

Investigación geocientífica chilena con imágenes de satélites

(Análisis geográfico de una imagen
Landsat-3 de la Región del Bío Bío)

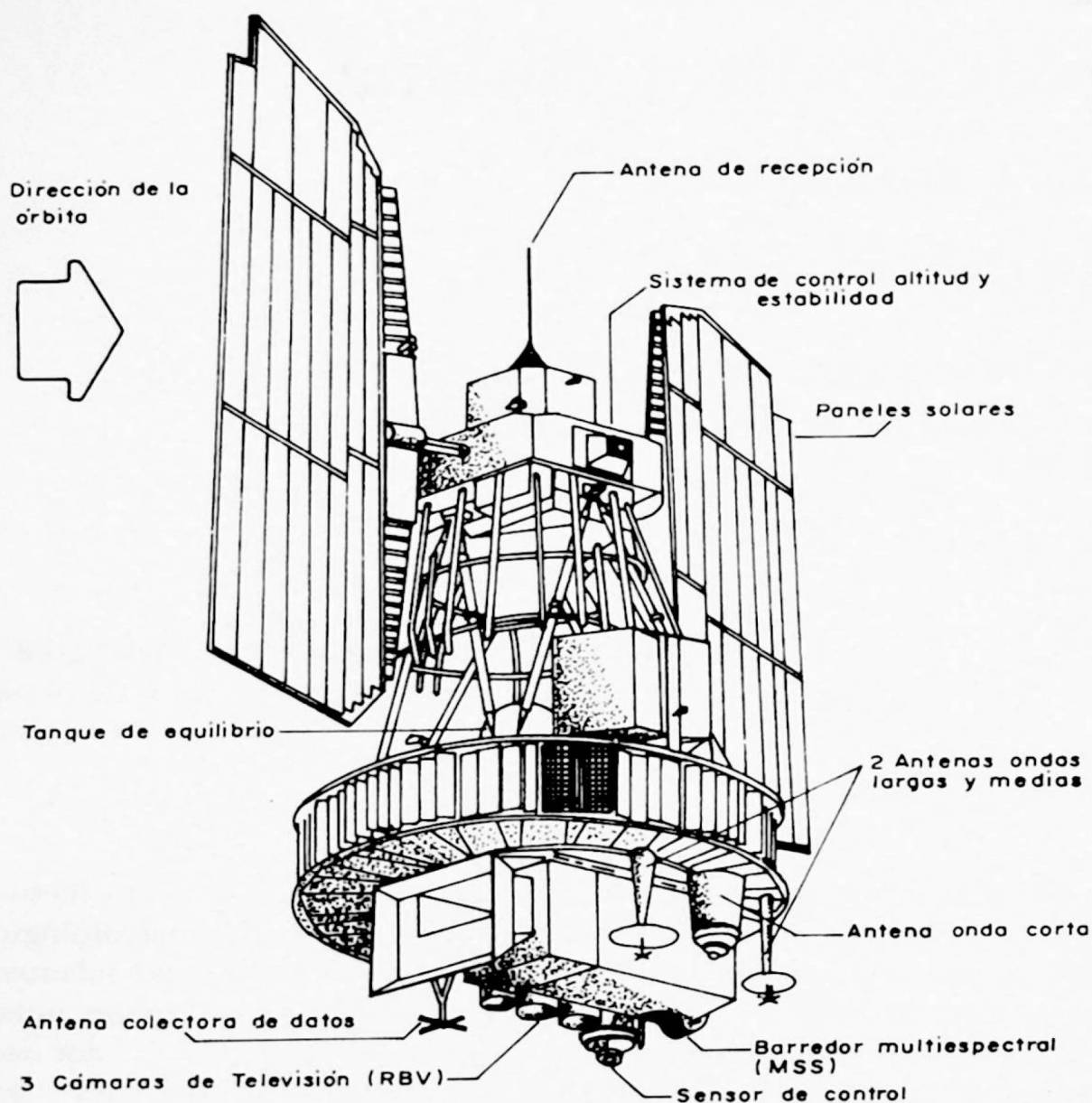
WILFRIED ENDLICHER T.
(Departamento de Geociencias.
Universidad de Concepción)

La era de la investigación geocientífica con satélites empezó el primero de abril de 1960, con el lanzamiento de TIROS 1, un satélite meteorológico. Poco tiempo después los primeros hombres en el espacio no solamente vieron toda la belleza de nuestra tierra, sino que descubrieron nuevas relaciones entre los recursos naturales de nuestro "planeta azul". Así nació una nueva disciplina, la percepción remota con cápsulas espaciales y satélites.

1. *LOS SATELITES DE LA SERIE LANDSAT*

El primer satélite destinado totalmente a la investigación geocientífica fue LANDSAT-1, lanzado bajo el nombre ERTS (Earth Resources Technology Satellite) el 23 de julio de 1972. Los resultados espectaculares obtenidos con

el nuevo sistema principal instalado al borde para captar los datos, el barredor multiespectral, fueron la razón de poner en órbita otros dos satélites casi del mismo tipo, LANDSAT-2 y LANDSAT-3, que fueron lanzados el 22 de enero de 1975 y el 5 de marzo de 1978, respectivamente. Ahora disponemos ya de un decenio de experiencia con estos sistemas remotos.



(Fig. 1) Satélite de la serie LANDSAT (según NASA, 1976).

En 1982, LANDSAT-3 estaba todavía operando, captando imágenes de un mismo lugar cada 18 días, siempre a las 9.30 horas y, por supuesto, también de Chile. Trabajando a una altura de 900 kilómetros es en este momento el satélite más importante para el país (Fig. 1). El barredor

multiespectral se compone de 4 detectores que se diferencian por el rango de longitud de onda a la cual son sensibles.

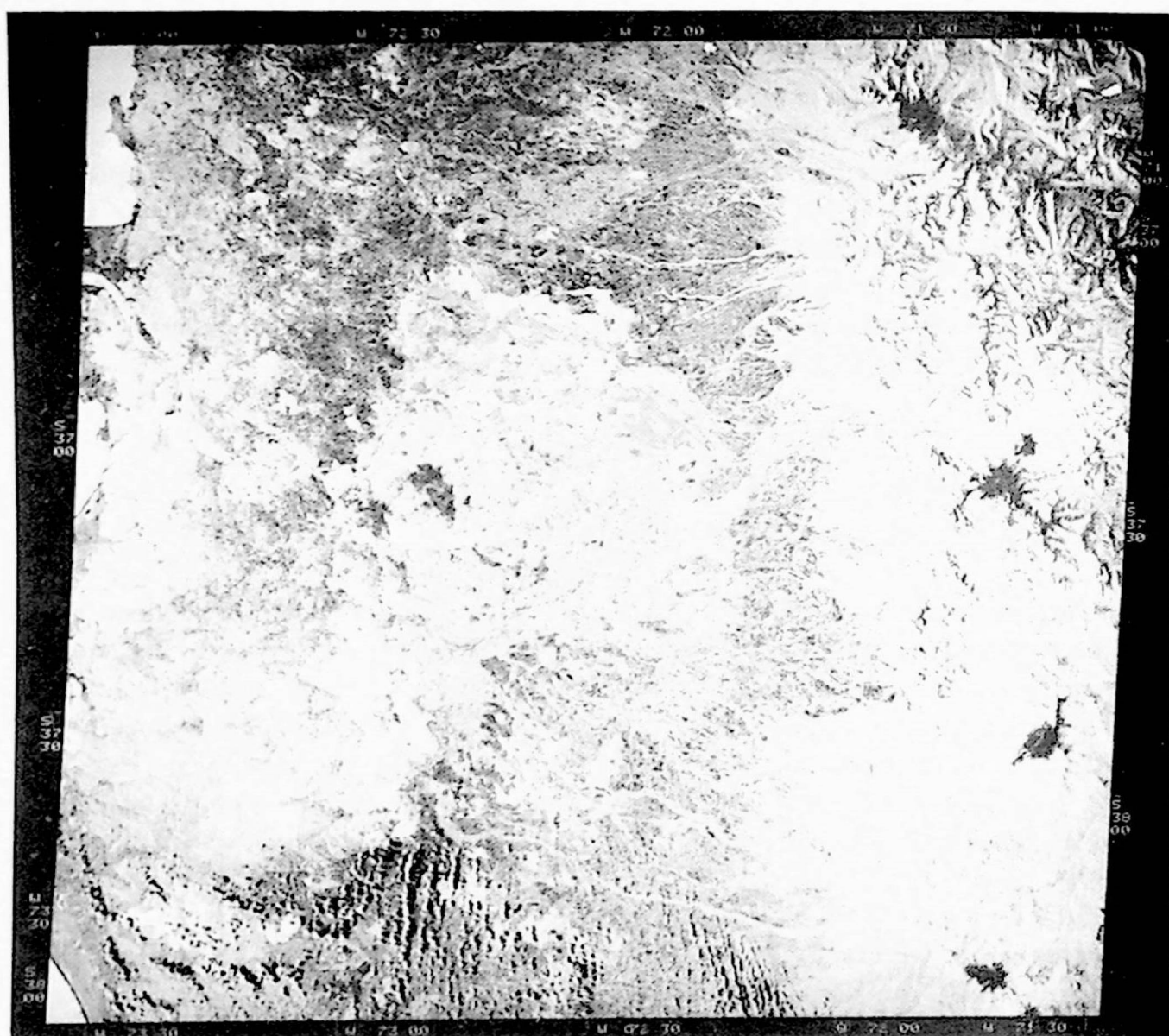
Una imagen LANDSAT se compone de 4 subimágenes de los 4 canales mencionados. La imagen cubre una superficie de $185 \times 185 \text{ km}^2$ y está compuesta de 2340 líneas. Cada línea se divide en 3240 elementos de imagen (pixels). Los pixels, componentes más pequeños de las imágenes, tienen una resolución de $56 \times 79 \text{ m}^2$. La información de las 4 bandas está digitalizada al borde del satélite y transmitida a una estación receptora visible para el satélite. La estación en Cuiabá (Brasil) recibe los datos del territorio chileno ubicado al norte de Temuco; la estación de Mar Chiquita (Argentina), de todo Chile. La información recibida se guarda en cintas magnéticas. Para confeccionar finalmente una imagen compuesta en falso color, se necesita la superposición de tres subimágenes.

2. CLASIFICACION GEOGRAFICA DE LA REGION DEL BIO BIO EN UNA IMAGEN LANDSAT

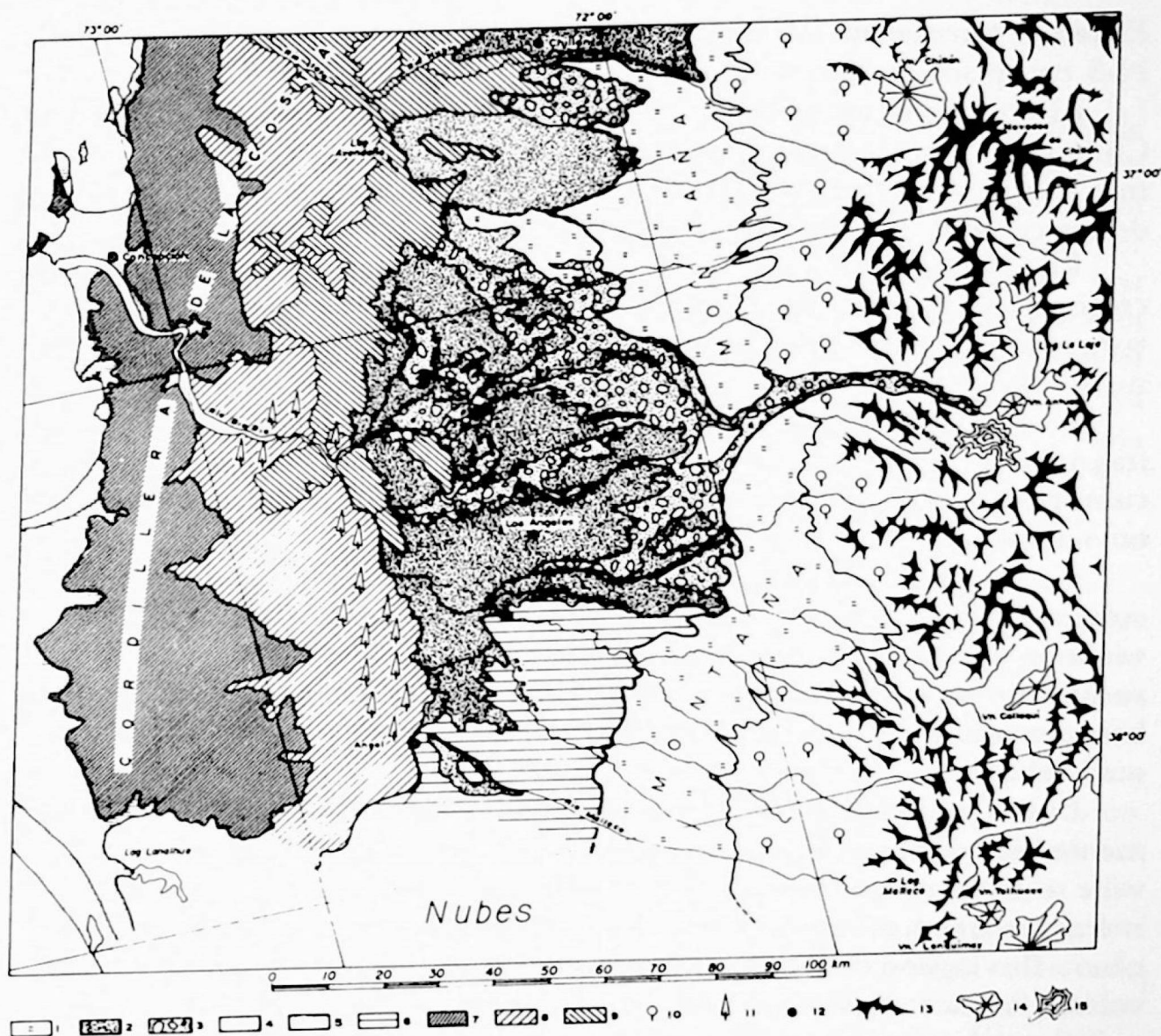
Las imágenes de los satélites LANDSAT permiten, con el sistema del barredor multiespectral, nuevas posibilidades de clasificación e interpretación geocientíficas. Los cuatro canales en el visible e infrarrojo reflejado del espectro electromagnético, contienen mucha más información que las fotografías aéreas en blanco y negro. Un ejemplo de este tipo es la imagen LANDSAT WRS 250-86 del 13 de enero de 1981. Esta imagen muestra una parte del centro-sur de Chile entre los paralelos $36^{\circ}30'$ y $38^{\circ}00'$ S y los meridianos $71^{\circ}30'$ y $73^{\circ}00'$ W. La imagen fue procesada por el Instituto de Pesquisas Espaciales (INPE), en Brasil. Podemos decir que en general el color rojo representa la vegetación sana, los campos de regadíos y bosques. El color café nos indica los campos de rulo y los matorrales secos, y el color gris, la roca desnuda, pero además las ciudades. La nieve, las nubes y a veces también las arenas claras tienen colores blancos. Finalmente, el agua profunda refleja la luz muy poco, por lo tanto está negra; sin embargo, en el caso de que estuviera cargada con sedimentos o poco profunda se ve azul claro.

La imagen se puede dividir en tres partes con una extensión más o menos igual:

- La Cordillera de los Andes
- La Depresión Central
- La Cordillera de la Costa.



(Fig. 2) Imagen LANDSAT del día 13 de enero de 1981; N° WRS 250-86; composita de color (bandas 4, 5, 7); altura del vuelo: cerca 912 km; resolución: 79 m; Región del Bío Bío-Chile. (Fuente: INPE, Brasil).



(Fig. 3) Interpretación análoga de la imagen LANDSAT presentada. 1) Montaña: campo de secano y pasto extensivo sobre depósitos glaciales y glacio-fluviales. 2) Campo de regadío sobre sedimentos laháricos y fluviales. 3) Pedregales de abanicos laháricos y piroclásticos con arenas negras, parcialmente forestados. 4) Terrazas litorales con dunas costeras. 5) Plataforma terciaria. 6) Terrazas glacio-fluviales del sur del río Bío Bío. 7) Cordillera de la Costa: Margen occidental boscoso. 8) Cordillera de la Costa: Interior con campos de secano y matorrales. 9) Cordillera de la Costa: Franja oriental fuertemente erosionada. 10) Bosque frondoso subandino y andino. 11) Plantaciones de *Pinus Radiata* D-Don. 12) Capital de provincia. 13) Cadenas de la Cordillera Andina. 14) Volcán joven con campo de nieve. 15) Campo de nieve.

2.1. *La Cordillera de los Andes*

El tercio oriental de la imagen muestra cadenas montañosas en dirección N-S con pisos marcados.

El *Piso Nival* se encuentra en los volcanes jóvenes, como el Nevado de Chillán y el Antuco que sobrepasan el límite climático de nieve (cerca 2.800 m.s.n.m.); sin embargo, se aprecian ostensibles surcos oscuros en el blanco de los campos de nieve que señalan el deshielo del verano.

En el *Piso de las Rocas Desnudas*, las rocas son fracturadas por el frecuente crecimiento de cristales de hielo. Este tipo de piso se presenta de color turquesa, especialmente bien desarrollado en el Nevado de Chillán. Disminuye más al sur porque la elevación de la cordillera es menor.

El *Piso de las Praderas Andinas* se presenta de color ocre entre los fragmentos desnudos y las líneas del bosque. Al sur este piso forma las cumbres de las cadenas andinas, donde la nieve queda hasta fines de noviembre.

Finalmente, se distingue el *Piso del Bosque Andino y Subandino* por su color rojo claro de los otros pisos. Se trata de un bosque esclerófilo siempre verde en el piso subandino y de un bosque higrófito caducifolio en el piso andino. Investigaciones en el terreno han revelado, sin embargo, que estos bosques están degradados y representan solamente un renoval sin valor maderable.

La cadena exterior está cortada por varios valles transversales; especialmente bien desarrollado se encuentra el valle del río Laja. En el fondo de este valle se distingue una mezcla de colores verde y rojo oscuro. Son rocas ígneas extrusivas que fueron transportadas por el río Laja y mezcladas por el proceso glacio-fluviogénico. Estos sedimentos se encuentran también al este del volcán Antuco. Las manchas y líneas de color rojo oscuro en el fondo sedimentado y aterrazado del río Laja resultan de la reflexión de los bosques forestados con pino insigne.

Cabe destacar que las pequeñas manchas negras son lagunas, como la del río Laja, retenidas por las lavas del Antuco. También existen círculos glaciares que forman numerosos lagos de pequeño tamaño, excavados por la acción glaciaria en las partes superiores de los valles.

2.2. *Depresión Central*

La Depresión Central está dominada por 3 unidades paisajísticas:

- La ancha banda de la montaña a lo largo de las cadenas de la Cordillera de los Andes.

- Los sedimentos del lahar del río Laja.
- Las terrazas intermedias.

2.2.1. *La Montaña*

La montaña está situada al lado de la Cordillera de los Andes como banda de 15-20 Kms de ancho, de color ocre claro y cortada de líneas rojas en dirección este-oeste. Así se representan las colinas y montañas que alcanzan una altura de 300 a 600 m.s.n.m., y que son formadas en gran parte por sedimentos pleistogénicos inconsistentes. La montaña está cortada por valles profundos con bosques esclerófilos, siempre verdes, viéndose rojos en la imagen. Cabe hacer notar que la topografía en la montaña no permite el riego y, por tanto, el campo de rulo se compone de pastizales secos; ya están secos en enero. No obstante, las manchas rojas muestran todavía una parte importante del bosque.

2.2.2. *Cono del Río Laja*

La Depresión Central está dominada por el cono del río Laja. Predominan los colores rojo claro, rojo oscuro y verde oscuro. Se trata de una planicie poco inclinada, empezando por la salida del valle del Laja en la cordillera. Son brechas y conglomerados volcánicos, pero no son inconsistentes como en la montaña; más bien están cementados por matrices de cenizas volcánicas. Fue explicado como el gran lahar del Laja, formado con una explosión del volcán Antuco. Un abanico lahárico-piroclástico parecido se ubica al sur de Chillán.

El río Laja escurre sobre estas placas de lava hasta el salto espectacular donde corta las brechas. Este plano inclinado es muy apto para el cultivo de riego; en estas partes, se encuentra el trumao, capa de cenizas volcánicas fluvio-génicas. Recientemente, se forestaron grandes superficies con *Pinus Radiata* D-Don, como muestran las manchas rojo oscuro entre el verde oscuro de los pedregales.

2.2.3. *Terrazas y Llanuras*

Al norte y al sur del Cono del Laja se encuentran otras unidades parceladas, entre la Cordillera de la Costa y de la Montaña. Al sur estas terrazas se han analizado por WEISCHET (1970) como terrazas pleistocenas; al norte estas planicies piemontes son más antiguas y datan de la edad miocena.

Cabe destacar que todas estas llanuras permiten la construcción de canales de riego y son más secas al oeste que al este. Así pueden interpretarse la disminución del rojo claro y el aumento del verde claro más al oeste.

2.3. *La Cordillera de la Costa*

El tercio occidental de la imagen está ocupado por la Cordillera de la Costa.

El límite oriental, ubicado frente al campo de riego de la Depresión Central, se ubica a lo largo de las líneas hidrográficas que recogen las aguas de la Depresión Central antes de atravesar la Cordillera de la Costa. Del sur al norte son parcialmente los ríos: Vergara, Bío Bío, Claro, Itata y Ñuble.

Dentro de la Cordillera de la Costa se distinguen, según el color y la textura, tres unidades.

2.3.1. *La Orla Oriental Fuertemente Erosionada*

Esta zona oriental se caracteriza por sus colores verde-blancos donde falta prácticamente el rojo del bosque. Los granitos del batolito paleozoico sólo tienen una cobertura de matorral xerófito abierto y espinal. Pero sobre todo, la tremenda erosión del suelo ha formado innumerables cárcavas desnudas. La reflexión del granito meteorizado claro, "el maicillo" sin suelo, se distingue ostensiblemente porque la vegetación falta o ya está seca en enero.

2.3.2. *La Cordillera de la Costa Central*

Al oeste se junta en la zona de la línea divisoria de aguas, una unidad con un porcentaje más elevado de bosque. En esta zona que no está tanto a la sombra de la lluvia como la orla oriental y que, por lo tanto, recibe más precipitaciones, la vegetación crece mejor y la formación de cárcavas es menor. Es el campo de rulo con cultivo de trigo y pasto seco. La impresión de descuartizamiento refleja la mezcla de parcelas de trigo, pasto, viña, bosque esclerófilo y mesófito, ubicado especialmente en los valles profundos. Al sur se nota la situación de roce en la Cordillera de Nahuelbuta y, sobre todo, las plantaciones de *Pinus Radiata* D-Don. Llamam notablemente la atención las forestaciones en los sedimentos triásicos cerca de Santa Juana.

2.3.3. *La Cordillera de la Costa Occidental Boscosa.*

La parte occidental de la Cordillera de la Costa, especialmente la Cordillera de Nahuelbuta, posee una cobertura de bosque como lo demuestra el color rojo, ininterrumpido producto de una gran forestación. La erosión del suelo bajo esta cobertura vegetal es menos importante. La ladera barlovento de la Cordillera de la Costa recibe más precipitaciones y la humedad del aire es más grande, propia de un acentuado clima marítimo, permitiendo también

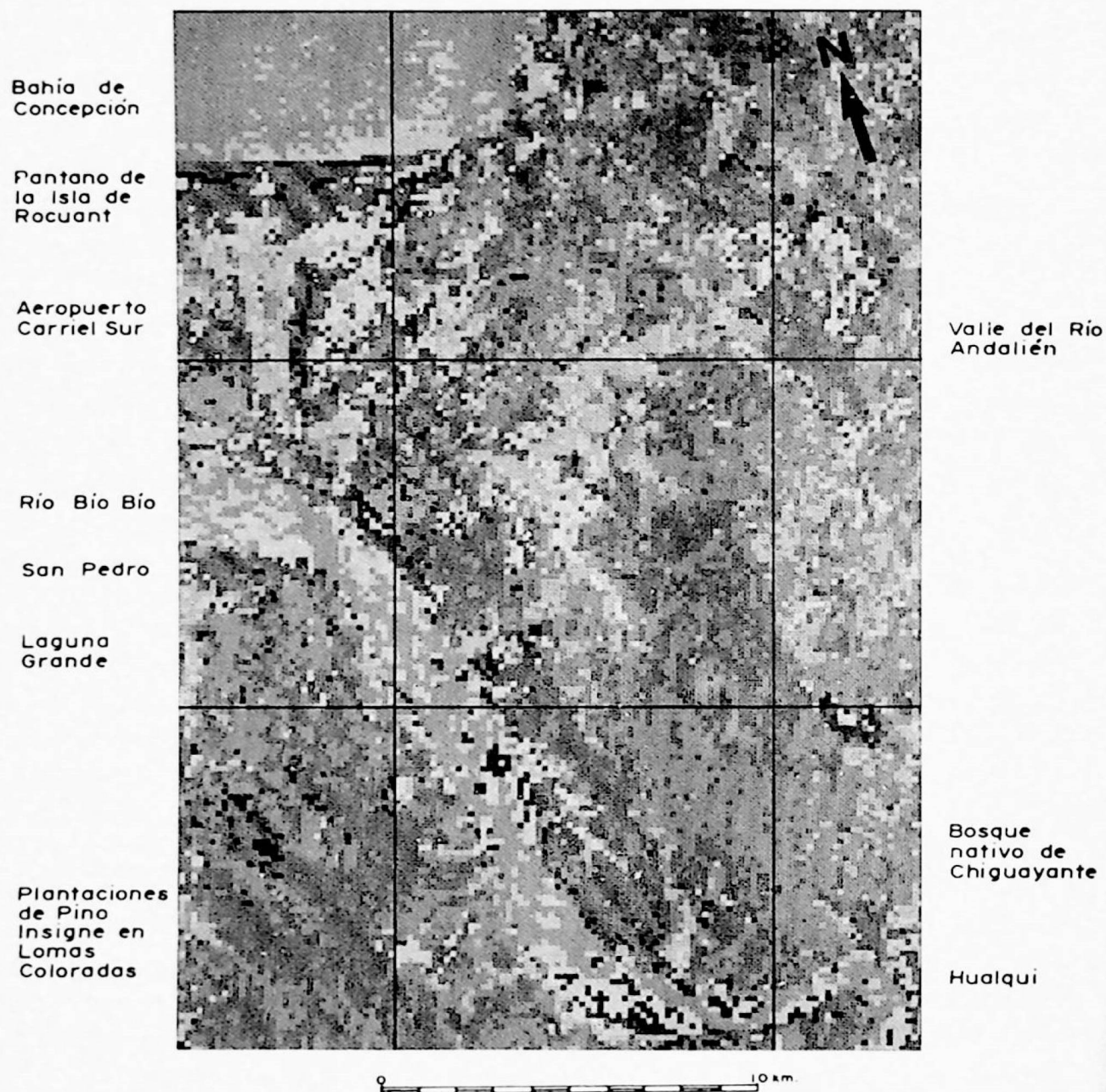
en verano el crecimiento de la capa protectora de vegetación. Las terrazas ubicadas al oeste de la Cordillera de la Costa se distinguen de la última por su color rojo y claro, prueba de la existencia de zonas bajas y húmedas pantanosas de la plataforma costera.

3. INTERPRETACION DIGITAL DE IMAGENES

Interpretaciones análogas enriquecen bastante la investigación geocientífica como muestra el ejemplo presentado. Ya son de uso corriente en muchos países. Además, el hecho de que la información satelitaria llega en forma digital a la tierra, permite una evaluación directa con computadora. Programas específicamente elaborados facilitan no solamente la amplificación, rectificación y el mejoramiento de las imágenes, sino también ofrecen la aplicación de métodos cuantitativos modernos. Eso permite, por ejemplo, *distinguir bosque nativo esclerófilo de plantaciones de pino insigne, campos de rulo de campos de riego, agua limpia de agua contaminada y cuantificar las superficies hasta el tamaño hectáreo. Desde ahora, toda la cartografía temática puede llegar a nuevos niveles de exactitud y actualidad, especialmente en todos los sectores agroforestales.* En hidrología pueden evaluarse las superficies cubiertas de nieve para el pronóstico de riego. A los oceanógrafos sería posible la determinación de temperatura superficial del agua para distinguir las corrientes marinas. Se podrían mejorar considerablemente también los mapas geológicos y estructurales. Sin embargo, los mejores resultados se obtienen siempre cuando existe un eficaz control de terreno. La Fig. 4 presenta una clasificación digital preliminar del área metropolitana de Concepción a partir de la imagen del satélite LANDSAT del día 13 de enero de 1981. Los resultados elaborados, sin ningún apoyo de terreno, pueden todavía ser mejorados considerablemente. Pero ya se muestra claramente la importancia de tales clasificaciones en los sectores agroforestal y urbano. Con este fin se instaló en 1983 en la Universidad de Concepción un laboratorio para la interpretación digital de imágenes de satélites.

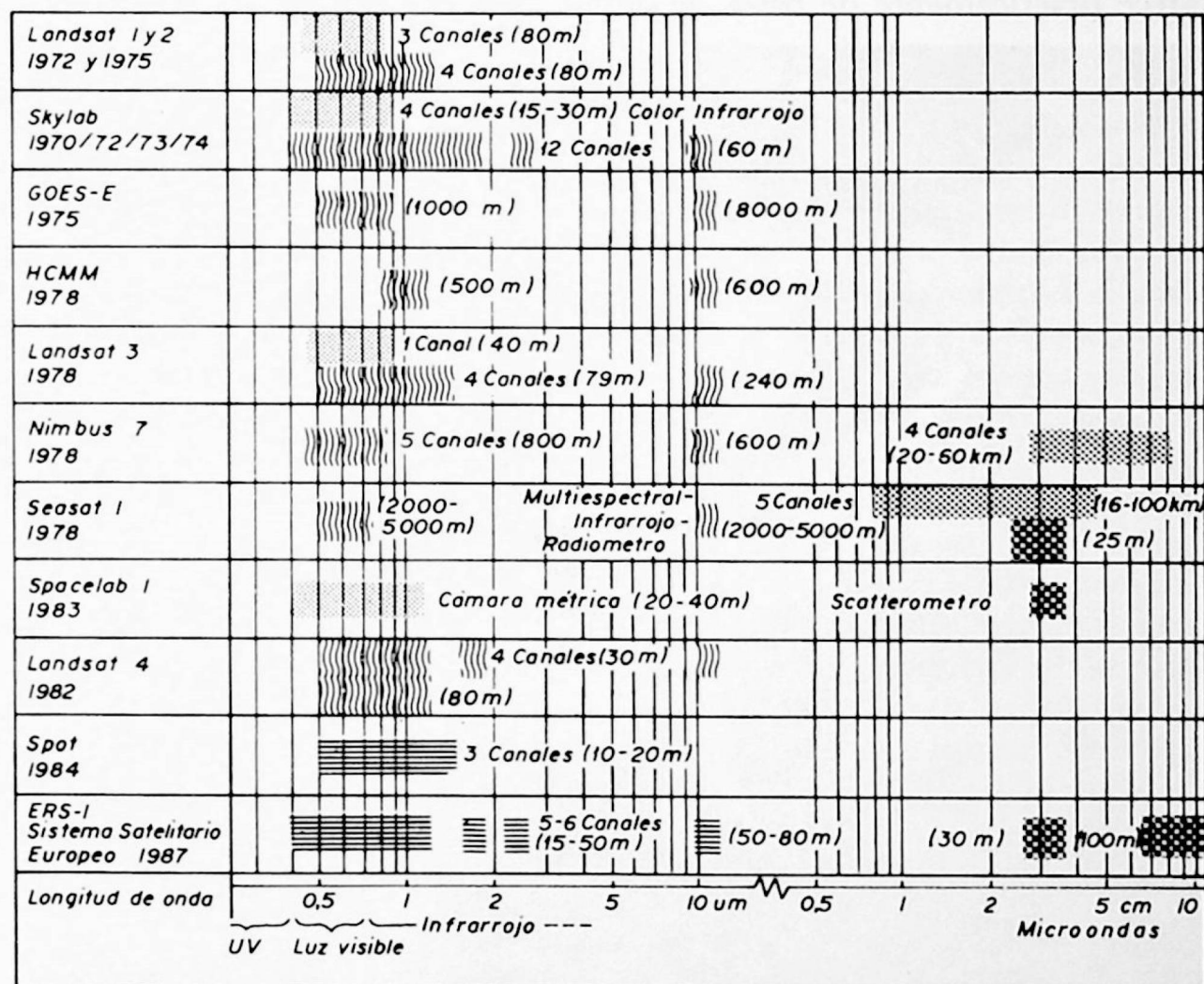
4. DESARROLLO ACTUAL Y FUTURO DE LA PERCEPCION REMOTA

Los tres satélites de la serie LANDSAT no son los únicos que captan informaciones sobre el territorio chileno. El 16 de julio de 1982 se lanzó el LANDSAT-4 que lleva a bordo, aparte del barredor multiespectral convencional, un nuevo sensor, el mapeador temático (TM). Este trabaja en 7 canales,



(Fig. 4). Clasificación digital no controlada de la zona de Concepción (azul oscuro = agua profunda; azul claro = agua con sedimentos; verde claro = bosque frondoso; verde oscuro = bosque de coníferas; naranja = pantano costero; blanco = praderas).

incluida una banda termal para la captación de la temperatura superficial. Los 6 canales en el visible e infrarrojo reflejado tienen una resolución de solamente 30 m., el canal termal de 120 m. La evaluación de los datos TM será un asunto principal en la primera mitad de los años ochenta (Fig. 5).

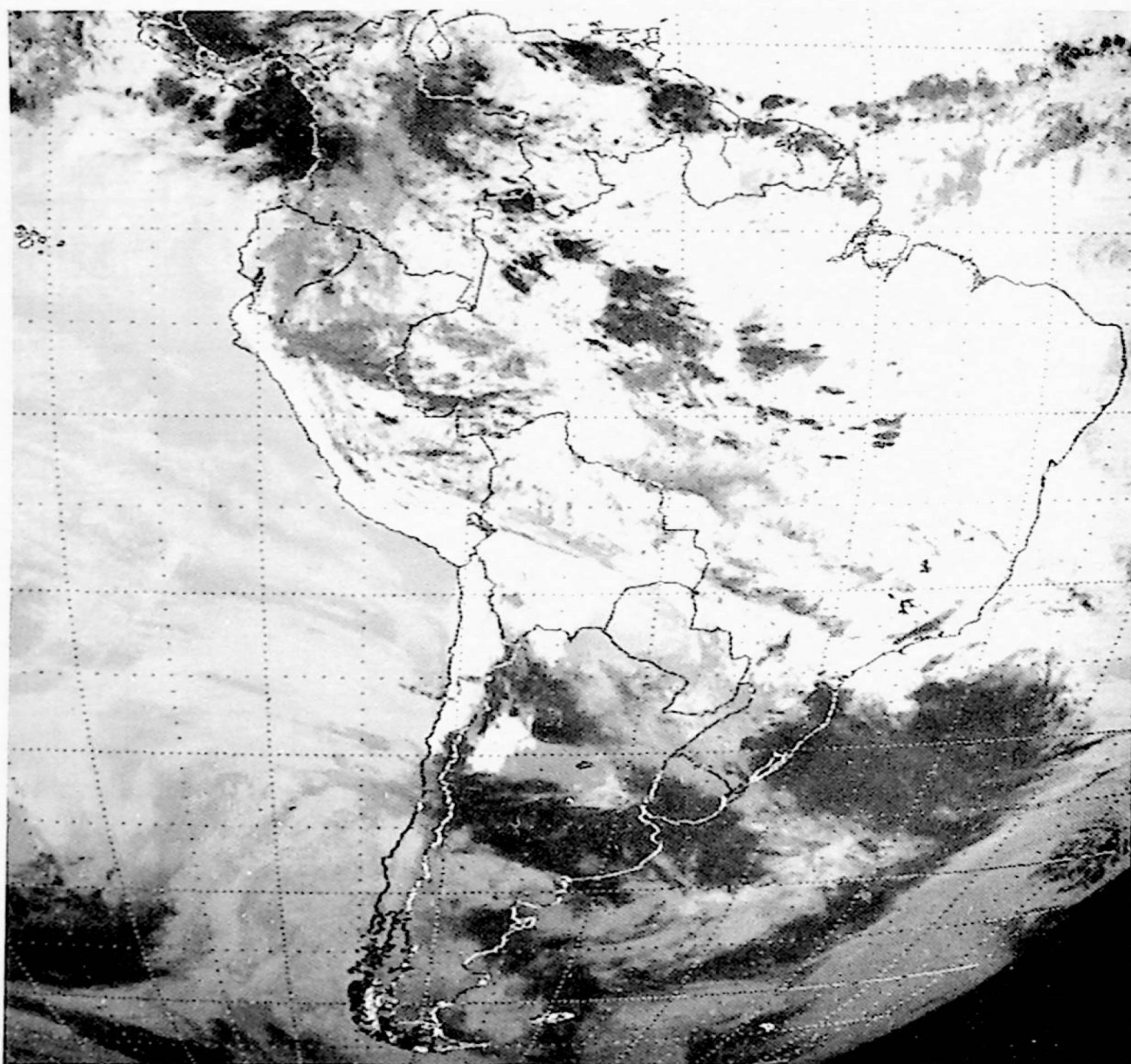


(Fig. 5) Satélites actualmente en órbita y desarrollo futuro de los lanzamientos (adaptado y completado de DIERKE, 1981).

4.1. *Los Satélites Meteorológicos*

El satélite meteorológico que es del más alto valor para Chile es el GOES-E, estacionario sobre el Ecuador, de una altura de 36.000 Km. Este satélite capta una imagen del disco terrestre en el visible e infrarrojo termal cada 30 minutos.

El análisis rápido de estas imágenes mejora bastante el pronóstico meteorológico. Este hecho es especialmente importante para Chile, donde los sistemas frontales que afectan sus costas se desarrollan sobre un mar que carece prácticamente de bases de observación meteorológica (Fig. 6). La



(Fig. 6) Imagen termal de Sudamérica desde el satélite meteorológico GOES-E del día 27 de junio de 1982, 18.01 GMT, día del temporal de Santiago; Altura: 36.000 Km; resolución: 5 Km.

imagen de América del Sur del día 27 de junio de 1982, desde 36.000 Km., muestra no solamente los cinturones de nubosidad que indican la ubicación de la "zona de convergencia intertropical" al norte del continente y la "zona de los vientos del oeste" al sur entre Chile Austral, Argentina y la costa sur de Brasil. Un análisis más en detalle permite destacar que el Norte Grande como también la zona de Concepción están despejadas, pero la zona metropolitana queda bajo la influencia de un ciclón extratropical (ENDLICHER, 1983).

4.2. *Imágenes de Radar*

Para resolver el problema que presentan las nubes se ha desarrollado una nueva técnica para captar información en la noche y a través de una capa de nubes. Este sistema, el "Synthetic Aperture Radar (SAR)", es activo, lo que significa que emite microondas y recibe el reflejo de ellas. El primer satélite con un sistema RADAR fue lanzado en 1978 y funcionó durante tres meses. La información de las imágenes RADAR es en gran parte el resultado de la escabrosidad de la superficie terrestre. *La Fig. 7 muestra la primera imagen RADAR de una parte de Chile tomada desde el transbordador espacial "Columbia" el día 12 de noviembre de 1981.* La imagen del "Shuttle Imaging Radar A Experiment (SIR-A)" desde una altura de 161 Km. tiene una resolución de 40 m., está en una escala de 1:500.000 y fue captada con una longitud de onda de 25 cm. El perfeccionamiento de la técnica Radar continúa y será también muy útil especialmente en la investigación de Chile Austral con su alta nubosidad y en la Antártida durante la noche polar. Especialmente interesante es la confección de imágenes compuestas, es decir, la superposición digital de imágenes termales (HCMM), imágenes multiespectrales (LANDSAT) e imágenes de Radar (SAR).

4.3. *Los satélites futuros*

En 1983, el Transbordador espacial de la NASA puso en órbita el Laboratorio espacial europeo que contiene también varios experimentos de la percepción remota. Al borde del satélite francés SPOT que se lanzará este año, trabajará un nuevo barredor estereoscópico para la confección de imágenes que podrían interpretarse en 3 dimensiones. Finalmente, existirán en un decenio más sistemas satelitarios operacionales que entregarán los datos preelaborados 48 horas después de su recepción. Todas estas misiones y proyectos muestran el gran futuro que tiene la percepción remota en la investigación y el manejo de los recursos naturales de nuestra tierra.



(Fig. 7) Imagen de Radar del Norte Grande desde el transbordador espacial "Columbia" del día 12 de noviembre de 1981; altura del vuelo: 262 Km; resolución: 40 m. La imagen presenta en un corte suroeste-noreste la Caleta de Pisagua al lado izquierdo, la zona de las quebradas (Quebrada de Camiña abajo, Quebrada de Chiza arriba) en el centro, el cerro Guachiscota (4285 m), un antiguo volcán erosionado y el embalse de Caritaya en la Quebrada de Camarones al lado derecho.

5. LITERATURA

1. AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. (Ed.): *Manual of Remote Sensing*. Falls Church, Virginia, 1975.
2. ARAYA F., MAURICIO: *Uso de técnicas de Percepción Remota en proyectos de Ingeniería Civil y Geología*. 4ª Convención Académica de Ingeniería Civil en Minas, 26-30 de octubre de 1981. Departamento de Minas, Universidad de Chile. Vol. II, 39 p.
3. DIERCKE WELTRAUMBILD-ATLAS. Braunschweig 1981, 176 p.
4. ELACHI, C. et. al.: *Shuttle Imaging Radar Experiment*. Science 218 (1982), pp. 996-1003.
5. ENDLICHER, W.: *Zur Witterungsklimatologie der Winterregen-Subtropen Chiles*. Erdkunde (Bonn) 37 (1983), en prensa.
6. ESCUDERO, C.: *La Percepción Remota y su Aplicación a la Evaluación y Prospección de los Recursos Naturales*. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ingeniería Forestal, charlas y conferencias, N° 6, Valdivia 1978, pp. 35-40.
7. INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR DE CHILE (Ed.): *1º Simposium Internacional sobre Percepción Remota*. Santiago, junio 1978, 288 p.
8. Lillesand, T.M. y R.W. KIEFER: *Remote Sensing and Image Interpretation*. New York, Chichester, Brisbane, Toronto 1979, 612 p.
9. NASA (Ed.): *Landsat Data User's Handbook*. Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland 20771, 1976.
10. WEISCHET, W. *Chile. Seine länderkundliche Individualität und Struktur*. Darmstadt 1970, 618 p.