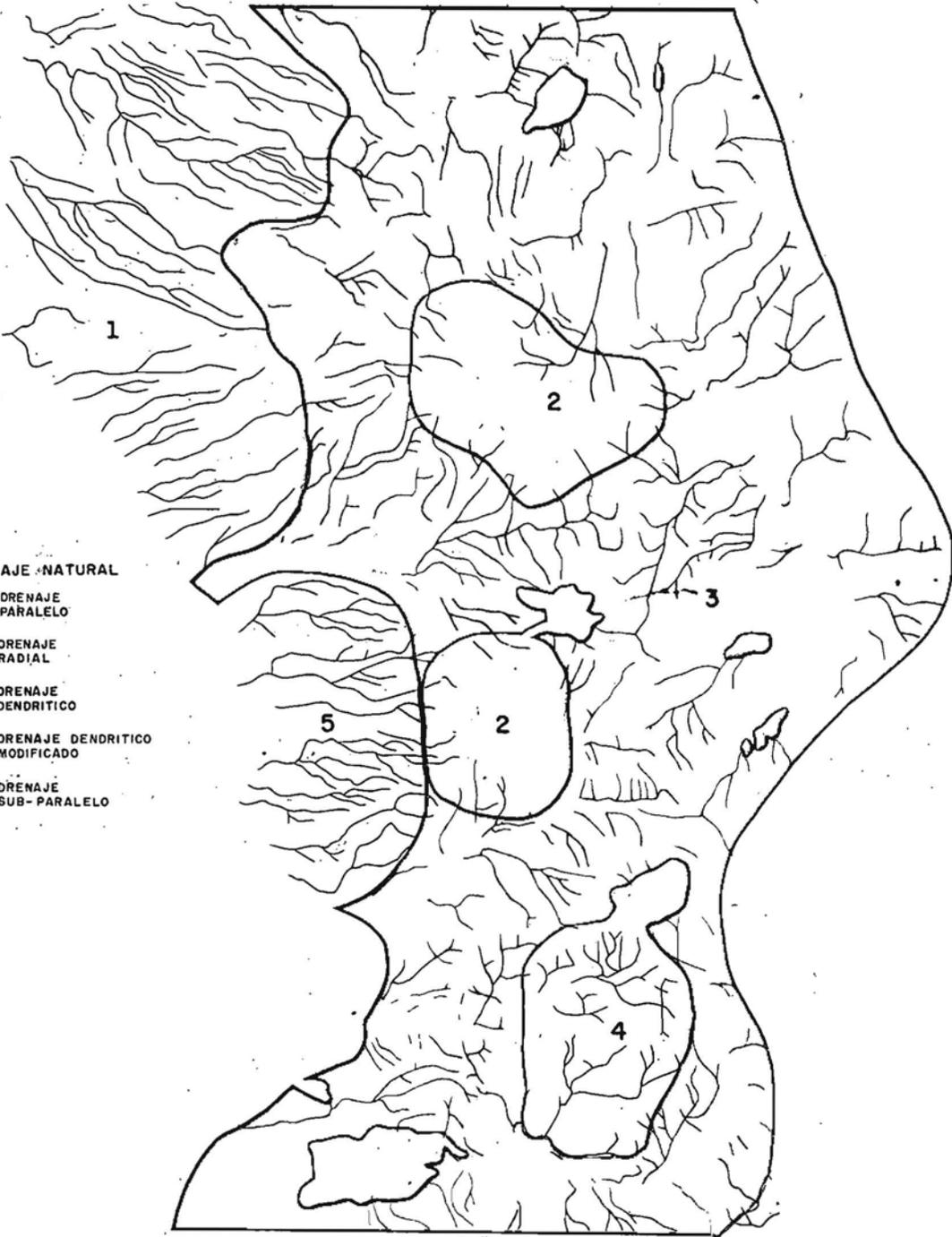
- 1 HIELOS, NIEVES
- 2 LITÓSOLOS Y REGOSÓLOS DE ZONAS ALTAS, ROCAS. EROSIÓN FUERTE.
- 3 ~~DESCARROLO A MODERADO. TEXT. MODER. A GRUESA. ONDULADOS A QUEBRADOS. ARBUSTOS Y/O BOSQUES. CULTIVOS EXTENSIVOS.~~
- 4 DESARROLLO MODERADO. TEXT. MEDIA. ALUVIALES. TOPOGRAFIA MODER. A PLANA. CULTIVADOS.

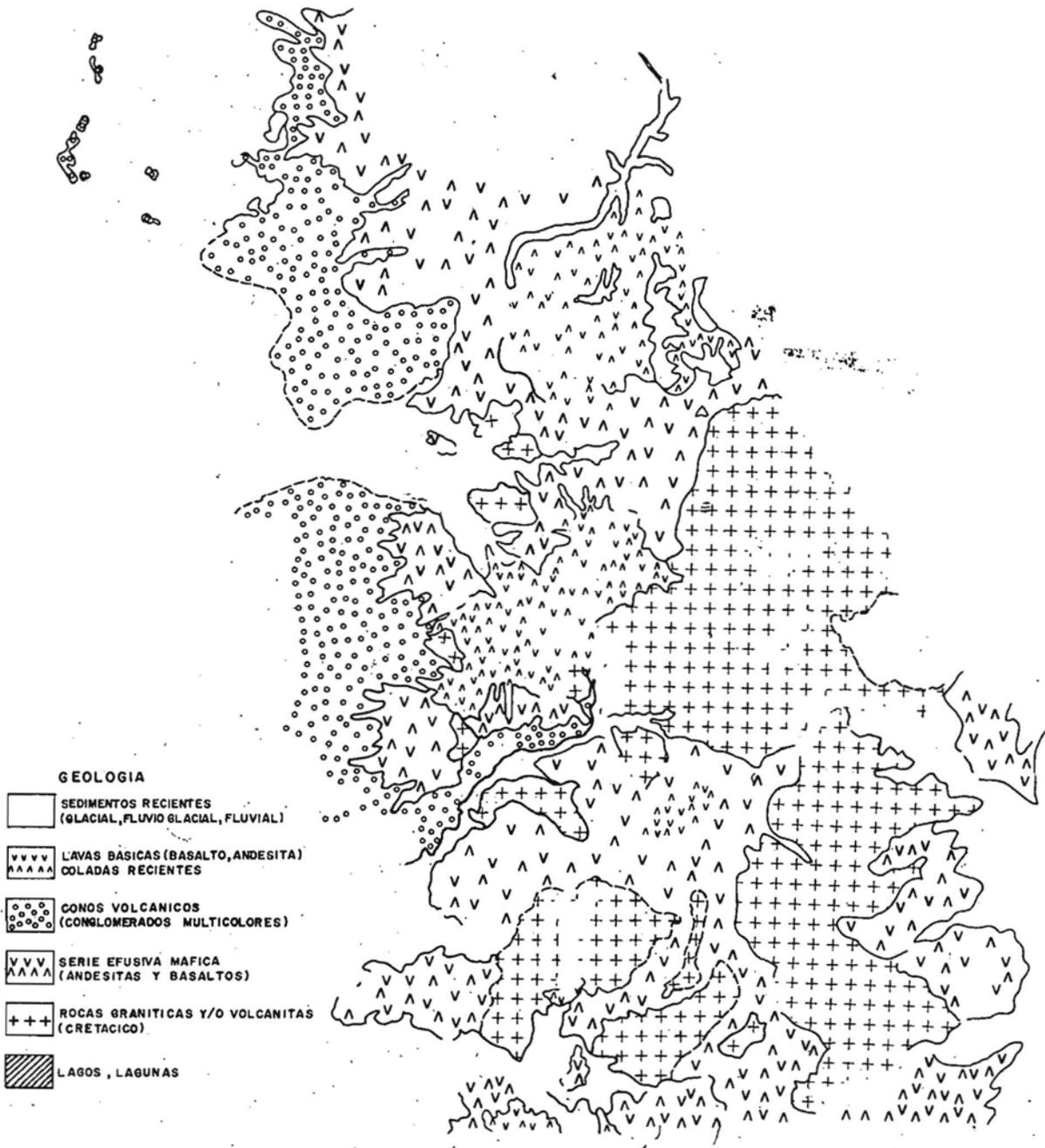
- 5 SIN DESARROLLO A INCIPIENTE. LADERAS VOLCANICAS. TEXT. MODER. A GRUESA. ONDULADOS A QUEBRADOS.
- 6 SIN DESARROLLO A INCIPIENTE. EROSIONADOS. ONDULADOS. ARBUSTOS Y/O BOSQUES. CULTIVOS EXTENSIVOS.
- 7 DE MONTAÑA. SIN DESARROLLO. EROSIONADOS. TOPOGRAFIA ABRUPTA. BOSQUES.
- 8 AGUAS (LAGOS, CURSOS, ETC.)

BANDA 8

DRENAJE NATURAL

- 1 DRENAJE PARALELO
- 2 DRENAJE RADIAL
- DRENAJE DENDRITICO
- 4 DRENAJE DENDRITICO MODIFICADO
- 5 DRENAJE SUB-PARALELO





BANDA 5 AZUL
BANDA 7 ROJO