

El Problema de la Erosión del Suelo en la Cordillera de la Costa de la Octava Región

WILFRIED ENDLICHER

Universidad de Concepción y
Universidad de Freiburg im Breigau /Alemania

RESUMEN

Analiza las causas de la degradación del paisaje, su relación con diferentes usos de suelo y sus efectos sobre el medio y sobre la población agrícola. Aborda la degradación del paisaje como un problema geocológico, es decir, considera las interrelaciones de factores y procesos pedológicos, climáticos, botánicos, así como también la intervención antrópica. Las conclusiones derivan de un levantamiento integral, llevado a cabo por medio de foto interpretación, análisis estadísticos, mediciones en foto y en terreno, incluyendo la construcción de parcelas de experimentación.

ZUSAMMENFASSUNG

Der Autor untersucht die Ursachen der Verödung der Landschaft, ihren Zusammenhang mit unterschiedlicher Bodennutzung und ihre Auswirkungen auf Umwelt und Ländliche Bevölkerung. Er betrachtet die Verödung der Landschaft als geökologisches Problem, d.h. berücksichtigt die Verflechtung pedologischer, klimatischer und botanischer Faktoren und Prozesse, sowie auch menschliche Eingriffe. Die Schlussfolgerungen leiten sich ab aus einer umfassenden Erhebung, verwirklicht mittels Fotointerpretation, statistischen Untersuchungen, Messungen von Foto und Gelände, einschliesslich der Anlage von Versuchsfelden,

1. INTRODUCCION

Cuando se viaja en la Cordillera de la Costa y se sale de los caminos pavimentados se observan en todas las partes los signos de una degradación avanzada del paisaje: bosques rozados, caminos cortados, campos llenos de surcos, pastizales con grandes manchas sin vegetación ninguna, matorrales con arbustos típicos de sobrepastoreo, grandes rocas desnudas y cárcavas profundas. Es prácticamente imposible seguir los antiguos caminos indicados en el mapa topográfico preliminar 1:250.000. Este mapa fue dibujado a partir de fotografías aéreas del año 1943, lo que indica que todos estos caminos fueron todavía transitables en esta época. Desde un avión el observador se da cuenta de que la erosión del suelo presenta un problema muy grave: casi todas las lomas están destruidas por las cárcavas (Figuras 1 y 2). En las imágenes de satélites se ve claramente que toda la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa está atacada por este fenómeno. Jirkal (1943) y Elgueta y Jirkal (1943) fueron los primeros en reconocer la extensión y gravedad del problema. Si se hubieran tomado en cuenta sus proposiciones, hoy día la destrucción sería menos grave. En los años 40 y 50 la creación del "Departamento de Conservación y Administración de Recursos Agrícolas y Forestales" y los estudios

de Rodríguez Zapata y Díaz Vial (1951) y Elizalde MacClure (1958) mostraron el interés creciente en una mejorada protección de la naturaleza en general y especialmente en la conservación de los suelos. Pero en realidad todos estos esfuerzos no fueron capaces de retrasar la degradación. En 1965 IREN mostró, a partir de fotografías aéreas, que la superficie atacada por fenómenos de erosión en la VIII Región alcanza probablemente entre 40,8 y 68,6% de la superficie total (peralta, 1976: 20).

2. LA EROSION DEL SUELO COMO PROBLEMA GEOECOLOGICO

La degradación del paisaje es un problema geocológico típico. El término geocológico significa que hay estrechas interrelaciones entre los diferentes factores y procesos pedológicos, climáticos, botánicos, etc. Como resultado de esta dinámica compleja, los recursos naturales se encuentran en nuestra región en un *equilibrio lábil*. Eso implica que después de una intervención del hombre, como el roce de la vegetación primaria, el paisaje no vuelve lentamente a su estadio inicial, como es el caso en otras zonas climáticas del globo terrestre, sino que sigue destruyéndose más y más rápidamente. La investigación geográfica debe



Figura 1: Fotografía aérea de la zona de Tomeco en enero de 1983. Se nota el típico uso de la tierra: pastizales, campos de trigo y parcelas de viña. La erosión linear grave en forma de múltiples cárcavas salta a la vista.

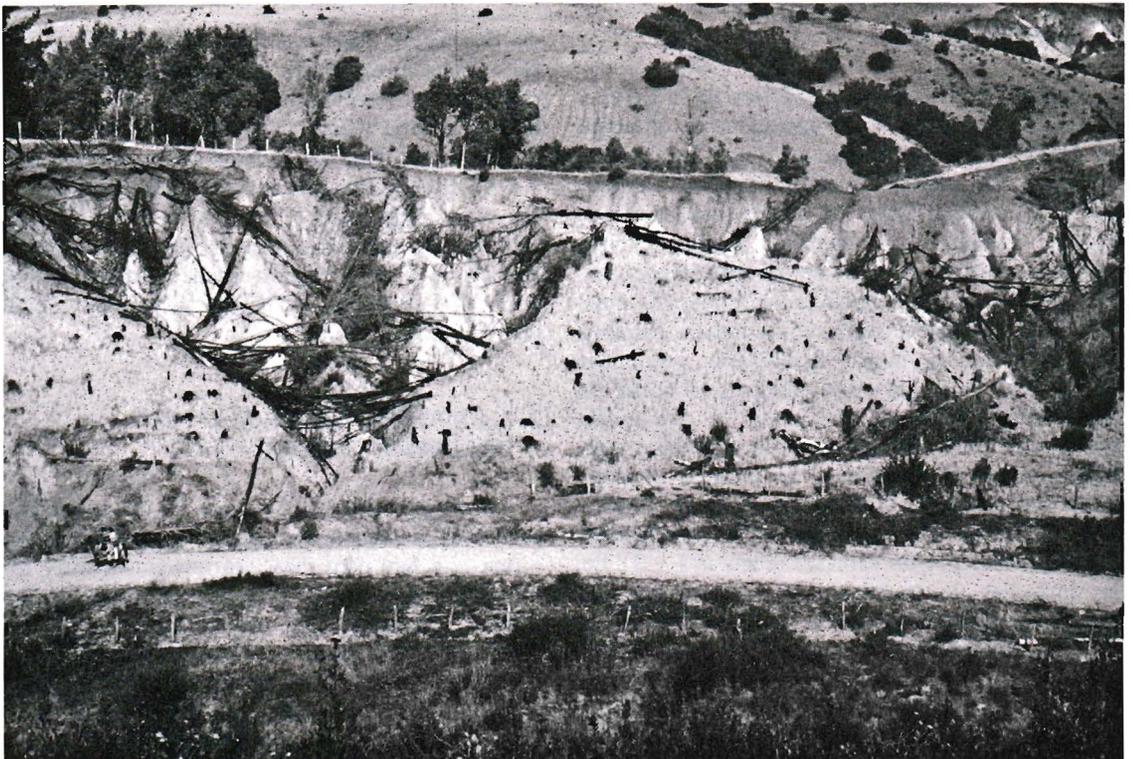


Figura 2: Valle del estero San Pedro al este de la comuna de Florida; la vertiente de exposición norte está destruida por las cárcavas cortadas hasta la línea divisoria de agua local. Sobre los restos de la vertiente se cultiva el trigo. La vertiente, en el primer plano con exposición sur, está cubierta con un renoval de bosque nativo que protege el suelo contra la erosión. Al fondo se distingue un matorral abierto con un suelo dañado por múltiples surcos.

abocarse, entonces, en primer lugar, a los factores naturales que provocan o facilitan el daño ecológico. Debe analizar, también, las intervenciones del hombre que desatan y mantienen la erosión. Además es necesario cuantificar la erosión; es decir, medir la cantidad de suelo erosionado bajo diferentes usos de tierra, medir el avance de las cárcavas y determinar la superficie afectada por la erosión. Por último, debe ocuparse de las consecuencias de la erosión y buscar, finalmente, sobre la base de todos estos estudios, proposiciones de mejoramiento.

Los trabajos de Schwabe (1952), MacPhail (1970) y especialmente el programa desarrollado por Tricart (1969) son estudios que ya incluyen parcialmente estas ideas.

3. LOS DIFERENTES ASPECTOS DE LA EROSION DEL SUELO

3.1. Aspectos geológicos y pedológicos

La Cordillera de la Costa de la VIII Región está formada principalmente por rocas graníticas pertenecientes a intrusiones paleozoicas y jurásicas. Los granitoides, es decir, la granodiorita y el granito, presentan estructuras cataclásticas muy desarrolladas. Es una consecuencia lógica de las fuertes tensiones tectónicas a que estas rocas están expuestas en el borde de la placa tectónica sudamericana. Además son notorias las diferencias de claridad de los minerales componentes (cuarzo, ortoclasa, plagioclasa, biotita, microclina, zircón). Estos dos factores favorecen una rápida alteración. Su resultado es el *maicillo* que, a menudo, alcanza unas decenas de metros de profundidad.

Los suelos desarrollados a partir de dicho maicillo son suelos pardo-rojizos no cálcicos profundos. Según la clasificación americana (7ª aproximación) se trata de alfisoles; según la clasificación de la FAO, de luvisoles crómicos.

Los perfiles, a excepción de los terrenos de bosques, están desprovistos de la capa superficial; casi siempre falta el horizonte A. El contenido de arcilla es especialmente alto en el enriquecido horizonte BI. En el período seco se forma en estos suelos una costra dura como la piedra. El alto contenido de arcilla produce una baja capacidad de campo y una elevada densificación de los horizontes, lo que, a su vez, conduce a una baja capacidad de infiltración. Esto fue comprobado mediante mediciones con un infiltrómetro anular. La infiltración más lenta se produce en lugares impermeabilizados por la arcilla, fuertemente dañados, sobre todo por erosión de manto. El contenido de humus y materias nutritivas es bajo. La carencia de boro es especialmente notoria en

la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa. Entre las arcillas dominan las caolinitas y las illitas. La capacidad de intercambio es, por lo tanto, moderada. Se pueden distinguir perfiles completos de luvisoles crómicos, de condiciones pedológicas relativamente buenas, en bosques nativos; perfiles carentes de la capa superficial e interrumpidos en las vertientes; y perfiles muy profundos, arcillosos impermeables, en terrenos bajo pastoreo, en relieves residuales planos.

La Figura 3 muestra dos perfiles típicos estudiados en el cerro Cayumanque cerca de Quillón. El perfil 1 se encuentra bajo un bosque de olivillo y tiene elevados contenidos de limo y de humus. También son altos el contenido de nutrientes y la capacidad de intercambio catiónico. La infiltración fue muy rápida, facilitada por las numerosas raíces y la cavación del suelo por animales pedológicos. El perfil 2 fue desarrollado en un maicillo erosionado bajo una plantación de pino. Muestra características típicas de un suelo degradado con bajos contenidos de limo, humus y nutrientes, una restringida capacidad de intercambio catiónico y una infiltración muy lenta. Así, una lluvia fuerte no puede penetrar el suelo, y escurre, entonces, sobre la superficie, donde puede producir tanto erosión laminar como linear.

3.2. Aspectos climáticos

El fuerte contraste entre el verano, casi sin precipitaciones y con fuerte insolación subtropical, principalmente en la vertiente oriental, y el invierno, caracterizado por frecuentes y persistentes precipitaciones alternando con tiempo anticiclónico frío ventoso, estimula los procesos de erosión y la impermeabilización del suelo.

De los datos meteorológicos se desprende que las precipitaciones, entre 1.100 y 1.400 mm/año, se concentran en 6 meses, entre mayo y octubre. En esta época del año puede llover durante varios días seguidos. Períodos lluviosos de por lo menos 5 días sucesivos de lluvia se presentan entre 4 y 7 veces como promedio anual en Concepción. La larga duración de las precipitaciones se distingue frecuentemente en las imágenes de satélite donde se nota un frente polar largo de varios miles de kilómetros (Figura 4). Pero las lluvias de invierno se caracterizan también por su intensidad.

En Concepción (1.308 mm/año) hay 10 días al año como valor medio con precipitaciones que sobrepasan los 30 mm/día ($= 30 \text{ l/m}^2$). En una ocasión se midieron 251,5 mm/día. Si se calcula la intensidad media de las lluvias caídas en 30 minutos, en los 5 últimos años en Concepción, se llega a un promedio de 6,3 mm/30 minutos y a un máximo absoluto de 30,7 mm/30 minutos. La

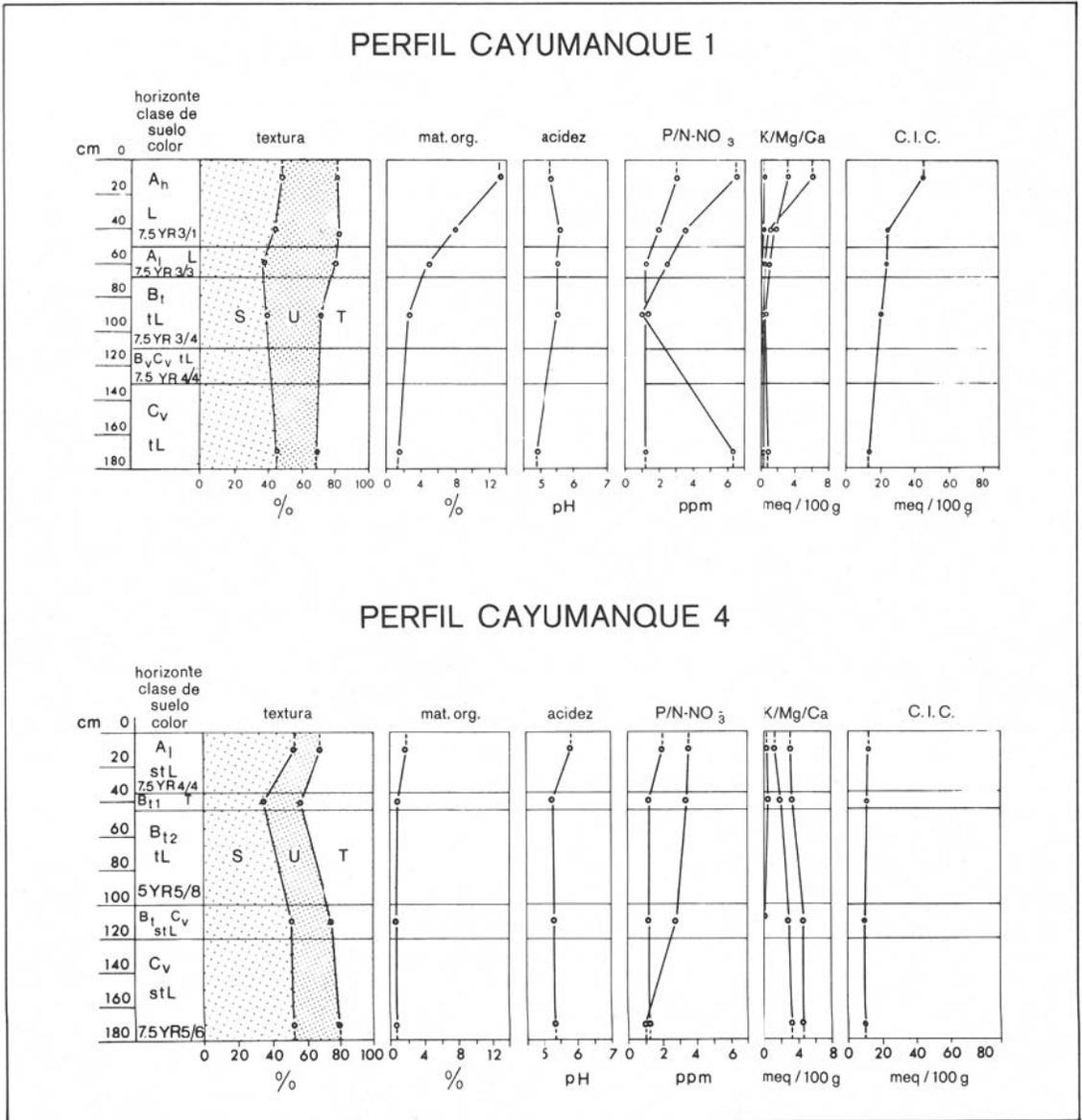


Figura 3: Comparación de un perfil de suelo intacto bajo un bosque nativo con un perfil degradado desarrollado en un maicillo bajo una plantación de pino. Son notables las diferencias en los contenidos de limo, humus y nutrientes y la capacidad de intercambio catiónico.

Figura 5 muestra la estructura de las precipitaciones en el año 1982. En Concepción, en el 39% de los días con precipitaciones, la lluvia sobrepasa 10 mm/día. En Freiburg/Br. (Alemania) esta cantidad se alcanza solamente en el 5,7% de los casos. Así, la *crisis de invierno* se manifiesta por lluvias intensas y duraderas. Pero, como es característico de los climas subtropicales con lluvia de invierno (clima mediterráneo), el paso de las presiones bajas con sus frentes están separadas para cortos episodios de buen tiempo de invierno, debido a la influencia del anticiclón del Pacífico. Durante las noches despejadas, entonces,

la temperatura de la superficie del suelo desciende muchas veces bajo cero grado (Figura 6). Estas heladas nocturnas de invierno contribuyen a la alteración de las capas superficiales del suelo mediante la formación de agujas de hielo. Esta capa blanda es erosionada fácilmente en las laderas por el próximo chubasco. La baja infiltración mencionada arriba contribuye a un alto escurecimiento superficial. La erosión de manto ha conducido a la descrita pérdida de la capa superficial del suelo, y la erosión lineal ha provocado el arroyamiento, sobre todo en las laderas de exposición norte (Figuras 7 y 8).

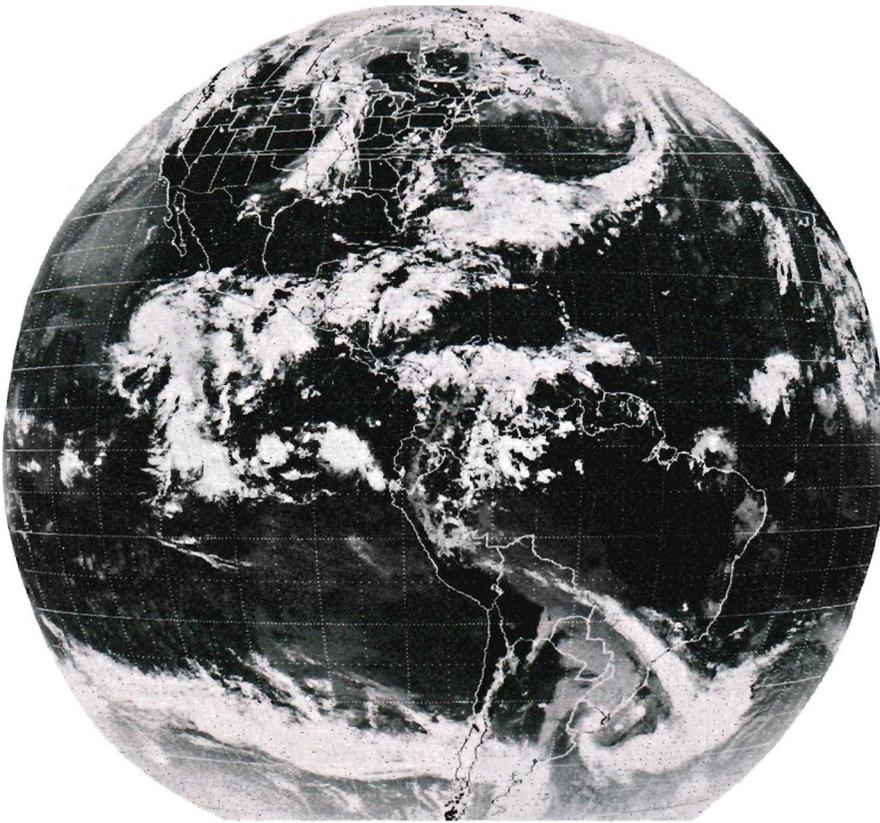


Figura 4: Imagen del satélite meteorológico GOES, del 15 de junio de 1983. Llama la atención el frente polar sobre el Pacífico sur y el continente. Este frente, de varios miles de kilómetros de largo, separa las masas del aire subpolar y subtropical.

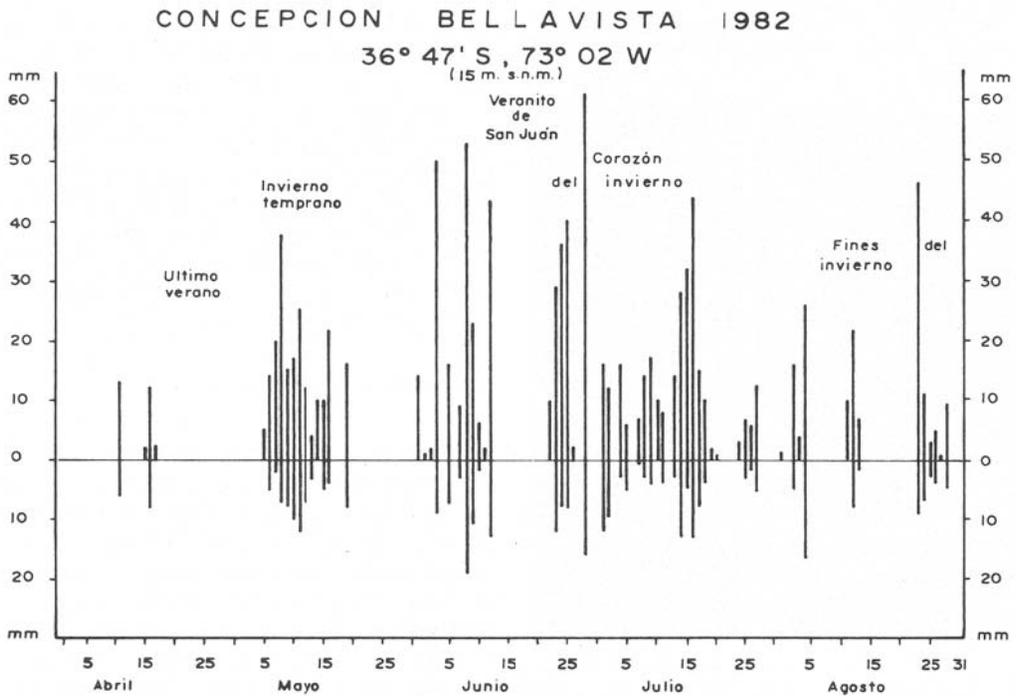


Figura 5: Estructura de la precipitación y su intensidad horaria en Concepción, 1982.



Figura 6: Chubasco invernal el día 10 de mayo de 1982 sobre las lomas en un área de la comuna de Florida. Los suelos degradados no permiten una infiltración rápida de las lluvias. Se observa un lavado superficial y la concentración del escurrimiento en algunas líneas, favoreciendo, de esta manera, la formación de surcos y cárcavas.



Figura 7: Cárcava en formación. Activa durante el mismo chubasco. Socavación de la cabeza de la cárcava y su migración hacia arriba.

La crisis de verano se caracteriza por largos y repetidos períodos secos, de fuerte insolación, alta temperatura atmosférica y del suelo (Figura 6), escasa humedad del aire y vientos de alta velocidad. En la Depresión Intermedia se debe contar cada verano con 7 a 8 períodos secos de, por lo menos, 5 días sin precipitación. La sequía de verano produce la resecaación de la superficie del suelo, la formación de fisuras en el perfil del suelo y la desintegración mecánica del sustrato granítico. Con esto se imposibilita la regeneración de la vegetación natural y, entonces, no puede jugar su importante papel como "protectora del suelo" en el próximo invierno. La crisis de verano a barlovento es, sin embargo, menos violenta que a sotavento, en el lado oriental, debido a las repetidas brumas y nieblas altas que se forman principalmente en relación con bajas térmicas (Endlicher, 1983b).

3.3. Aspectos geobotánicos

El análisis del aspecto geobotánico se fundamenta en los diferentes grados de degradación de la cubierta vegetal. Del "bosque de verano templado", de Schmithüsen (1955), considerado como bosque nativo, sólo quedan algunos restos. En general, predominan las praderas, las plantaciones de árboles y diferentes formaciones de matorrales allí donde se han formado muchas cárcavas. Sin embargo, se pueden encontrar renovales en las laderas inaccesibles de exposición sur y en

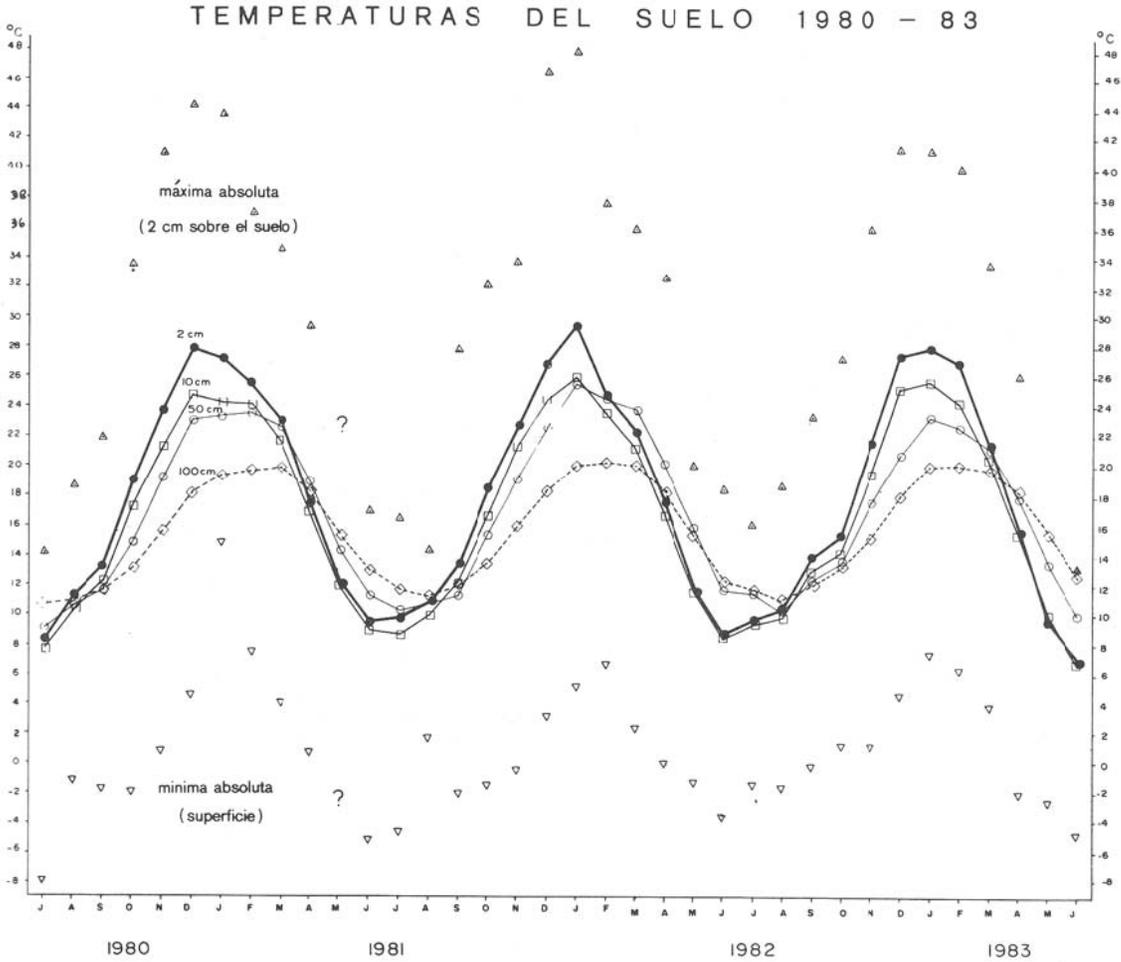


Figura 8: Estructura de las temperaturas del suelo en Chillán. Llamen la atención las mínimas absolutas bajo 0°C en los inviernos, las máximas absolutas invernales cerca de 20°C y las máximas estivales sobre 40°C.

las quebradas, donde la existencia de agua es suficiente.

La Figura 9 muestra el ejemplo de un bosque nativo poco intervenido sobre la cumbre del cerro Cayumanque, a los 700 m. Se trata de un bosque de olivillo y roble. Mucho más frecuente son los matorrales abiertos con arbustos de litre, peumo y boldo, fuertemente degradados por el ramoneo de los animales.

3.4. Aspectos antrópicos

Junto a las condiciones naturales del medio ambiente, la influencia del hombre juega un papel importante. El aspecto antrópico se ha manifestado en este territorio de asentamiento antiguo mediante la tala de bosque durante cuatro siglos, el sobrepastoreo y una utilización excesiva de terrenos de secano en el cultivo de trigo. Los terrenos de la Cordillera de la Costa en la zona de Concepción se convirtieron en grandes produc-

tares de trigo de exportación a fines del siglo XVII y principios del siglo XVIII. El gran mercado del trigo se mantuvo hasta los años setenta del siglo pasado. Los resultados fueron el desmonte progresivo y la densificación del poblamiento. El cambio de la agricultura a la ganadería aceleró la degradación de los terrenos abiertos. Aún en 1930 la existencia de ganado bovino y ovino era, respectivamente, 4,5 y 10 veces mayor que en el presente. El sobrepastoreo de los terrenos abiertos, el ramoneo de los matorrales y el daño por pisoteo continúan inestabilizando el sistema ecológico. También cumple un papel, en este sentido, la lenta degradación del bosque por su utilización como combustible en forma de leña y carbón. Datos sobre el transporte actual al centro de Concepción permiten calcular una utilización de 6.000 toneladas de carbón por año, lo que corresponde a unos 100.000 m ruma de madera. Por último, grandes extensiones de bosque se pierden, anualmente, a causa de incendios que, en la mayoría

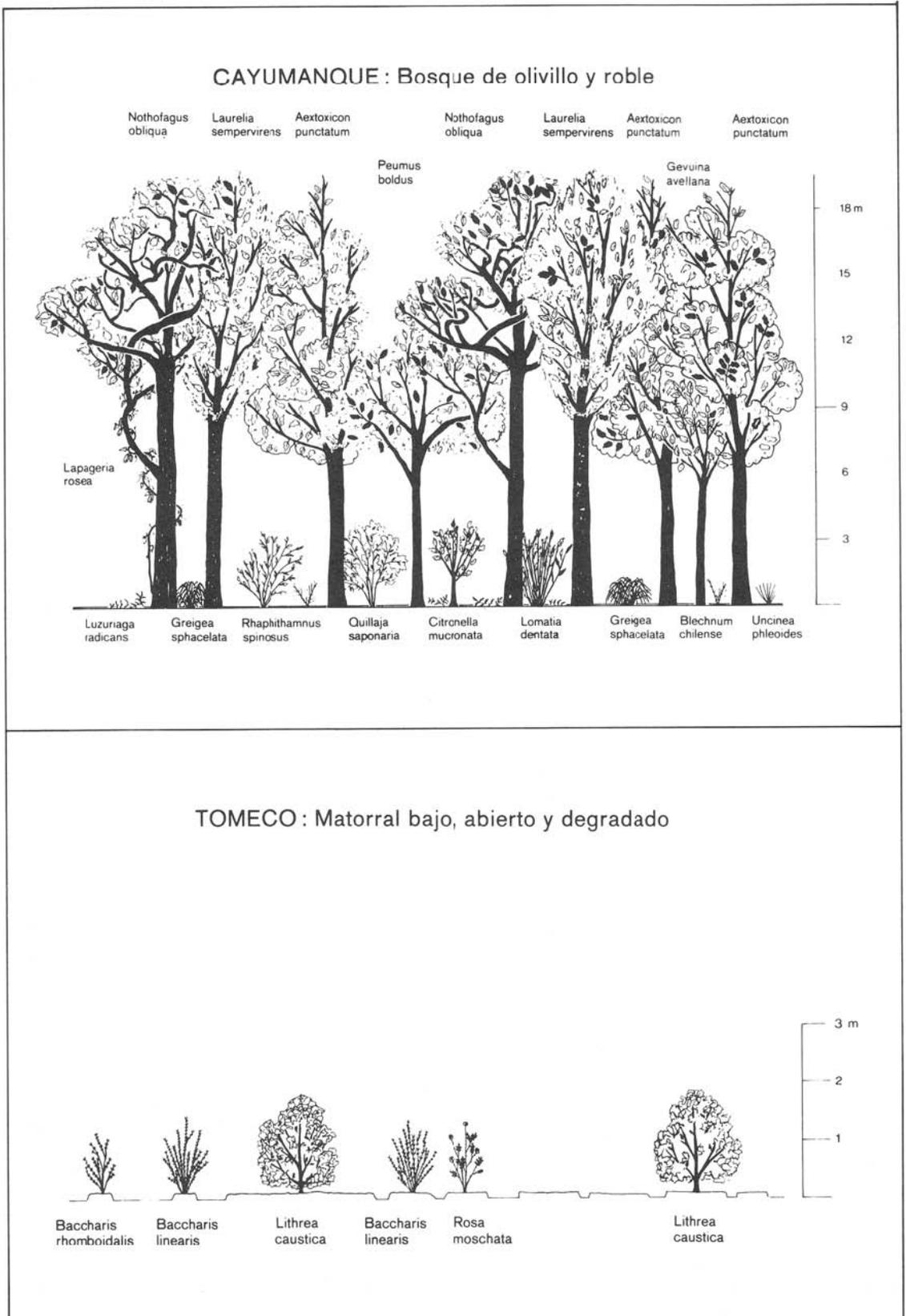


Figura 9: Comparación de la composición de un bosque nativo relicto sobre la cumbre del cerro Cayumanque y de un matorral común.

de los casos, son iniciados por el hombre. En el verano 1978/79 se perdieron casi 10.000 hectáreas solamente en la VIII Región y más de 30.000 hectáreas en la IX Región. Sin protección ninguna, las cenizas y el suelo son fuertemente erosionados en el próximo invierno (Figuras 10 y 11). Finalmente, el aspecto socioeconómico juega también un rol. Los minifundistas se ven obligados a practicar una agricultura de subsistencia que fomenta la erosión, en tanto que las grandes propiedades mantienen explotaciones extensivas de pino insigne.

3.5. Levantamientos integrales

Con el fin de comprender la acción conjunta de estos factores que han sido tratados más arriba por separado, se realizaron levantamientos integrales en lugares reconocidos como típicos, desde la divisoria de aguas en las planicies de la Florida y la vertiente oriental, hasta los pies de la Cordillera de la Costa en la Depresión Intermedia. Los parámetros considerados en este análisis son: el relieve, según exposición, pendiente y radio de curvatura; el sustrato y las características del suelo; las formas recientes de erosión de manto y lineal reconocibles; aspectos topoclimáticos; asociaciones de plantas en un muestreo semicuantitativo de las especies en su estructura vertical y horizontal y, finalmente, el

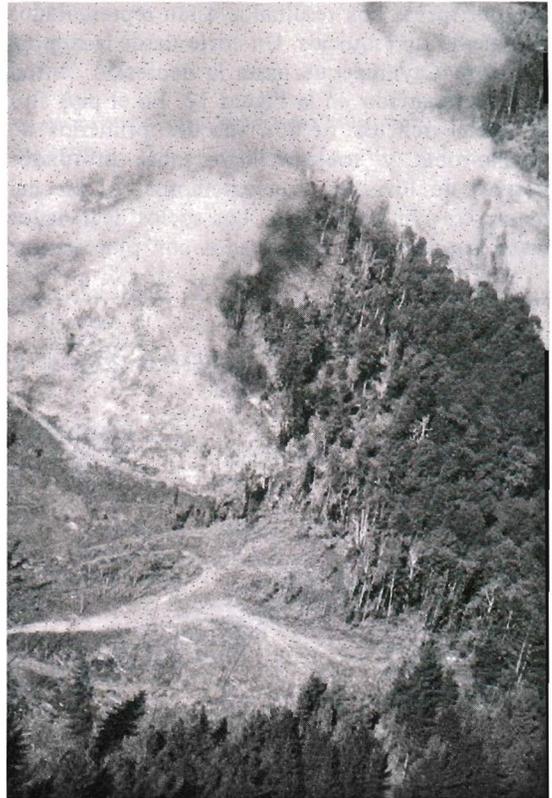


Figura 10: Incendio forestal en una plantación de pino en la Cordillera de la Costa. Fotografía: CONAF, Concepción.



Figura 11: Destrucción de un bosque frondoso en el otoño de 1982. Comuna de Florida, fundo Cotlico. La cárcava ya había sido estabilizada por el bosque, pero fue reactivada en el invierno siguiente.

uso del suelo. Los resultados están representados por medio de esquicios. Un corte desde la cumbre del cerro Cayumanque hasta la depresión central está representado en la Figura 12. En el piso alto se notan relictos de los bosques primarios de olivillo-roble y roble-avellano sobre profundos perfiles de luvisoles francoarcillosos. Al pie del masivo se cultiva la viña. Los suelos degradados están parcialmente reforestados con pino insigne

o cubiertos de un matorral denso. En el segundo ejemplo (Figura 13) se presenta un corte transversal de dos pequeños valles cerca de la comuna de Florida. Se nota claramente que las laderas de exposición norte están más degradadas que las opuestas. Eso vale no solamente por la vegetación, sino también para los suelos. Es una situación que se encuentra en muchas partes de la Cordillera de la Costa.

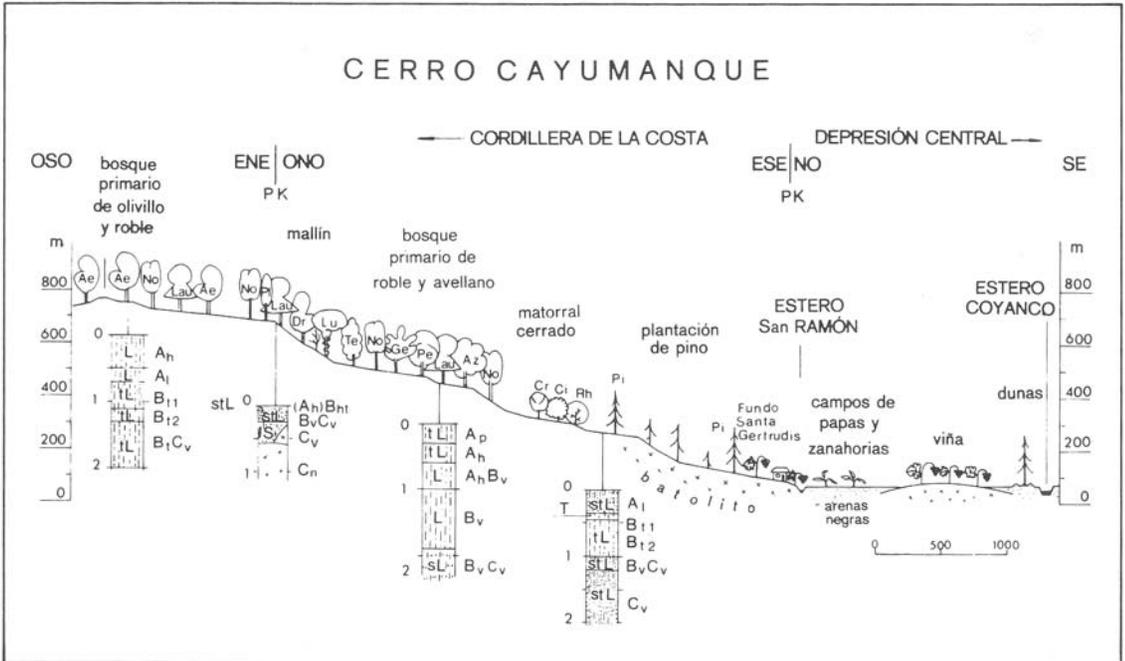


Figura 12: Corte desde la cumbre del cerro Cayumanque hasta la depresión central, mostrando los bosques relictos y suelos intactos de piso alto y la degradación que se observa al pie del cerro.

Los diferentes ecotopos considerados permiten una comparación de la situación antes y después de iniciarse los procesos de erosión, con la introducción de cultivos. Desde el punto de vista *botánico*, estos procesos conducen a una disminución de los estratos, a un empobrecimiento en número de las especies y al raleamiento. Esto último se traduce en un aumento de las especies xerófitas y espinosas. Exponentes de la vegetación esclerófila siempre verde aumentan cada vez más con las asociaciones de litre. Un repoblamiento de áreas degradadas no es imposible; ello se da, en todo caso, bajo condiciones ecológicas favorables (fondos de las quebradas; laderas de umbría). También las condiciones *microclimáticas* varían con la tala de bosques. Mientras que en el bosque nativo la insolación alcanza sólo a las capas superiores del mismo, creándose un clima relativamente templado, en el matorral la radiación alcanza directamente el suelo, lo seca, y de esta manera favorece la selección natural de especies xerófitas.

En las laderas con exposición norte, una vez abierto, la insolación es especialmente fuerte. Entonces, un renoval no tiene nunca más la oportunidad de cubrir y proteger integralmente el suelo. En noches despejadas las heladas de radiación pueden producir la disgregación del suelo mediante la formación de agujas de hielo.

En lo que se refiere a las condiciones *hídricas*, debe hacerse notar que la interceptación del bosque no sólo disminuye la energía cinética de las gotas de lluvia, sino que la cantidad de agua que llega al suelo es considerablemente menor.

En cuanto a la *morfología*, el acarreo superficial en altitudes entre los 450 y 550 m, aproximadamente, es importante. En las épocas frías se produjo el arrastre por soliflucción de los suelos formados en el terciario y en períodos interglaciales, los que fueron depositados en las partes inferiores de las laderas. Con la tala del bosque protector, este material suelto ha sido agrietado

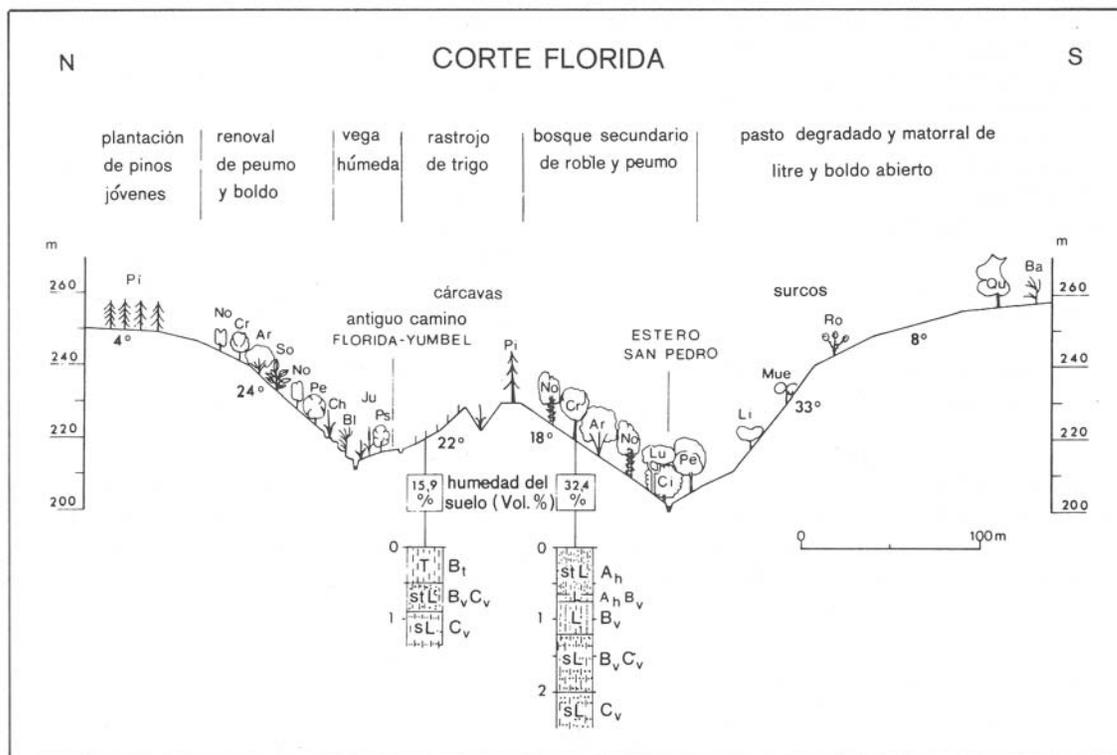


Figura 13: Corte norte-sur de la cuenca del estero San Pedro al este de la comuna de Florida. Se nota la destrucción de la vegetación y de los suelos en las vertientes de exposición norte y los renovales, aún posibles en las vertientes menos insoladas.

en forma de zanjas y cárcavas (barrancas). En las partes llanas que aún restan se ha formado una cubierta residual, mediante el lavado del material fino y el consiguiente enriquecimiento con arena gruesa y maicillo.

La comparación de los análisis *pedológicos* de perfiles de suelo bajo bosque con aquellos en proceso de degradación resulta especialmente interesante. El contenido de limo es, en los perfiles de suelos de bosques, de alrededor de 60 y cerca de 100% más alto en el horizonte A y en el horizonte B, respectivamente. Este fenómeno tiene por consecuencia un aprovisionamiento de agua considerablemente mejor. Junto con la alta capacidad de intercambio de cationes, favorece la formación de vermiculita a través de minerales arcillosos y la abundante existencia de sustancias nutritivas para las plantas. El factor ecológico positivo del alto contenido de limo se transforma, sin embargo, en una desventaja al desaparecer el bosque, ya que el grado de susceptibilidad a la erosión crece con el aumento de la proporción de limo. La lixiviación de la arcilla es más fuerte cuando falta la cubierta arbórea, porque la radiación directa produce un mayor resacamiento y la formación de fisuras, a lo largo de las cuales se

produce la lixiviación de las arcillas con las lluvias de invierno. El doble contenido de arcilla en algunos casos en el horizonte B debe verse como una consecuencia directa de la fuerte descomposición química, sobre todo en primavera. La radiación subtropical, aún intensa en el invierno durante las altas presiones intermedias, produce en los suelos húmedos fuertes procesos de intemperización. El mayor contenido de arcilla y la impermeabilización de las capas superficiales del suelo por medio de los efectos del choque y chapoteo de las gotas de agua, reduce la intensidad de infiltración y aumenta el escurrimiento superficial. En esta forma este análisis permite integrar el conjunto de factores causantes de la degradación del paisaje.

4. LA CUANTIFICACION DE LA EROSION DEL SUELO

Los análisis geocológicos son necesarios para comprender los procesos que causan los daños en el paisaje de la Cordillera de la Costa. Pero, desde un punto de vista práctico, se necesitan también cuantificaciones de estos daños que respondan a las preguntas siguientes:

¿Cuánto suelo se pierde durante los chubascos de invierno bajo los cultivos tradicionales (trigo de secano, viña, pradera)?

¿Cambia la situación con técnicas mejoradas, tales como cero labranza y riego de aspersión?

¿Permite un bosque de pino adulto la protección del suelo?

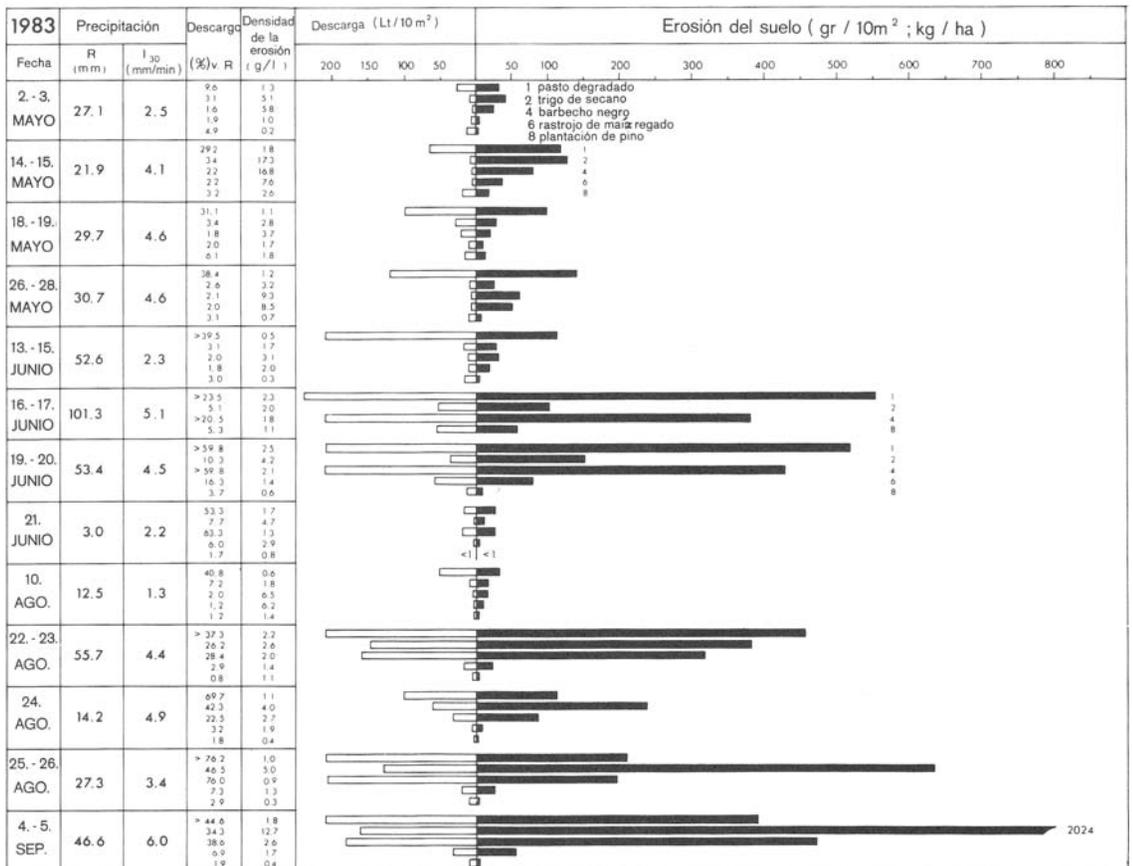
¿Con qué velocidad crecen actualmente las cárcavas?

¿Cuál es la superficie degradada en la Cordillera de la Costa?

4.1. Parcelas de experimentación con distintos usos de suelo

El objetivo de los estudios con parcelas de experimentación fue la comprobación de diferencias cuantitativas de la erosión de manto en idénticas condiciones topográficas (pendiente fuerte de 20°), pedológicas y climáticas, pero con distin-

tos usos de suelo (Endlicher, 1982). En el fundo Chequén (comuna de Florida) fueron construidas varias parcelas de experimentación con una superficie de 1 x 10 m², En los inviernos 1982 y 1983 fueron analizados ocho usos de suelos y 25 casos de precipitación. Los resultados del año 1983 se presentan en detalle en la Figura 14; la Tabla 1 entrega una síntesis de los experimentos. Desde el punto de vista del monto de la denudación se pueden diferenciar dos grupos. El primero representa los casos con montos diferentes, pero, en general, grandes cantidades de material acarreado. Entre ellos se cuentan las parcelas destinadas a viñas y al cultivo del trigo y aquellas en barbecho con y sin pastos. Es común a estas parcelas la insuficiencia o la carencia total de la cubierta vegetal, de tal modo que el choque de las gotas de agua produce la eliminación de las partículas del suelo y la impermeabilización. El efecto erosivo de la lluvia aumenta, por eso, a lo largo del año.



Lluvias intensas producen, sobre todo a finales de invierno, las "pequeñas catástrofes" que activan la degradación de paisaje. El segundo grupo reúne las parcelas de experimentación con poca pérdida de suelo. Pertenecen a este grupo los barbechos regados con rastrojos de maíz, los

barbechos con pastos altos y, sobre todo, las plantaciones de pino insignne. La protección mayor resulta de la cubierta orgánica del suelo. Una protección efectiva contra la erosión se consigue, entonces, por la forestación con pino insignne o por una cubierta densa de mulch o de pastos altos.

TABLA Nº 1

Clasificación de las parcelas de experimentación con diferentes usos de tierra en el fundo Chequén, según la cantidad de material erosionado en 21 casos de precipitación y erosión total durante 1982 y 1983.

PARCELAS DE EXPERIMENTACION	rango					erosión total g/10 m ² o kg/há.
	1	2	3	4	5	
1982 - 9 casos						
- viña	7	2	0	0	0	6.415
- trigo de secano	1	5	3	0	0	3.173
- pradera sembrada con riego por aspersión	1	2	6	0	0	1.558 (?)
- barbecho con alto pasto natural	0	0	0	4	5	93
- plantación de pino insignne	0	0	0	6	3	77
1983 - 12 casos						
- trigo de secano	5	3	3	1	0	3.809
- pasto degradado	7	4	1	0	0	2.795 (?)
- barbecho negro	0	5	7	0	0	2.136
- barbecho con rastrojos de maíz y riego por aspersión	0	0	1	10	1	329
- plantación de pino insignne adulto	0	0	0	1	11	126

4.2. El crecimiento de las cárcavas

La erosión linear que salta a la vista fue cuantificada mediante la comparación de fotografías aéreas de 1943 y 1978. Con la ayuda de un restituidor estereoscópico (Aviograph Wild B8S) se analizaron en la sección topográfica de la sede Los Angeles de la Universidad de Concepción fotografías aéreas de un área de muestreo de 18 km² en los alrededores de Tomeco, mediante la representación cartográfica del relieve, de la red hidrográfica, de los asentamientos, de la red vial y, especialmente, de la superficie de las cárcavas. El resultado está representado en una carta de escala 1:10.000. El número de cárcavas ha aumentado de 420 en 1943 a 550 en 1978. La superficie total de erosión linear progresó de un 6,2% a un 9,6%. A pesar de este impresionante aumento, se nota cierta tendencia a la estabilización. Esto es una clara consecuencia de la disminución de la presión sobre la tierra, debido a la emigración de los campesinos, efecto, a su vez, de los daños erosivos.

4.3 Cuantificación de la erosión del suelo en una escala regional mediante una clasificación digital de imágenes de satélites

Para poder señalar la extensión de la degradación del paisaje en una dimensión regional se realizó una clasificación digital del uso de la tierra a partir de la información satelítica del LANDSAT-MSS. Los resultados están representados en una carta a una escala de 1:250.000. Esta muestra un 30% de la superficie analizada, con erosión moderada, y, aproximadamente, un 5% con daños graves. En total son medio millón de hectáreas, sin considerar las áreas erosionadas, pero ya reforestadas. En una dimensión regional se observa el hecho de que el lado de barlovento de la Cordillera de la Costa presenta pocos sectores erosionados. La mayoría se encuentra en un ancho borde de matorrales y campos de rulo, en la parte oriental de la Cordillera de la Costa. Especialmente afectadas están las estribaciones de la cordillera hacia la depresión intermedia. Ahí los *badlands* presentan el máximo avance.

5. CONSECUENCIAS DE LA EROSION

La erosión del suelo no transforma solamente la Cordillera de la Costa en un paisaje degradado, sino que tiene también otras consecuencias, tal vez no menos graves.

Entre las consecuencias *hidrológicas* se pueden mencionar, junto con los aspectos de erosión, las formas de acumulación en los valles principales. El embaucamiento del río Bío-Bío no permite el tráfico fluvial desde hace ya cien años. Sin embargo, la peor consecuencia hidrológica es, sin duda, el peligro de inundación, que ha aumentado considerablemente en los últimos años. La infiltración extremadamente lenta y la falta de bosques frondosos con su elevada capacidad de intercepción y retención de agua tienen como consecuencia un aumento muy rápido de los ríos durante las épocas de lluvias prolongadas.

Entre las consecuencias *económicas*, la forestación en la parte oriental de la Cordillera de la Costa está bien comprometida, porque los suelos lixiviados presentan altas deficiencias de boro. Además, el acceso a través de caminos malos e innumerables cárcavas es bien difícil, sobre todo en invierno. También el retroceso en la productividad en los cultivos tradicionales de secano es particularmente grave (Figura 15). Como consecuencia de esto, la superficie destinada al cultivo de trigo ha disminuido, desde finales de la década del 20, a cerca de un tercio de su extensión original.

La caída de la producción agraria tiene también consecuencias *sociales*. Las comunas de Florida y Santa Juana, que tienen todo su territorio en la Cordillera de la Costa, tienen entre un 35 a un 38% de sus habitantes en extrema pobreza, lo cual constituye un máximo también a nivel nacional. La emigración del campo, desde fines del siglo pasado, ha conducido a una disminución de la población de la Cordillera de la Costa.

6. PROYECTOS DE MEJORAMIENTO

Entre los planes de mejoramiento actuales y potenciales, el más fácil, efectivo y, ciertamente el más realista, es la *reforestación*. Esta se practica desde fines de la década del 60, en proyectos de gran alcance y en forma de monocultivo de pino insigne, preferentemente en la vertiente de barlovento.

Los progresos en la reforestación son impresionantes y se notan especialmente en las cercanías del Pacífico. Los pinos encuentran aquí condiciones óptimas de crecimiento y las empresas forestales tienen poco interés en las tierras degradadas de la vertiente oriental. Entonces, en lugares donde la reforestación sería urgente por razones ecológicas para proteger el suelo, abarca sólo exiguas extensiones por razones económicas.

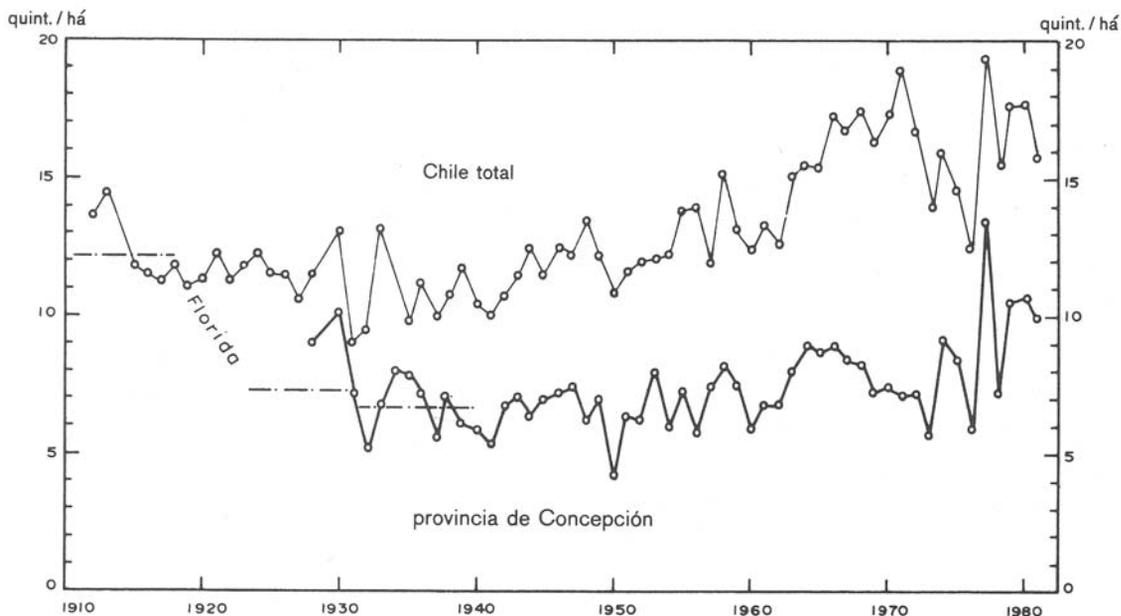


Figura 15: Rendimiento del trigo de secano entre 1910 y 1981 en la comuna de Florida y la provincia de Concepción; en comparación Chile total. Fuentes de los datos: ODEPA 1974/75; Estadísticas agropecuarias 1975/79; 1980/81. (Elgueta y Jirkal, 1943: 17).

Para las pequeñas explotaciones en la cordillera misma, una alternativa para evitar el arado nocivo sería el *silvopastoreo*, junto a medidas adicionales. Para explotaciones agrícolas que quieren seguir con el uso agrícola de sus tierras en la Cordillera de la Costa, el fundo Chequén muestra un ejemplo interesante. Mediante un tranque de 300.000 m² se conserva gran parte del agua lluvia caída en una pequeña cuenca hídrica, hasta el verano. Entonces sirve para el riego por aspersión de unas 40 hectáreas. Con el método "cero labranza" se evita el

arado y se genera una capa de mulch que protege no solamente el suelo contra el choque y el chapoteo de las gotas de lluvia, sino también el aumento de humus mejora las condiciones nutritivas, como muestran los análisis comparativos de perfiles de suelo (Figura 16). Los rendimientos impresionantes de maíz y de trigo, a veces obtenidos en superficies que eran viejas cárcavas recién rellenadas, prueban el buen funcionamiento de este método y su adaptación a las condiciones ecológicas de la región (Figura 17).

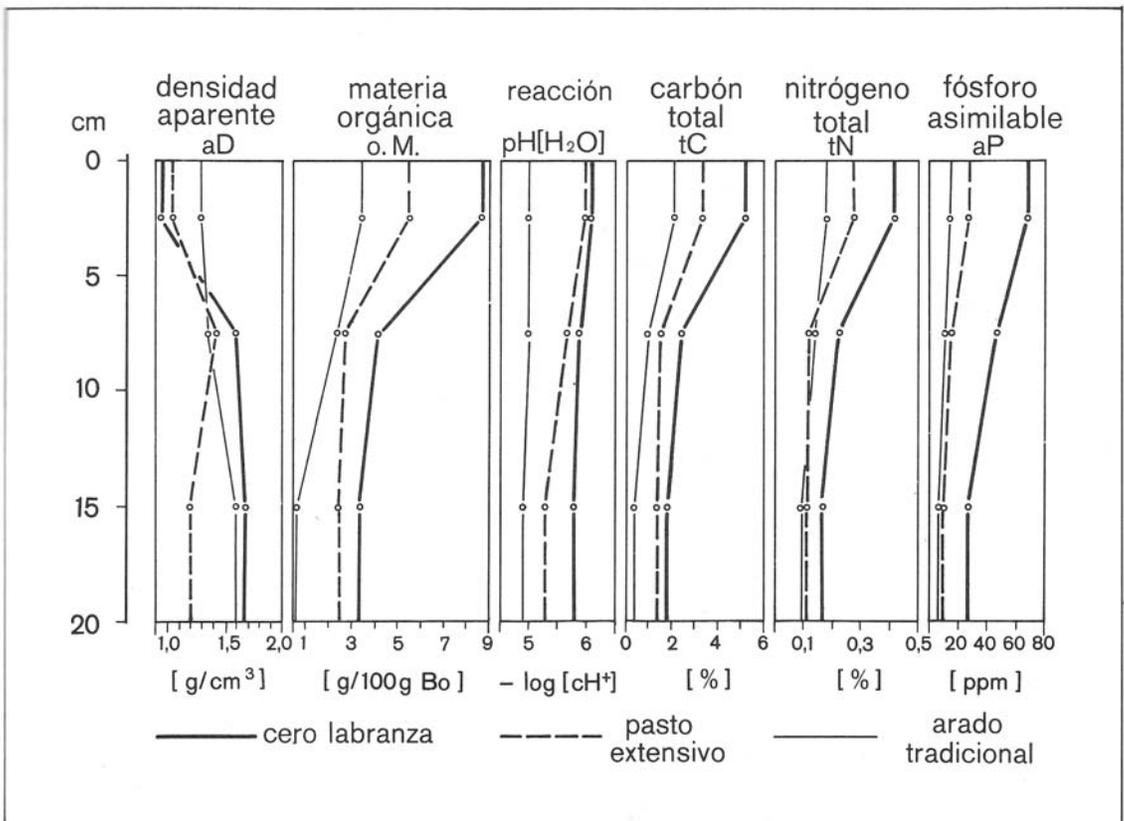


Figura 16: Comparación de perfiles de suelo bajo uso tradicional y después aplicación del método de cero labranza en el fundo Chequén: Datos: Fundo Chequén, comuna de Florida, 1986.

7. CONCLUSION

Bajo condiciones ecológicas tan frágiles, el uso de la tierra tiene que hacerse apropiadamente. Lamentablemente éste no ha sido el caso en los cuatro siglos pasados, cuando el bosque mesofítico fue rozado. Medidas adecuadas de conservación de suelo como la construcción de diques en las cárcavas, aterrazamiento de laderas o aplicación de método cero labranza, son raras excepciones en la zona cordillerana de Concepción, pero significan una segura protección en los lugares donde se prac-

tican. La gravedad de los daños necesita esfuerzos conjuntos tanto del Estado como de la comunidad científica y de los agricultores mismos. Urge la aplicación de medidas propuestas desde Elgueta y Jirkal (1943) hasta Peña Mac-Caskill (1979) y Crovetto (1981) pasando por Tricart (1969) o Peralta (1976). También se necesita la intensificación de los estudios científicos en vigor. Existen, entonces, buenas perspectivas de superar en parte, por lo menos, los problemas existentes que fueron producidos por el mal uso de los recursos naturales.

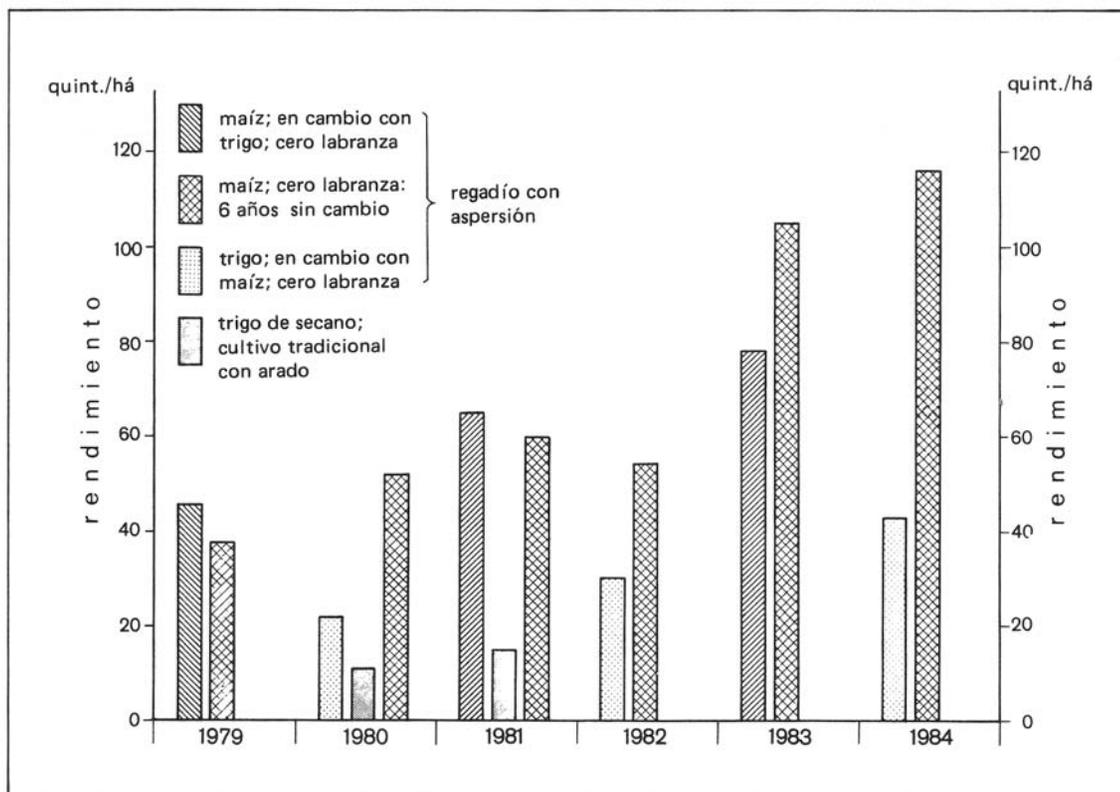


Figura 17: Desarrollo de los rendimientos de maíz y trigo con arado tradicional y cero labranza en el fundo Chequén. Datos: fundo Chequén, comuna de Florida, 1986.

8. LITERATURA

- BAHRE, C. J., 1979: Destruction of the Natural Vegetation of North-Central Chile. University of California. Publ. in *Geography* Vol. 23, Berkeley and Los Angeles 1979: 117 S.
- CROVETTO, L. C., 1981: Consideraciones sobre la Cero Labranza. *Agricultura de las Américas* (Overland Park). Año 30, Nº 8: 16-18.
- ELGUETA, G., M. y J. JIRKAL H., 1943: Erosión en los suelos en Chile. *Boletín Técn. NO 4*, Min. de Agricultura, Depto. de Genética y Fitotecnia, Santiago: 27 S.
- ELIZALDE MAC-CLURE, R., 1958: La sobrevivencia de Chile. La conservación de sus recursos naturales renovables. Ministerio de Agricultura, Direcc. General de Producción Agraria y Pesquera. Santiago: 169 S., II. ed. 1970, 492 pp.
- ENDLICHER, W., 1982: Instalación de parcelas de experimentación para evaluar la erosión del suelo en la Cordillera de la Costa de Chile Central. *III. Congr. Geol. Chileno*, 1: C1-C11; Concepción.
- ENDLICHER, W., 1983: Investigación geocientífica chilena con imágenes de satélites. *Atenea*, 448: 23-37; Concepción.
- ENDLICHER, W., 1983b: Zur Witterungsklimatologie der Winterregen-Subtropen Chiles. *Erdkunde*, 37: 258-268; Bonn.
- ENDLICHER, W., 1985: Vegetationszerstörung und Bodenerosion im Küstenbergland von Concepción (Chile). *Zentralblatt Geologie Paläontologie*, Teil 1, H. 9/10: 1139-1148; Stuttgart.
- ENDLICHER, W. y MACKEL, R., 1985: Natural resources, land use and degradation in the coastal zone of Arauco and the Nahuelbuta Mountains, central Chile. *Geojournal*, 11: 43-60; Boston.
- ETIENNE, M.; E. CAVIEDES, y C. PRADO, 1983: Bases ecológicas para el desarrollo de la zona árida mediterránea de Chile. *Montpellier - Santiago de Chile*: 69 pp.
- JIRKAL, J., 1943a: Generalidades sobre el problema de la erosión del suelo en Chile. Ciclo de conferencias, Universidad de Concepción: 13-27.
- JIRKAL, J., 1943b: Plantas Forrajeras. Ciclo de conferencias, Universidad de Concepción: 29-37.
- KUNKEL, G., 1963: Vegetationszerstörung und Bodenerosion in Lateinamerika. *Archiv. f. Naturschutz u. Landschaftsforschung* (Berlin) 3: 59-86.
- MAC PHAIL, D., 1970: Manejo destructivo de la tierra; Cordillera de la Costa, provincia de Concepción. *IREN, Informe NO 28*, Santiago: 24 pp.
- NEGER F. W., 1987: Introducción a la flora de los alrededores de Concepción. *Anal. Univ. Santiago* 98: 209-251.
- PEÑA MAC-CASKILL, L., 1979: Pautas para una política de control de la erosión en Chile. *Ingeniero Agrónomo* (Santiago) 13: 10-15.

- PERALTA P. M., 1976: Uso, clasificación y conservación de suelos. Ministerio de Agricultura, Servicio Agrícola y Ganadero, Santiago: 340 pp.
- RODRIGUEZ Z., M. u. C. DIAZ VIAL, 1951 : Factores que determinan la erosión en Chile. *Agricultura Técnica* (Chile) XI: 35-53 .
- SCHLATTER, J., 1977: Aspectos de conservación. Charlas y conferencias, Univ. Austral de Chile, Fac. Ingeniería Forestal, Valdivia, NO5: 3-10.
- SCHMITHUSEN, J., 1955 : Die Grenzen der chilenischen Vegetationsgebiete. *Tagungsber u. wiss. Abh. Dt. Geogr. Tag Essen* : 101-108; Wiesbaden.
- SCHWABE, G. H., 1950: Chilenismos de la naturaleza. *Bol. Soco Biol.* Concepción 25: 59-73.
- SCHWABE, G. H., 1952: Aspectos ecológicos de Chile. *Atenea* (Concepción) 104: 447-455 .
- TRICART, J., 1969: Problemas de conservación de tierras yaguas en la Cuenca del Bío-Bío. *Informe CIDERE BID-BID*, Concepción: 13 pp.
- WEISCHET, W., 1959: Geographische Beobachtungen auf einer Forschungsreise in Chile. *Erdkunde*, 13: 6-22 ; Bonn.
- WEISCHET, W., 1970: Chile. Seine landerkundliche Individualität und Struktur. 618 S.; Darmstadt.