

EMPLEO DE IMAGENES SATELITARIAS PARA LA CLASIFICACION TERMAL DE SUELOS FORESTALES

Nelson Vergara Rodríguez (*)
Martín Fariás Salvador (**)

RESUMEN

El objetivo fundamental del presente estudio fue investigar aplicaciones en el área forestal, de la información termal proporcionada por el sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), instalado a bordo de satélites meteorológicos de órbita polar de la serie NOAA, los cuales orbitan la Tierra a una altitud cercana a los 850 Km.

A través del estudio, se concluye que la información generada por satélites NOAA permite cuantificar el estado térmico (temperatura aparente) a distintas horas del día y en forma diaria, durante todo el año, en terrenos de aptitud preferentemente forestal y que a la fecha se encuentran sin cobertura forestal.

Mediante el análisis de las amplitudes térmicas diarias que presentan estos terrenos, fue posible clasificar el área de estudio en zonas de comportamiento térmico homogéneo. La extensión y límites de estas zonas es concordante con isolíneas de evapotranspiración potencial mensual obtenidas de mapas existentes para la zona de estudio.

ABSTRACT

The main objective of this investigation was to look for forestry related applications of thermal data transmitted by the AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) sensor, on board the NOAA meteorological satellites, which are in a polar orbit with a nominal height of 850 kilometers.

Thermal data generated by NOAA satellites allowed making a quantification of the land thermal state (apparent temperature) and its daily and seasonal cycles. The study was centered on a potentially rich area for forestry development, which is not presently covered by forest.

(*) Ing. Forestal, División Inventarios Forestales, Instituto Forestal, Huérfanos 554 - Santiago - Chile.

(**) Ing. Electrónico, Centro de Estudios Espaciales, Univ. de Chile, Arturo Prat N° 1171 - Santiago - Chile.

INTRODUCCION

Chile posee entre la V y X Regiones administrativas una superficie de 9.598.901 ha de terrenos potencialmente forestales. De esta cifra, alrededor de 58,9% (5.651.999 ha) constituyen terrenos disponibles para nuevas plantaciones y susceptibles de ser forestados con especies arbóreas o arbustivas de interés económico, sean éstas nativas o exóticas (CONAF 1985). Esta importante extensión de terrenos de aptitud forestal, potencialmente productivos, ha sido una preocupación permanente del Estado, especialmente durante los últimos años, por cuanto la incorporación de este territorio a procesos productivos, redundaría en beneficios económicos para el país. Sin embargo, al enfrentar la tarea de poblar estos terrenos con recursos forestales productivos, inmediatamente se hace presente la necesidad de investigar aspectos relativos a la capacidad productiva de estos terrenos, con el objeto de priorizar los recursos hacia aquellos de mejores características. En este sentido, el desarrollo de métodos para contribuir a cuantificar la aptitud productiva de terrenos forestales desprovistos de plantaciones forestales, cobra vigencia.

El presente estudio aborda en forma preliminar el uso de información satelitaria para describir el comportamiento térmico de terrenos de aptitud forestal, con el fin de inferir a través de esta variable el estado hídrico relativo de éstos.

OBJETIVOS

El estudio tuvo como meta la concreción de los siguientes objetivos:

- Investigar aplicaciones en el área forestal de la información termal proporcionada por el sensor AVHRR, instalado a bordo de satélites meteorológicos de la serie NOAA.
- Desarrollar una metodología para establecer el comportamiento térmico de terrenos de aptitud preferentemente forestal, desprovistos de cobertura forestal.
- Analizar a través de la información termal la posibilidad de inferir el estado hídrico de estos terrenos.

Area de Estudio

El área de estudio (Ver Figura 1) corresponde a terrenos localizados en el área costera de la VI Región, limitados por un cuadrante con las siguientes coordenadas geográficas:

- al Norte : el paralelo 33° 55" Latitud Sur
- al Sur : el paralelo 34° 50" Latitud Sur
- al Este : el meridiano 71° 35" Longitud Oeste
- al Oeste : el Océano Pacífico

La superficie total del área señalada en la Figura 1 alcanzó a 398.375 ha; sin embargo, se descartaron del estudio un total de 167.375 ha cubiertas por plantaciones forestales o vegetación arbustiva mayor, por lo que el área efectivamente incorporada al estudio alcanzó a 231.000 ha.

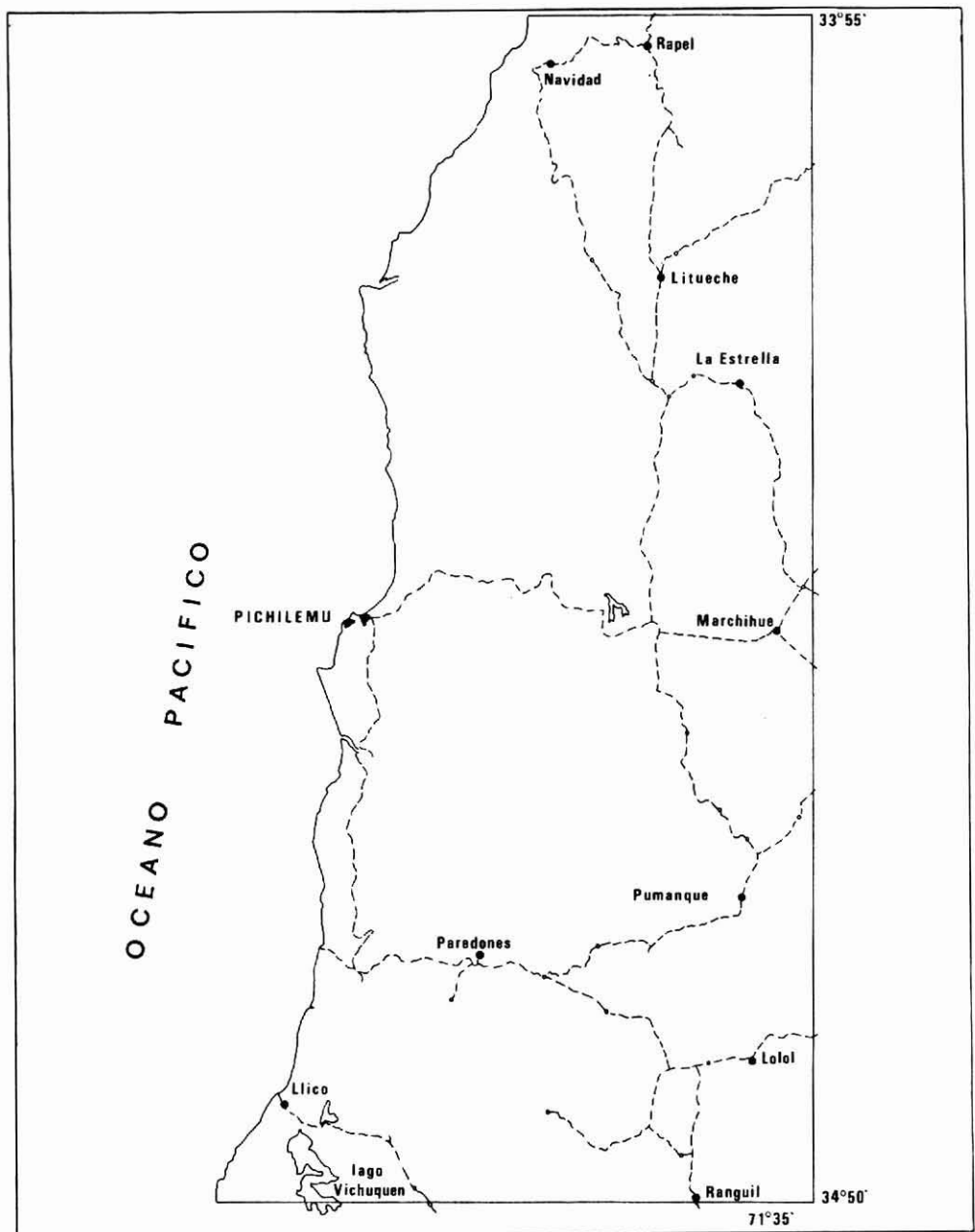
El relieve del área de estudio se caracteriza por la orientación Norte - Sur de dos grandes entidades de forma: La Cordillera de la Costa y las planicies litorales.

El área de estudio está dominada por dos tipos climáticos principales: el clima costero mediterráneo y el clima mediterráneo de la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa.

El primero se desarrolla en las planicies litorales y vertientes occidentales de la Cordillera de la Costa. Se caracteriza por una alta humedad atmosférica y nubosidad baja, lo que permite precipitaciones que varían entre 500 mm/año por el Norte y 850 mm/año por el Sur.

El segundo tipo climático se desarrolla en la Vertiente Oriental de los cordones costeros, caracterizándose por una aridez no acentuada. Ello se refleja en las precipitaciones, las cuales no varían más allá de 500 mm por el Norte y 700 mm por el Sur (CORFO - INFOR 1982).

FIGURA 1
CROQUIS DE UBICACION DEL AREA DE ESTUDIO



ANTECEDENTES DEL SATELITE NOAA

La organización NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) de los Estados Unidos opera una red de satélites polares y geoestacionarios que proveen datos utilizados en predicción meteorológica, en estudios oceanográficos e hidrológicos y en la observación del ambiente alrededor del planeta.

Los satélites NOAA, sucesores de las series ITOS y TIROS, tienen una órbita polar, a una altura de 850 km y con una inclinación de 98° con respecto al plano ecuatorial. El tiempo que demora en dar una vuelta alrededor del globo terráqueo alcanza 102 minutos.

Entre los instrumentos a bordo del satélite NOAA se incluye el sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), el cual consiste en un radiómetro multicanal con un espejo rotatorio, que en cada giro capta información de una franja de la superficie del globo terráqueo de 2.900 x 1,1 km. Esta información es enviada a 5 filtros de rango espectral diferentes, tres de los cuales captan energía electromagnética en el rango infrarrojo termal. (EPSTEIN et al 1984).

El Centro de Estudios Espaciales (CEE), dependiente de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, administra, opera y mantiene una Estación de Rastreo de satélites perteneciente a la red mundial de estaciones NASA.

Para las funciones de rastreo de los satélites, recepción de sus transmisiones y grabación análoga de los datos, se utilizan equipos de NASA. Para la decodificación de los datos y su posterior procesamiento, el CEE ha diseñado y construido los equipos y/o programas (Software) necesarios.

ANTECEDENTES BIBLIOGRAFICOS

En casi todas las porciones del espectro electromagnético en los cuales los procesos de emisión, reflexión y transmisión de energía están implicados, puede demostrarse que estos procesos son sensibles a las variaciones del contenido de humedad de los suelos. (AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMETRIC, 1983).

El uso de la energía solar reflejada desde el suelo no constituye una técnica muy promisoría para determinar el contenido de humedad de éstos, porque la reflectancia espectral de los suelos como función del contenido de humedad, depende de muchas otras variables, tales como la rugosidad de la superficie del suelo, geometría de la iluminación, materia orgánica y textura del suelo (JACKSON et al 1978). Estos factores, además del hecho de que las observaciones representan solamente una muy delgada capa superficial de suelo (aproximadamente 1 mm), limitan la utilidad de las mediciones de reflectancia para la determinación de la humedad del suelo.

En otras porciones del espectro electromagnético, tales como en la región de radiación termal (entre los 3 - 15 μm), el agua está fuertemente influenciada por las propiedades térmicas y dieléctricas de los suelos, que hacen posible su detección a través de sensores remotos. En este caso las observaciones están usualmente limitadas al rango espectral comprendido entre los 8 - 12 μm , donde los efectos de la atmósfera son mínimos, y la energía emitida es cercana al máximo para las superficies terrestres.

La tasa de cambio de la temperatura de los suelos es función de factores internos y externos. Entre los factores internos están la conductividad termal (k) y la capacidad calórica (c), que pueden ser combinados para obtener la inercia termal $P = (KC)1/2$.

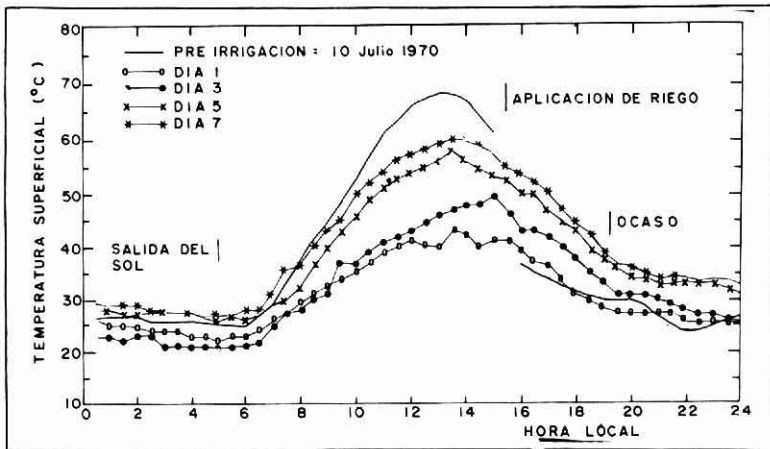
Las variables K y C están fuertemente relacionadas con la humedad del suelo, por tanto la inercia termal (P) y la temperatura de suelo dependen de la humedad del suelo (AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMETRIC 1983).

Entre los factores externos están las condiciones meteorológicas que afectan el balance de energía de la superficie terrestre, tales como radiación solar entrante, temperatura del aire, humedad relativa y viento. Si la variabilidad en estos factores externos puede ser calculada o mantenerse razonablemente constante, la tasa de cambio de estas variaciones remotas de temperatura de suelo o diferencia en la temperatura superficial estará relacionada con la humedad del suelo (IDSO et al 1975, JACKSON et al, 1978).

La Figura 2 ilustra los resultados obtenidos por el U.S. Water Conservation Laboratory, Phoenix Arizona (NASA/GSFC), en 1970, para la relación entre temperatura superficial y hora local, a lo largo de 7 días de observación después de efectuarse un riego del área de estudio.

FIGURA 2

EFFECTO DEL REGADIO EN CURVAS DE TEMPERATURA SUPERFICIAL DE UN AREA PILOTO



FUENTE: American Society of Photogrametric 1983

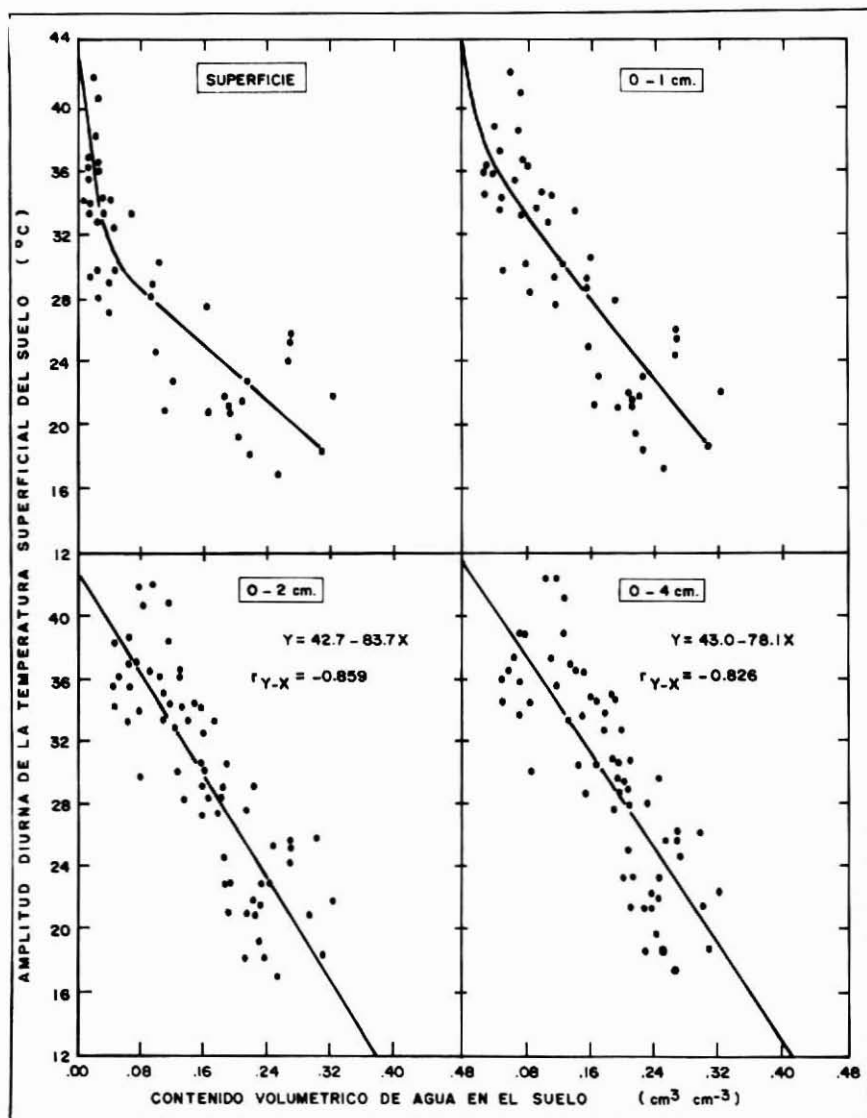
Se aprecia que la temperatura superficial para la misma hora local aumenta a medida que transcurren los días después del riego, consecuencia de una disminución del contenido hídrico del suelo.

IDSO et al (1975) encontraron que el contenido volumétrico de agua en capas superficiales de suelo de 2 a 4 cm de espesor fue función de la amplitud de la temperatura superficial diurna en días y noches despejadas. (Ver Figura 3).

Ello: también encontraron que el contenido de agua en el suelo fue una función de la diferencia entre el máximo valor diario de temperatura superficial de suelo y temperatura del aire. Usando observaciones realizadas por avión de la temperatura superficial del suelo, REGINATO et al 1976 y SCHMUGGE et al 1978 obtuvieron resultados similares a los encontrados por IDSO et al 1975.

FIGURA 3

RELACIONES ENTRE LA AMPLITUD TERMICA Y EL CONTENIDO DE AGUA EN EL SUELO



FUENTE: IDSO et al (1975)

MATERIAL Y METODO

Material

Para la realización del estudio se utilizaron los siguientes materiales:

- Imágenes termales obtenidas por el satélite NOAA-9 el 31 de Enero de 1987 a las 16:21 horas; 1º de Febrero de 1987 a las 03:45 horas y el día 30 de Marzo de 1987 a las 03:35 horas y 16:01 horas.
- Imágenes termales obtenidas por el satélite NOAA-10 el día 31 de Enero de 1987 a las 08:04 horas y 20:25 horas y el día 30 de marzo de 1987 a las 07:25 horas y 20:45 horas.
- Mapa de Chile escala 1:1.000.000, del Instituto Geográfico Militar.
- Carta Regular de Uso Público, escala 1:250.000 del Instituto Geográfico Militar, 1985.
- Mapas de evapotranspiración potencial mensual, elaborados por Merlet 1986.

Método

- *Obtención de datos transmitidos por los satélites NOAA*

La recepción y grabación de los datos se realizó en la Estación de Rastreo de Satélites de Peldehue. La decodificación de los datos y selección del área de estudio se realizó en equipos diseñados por el Centro de Estudios Espaciales.

El procesamiento de los datos, la generación de las imágenes y la impresión en colores de éstas se efectuó en un microcomputador APPLE II y en una impresora Diablo C-150. Actualmente estos procesos se están implementando en un PC IBM AT.

- *Selección de imágenes*

Para los efectos de este estudio se utilizaron imágenes termales NOAA obtenidas en meses de verano (Enero, Febrero, Marzo), por cuanto esta época del año presenta las siguientes ventajas:

La diferenciación en cuanto a temperatura superficial de los terrenos de interés es máxima. La posibilidad de encontrar la zona de estudio libre de nubes es mayor. Constituye la estación del año en que la disponibilidad hídrica para el crecimiento de los vegetales es mínima.

Debido a que los datos enviados por los satélites NOAA se reciben diariamente 4 veces al día desde 1984 en la Estación de Rastreo de Peldehue, el número de imágenes factible de utilizar en este estudio para los meses de verano alcanzó a 1.200 escenas. Por limitaciones de tiempo y costo, sólo se trabajó con imágenes de 1987 y con una sola fecha representativa de la situación termal del mes de Enero y otra representativa de la situación termal del mes de Marzo. Para seleccionar las imágenes representativas de la situación mensual se examinaron imágenes de distintos días del mes.

- *Obtención de imágenes*

Las imágenes seleccionadas se obtuvieron mediante el uso de un software de procesamiento digital de imágenes, y se imprimieron en una impresora a color, en una escala aproximada 1:1.000.000; abarcando un área de 280 km en sentido Norte - Sur y aproximadamente 200 km Este - Oeste.

Previo a la obtención de las imágenes, los datos de los canales termales fueron sometidos a los siguientes procesos:

a) Calibración de los datos, b) Corrección geométrica y c) Corrección atmosférica. Empleando un programa auxiliar, las imágenes fueron sometidas a un proceso de ajuste para

compatibilizarlas con el formato del mapa de Chile escala 1:1.000.000 del Instituto Geográfico Militar.

Debido a que el sensor AVHRR permite discriminar temperaturas aparentes con una precisión de $0,1^{\circ}\text{C}$, se procedió a obtener imágenes en las que se visualizaron mediante un color destacado clases de temperatura en rangos de 2°C . La temperatura superficial derivada de la energía térmica emitida por la superficie recibe el nombre de "aparente" o "brillante", ya que en su derivación no se ha considerado el coeficiente de emisividad. Para poder obtener la temperatura superficial real, es necesario conocer la emisividad de la materia de la superficie de toda el área de emisión.

La Figura 4 expone a modo de ejemplo una de las imágenes termales empleadas en este estudio.

- *Determinación del estado térmico de los terrenos APF*

Para determinar el estado térmico de los terrenos APF a partir de las imágenes NOAA, se procedió a confeccionar una plantilla transparente del mapa de Chile escala 1:1.000.000; se trazó la línea de costa, cuerpos de agua, cauces de ríos y otras características topográficas para ser usadas como puntos de control cartográfico. Posteriormente se marcó en la plantilla el área de estudio y se cuadrículó esta área en celdas de 2,5 por 2,5 minutos (total 231 celdas). Enseguida se excluyeron todas aquellas celdas en las cuales se detectaron cultivos forestales, vegetación forestal natural o uso agrícola intenso que pudieran afectar la cuantificación del estado térmico de los terrenos de interés (total 100 celdas). Para realizar esta labor se utilizaron mapas de recursos forestales de la misma área, imágenes Landsat en falso color y una imagen del índice de vegetación del mes de Enero, obtenida a partir de los canales visibles del sensor AVHRR del satélite NOAA-10. Las celdas finalmente seleccionadas se numeraron correlativamente. Posteriormente se superpuso la plantilla transparente con cada una de las imágenes obtenidas y se leyó celda por celda el valor clase de temperatura aparente predominante.

- *Procesamiento de la información*

Toda la información obtenida se incorporó a un archivo magnético, el cual se utilizó junto a una hoja de cálculo electrónico, provista de un paquete gráfico, para efectuar todos los cálculos y gráficos pertinentes.

El cálculo de las amplitudes térmicas se efectuó en cada una de las fechas consideradas en el estudio, tomando como base por un lado la imagen termal obtenida a las 16:00 horas y por otro la imagen termal correspondiente a la mínima temperatura observada. Esta última fue en un caso la imagen de las 03:00 horas y en otro la de las 08:00 horas.

La amplitud térmica se calculó por cuadrícula. Posteriormente los valores se agruparon por clases de intervalo y luego se transcribieron a una base del área de estudio elaborada en escala 1:250.000, en la cual las clases de amplitud térmica se colorearon para facilitar su interpretación. A esta base cartográfica se transcribieron las isóneas de evapotranspiración potencial mensual, provenientes de mapas elaborados por MERLET (1986).

Posteriormente se obtuvieron las zonas térmicamente homogéneas, utilizando para el efecto la amplitud térmica. Los valores individuales de amplitud termal (a nivel de celda) se agruparon en clases de 5°C , tanto en la imagen correspondiente al mes de Enero como al mes de Marzo. Los resultados se transfirieron al mapa escala 1:250.000, a partir del cual se obtuvieron dos reducciones que se presentan en este estudio.

FIGURA 4

IMAGEN TERMAL SATELITE NOAA

TEMPERATURAS

Zona: TALCA
 Fecha: 31/ENE/87
 Hora: 16:21 L

APARENTES

Satelite: NOAA-F
 Archivo: TE-8595
 Muestreo: 1:1

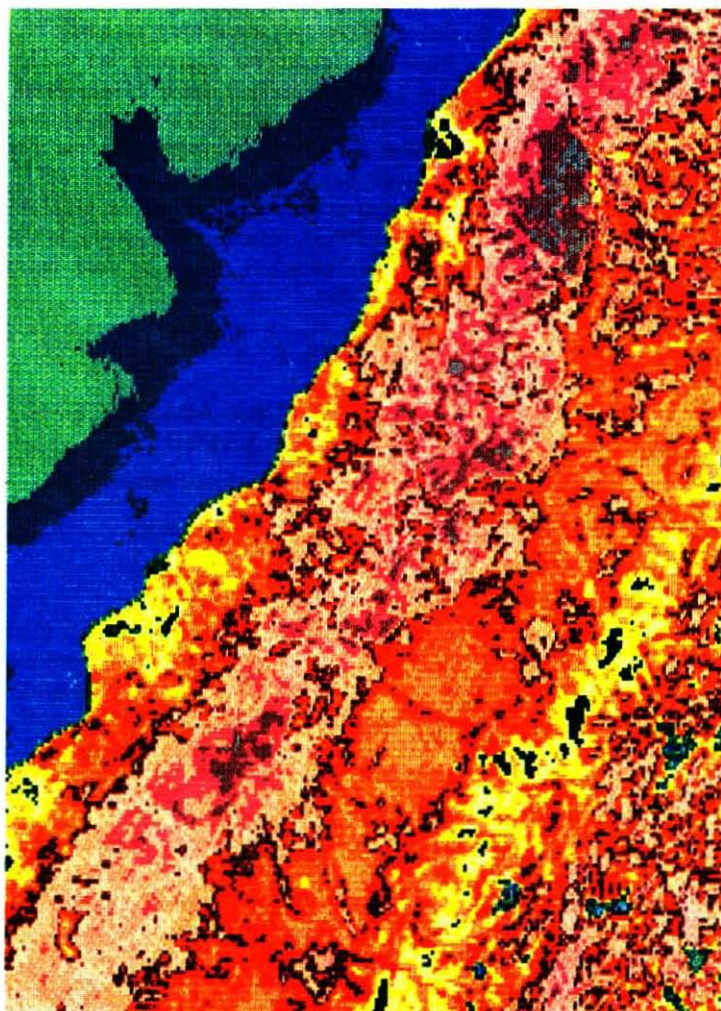
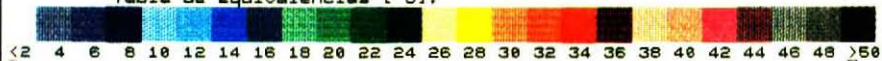


FIGURA N°4

Tabla de equivalencias [°C]:



Centro de Estudios Espaciales - U. de Chile

RESULTADOS
Caracterización térmica horaria y mensual del área de estudio

El comportamiento térmico de los terrenos en estudio se resume en las Figuras 5 y 6.

Del análisis de estas figuras se desprende que la temperatura aparente superficial presenta un comportamiento horario bien definido. Las temperaturas aparentes superficiales de mayor magnitud se presentan (independientemente del mes) aproximadamente a las 16:00 horas; en tanto que las de menor magnitud se presentan en la madrugada o a primera hora del día, dependiendo del mes. En el mes de Enero, las temperaturas aparentes más bajas, se observan a las 03:45 horas, mientras que en Marzo el fenómeno ocurre a las 07:25 horas.

La comparación de las Figuras 5 y 6 permite deducir que el estado térmico de los terrenos en estudio presenta un comportamiento estacional, traduciéndose esta situación en un cambio de magnitud de las temperaturas aparentes. En efecto, comparativamente a cualquier hora del día, Marzo presenta valores térmicos más bajos que Enero.

Puesto que la temperatura de un cuerpo es proporcional a la cantidad de energía que éste recibe (American Society of Photogrametric 1983), resulta entonces que la variación estacional de la temperatura aparente depende de la radiación solar, la cual también presenta un comportamiento estacional.

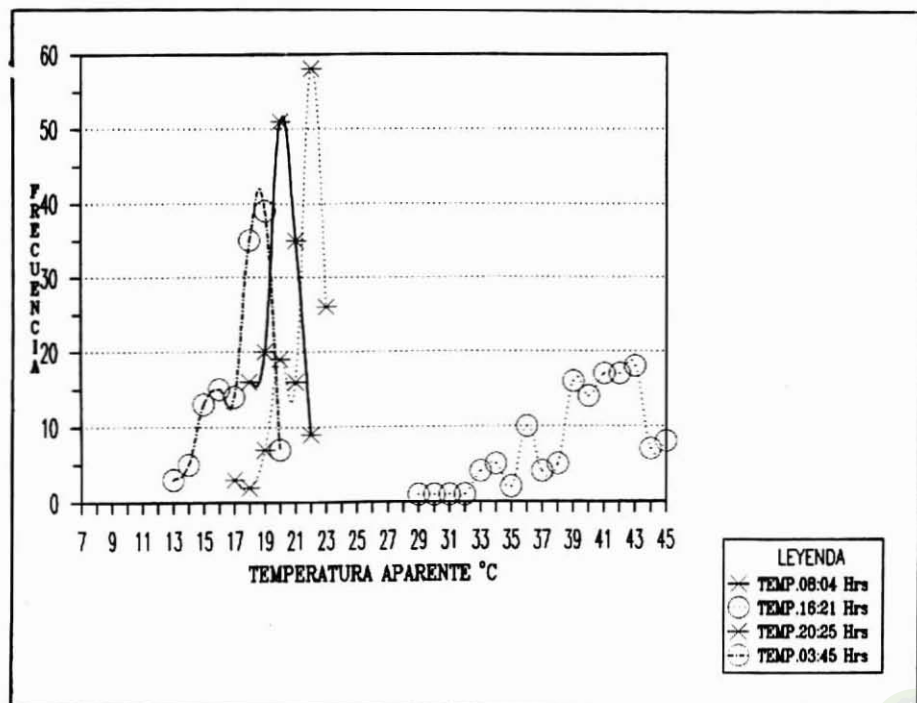
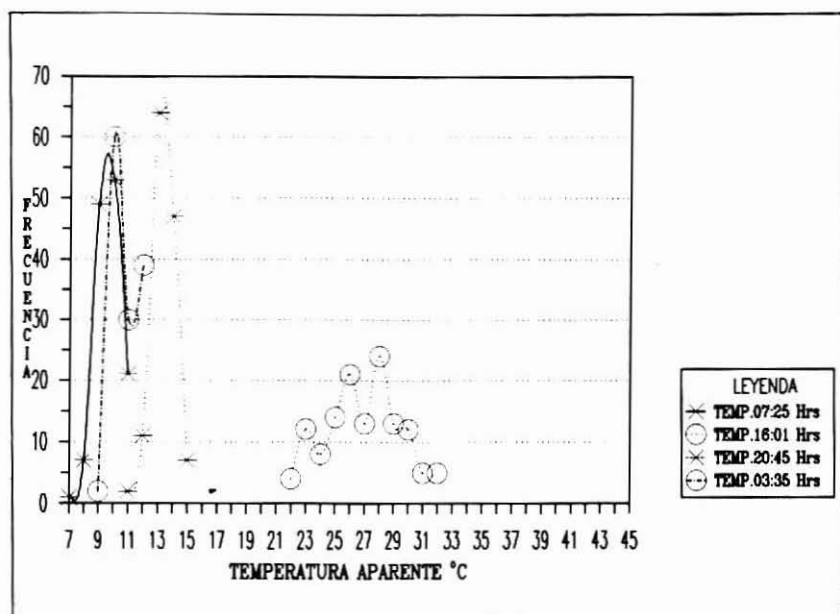
FIGURA 5
**CURVAS DE TEMPERATURA APARENTE
PARA EL MES DE ENERO**


FIGURA 6
CURVAS DE TEMPERATURA APARENTE
PARA EL MES DE MARZO



De la comparación de las Figuras 5 y 6 se desprende además que la hora a la cual ocurre la mínima temperatura superficial, también varía. En el mes de Enero el fenómeno ocurre a las 03:45 horas, en tanto que en el mes de Marzo el fenómeno se observa a las 07:25 horas. Es posible que esta situación para días despejados esté relacionada con la hora de salida del sol y con el valor de la máxima temperatura superficial alcanzada el día anterior.

Amplitudes térmicas superficiales

Las amplitudes térmicas superficiales del área de estudio tienden a presentar un comportamiento de tipo Gaussiano.

La Figura 7 elaborada a partir de los datos expuestos en el Cuadro 1, permite apreciar que la afirmación anterior es evidente en el caso de la distribución de frecuencia de amplitudes térmicas del mes de Enero, mes en el cual la amplitud térmica media por día alcanza a 22,4°C, con valores extremos de 13°C y 28°C.

Durante el mes de Marzo, las amplitudes térmicas son de menor magnitud, posiblemente debido a la disminución de la radiación solar y al aumento de la humedad relativa. Ello podría extender el efecto moderador del Océano Pacífico a una mayor proporción del área estudiada, lo que condicionaría valores más bajos de las amplitudes termales.

En Marzo, la amplitud térmica media por día es de 17,3°C, con valores extremos de 12°C y 24°C.

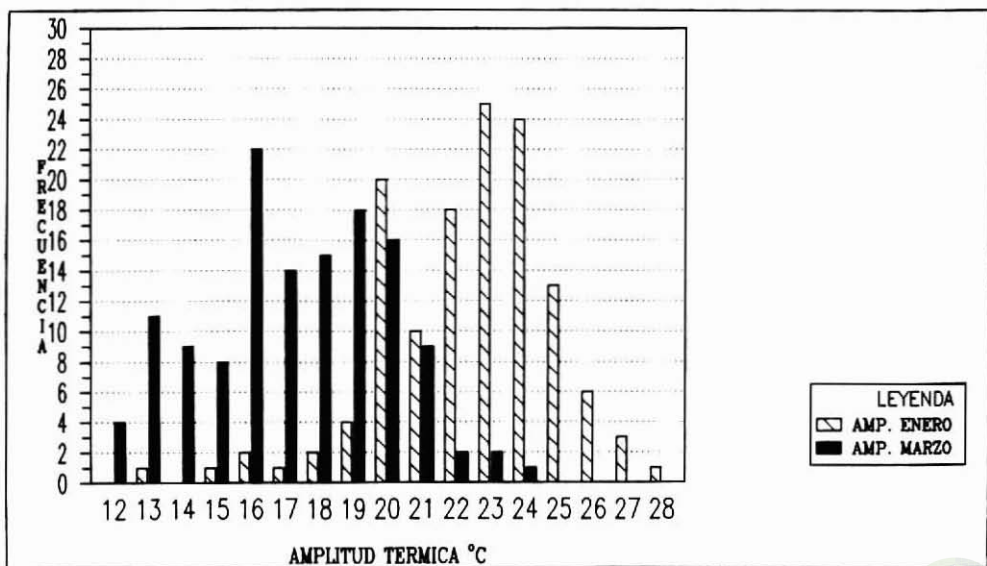
CUADRO 1

TABULACION DE FRECUENCIAS DE LAS AMPLITUDES TERMICAS OBSERVADAS EN EL AREA DE ESTUDIO

Amplitud Térmica (°C)	Frecuencia	
	Enero	Marzo
12	--	4
13	1	11
14	--	9
15	1	8
16	2	22
17	1	14
18	2	15
19	4	18
20	20	16
21	10	9
22	18	2
23	25	2
24	24	1
25	13	--
26	6	--
27	3	--
28	1	--
TOTAL	131	131
Media	22,4	17,3
Desv. estándar	2,49	2,69

FIGURA 7

AMPLITUDES TERMICAS OBSERVADAS EN ENERO Y MARZO



Comparación de Zonas Térmicamente Homogéneas con Isolíneas de Evapotranspiración Potencial Mensual

Las Figuras 8 y 9 exponen la clasificación térmica del área de estudio realizada en función de la amplitud térmica diaria para los meses de Enero y Marzo, conjuntamente con las isolíneas de evapotranspiración potencial mensual obtenidas por MERLET (1986).

Del análisis de estas Figuras se desprenden las siguientes observaciones:

- Durante Enero, gran parte del área estudiada presenta amplitudes térmicas que varían entre 20 - 24°C, en tanto que en Marzo predominan las amplitudes térmicas que varían entre 15 - 19°C.
- Comparativamente, las áreas de mayor amplitud térmica mantienen su posición geográfica relativa; sin embargo, las de menor amplitud térmica presentan durante Marzo un crecimiento notable y se extienden en el área de estudio en sentido Sur - Norte.
- Las zonas que presentan las mayores amplitudes térmicas concuerdan con terrenos ubicados en la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa y planicies litorales interiores, abarcando las zonas de Marchigüe, La Estrella, Litueche y Rapel.
- En términos generales, el gradiente térmico superficial Oeste - Este del área de estudio, concuerda con un aumento en la evapotranspiración potencial mensual en el mismo sentido.
- Existe cierta concordancia en la posición espacial de las isolíneas de evapotranspiración potencial mensual del área de estudio y la extensión y límites de las clases térmicas diferenciadas en la misma área. Las zonas de mayor amplitud térmica presentan, según las isolíneas de evapotranspiración potencial mensual, tasas de evapotranspiración más altas que las zonas de menor amplitud térmica.

En Enero los valores más altos de evapotranspiración potencial alcanzan a 180 -190 mm/mes, y los más bajos oscilan entre 160 - 170 mm/mes.

En Marzo, la evapotranspiración alcanza como máximo a 110 - 120 mm/mes y a 90 -100 mm/mes como valor mínimo.

- No obstante las limitaciones que presenta la comparación expresada anteriormente, es posible asegurar que la información térmica de los suelos desprovistos de vegetación podría utilizarse para mejorar la calidad de las cartas de evapotranspiración potencial, con lo cual se facilitarían el cálculo posterior de balances hídricos que permitan a los planificadores, diferenciar en zonas de secano terrenos en función de sus características hídricas. Se sugiere, sin embargo, para futuras investigaciones relativas al tema del presente estudio, comprobar con mediciones en terreno la hipótesis sintetizada en la Figura 3, con lo cual se dispondría de un método más directo para evaluar las características hídricas de los suelos de interés.

CONCLUSIONES

Caracterización térmica y mensual del área de estudio

- a) La temperatura aparente superficial de suelos descubiertos de vegetación, presenta un comportamiento horario y estacional bien definido, el cual es posible de monitorear hasta cuatro veces al día, durante todos los días del año, mediante el empleo de los canales termales del sensor AVHRR, instalado a bordo de satélites meteorológicos de la serie NOAA.
- b) Las temperaturas aparentes superficiales de mayor magnitud en los meses de Enero y Marzo se observan aproximadamente a las 16:00 horas, en tanto que las de menor magnitud se presentan en la madrugada o a primera hora del día, dependiendo del mes. Entre los factores que condicionarían la hora a la cual se produce la mínima temperatura superficial, se contaría la hora de salida del sol y el valor de la máxima temperatura superficial del día anterior.

FIGURA 8
AMPLITUDES TERMICAS
ENERO

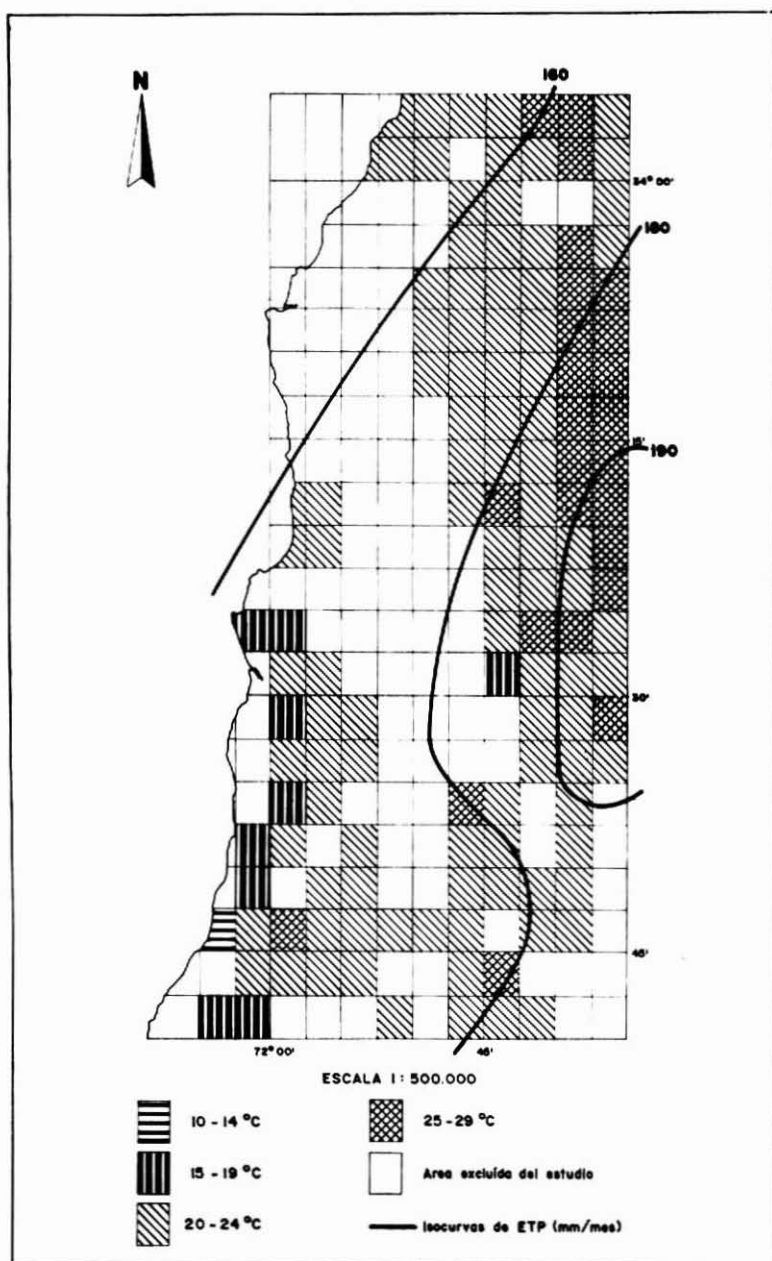
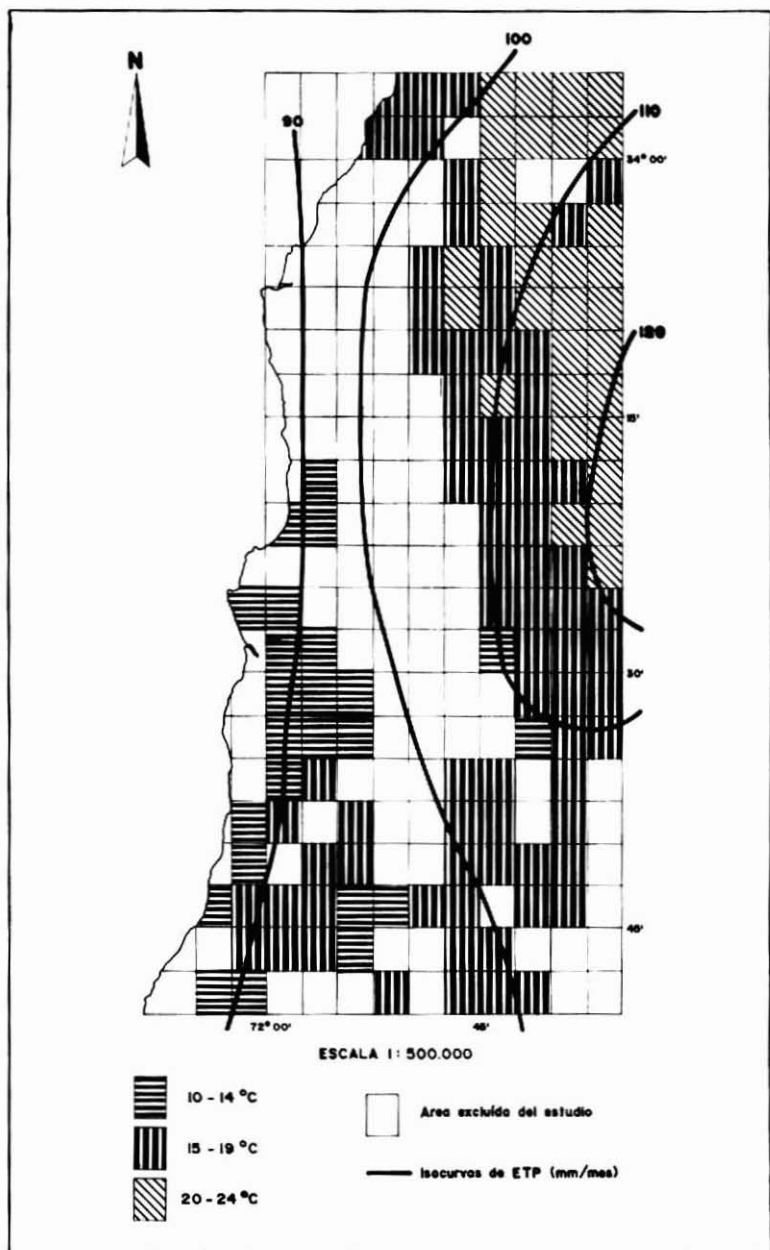


FIGURA 9

AMPLITUDES TERMICAS
MARZO



Amplitudes térmicas superficiales

c) El hecho de contar con cuatro observaciones diarias de la temperatura superficial de un mismo lugar permite a través del empleo de los satélites NOAA, el monitoreo de las amplitudes térmicas superficiales, sobre una base diaria o estacional.

d) La distribución de frecuencia de las temperaturas superficiales de los meses de Enero y Marzo tiende a presentar un comportamiento de tipo Gaussiano (forma acampanada).

En el mes de Enero la amplitud térmica media por día alcanza a 22,4°C, con valores extremos de 13°C y 28°C. En el mes de Marzo, la amplitud térmica media por día es de 17,3°C, con valores extremos de 12°C y 24°C.

Comparación de zonas térmicamente homogéneas con isolíneas de ETP mensual

e) La definición de zonas térmicamente homogéneas basadas en la amplitud térmica observada, permitió determinar que en el área de estudio es posible diferenciar un número mayor de zonas térmicamente homogéneas en Enero que en Marzo.

f) Comparativamente, las áreas de mayor amplitud térmica mantienen su posición geográfica relativa. Sin embargo, las de menor amplitud térmica presentan durante Marzo un crecimiento notable, extendiéndose en el área en sentido Sur - Norte.

g) Las zonas que presentan las mayores amplitudes térmicas concuerdan con terrenos ubicados en la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa y planicies litorales interiores, abarcando las zonas de Marchigüe, La Estrella, Litueche y Rapel.

h) Existe cierta concordancia en la posición espacial de las isolíneas de evapotranspiración potencial mensual del área de estudio y la extensión y límites de las clases térmicas diferenciadas en la misma área. No obstante las limitaciones que presenta dicha comparación, se sugiere investigar más a fondo esta relación, con el objeto de facilitar en zonas de secano la elección de terrenos de aptitud forestal de acuerdo con la favorabilidad hídrica que éstos presentan para determinadas especies forestales.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMETRIC. 1983. Manual of Remote Sensing 2a. Edición, 2.440 p.
 2. CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION, INSTITUTO FORESTAL. 1982. Perspectivas de Desarrollo Forestal del Area Secano Costero Maipo - Mataquito. Gerencia de Desarrollo, Proyecto AF/82/75, Informe Final, 174 p.
 3. CORPORACION NACIONAL FORESTAL, UNIVERSIDAD DE CHILE. 1985. Antecedentes Técnicos para la Adopción de Acciones de Planificación Indicativa del Desarrollo Forestal entre la V y X Regiones. Santiago, Chile, Ministerio de Agricultura, Corporación Nacional Forestal. Informe Final, 1a. Etapa, 52 p.
 4. EPSTEIN, E.; CALLICOT, N.; COTTER, D., and YATES, H. 1984. NOAA Satellite Programs. Reprinted from. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. Volume AES 20, Number 4, pp: 325 - 344.
 5. IDSO S. V. et al. 1975. The Utility of Surface Temperature Measurements for the Remote Sensing of Soil Water Status Journal of Geophysics-Res. 80: 3044 - 3049.
 6. JACKSON R. D., et al. 1978. Soil Moisture Estimation Using Reflected Solar and Emitted Thermal Radiation. Chapter four of Soil Moisture Workshop: NASA Conference Publication 2073, 219 p.
 7. MERLET, H. 1986. Evapotranspiración Potencial y Necesidades Netas de Agua de Riego en Chile. Santiago, Chile, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Tesis. 82 pp: y Mapas Anexos.
 8. REGINATO, R.J. et al 1976. Soil Water contents and evaporation determine by thermal parameter obtain from ground basis and remote measurements Journal of Geophysics Res. 81: 1616 - 1620.
 9. SCHMUGGE, T.J. 1978. Remote sensing of surface soil moisture. Journal of Applied Meteorology, V. 17, pp: 1549 - 1557.
-