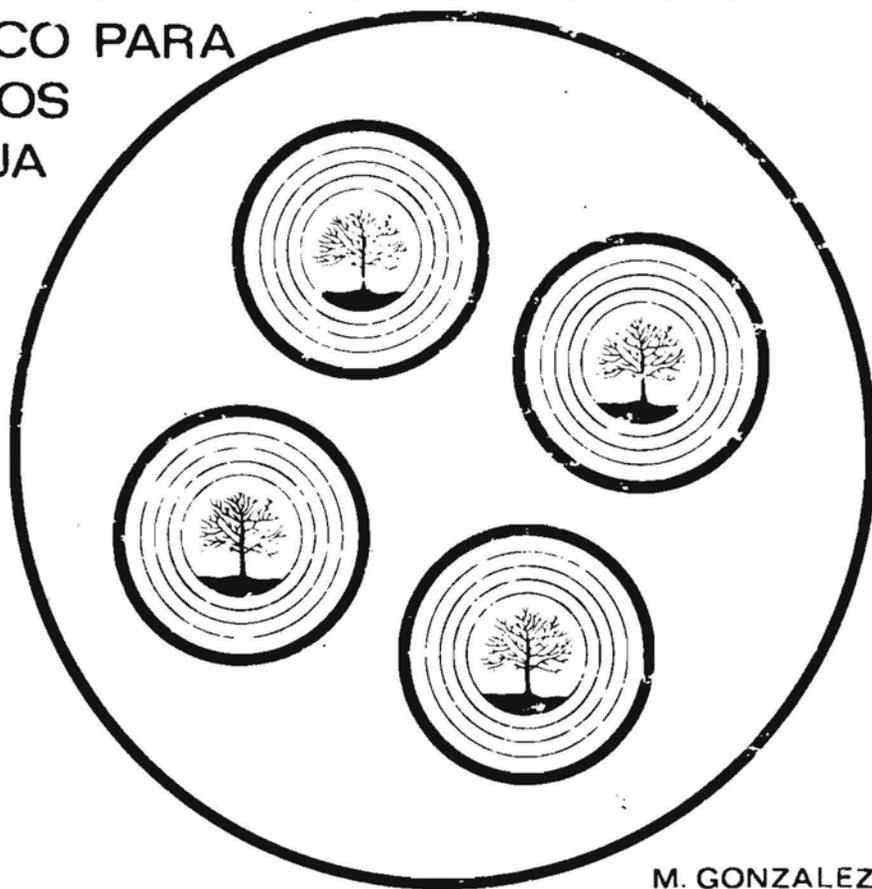


LA PERCEPCION REMOTA MULTIBANDA COMO
UN MEDIO ANALITICO PARA
ALGUNOS ASPECTOS
DEL SUELO, EL AGUA
Y LAS PLANTAS



M. GONZALEZ V.
G. DALANNAIS G.

I 66 P
1613
c. A.

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

LA PERCEPCION REMOTA MULTIBANDA COMO UN MEDIO ANALITICO
PARA ALGUNOS ASPECTOS DEL SUELO, EL AGUA Y LAS PLANTAS

MARTA GONZALEZ V.
GUILLERMO DALANNAIS G.
Ingenieros Agrónomos

PUBLICACION 18

SANTIAGO, JULIO DE 1974

01613 c. A.

INSTITUTO DE INVESTIGACION DE RECURSOS NATURALES – CORFO
INSCRIPCIÓN Nº 44.965 – SANTIAGO – CHILE – 1976

Impresores: Sociedad de Artes Gráficas Cepco Ltda.
Diseño Gráfico: Gloria Medina C. – Ana Paz Toro A.

INDICE

AGRADECIMIENTOS

	Págs.
INTRODUCCION	1
I.- REVISION BIBLIOGRAFICA	3
A.- Breve Reseña Histórica	3
B.- Teoría	3
B.1.- Espectro Electromagnético	4
B.2.- Análisis de la Radiación Electromagnética	6
B.3.- Fuentes de Energía Electromagnética	10
B.4.- Percepción Remota de la Energía Electromagnética	10
C.- Sistemas de Sensores Remotos	16
C.1.- Cámara Fotográfica	17
C.2.- Cámara Video	18
C.3.- Barredor Optico Mecánico	19
C.4.- Radar	20
C.5.- Cámara Multibanda	20
D.- Relaciones del Suelo, El Agua y Las Plantas con la Energía Electromagnética	25
D.1.- Las Plantas	25
D.2.- Suelos	32
D.3.- Agua	33
II.- MATERIAL Y METODO	35
A.- Material	35
A.1.- Ubicación del Area de Trabajo	35
A.2.- Características Generales del Area	39
A.3.- Equipos e Instrumentos	39
B.- Metodología	42
B.1.- Cubierta Aerofotogramétrica	42
B.2.- Información de Terreno	44
B.3.- Fotointerpretación	46
III.- PRESENTACION Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS	47
A.- Resultados y su Análisis	47
A.1.- Detección de Drenaje Natural	47
A.2.- Detección de Algunos Elementos de Geomorfología	50
A.3.- Detección de Riego	52
A.4.- Detección de Diferencias de Suelo	53
A.5.- Respuestas Espectrales Específicas de Cultivos	54

	Págs.
A.6.- Detección del Estado Hídrico en Vides	63
A.7.- Detección de Pérdidas de Vigor por Enfermedades	72
A.8.- Detección de la Humedad del Suelo	78
B.- Algunas Consideraciones sobre el Análisis de Factibilidad Técnico-Económica	
Aplicado a Programas de Sensores Remotos	82
B.1.- Definición de los Requerimientos de Información	84
B.2.- Elección del Sistema de Percepción Remota	85
B.3.- Análisis de Factibilidad Técnica	85
B.4.- Evaluación Económica	86
IV.- CONCLUSIONES	88
V.- RESUMEN	91
SUMMARY	93
VI.- BIBLIOGRAFIA	95
VII.- ANEXOS	99

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a todas aquellas personas e Instituciones que de una manera u otra, hicieron posible la realización de este trabajo, en forma especial:

- A los Ingenieros Agrónomos Sres. EDUARDO MELENDEZ y MARCELO QUEZADA, (Profesores del Departamento de Ingeniería Agrícola de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Chile) por sus desinteresadas colaboraciones y consejos.*
- Al Servicio Aerofotogramétrico de la Fuerza Aérea de Chile, por la adquisición de las imágenes y su posterior revelado.*
- Al Interamerican Geodetic Survey (IAGS), por el préstamo de la Cámara y Visor Multiespectral.*

Santiago, Julio de 1974.

INTRODUCCION

Hoy en día, el hombre se ve enfrentado ante un grave problema, producto de la creciente población mundial, que es emplear los recursos naturales y medio ambiente en la mejor forma posible, para alcanzar así a satisfacer la enorme demanda de alimentos y fibras. Dadas estas razones, se hace prioritaria la preparación de inventarios y evaluaciones periódicas de recursos que las organizaciones nacionales e internacionales utilizan para orientar la producción. Si el hombre, entre sus propósitos, tiene el de organizar una sociedad justa, eficaz y altamente productiva, necesariamente debe contar con datos exactos y actualizados del medio en que se desenvuelve.

El Instituto de Investigación de Recursos Naturales (IREN-CORFO), consciente de lo anterior, ha promovido la introducción y el posterior desarrollo de técnicas que tiendan a satisfacer esas aspiraciones. En este contexto, ha patrocinado, en convenio con el Interamerican Geodetic Survey (IAGS), el presente trabajo, primero en su género que se realiza en el país.

Los sensores remotos son usados en la actualidad en varias fases de la investigación agrícola. Uno de los sensores de mayor uso y desarrollo es la fotografía aérea, la que puede utilizar películas blanco y negro, color e infrarrojo.

La fotografía aérea de alta especialización se está usando en forma progresiva, particularmente en las naciones de mayor desarrollo, ayudando al manejo y evaluación de los programas agrícolas. Por lo tanto es importante para el país conocer estas técnicas, formar personal idóneo y mantenerse constantemente informado de los adelantos alcanzados en otras naciones. Estas razones básicas son la principal motivación del presente trabajo.

Los objetivos de esta investigación, que considera la percepción remota hecha con fotografías aéreas multibanda y color, son la detección de algunos aspectos del suelo, el agua y las plantas. Para ello se eligieron sitios de prueba que permitieron un control terrestre de las variables en estudio.

Se entrega una discusión sobre la detección de la humedad del suelo, del drenaje natural, enfermedades de árboles frutales, percepción de niveles de nitrógeno y estado hídrico en plantas de vides en parronales e identificación de algunas señales específicas que permiten reconocer vegetación, seleccionando para ello la o las mejores bandas del espectro electromagnético.

Se revisan conceptos que dicen relación con factores físicos y ambientales que afectan la reflexión de la luz por las hojas de las plantas y la influencia de su estructura interna en la absorción de luz, y por lo tanto en la reflexión de señales electromagnéticas específicas, factibles de identificar en las fotografías aéreas.

Finalmente, se incluye un informe que plantea una metodología para el análisis técnico-económico de la percepción remota en cuanto a su aplicación y desarrollo en el país.

I.— REVISION BIBLIOGRAFICA

A.— BREVE RESEÑA HISTORICA

El término percepción remota significa simplemente “reconocer a distancia”, por lo tanto, pertenece a una de las actividades más antiguas del hombre.

Se puede señalar que la percepción remota tuvo su origen en el hombre primitivo, cuando éste se vio en la necesidad de entrenar sus ojos, sus oídos y su olfato en un esfuerzo por detectar la presencia de animales peligrosos, alimentos, etc. Pero casi todos los fenómenos del mundo que rodean al hombre están más allá de poder ser alcanzados por los sensores con que lo dotó la naturaleza. Los ojos, responden a una pequeñísima fracción del espectro electromagnético (entre 0.4 y 0.7 micrones), los oídos sólo entre 16 y 20.000 ciclos/seg. de frecuencia, y la piel, a relativamente amplios cambios de temperatura. El hombre ha debido entonces, crear los instrumentos necesarios para ampliar su limitada capacidad sensorial, ya sea dando mayor potencia a sus propios sensores, o inventando otros que corresponden a nuevos sentidos, extracorporales, destinados a suplir su insuficiente capacidad perceptora.

En sus comienzos históricos, los sensores extracorporales o remotos, dieron dos grandes pasos dentro de un lapso no mayor a un siglo, motivados fundamentalmente por el desarrollo de dos técnicas, la fotografía y la navegación aérea en globos. A través de la navegación aérea le fue posible, al hombre, ocupar un punto en el espacio desde el cual pudo tener una gran visión panorámica; la perspectiva vertical de la tierra. Por medio de la técnica fotográfica, pudo adquirir lecturas permanentes de la superficie de la tierra. Más tarde, midiendo e interpretando las fotos aéreas, le fue posible obtener un mayor conocimiento del medio ambiente, conduciéndolo a desarrollar una visión espacial, que no tuvo a su alcance mientras se encontró sujeto a la tierra y a sus propios sensores.

Con esta información, el hombre ha podido desarrollar la fotogrametría y la fotointerpretación, midiendo e identificando objetos. Inicialmente, las imágenes obtenidas con fotografías aéreas estaban limitadas solamente a la región de la luz visible, y eran registradas en películas sensibles a todos los colores (película pancromática). Después, especialmente en las tres últimas décadas, el hombre adquiere la habilidad de hacer simultáneamente varias fotos de una misma zona, en cada foto usando diferentes y seleccionados valores de luz, siendo todos los demás filtrados. Recientemente ha aprendido cómo obtener imágenes usando luz no visible, o sea, aquellas regiones del espectro electromagnético que no son percibidas por los sensores humanos. Es así como la técnica multispectral ha tenido su origen.

Como lo indica la figura 1, del análisis teórico de los elementos que componen la percepción remota, pasando por las experiencias de laboratorio, se llega hoy en día, a aplicar la percepción remota desde vehículos espaciales.

B.— TEORIA

Una fracción importante de la tecnología moderna que ha contribuido a facilitar el estudio de los recursos naturales y las relaciones existentes en la naturaleza, es la electro-óptica, especialmente en lo que se refiere a percepción remota, entendiéndose por tal, a juicio de Colwell (6) y Lunney and Dill (31), la adquisición de información sobre ciertos fenómenos o procesos ambientales, sin poner el

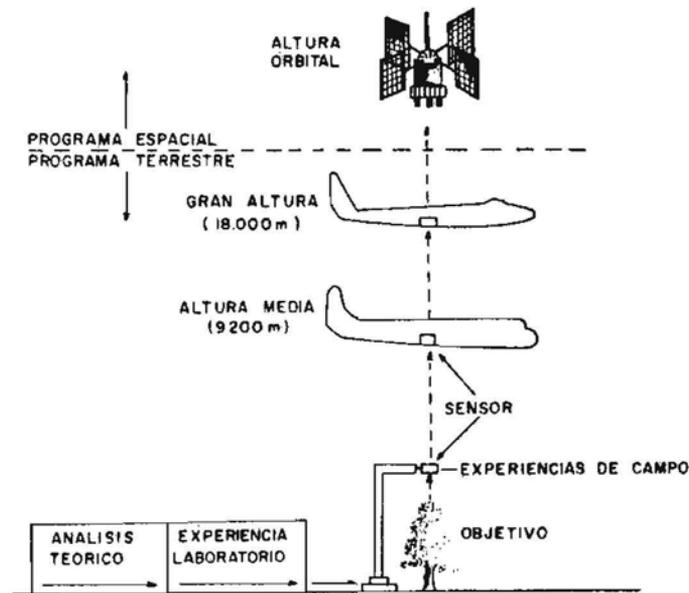


Fig 1 Desarrollo de la Percepción Remota

aparato compilador en contacto con el sujeto de la investigación.

Villa (46) explica que la percepción remota se basa, físicamente, en que cualquier objeto, ya sea animal, vegetal o mineral, emite y refleja una forma de energía peculiar, de tipo electromagnética, que ciertos instrumentos, los sensores, pueden percibir y registrar automáticamente a distancia. La figura 2 lo muestra esquemáticamente.

B.1.- Espectro Electromagnético

La energía electromagnética se puede definir en términos de longitud de onda, velocidad de la onda, frecuencia de onda y nivel de energía. La energía, que se mueve a 300.000 Km/seg en un patrón armónico de ondas, puede variar conforme a longitudes de onda o frecuencias, por lo que constituyen un espectro de energías denominado espectro electromagnético. Los términos rayos gama, rayos X, ultravioleta, luz visible, cercano infrarrojo, etc..., constituyen la nomenclatura común para designar las distintas fracciones del espectro electromagnético. En la figura 3 se señala gráficamente las porciones del espectro y las relaciones existentes entre el nivel de energía (temperatura) y la longitud de onda.

Expresando lo anterior en forma matemática, los términos usados para definir la energía electromagnética quedan relacionados así: la frecuencia de onda, f , es directamente proporcional a la velocidad de onda, v , e inversamente proporcional a la longitud de onda, λ quedando formulada en la siguiente ecuación:

$$f = \frac{v}{\lambda} \cdot a \quad (2-1)$$

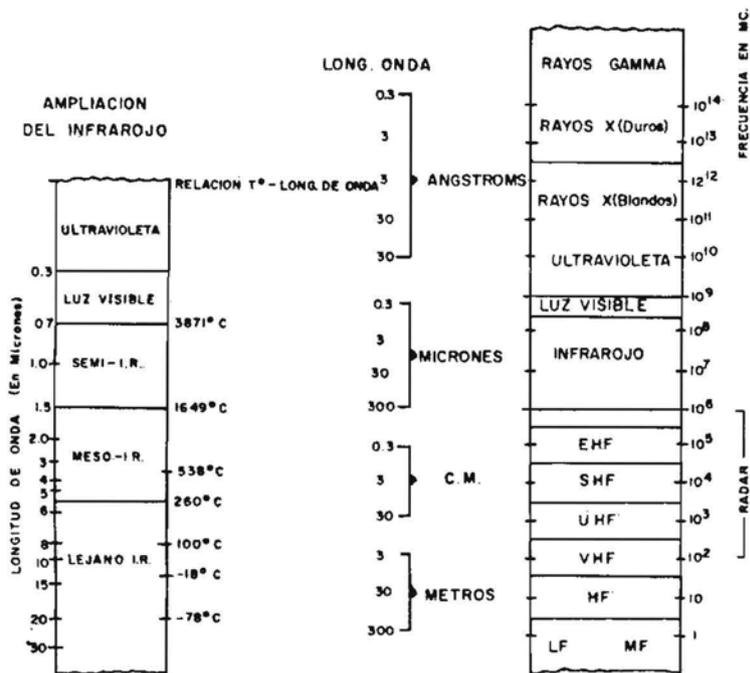


Fig. 3. Espectro Electromagnético

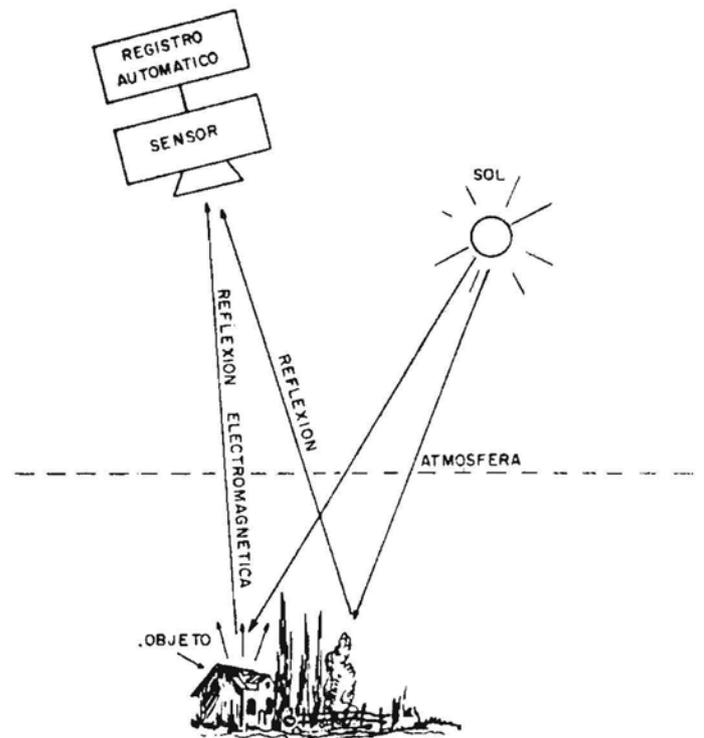


Fig. 2 Interacción de la energía electromagnética con los objetos.

donde “a” es una constante, cuyo valor depende de las unidades con que se expresan los tres factores. Sears y Zemansky (41).

Colwell et al. (7) hacen notar que el espectro electromagnético no considera otros importantes campos de operación de los sensores remotos como son los campos de fuerza, las partículas cargadas o descargadas y las vibraciones sónicas u otras mecánicas, cuyas ondas requieren un medio de propagación y su velocidad es función de ese medio.

Cada uno de estos campos también puede ser explotado para obtener información.

Planck estableció que hay una mínima unidad de energía en la radiación electromagnética, la que es transferida en unidades discretas o cuantadas (o fotones), por lo que no sólo se debe considerar la radiación como ondas sino también como impulsos de energía o “partículas de energía”.

Las características esenciales de todas las ondas electromagnéticas son las mismas y ellas sólo difieren entre sí en frecuencia y energía. Las diferencias efectivas entre la luz visible y la energía del cercano infrarrojo existen sólo en sus interacciones con la materia.

Toda la materia está constituida de partículas unidas entre sí por fuerzas finitas. Estas partículas son las unidades fundamentales con que están contruidos átomos y moléculas, determinando un volumen y una densidad. El electrón está en rápido y constante movimiento, conservando una posición definida en el espacio y el tiempo; así, tiene especificada una frecuencia de vibración, rotación, de precedencia, etc...; de aquí que la estructura electrónica de átomos y moléculas de una determinada clase de materia, sea distinta de aquélla en que los átomos y moléculas forman otra clase de materia.

Es esencial entender que las altas frecuencias y la energía asociada con los electrones, son particularmente las mismas que están asociadas con los fotones de las ondas electromagnéticas en la zona del espectro que va desde el ultravioleta al cercano infrarrojo. En la zona de altas frecuencias o de longitudes de onda corta, la energía del fotón ha aumentado más allá de la energía que poseen los átomos y moléculas, por lo que una colisión individual con el fotón da origen a una ruptura de la materia. En las bajas frecuencias, la energía de los fotones es pequeña y las longitudes de onda son largas comparadas con las distancias atómicas, de tal manera que ocurren ajustes estructurales.

Cuando un fotón de una energía específica choca con la materia, ocurren numerosas interacciones. Si la masa y la energía se conservan, de acuerdo a los principios físicos básicos, la energía puede, entonces, ser:

- a) Absorbida: originando calor, dándole mayor temperatura a la materia
- b) Emitida: o mejor dicho re-emitida por la materia, en función de su estructura y temperatura
- c) Disipada: esto es, deflectada y perdida por absorción o por nueva disipación
- d) Reflejada: o sea, devuelta sin cambios al medio.

Esto lleva a la siguiente conclusión: la absorción, emisión, dispersión y reflexión de la energía electromagnética por una determinada clase de materia, es selectiva, teniendo en consideración la longitud de onda, y es específica para esa particular clase de materia, dependiendo básicamente de su estructura atómica y molecular.

B.2.— Análisis de la Radiación Electromagnética

Ya que las características esenciales de las ondas electromagnéticas son las mismas, el siguiente análisis se hará para la energía infrarroja, aunque es perfectamente válido para cualquier porción del espectro electromagnético.

Todos los objetos emiten radiación, la energía irradiada resulta de la vibración y rotación de los

átomos y moléculas. En la medida que un objeto se calienta, aumenta su actividad molecular, por lo que también aumenta su capacidad de entregar energía. La materia dejará de emitir radiación solamente en el cero absoluto (-273°C) en donde cesa toda actividad molecular.

La teoría desarrollada para la radiación infrarroja obedece a muchas de las leyes que se aplican a la luz. Burton (3) explica que cuando la energía infrarroja incide contra un objeto, puede ser reflejada desde esa superficie, transmitida a través de la misma o absorbida por ella.

La reflectividad, ρ , es la medida de la habilidad de un objeto para reflejar energía electromagnética incidente.

La absorbilidad, α , es la medida de la habilidad que posee un objeto para absorber energía incidente.

Transmisibilidad, τ , es la medida de la capacidad de un objeto para transmitir energía incidente.

La suma de los tres factores, ρ , α y τ es igual al 100% de la energía incidente, o sea,

$$1 = \rho + \alpha + \tau \quad (2-2)$$

Holter (21) informa que algunas superficies, como los espejos, son excelentes reflectores y no transmiten ninguna radiación. Un espejo perfecto tendrá una reflectividad de 1.0 y, por lo tanto, una absorbilidad y transmisibilidad de cero. Un absorbente perfecto tendrá, a su vez, un valor de absorbilidad igual a 1.0.

Pero en la naturaleza no existen absorbentes o transmisores perfectos. Teóricamente, un absorbente perfecto se denomina cuerpo negro. Absorbe 100% de la energía incidente, no tiene reflexión ni transmisión. Pero el cuerpo negro no sólo es absorbente perfecto, sino también es un emisor perfecto, es decir, que emitirá la mayor cantidad de energía radiante a cualquier temperatura.

Según Kirchhoff, citado por Burton (3), cuando un objeto se encuentra en equilibrio térmico, la cantidad de absorción (o absorbilidad, α) será igual a la cantidad de emisión (o emisividad, ξ), lo que puede escribirse de la siguiente manera:

$$\alpha = \xi \quad (2-3)$$

Al sustituir en la ecuación 2-3 se tiene:

$$\xi = 1 - (\rho + \tau) \quad (2-4)$$

La absorción es reactivamente opuesta a la emisión, pero son numéricamente iguales en un equilibrio térmico.

La emisividad, ξ , es la medida de la facilidad con que un objeto o una superficie emite radiación. La emisividad es la razón existente entre la energía radiante emitida por un objeto a temperatura T° , con la energía radiante emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura T° . Se puede expresar así:

$$\xi = \frac{W_o}{W_{cn}} \quad (2-5)$$

En que:

W_o = energía total emitida por un objeto a temperatura T^o .

W_{cn} = energía total emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura T^o ..

Los valores de emisividad pueden variar entre cero (para un reflector o transmisor perfecto) y uno (para un cuerpo negro).

Cuando más se calienta un objeto, más energía electromagnética emitirá. De acuerdo a la ley de Stefan-Boltzman, la energía total emitida por un objeto se relaciona con su temperatura de la siguiente manera:

$$W = \xi \sigma T^4 \quad (2-6)$$

Donde:

W = energía radiante emitida en vatios/cm².

ξ = factor de emisividad

σ = constante de Stefan-Boltzman igual a 5.67×10^{-12} vatios/cm² K⁴ .

T = temperatura absoluta.

La figura 4 muestra la curva de energía irradiada por un cuerpo negro en función de su temperatura.

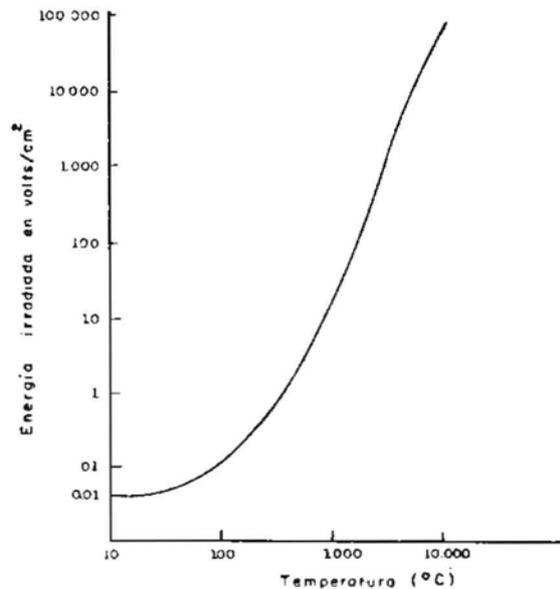


Fig. 4 Curva de energía irradiada por un cuerpo negro

Los objetos emiten energía electromagnética en distintas longitudes de onda. La energía emitida en cualquier longitud aumentará en la medida que se incrementa la temperatura.

La ley de desplazamiento de Wien, citada por Burton (3), determina la longitud de onda para la cual la radiación emitida es máxima.

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{2.897 \times 10^3}{T} \quad (2-7)$$

Donde:

λ_{max} = longitud de onda en micrones.

T = temperatura absoluta.

La longitud de onda se acorta en la medida que aumenta la temperatura, por lo que los cuerpos muy calientes emitirán en longitudes de onda menores que los cuerpos más fríos. (figura 5).

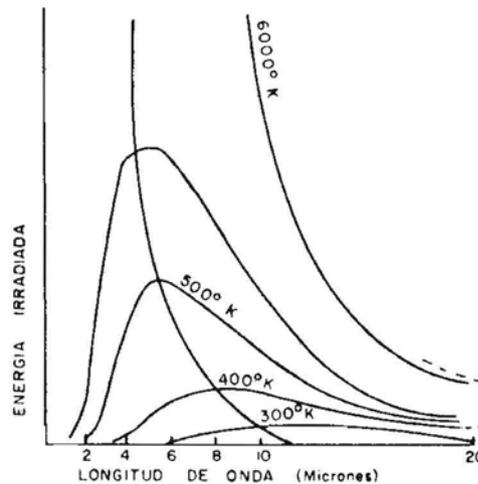


Fig 5. Curvas de irradiación de un Cuerpo Negro

En general, los materiales tienen distintos valores de emisividad espectral (que es la habilidad del objeto para emitir en una determinada banda espectral o intervalo de longitud de onda), lo que hace posible diferenciarlos.

La relación existente entre la emisividad espectral, la temperatura y la energía irradiada, se expresa por la ley de Planck. Planck, citado por Colwell et al. (7), propuso que la energía es adquirida y emitida por el cuerpo radiador en pequeñas unidades variables de energía (fotones), por lo que la distribución de esta energía será también variable, o sea, será entregada o repartida en distintas longitudes de onda.

$$W_{\lambda} = \frac{\xi_{\lambda} C_1}{\lambda^5 (e^{C_2/\lambda T} - 1)} \quad (2-8)$$

En la que:

W_{λ} = radiación emitida por el objeto en longitudes de onda λ .

ξ = emisividad del objeto en longitud de onda λ .

C_1 = primera constante de radiación de Planck (3.75×10^{-12} vatios/cm²).

C_2 = segunda constante de radiación de Planck (1.438 cm K).

λ = longitud de onda en micrones.

T = temperatura en grados Kelvin.

Las ecuaciones (2-6) y (2-8) son las expresiones para la cantidad total de energía emitida por una superficie, en un ángulo de 2π estereoradianes (hemisferio total de espacio que rodea esa superficie).

La intensidad de la radiación emitida por una fuente puntual varía de acuerdo con el cuadrado de la distancia entre la fuente y el detector.

Todo el análisis anterior, tiene como objeto dar las bases para entender los principios físicos en que descansa la percepción remota.

B.3.— Fuentes de Energía Electromagnética

Las fuentes de energía electromagnética comprenden aquellos objetos o cuerpos que son capaces de generar energía. Se pueden distinguir dos tipos: fuentes naturales y fuentes artificiales.

Las fuentes artificiales corresponden a objetos como motores, hornos, lámparas de luz, etc... Las fuentes naturales están representadas por los cuerpos celestes, (sol, estrellas, planetas), las plantas, rocas, animales y el mar.

Para los fines de la percepción, los que tienen mayor importancia son el sol y la tierra.

El sol irradia enormes cantidades de energía en distintas bandas del espectro, teniendo su máximo en alrededor de 0.5 micrones, por lo que es una excelente fuente de iluminación para la superficie de la tierra. Cerca del 50% de la radiación solar se concentra en la parte infrarroja del espectro electromagnético.

La tierra, al estar absorbiendo energía del sol, llega a alcanzar una temperatura promedio de 300° K, lo que la hace tener su máximo de radiación en una longitud de onda de 9.6 micrones (ver figura 5).

B.4.— Percepción Remota de la Energía Electromagnética

Ya que toda la energía electromagnética es irradiada hacia el espacio, según la aproximación hecha a la ley de Planck por Rayleigh—Jeans, citado por Holter (21), sin requerir de un medio de propagación, es posible, según Parker (36), caracterizar las propiedades electromagnéticas de un objeto cualquiera en el Universo, siempre que se disponga de un aparato detector adecuado para interpretar

esa radiación. (figura 6).

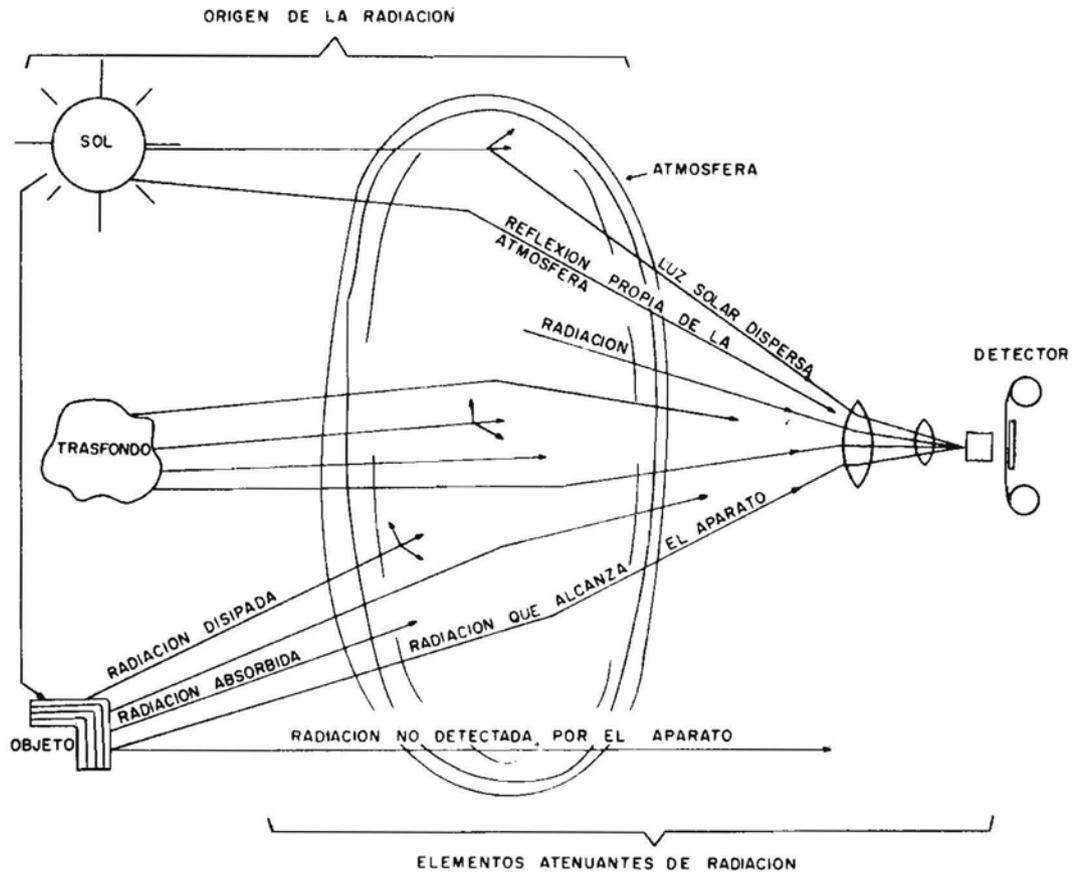


Fig. 6. Detección Remota

Legault (29) sostiene que la señal o energía electromagnética que recibe un perceptor remoto, es la suma de dos componentes, una señal emitida más otra reflejada. Esta radiación puede proceder de cualquier fuente, ya sea natural o artificial. Las propiedades ópticas del objeto en investigación determinarán la magnitud de la radiación incidente reflejada en una dirección específica.

Una parte de la radiación es atenuada por la atmósfera y la restante es aprovechada por el sensor.

Para un material opaco, ρ representa la radiación reflejada desde la superficie. Para un material transparente, como el agua, la radiación tiene un componente de reflexión superficial y otra de radiación dispersada por el material.

Existen dos modelos simples para la distribución bidireccional de la radiación reflejada. Se dice que una superficie es reflectora difusa, si la radiación incidente es dispersada uniformemente hacia el hemisferio. Entonces, la energía reflejada en un ángulo Θ , desde una superficie A, es igual a $A \sin \Theta_1$ para todos los ángulos azimutales Θ_2 . Esta distribución es independiente de los ángulos de incidencia (ϕ_1, ϕ_2). (Figura 7).

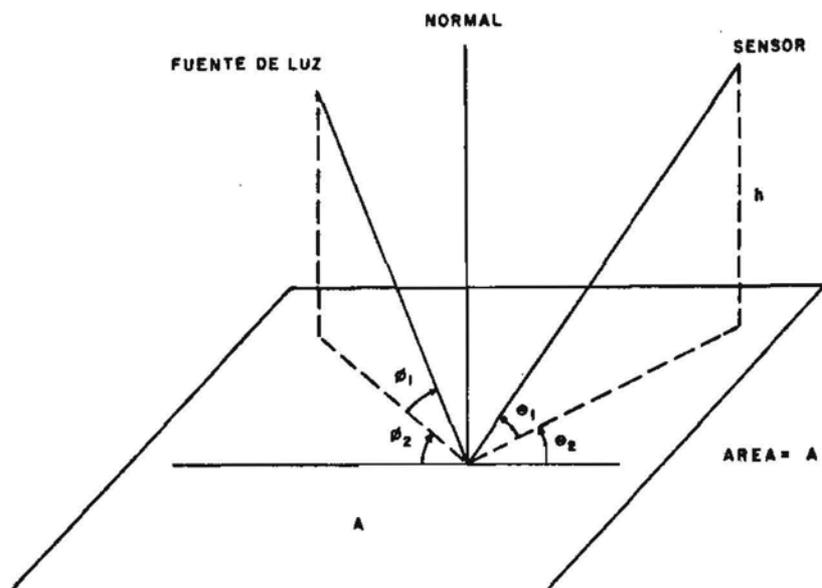


Fig. 7. Geometría de la radiación.

Una superficie especular refleja la radiación incidente en un plano definido por la normal a la superficie y el rayo incidente, especificando que para una superficie pulida la energía incidente que es reflejada está en función de la polarización y del ángulo de incidencia.

Los materiales naturales como plantas, suelos, rocas, animales, pueden ser difusos, especulares o presentar propiedades intermedias.

La detección de un objeto natural mediante observaciones remotas, requiere de diferencias entre la radiación del objeto y su medio ambiente. Esta radiación, llamada contrastante, se debe a diferencias de reflexión, ρ , emisividad ξ o temperatura T , entre el objeto y su alrededor. La identificación del objeto se hace en base a la distribución espacial (forma), distribución espectral (color), a la polarización y a la distribución temporal de la radiación electromagnética. La percepción remota debe considerar, entonces, las características espectrales y la polarización de los objetos reflectores o emisores, así como también la distribución temporal de la temperatura de los mismos.

De este modo, las características espectrales de los objetos pueden ser usadas para distinguir una cosa de otra, para obtener información sobre formas, tamaños u otras propiedades físicas o químicas de la materia.

A medida que se van conociendo las características espectrales de los objetos, es posible construir el detector apropiado para realizar mediciones de la energía electromagnética. Pero aún existen grandes vacíos en el conocimiento de la emisividad y reflectividad espectral de los objetos naturales, especialmente en longitudes de onda que están fuera de la porción visible del espectro electromagnético. Gran parte de la información existente se ha obtenido en laboratorios y según Myers (33) es inadecuada para describir características espectrales de suelos, rocas, vegetación, etc., debido principalmente a las complejas interrelaciones existentes entre la energía y los materiales que rodean a los objetos en estudio.

Colwell (4) y Thomas et. al. (45) manifiestan que es necesario adquirir datos a través de mediciones in situ, bajo diferentes condiciones de tiempo y clima, y aunque tales estudios se han visto

acentuados ahora último, son escasos los datos espectrales en longitudes de onda superior a 1.0 micrón.

En la figura 8, tomada de Hunter(22), se muestra la reflectividad espectral de algunos materiales más comunes.

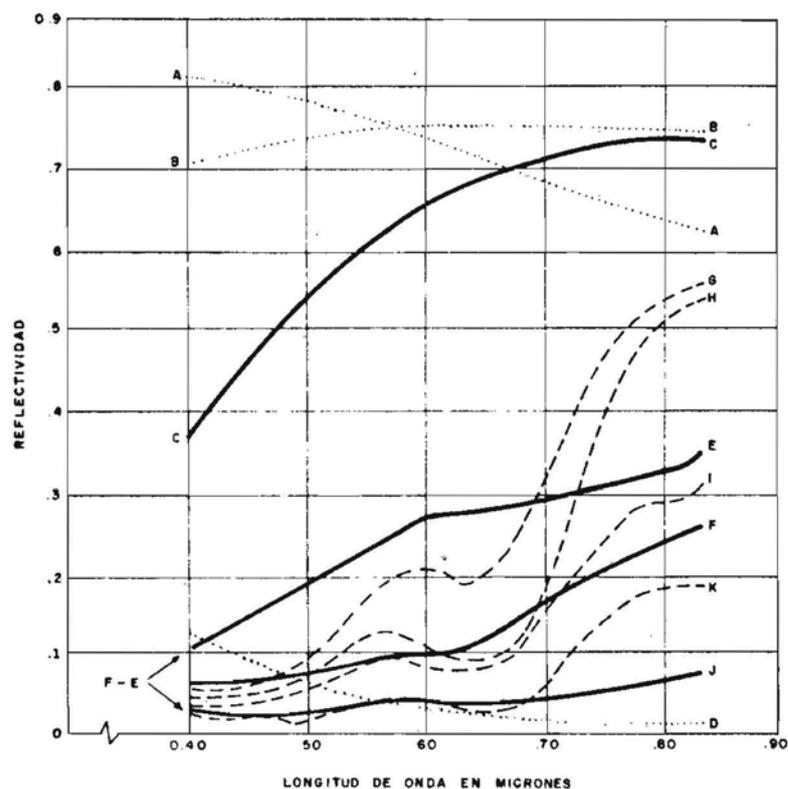


Fig. 8. Reflectividad espectral de la cubierta forestal, suelos y otros.

- | | |
|--------------------------------|---|
| A-- NIEVE RECIENTE | B-- NIEVE CUBIERTA POR HIELO |
| C-- CALIZA, ARCILLA | D-- AGUA SUPERFICIAL VISTA OBLICUAMENTE |
| E-- DESIERTO | F-- PODSOLICOS ARCILLA CALCAREA, CAMINOS PAVIMENTADOS |
| G-- RESIDUOS FORESTALES, OTOÑO | H-- RESIDUOS FORESTALES, VERANO |
| I-- BOSQUE CONIFERO VERANO | J-- HUMUS, MARGA ARENOSA, CAM. DE TIERRA |
| K-- BOSQUE CONIFERO, OTOÑO | |

Toda la energía, ya sea emitida o reflejada por los objetos, debe recorrer un camino y un medio para llegar hasta el aparato detector. Este medio, normalmente es la atmósfera. Las propiedades de la atmósfera afectan dos parámetros relacionados con la percepción remota, primero, la radiación de la atmósfera misma es una fuente de iluminación de los objetos de la tierra, y segundo, el medio transmisor atmosférico limita la aptitud para detectar objetos terrestres, por atenuación de la radiación.

La radiación atmosférica introduce un gran problema en el reconocimiento espectral cuando no es ella el sujeto de la investigación, pues distorsiona las señales esperadas de los objetos en estudio, haciendo difícil obtener respuestas espectrales limpias.

La atenuación atmosférica es función de la distancia entre el detector y el objeto (inversa al cuadrado de la distancia) y de los elementos atmosféricos que dispersan, absorben y reflejan radiación. Según Parker (36), estos elementos son gases, humo, partículas de polvo, agua en estados sólido, líquido y gaseoso, aerosoles, etc...

Parker and Wolff (35) informan que dentro de la porción ultravioleta del espectro electromagnético, el nitrógeno y el oxígeno absorben radiación en la banda de 0.03-0.13 micrones. El ozono actúa creando una región opaca desde los 0.22 micrones hasta los 0.3 micrones. Se vuelven a encontrar dos bandas de absorción por el oxígeno en los 1.06 micrones y en 1.27 micrones (porción infrarroja del espectro electromagnético). Las bandas de absorción por el vapor de agua y el dióxido de carbono aparecen en la región de 1.0 a 24 micrones, constituyendo una región prácticamente opaca a la radiación infrarroja.

La absorción por el vapor de agua cierra virtualmente la atmósfera desde los 25 micrones hasta los 1.000 micrones. La figura 9 presenta graficada las bandas de absorción atmosférica.

A pesar del amplio margen de absorción de la atmósfera (figura 9), en casi todas las longitudes de onda existen todavía varios canales o "ventanas" que dejan pasar un gran porcentaje de la energía total emitida o reflejada (figura 10).

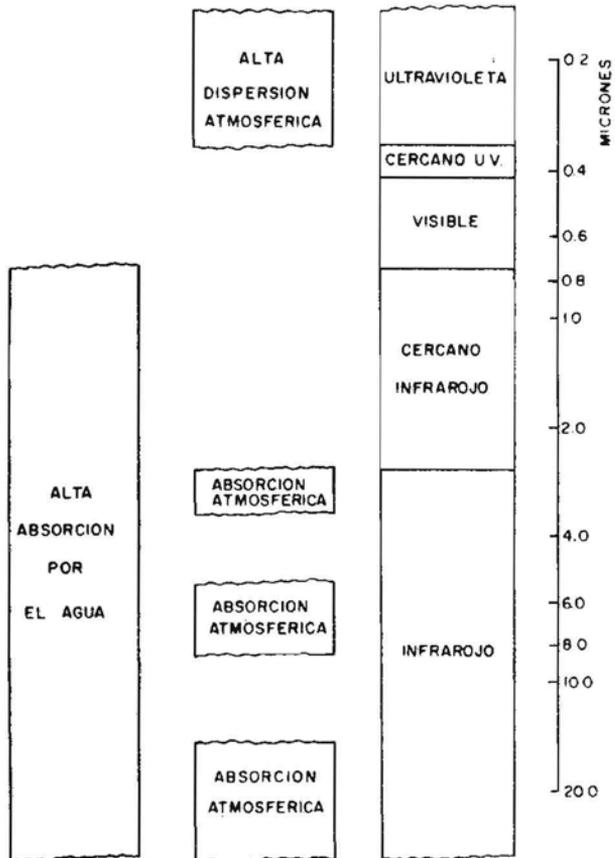


Fig. 9. Bandas de absorción por la atmósfera y el agua.

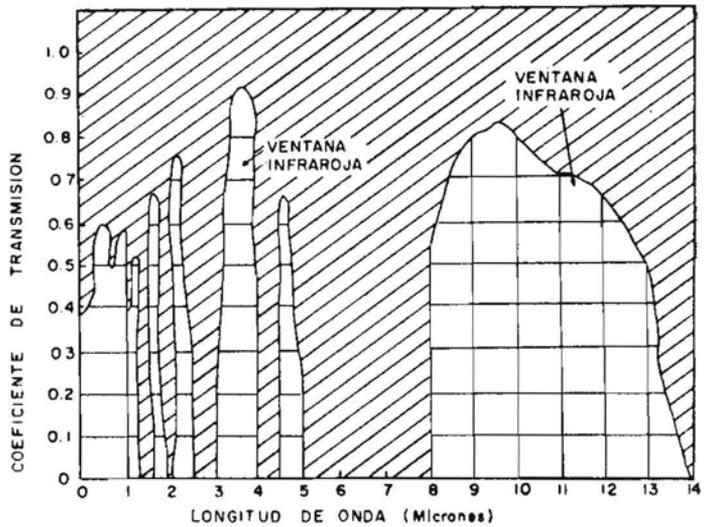


Fig. 10. Ventanas atmosféricas.

Este hecho determina que las mejores regiones del espectro, para obtener información, están determinadas por la transparencia de la atmósfera a la propagación de una radiación específica. De este modo, los instrumentos perceptores deben ser adecuados, en sensibilidad, para poder funcionar en esas "ventanas atmosféricas" como las denomina Colwell (5).

Además de la absorción y reemisión por la atmósfera, se debe considerar el problema de la dispersión, que variará con el tamaño de las partículas dispersantes y con la longitud de onda que se esté dispersando.

La atenuación debida a la dispersión de la radiación es uno de los factores más significativos, siendo provocada por la interacción entre la radiación y pequeñas partículas cuyas dimensiones van desde las moleculares hasta 10 micrones (gotas de agua). La magnitud de la dispersión variará en función del tamaño de las partículas y de la longitud de onda de la radiación dispersada.

Resumiendo, las radiaciones de menor longitud de onda (ultravioleta, azul, violeta) son completamente dispersadas por la atmósfera, por lo que estas longitudes son de escaso valor para ser utilizadas en la percepción remota. Colwell (5) sostiene que, quizás en un futuro cercano, tendrán amplia utilización en el espacio extraterrestre. El remanente del espectro visible es factible de usar mediante el empleo de filtros y equipos fotográficos apropiados. La región del cercano infrarrojo (hasta cerca de 1.0 micrón) se utiliza por medio de películas sensibles infrarrojas, filtros y técnicas adecuadas.

Los aparatos de detección que operan en la región de 0.5 a 1.0 micrón, ofrecen evidentes ventajas para captar fenómenos terrestres y atmosféricos. Debido a la naturaleza de la radiación y a los medios técnicos usados para detectarla, es posible obtener altas resoluciones. Están limitados sólo en el sentido de tener que ser usados en áreas que reciban iluminación solar.

La utilización de la zona infrarroja, con longitudes de ondas mayores, está limitada a las regiones que determinan las ventanas atmosféricas. Una gran área se encuentra entre los 8 y los 14 micrones. Suits (44) afirma que los equipos que hoy día operan en este rango entregan una menor resolución que la de los aparatos que funcionan en la porción visible del espectro.

En longitudes de onda sobre los 300 micrones, funcionan aparatos que emiten energía en microondas. La energía golpea un área, es reflejada y captada por una antena. En este rango operan los equipos de radar que presentan una muy baja resolución debido a dificultades en la descomposición de las imágenes.

C.— SISTEMAS DE SENSORES REMOTOS

Un sistema de percepción remota consiste básicamente de una plataforma o aparato de navegación, de un operador, de un sensor o sensores, de un procesador de datos y finalmente de un intérprete. (figura 11).

La plataforma puede ser un aeroplano o un vehículo espacial, que transporta el sensor, suministra la energía para operar y provee de movilidad operacional. La metodología de navegación determina la localización de la plataforma y del área a investigar, mientras que el operador, el cual puede ser un subsistema de control humano o automático, guía la plataforma y el sensor de acuerdo a un plan de investigación.

El sensor efectúa mediciones radiométricas en lugares predeterminados, registrando los datos resultantes. Puede también combinarse con un equipo procesador de datos que ayude a facilitar la interpretación de la información recibida.

No siempre todas las partes del sistema de percepción remota están sobre una plataforma. La

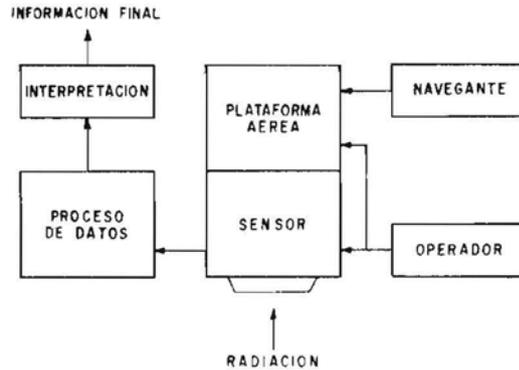


Fig. 11. Diagrama de bloques de un sistema perceptor remoto

información del sensor puede ser enviada teleméricamente a tierra, antes de su procesamiento e interpretación.

Los sensores remotos con capacidad para generar radiación se definen como activos.

La radiación que regresa del objeto al sensor puede medirse para determinar la dirección desde la cual viene, su distribución espectral, su polarización y la variación en tiempo o fase de su retorno. Las alteraciones de la radiación recibida las capta el equipo sensor, siendo posible inferir algunas propiedades de los objetos y fenómenos remotos a partir de esas alteraciones.

Los sensores sin capacidad para generar radiación se definen como pasivos. Reciben sólo energía generada por fuentes naturales. La dirección, distribución espectral, polarización y momento de emisión no pueden ser controlados, por lo que el operador del perceptor remoto debe esperar que se den las condiciones adecuadas para trabajar. Las cualidades de la radiación que mide un sensor pasivo son distintas a las que mide uno activo; las hechas por el pasivo no revelan alteraciones provocadas por objetos remotos debido a que no se han conocido las características iniciales de la radiación. Entonces es imposible caracterizar las propiedades específicas de los objetos.

C.1.— Cámara Fotográfica

Uno de los sensores remotos más antiguos, es la cámara fotográfica que utiliza películas blanco y negro (figura 12).

Este sensor no mide la distribución espectral de la energía, excepto para establecer que las condiciones de radiación son suficientes en las longitudes de onda visible (0.4 a 0.7 micrones) para exponer la película. La radiación recibida es registrada con excelente precisión en un amplio campo de vista. La energía llegada al sensor desde cada dirección va siendo registrada, aunque la exactitud conseguida es menor que en otros sistemas. El registro obtenido se procesa para lograr que quede en condiciones de ser utilizado por el intérprete. Lueder (30) y Legault (29) aseguran que las formas y contrastes relativos que presenta el registro, son la base para la interpretación de las imágenes que ha detectado y grabado el sistema perceptor remoto.

Este mismo sensor pasivo puede ser operado de manera tal, que permita obtener fotografías estéreas. La energía relativa, que llega al sensor desde cada posición en la tierra, se registra dos veces,

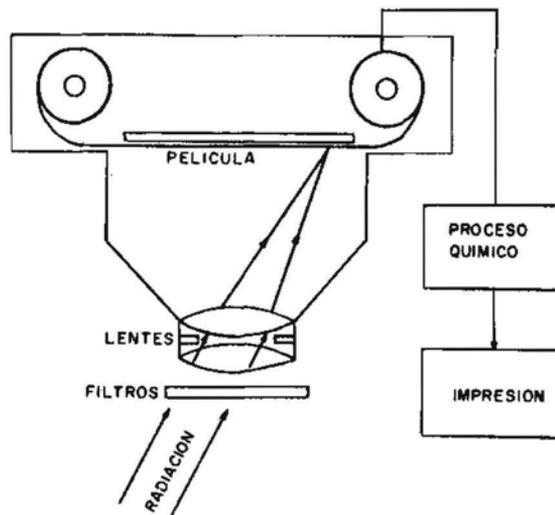


Fig. 12. Diagrama de un sensor fotográfico

pero cada una desde distinto ángulo. Así, se obtienen dos imágenes con superposición o traslape. Posteriormente, el fotointérprete utiliza equipos estereoscópicos para lograr formas tridimensionales que le ayuden en la ubicación y caracterización de los objetos.

Las cámaras fotográficas aéreas presentan una gran seguridad para registrar la llegada de la energía electromagnética. Otras propiedades de la radiación, que se ven afectadas por la interacción con objetos remotos, no son registradas por la cámara. La identificación de objetos lejanos depende sólo de su capacidad para resolver formas y registrar cantidades de radiación en el rango visible del espectro.

Si los objetos se encuentran muy lejos o son demasiado pequeños, sus formas no logran ser resueltas, por lo que el aparato visual humano no es capaz de identificar propiedades.

La cámara aérea, usada con película color y operando en forma estérea, mide el monto relativo de radiación recibida en tres bandas muy amplias. Cada medición la hace dos veces; pero con distinto ángulo, por lo que hay seis medidas distintas de la radiación que ha interactuado con los objetos. La fotografía aérea color, con estereovisión, presenta esencialmente todos los datos que son factibles de usar por la visión humana. La percepción de color se utiliza para inferir la identificación de objetos lejanos que no han podido ser resueltos de otra forma. Finnis and Forshaw (11), Heller (17).

C.2.- Cámara Video

La cámara video utiliza tubos Orthicon y Vidicon como aparato sensible. Su función es similar a la cámara fotográfica, pero no es tan exacta para registrar la dirección de la radiación recibida. La figura 13 muestra un diagrama de cámara de televisión. La cantidad de radiación recibida para cada punto es trasladada a voltaje eléctrico en una secuencia de tiempo. El tiempo que demora en salir la señal eléctrica desde el amplificador corresponde a una localización específica en la imagen final impresa, mientras que la magnitud de la señal corresponde a la cantidad de radiación llegada a esa porción de la imagen. Según Shade (40), la resolución de imagen es menos fina que la obtenida con una cámara fotográfica. La cámara de T.V. mide las mismas propiedades de la radiación de una cámara fotográfica, sólo que con menor exactitud.

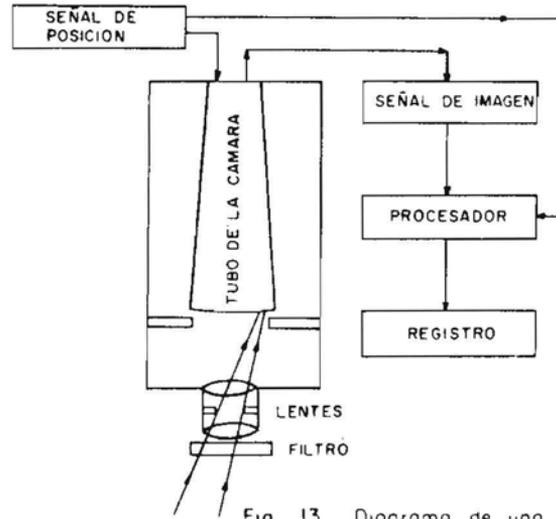


Fig 13 Diagrama de una cámara TV

C.3.— Barredor Optico Mecánico

Lake (27) y Colwell (5) lo definen como un instrumento capaz de medir la dirección de llegada de la radiación por una rotación mecánica de sus componentes ópticos. (figura 14).

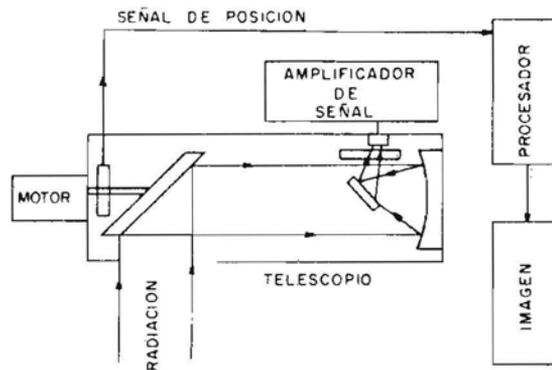


Fig 14 Diagrama de un sensor óptico-mecánico.

Un espejo giratorio dirige hacia el detector la energía que emana del terreno. Los fotones al golpear el detector generan una señal eléctrica que varía en intensidad de acuerdo a la cantidad de energía que emana de la fracción de terreno que se examina por el espejo. La señal, al convertirse en un haz de electrones, puede generar luz visible, la que se hace más brillante o más difusa en proporción directa a la fuerza del haz de electrones. Las señales eléctricas se graban en películas sensibles.

La principal ventaja del barredor óptico-mecánico es la de aprovechar un pequeño elemento detector capaz de responder a un gran rango de energía electromagnética (0.38 a 30 micrones).

El barredor multispectral opera sobre los mismos principios que el barredor óptico-mecánico.

La radiación que llega del terreno en distintas direcciones es dividida en un número de bandas espectrales por un espectrógrafo y la cantidad de radiación, en cada banda, es detectada separadamente por elementos detectores sensibles.

C.4.— Radar

El radar de microondas es un sensor remoto del tipo activo (figura 15), por lo que puede medir con gran seguridad las alteraciones de la radiación que provoca un objeto remoto.

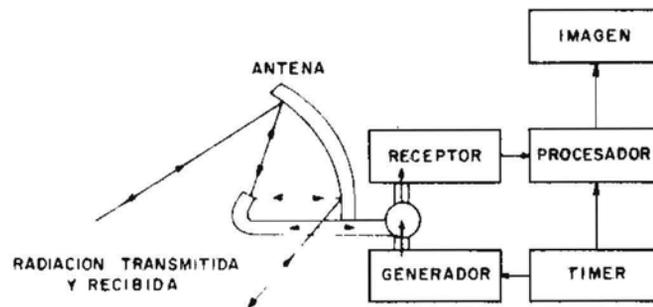


Fig 15 Diagrama de un equipo de Radar

El radar más común dirige un impulso electromagnético hacia el blanco, recibiendo la reflexión o eco en la misma dirección. El tiempo transcurrido entre la transmisión del impulso y la llegada del eco, al ser medido, indica la localización del objeto reflector.

Según Suits (44) y Bradford, Lake and Plaster (2), el uso de este perceptor hace posible medir la dirección, diferencias de frecuencias y ubicación de objetos lejanos. La magnitud de la radiación reflejada, al ser comparada con la emitida, indica las cualidades reflectoras de los objetos.

Las señales recibidas por el radar pueden ser convertidas en impulsos eléctricos factibles de llevar a una película sensible o directamente a un procesador de datos.

El radar tiene la ventaja de poder operar en todo tiempo y cualquier hora, pudiendo penetrar toda clase de nubes.

C.5.— Cámara Multibanda

Según Slater (42), la cámara multibanda, instrumento óptico-mecánico, es un sensor pasivo proyectado para tomar simultáneamente varias fotografías de un mismo lugar. De tal manera se obtienen tantas imágenes como lentes posea la cámara. Cada imagen corresponde a una zona específica del espectro electromagnético, la que ha sido cuidadosamente seleccionada por medio de filtros selectores y bloqueadores de radiación. De este modo, la cámara multibanda extiende la capacidad de los sensores fotográficos más allá de las tres bandas espectrales.

Existen cámaras con diversos números de lentes, siendo más común la de cuatro lentes, pero las hay de hasta nueve lentes. Una cámara típica, (figura 16), presenta cuatro lentes montados en un solo cuerpo, ofreciendo ventajas en la dirección de los ejes ópticos. Además, permite una perfecta sincronización a los disparadores. En conjunto, los lentes dan al instrumento la capacidad de percibir

y registrar energía electromagnética entre 0.38 y 0.90 micrones, o sea, a través de todo el espectro visible más el cercano infrarrojo. Colwell (5) expone que las limitaciones están dadas por dos factores:

- a) Las películas fotográficas, las que no son capaces de registrar radiación con longitud de onda mayor a 0.90 micrones, y
- b) Por la atmósfera, que no propaga radiación más corta de 0.38 micrones.

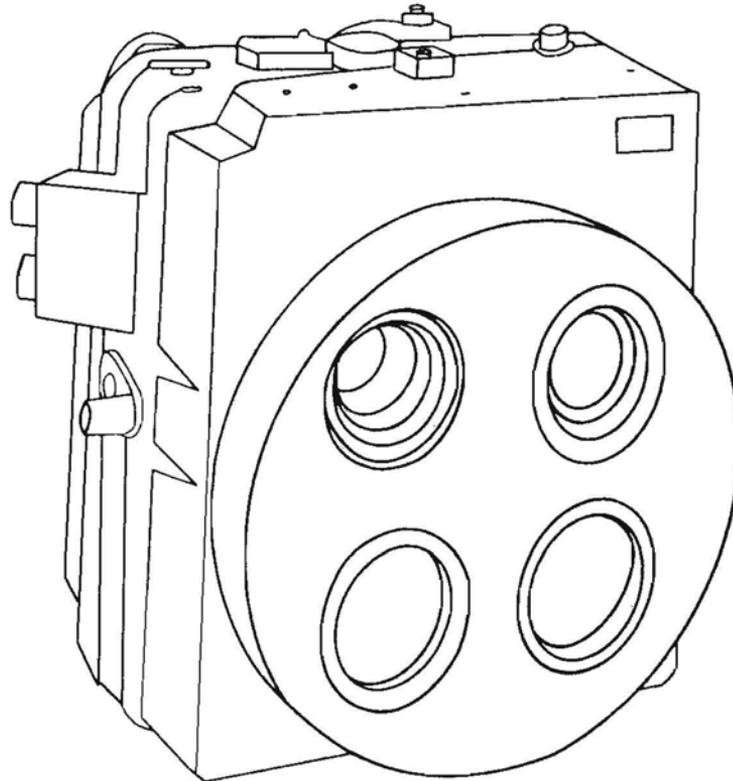


Fig. 16 Cámara Multibanda de 4 Lentes

Debido a que la visión humana no es capaz de interpretar, a un mismo tiempo, imágenes con más de tres bandas espectrales, los datos entregados por la cámara multibanda deben ser procesados de manera especial para obtener la información.

Conforme a Laver (28), el tono con que se registra un objeto sobre la película multibanda estará en función con la energía electromagnética que cada banda, por separado, ha registrado. Dos objetos que pueden mostrar dificultades para ser identificados en una imagen de cierta banda, debido a que poseen reflexión y emisión similar en esas longitudes de onda, pueden ser discriminados o resueltos en otra banda del espectro, donde presentan significativas diferencias tonales.

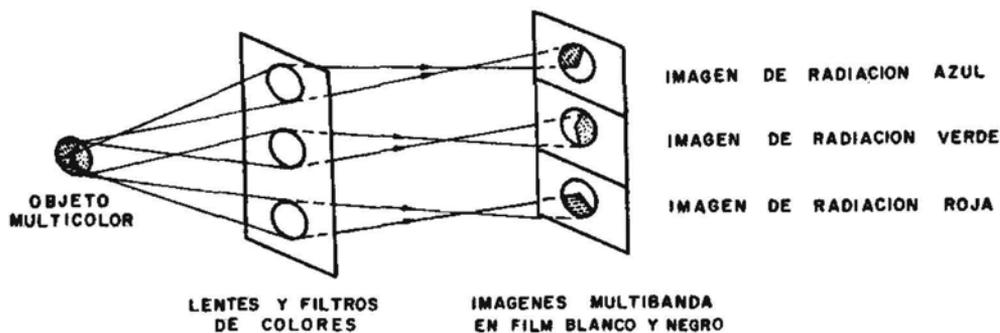


Fig. 17. Operación de la cámara multibanda.

Los registros obtenidos por las cámaras multibanda son generalmente convertidos en transparencias positivas blanco y negro, las que, posteriormente, pueden ser proyectadas a través de un set de filtros espectrales que permiten generar color por aditividad.

Como lo indica la figura 17, la cámara multibanda, usando lentes y filtros, logra separar las características espectrales de los objetos, registrándolos individualmente. El ejemplo muestra imágenes que han sido hechas con radiación correspondiente al color azul (0.45-0.50 micrones), al verde (0.50-0.57 micrones) y al rojo (0.63-0.75 micrones), quedando impresos en blanco y negro, por lo que un mismo objeto muestra distintos tonos grises según la banda que se examine. Posteriormente, es posible proyectar a través de cada imagen una luz con las mismas características espectrales que la utilizada para registrar la imagen (figura 18). Al superponer las imágenes proyectadas sobre una pantalla, se obtiene un registro con sus colores naturales reconstituidos.

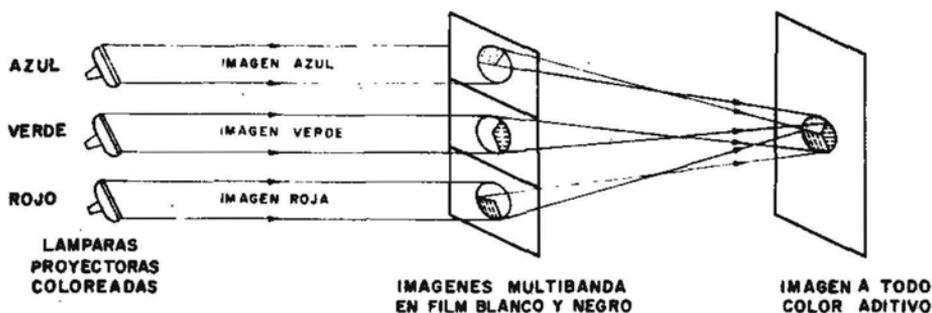


Fig. 18. Operación del visor para reconstruir el color natural

Los mismos investigadores explican que, de igual forma, es posible reconstituir falsos colores, para ello se proyectan luces de colores distintos a las registradas en la imagen, generándose entonces colores compuestos diferentes a los naturales (figura 19).

Esta técnica ayuda enormemente al análisis de las imágenes, pues permite al ojo humano distinguir colores distintos; en cambio, las películas blanco y negro ofrecen solo tonos diferentes.

Las imágenes policromáticas obtenidas por aditividad son factibles de fotografiar con película color.

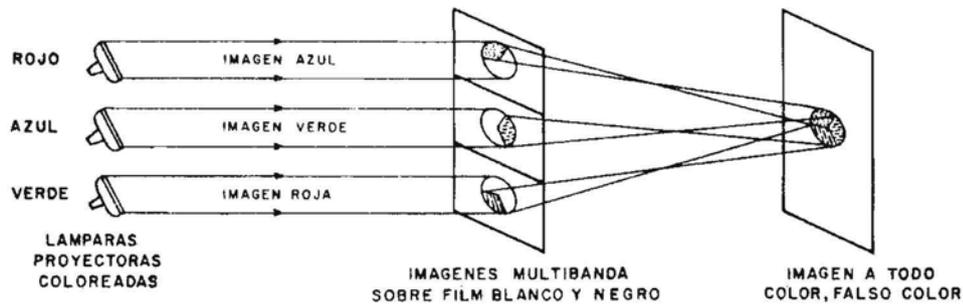


Fig. 19. Operación del visor para hacer colores falsos.

La resolución que presentan las imágenes combinadas, Slater (42) la denomina resolución multibanda y es definida como la resolución límite para la cual se mantiene la fidelidad espectral en una combinación multibanda. Este límite se debe a las diferencias en resolución que presentan las distintas imágenes multibanda y a la separación de bandas o colores, la cual es difícil de lograr exactamente. De acuerdo a la definición dada, la resolución multibanda será equivalente a la de aquella banda que presenta la menor resolución de imagen.

Es necesario, entonces, obtener buenos registros de imagen para todas las bandas espectrales de manera tal que asegure una excelente resolución, lo que es básico para lograr una proyección e interpretación satisfactoria.

También pueden analizarse las bandas por separado, obviando de esta forma la pérdida general de resolución debida a la combinación de imágenes, pero los problemas que se le presentan al intérprete son prácticamente insalvables. En la medida que aumenten las bandas espectrales percibidas, más se complica la tarea de análisis. Es casi imposible recordar lo visto en otras imágenes distintas a la que se está analizando en un momento dado. Todo puede llegar a ser inmanejable, a menos que el analista tenga un equipo que le ayude a correlacionar las imágenes.

La técnica de superproyección de imágenes descrita anteriormente cumple el papel de correlacionar las imágenes, presentando en una sola las características de todas las imágenes. El equipo proyector es conocido como visor multibanda.

En las figuras 20 y 21 se pretende entregar un resumen gráfico de los sensores remotos como sistemas y sus relaciones con el espectro electromagnético. Los cuadros han sido extraídos de una publicación del programa EROS (Earth Resources Observation Systems Program) escrita por Priscilla Woodward (49).

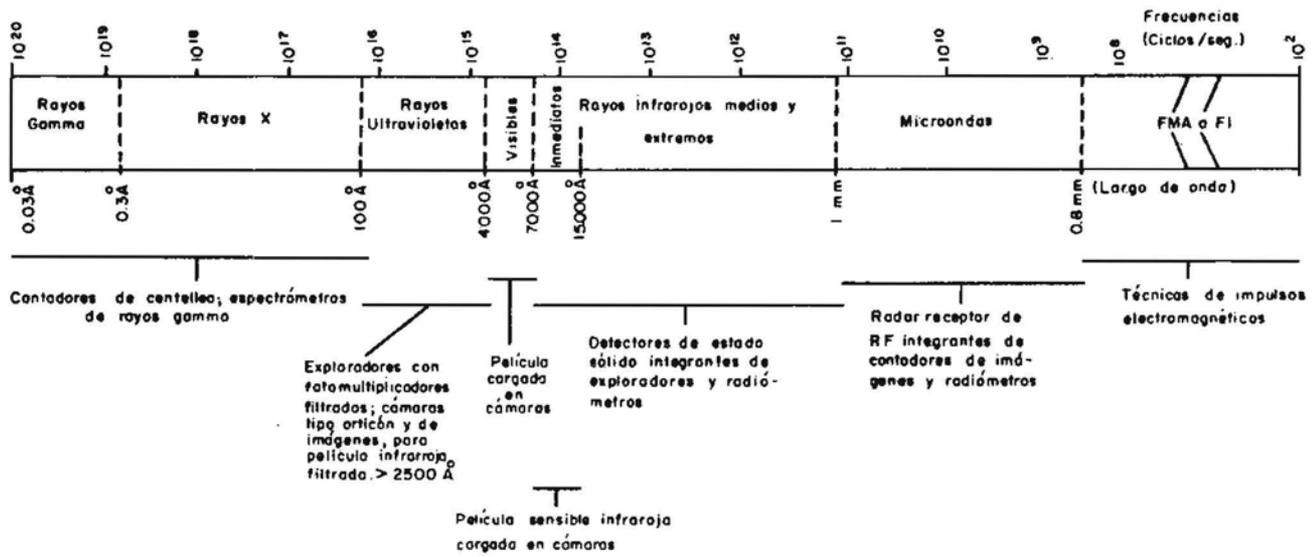


Fig. 20. LOS SENSORES, TAL COMO SE RELACIONAN CON LOS LARGOS DE ONDA Y FRECUENCIAS DEL ESPECTRO ELECTROMAGNETICO

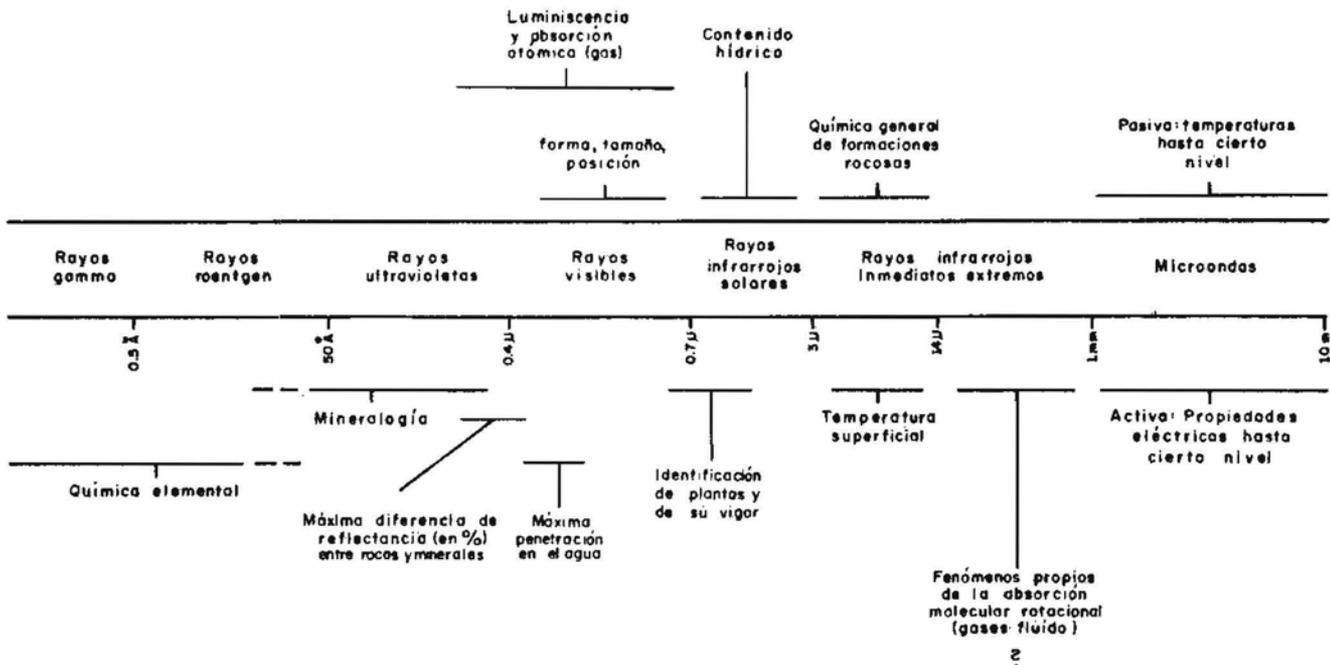


Fig. 21. Compendio de los tipos de información sobre materiales y sus propiedades, susceptibles de ser interpretados gracias a la observación de distintos sectores del espectro electromagnético.

D.— RELACIONES DEL SUELO, EL AGUA Y LAS PLANTAS CON LA ENERGIA ELECTROMAGNETICA

El progreso en el desarrollo de nuevos equipos y técnicas perceptores, entrega excelentes herramientas para la investigación del suelo, el agua y las plantas.

La interpretación de señales recibidas por los equipos sensores. posibilita identificar numerosas variables que afectan directamente la producción agrícola. Sin embargo, muy poco se sabe sobre las relaciones existentes entre la materia y la energía electromagnética Gates (13).

D.1.— Las Plantas

Ya que, generalmente, son las hojas de las plantas las que están expuestas a la vista, se deben revisar las características espectrales del follaje. Según Gates (12), una hoja refleja, transmite y absorbe energía incidente de una manera que es característica de las células pigmentadas (figura 22). En las porciones visibles, cercano infrarrojo y lejano infrarrojo, las hojas tienen el siguiente comportamiento: la reflexión y emisión desde la cutícula y epidermis de las hojas es muy pequeña y ordinariamente no se considera. La mayor parte de la luz azul y roja del espectro electromagnético es absorbida por la clorofila, mientras que la luz verde se ve reflejada fuertemente por la hoja. Colwell (7) y Gausman (15) expresan que la energía del cercano infrarrojo se ve poco afectada por la clorofila, pero sí lo es por la gruesa estructura del mesófilo que está dentro de la hoja.

El mesófilo provoca una alta reflexión de energía incidente del cercano infrarrojo. La hoja presenta, también, una fuerte absorción en el lejano infrarrojo.

La figura 23 detalla lo que sucede con la luz incidente sobre una hoja. Una pequeñísima cantidad de energía es reflejada desde la cutícula, otra porción es transmitida hacia el mesófilo, donde los rayos sufren quiebres al chocar con las paredes celulares, siendo reflejados si el ángulo de incidencia es suficientemente grande. La reflexión múltiple de la luz incidente sigue lo que se denomina un "camino fortuito" dentro de la hoja, a medida que choca con las paredes celulares.

La figura 24 entrega gráficamente la reflexión, transmisión y absorción desde *Populus deltoides* y *Nerium oleander*. El fuerte aumento de la reflexión cerca de los 0.7 micrones es característico de las hojas sanas, maduras y verdes. Este mismo autor explica que los máximos de la curva de absorción, en longitudes de onda de 0.9, 1.1, 1.4 y 1.9 micrones, están dados por la absorción del agua en estado líquido que contienen las hojas (ver figura 22).

Sinclair, citado por Gausman et. al. (14), estableció la hipótesis de que la reflexión de la luz deriva de las características difusoras de las paredes celulares. Sin embargo, Willstatter and Stoll, citados por Gausman et. al. (14), explican la reflexión y transmisión en las hojas sobre la base de reflexión de luz visible en la interfase pared celular-aire del mesófilo. Gausman (15) confirma esta posición.

En hojas delgadas, la transmisión es mayor que la reflexión; pero en las hojas gruesas la reflexión es más fuerte que la transmisión. Las hojas gruesas y oscuras de las plantas xerófitas y los troncos de cactus no transmiten radiación, reflejando fuertemente en el cercano infrarrojo.

A pesar de que los coeficientes de absorción son menores en la banda roja que en la azul, la dispersión en el mesófilo provoca una absorción casi completa del rojo. La reflexión del verde es relativamente baja (10-20%), pero debido a la mayor sensibilidad de la visión humana en esa banda, los ojos ven luz verde reflejada con gran intensidad y contraste.

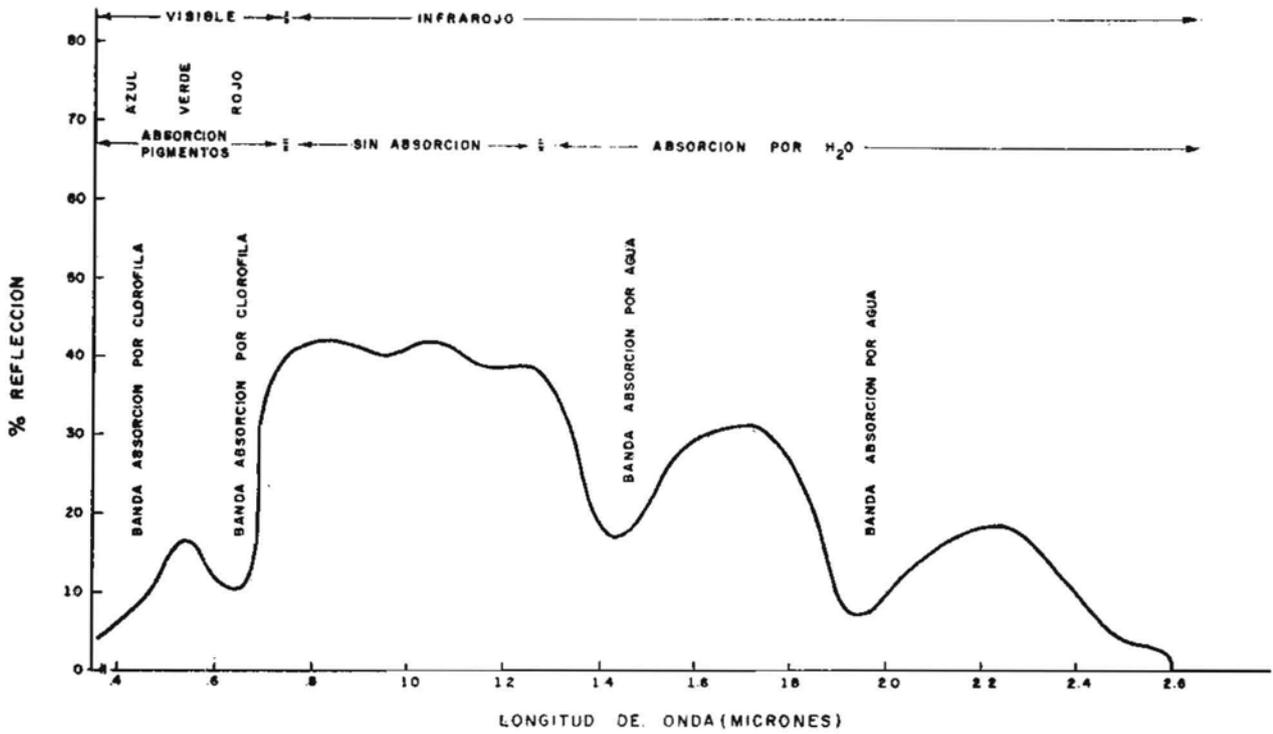


Fig. 22. Reflexión espectral, característica de una hoja verde

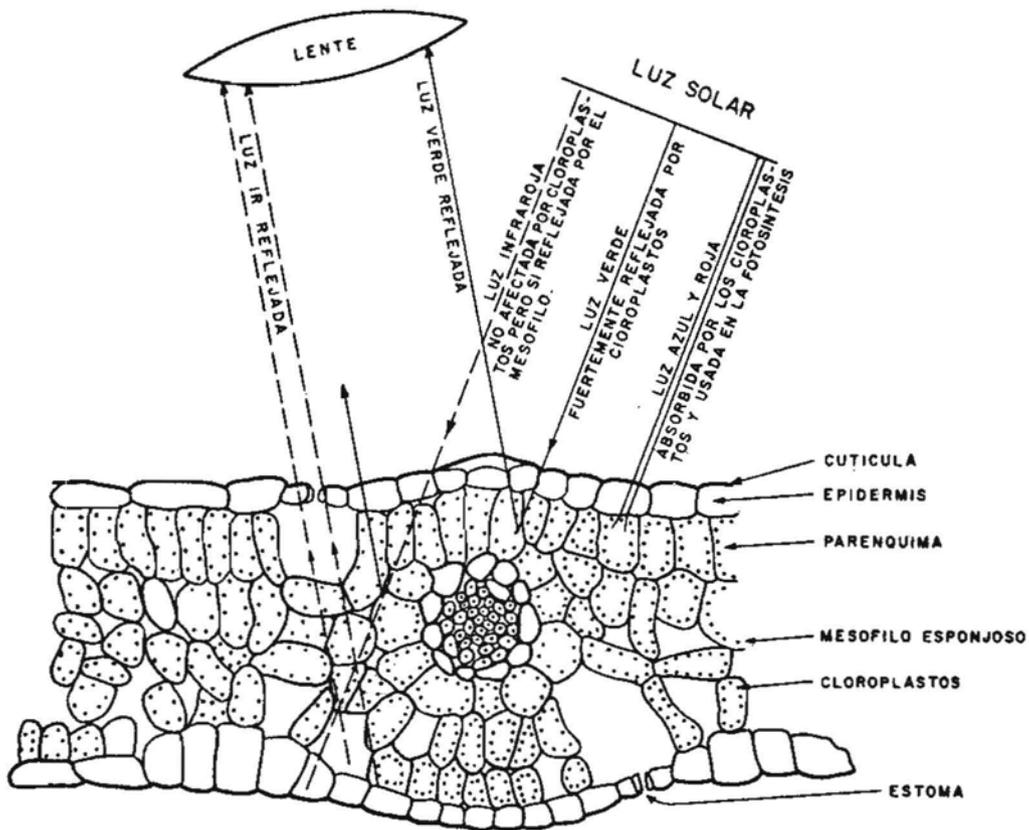
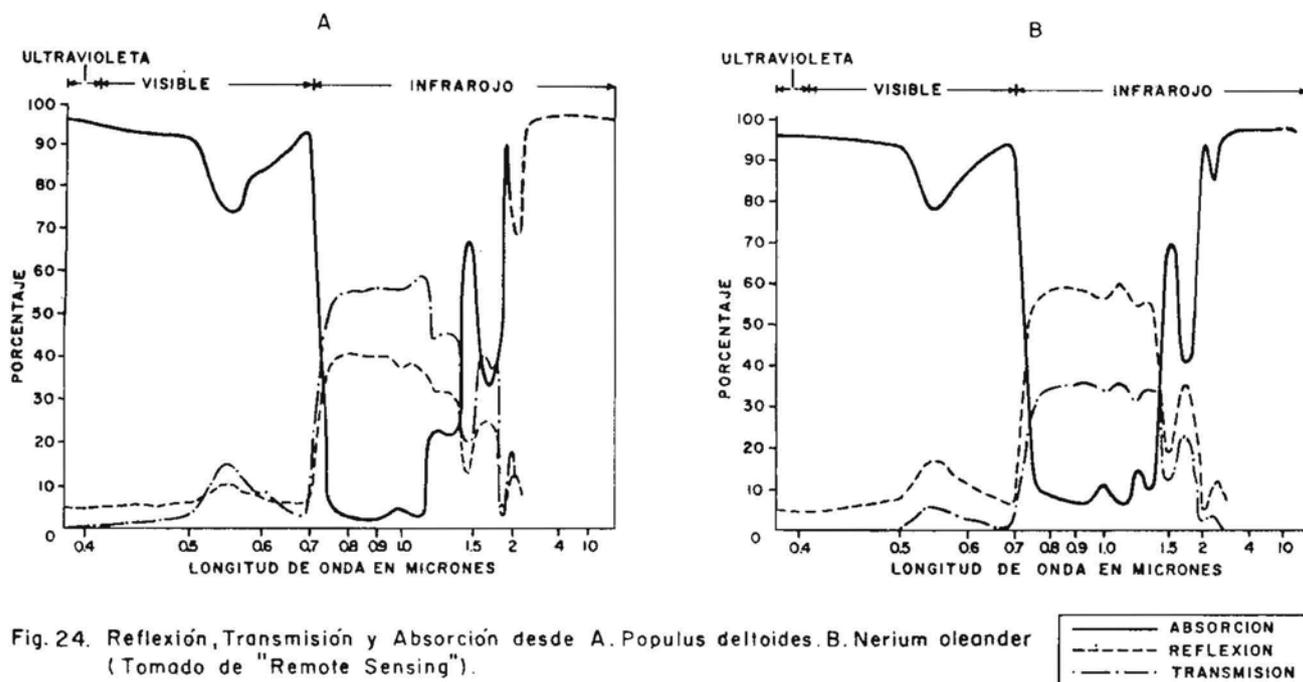


Fig. 23. Corte de una hoja mostrando lo que sucede con la luz incidente.



El espectro de la hoja presenta regiones caracterizadas por una alta absorción de energía en la banda del rojo y en el infrarrojo (ver figura 22). La absorción de luz roja se debe a la transición de electrones dentro de los complejos moleculares del pigmento. La absorción en el infrarrojo tendría su origen por la transición de la molécula de agua entre un estado vibratorio y otro rotacional.

Estos dos procesos, físicamente distintos, requieren también de distintas cantidades de energía. La transición de electrones necesita mayor energía que la transición de la molécula de agua, por lo que las bandas de absorción electrónica se encuentran en el ultravioleta y la región visible y la absorción por rotación y vibración aparece en bandas de longitud de onda mayor (infrarrojo).

Según Gates, "el hecho de que las plantas transmitan y reflejen en el cercano infrarrojo, es el resultado fortuito de la separación de procesos físicos que gobiernan la absorción en altas y bajas frecuencias". Sin embargo, la baja absorción en el cercano infrarrojo materialmente reduce el monto total de energía solar absorbida, la que contiene bastante energía entre 0.8 y 1.5 micrones. De esta manera, los pigmentos de la planta se salvan de la desnaturalización en días calurosos.

Existen numerosos factores que provocan alteraciones en la reflexión de la luz y que son factibles de registrar e interpretar si se cuenta con registros adecuados.

Richardson (38), Hoffer, Holmes and Shay (19) y otros investigadores, concuerdan en expresar que los factores provocadores de alteraciones en las características espectrales de las plantas, llevan fundamentalmente a una pérdida de vigor por parte de la planta. Esta pérdida de vigor es detectable por medio de fotografías aéreas infrarrojas.

Los factores más importantes que determinan cambios en la reflexión son:

- Contenido de agua de la hoja
- Edad de la hoja

- Niveles de nutrientes y toxicidad
- Enfermedades o agentes patógenos
- Suelo
- Residuos pulverizados en la superficie de la hoja
- Especie y variedad
- Tamaño relativo y estado de maduración
- Geometría del cultivo.

A continuación se analizan con mayor detalle las variables que dicen relación con la investigación emprendida.

a) Contenido de agua de las hojas

Mientras la planta permanezca sana, hay un adecuado flujo de agua hacia el mesófilo para reemplazar el agua que se pierde por transpiración. De tal manera, las células de este tejido permanecen túrgidas y distendidas, dejando espacios de aire entre ellas; el mesófilo se presenta esponjoso y altamente reflectivo de la energía electromagnética del cercano infrarrojo (figura 23). Estudios de Colwell et. al. (7); Myers (33); Heller (16); Wiegand et. al. (48) y Weber and Olson, los dos últimos citados por Weber and Polcyn (47), demuestran que cuando la planta empieza a perder vigor, por daño en sus raíces, con la consiguiente imposibilidad para absorber agua o por daño en sus tejidos vasculares u hojas, el mesófilo comienza a perder agua, disminuyendo la reflexión en el cercano infrarrojo (figura 25).

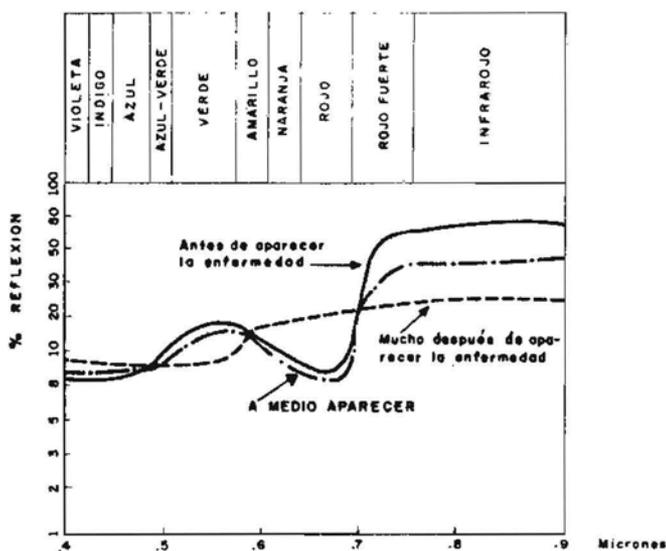


Fig. 25. Cambios en la reflexión de luz desde hojas en relación con el vigor de las plantas

Cuando la estructura del mesófilo está totalmente desarrollada, es casi imposible que cambios en la reflexión se deban a causas que no sean externas.

Rhode and Olson (39), trabajando en la detección de humedad en árboles, informan que ataques de insectos o enfermedades provocan un rompimiento en el metabolismo del agua de los árboles, trayendo problemas en la conducción del agua. Los árboles se hacen menos vigoroso y su follaje desarrolla una mayor tensión de humedad que los árboles sanos.

Estudios realizados han demostrado que la vegetación bajo alta tensión de humedad responde diferencialmente de la vegetación sana, frente a la luz incidente. Es preciso chequear en terreno las causas de pérdida de agua o aumento en la tensión del agua, puesto que los síntomas de déficit hídrico se deben a varias razones.

En relación con la fotointerpretación de la humedad en una cubierta vegetal, es posible evaluar densidades de películas distintas que corresponden a condiciones hídricas diferentes. Los cambios fisiológicos que se manifiestan con las deficiencias de agua, influyen la radiación solar, evidenciándose en una cubierta vegetal, la que disminuye su reflexión en el infrarrojo en la medida que crecen las necesidades de agua. Esta reflexión es factible de captar en películas fotográficas, las que se impresionan diferencialmente de acuerdo con la energía reflejada por los vegetales. Yost and Wenderoth (50), expresan que se pueden detectar estas densidades diferentes en imágenes similares pero de distinta banda espectral.

El tono relativo que expresa tensión de humedad varía según el sensor usado. En la película pancromática, la falta de agua en árboles se refleja en tonos más brillantes que los que dan árboles no deficitarios adyacentes. En la película infrarroja, los tonos de los árboles con elevada tensión de humedad, fueron más oscuros.

Las diferencias de reflexión entre vegetación con déficit de agua y vegetación normal, no son tan grandes en la región visible como en el infrarrojo.

b) Edad de las hojas

La reflexión espectral de las hojas presenta notorios cambios durante la estación de crecimiento. Gates (12) determinó en *Quercus alba*, que en las hojas jóvenes, la reflexión del azul y del verde es baja debido a las vellocidades púrpura que presenta la hoja. En la medida que la hoja crece, los pelos se extienden, exponiendo a la vista la superficie foliar, aumentando la reflexión del verde y dando lugar a una absorción del rojo por la clorofila. En la medida que las hojas se desarrollan, aumentan su contenido de clorofila, lo que las hace absorber más luz azul y roja. El crecimiento también trae aparejado un mayor desarrollo del mesófilo, por lo que aumenta la reflexión en el cercano infrarrojo.

A medida que en la hoja se degradan los pigmentos, dando lugar a otros, se producen cambios en la reflexión de la luz. De igual forma, diferentes pigmentos entregan distintos espectros de reflexión (figura 26).

Gausman (15), trabajando en cítricos, sostiene que las hojas nuevas son más compactas, con pocos espacios de aire; en cambio las hojas maduras son esponjosas debido al mayor número de espacios intercelulares con aire. El efecto esponja del mesófilo aumenta la reflexión debido a los quiebres que la luz incidente sufre en las interfases aire-pared celular. Calculó que las hojas maduras de cítricos tienen un 5% y un 15% más de reflexión, en longitudes de onda visible y cercano infrarrojo respectivamente, que las hojas jóvenes.

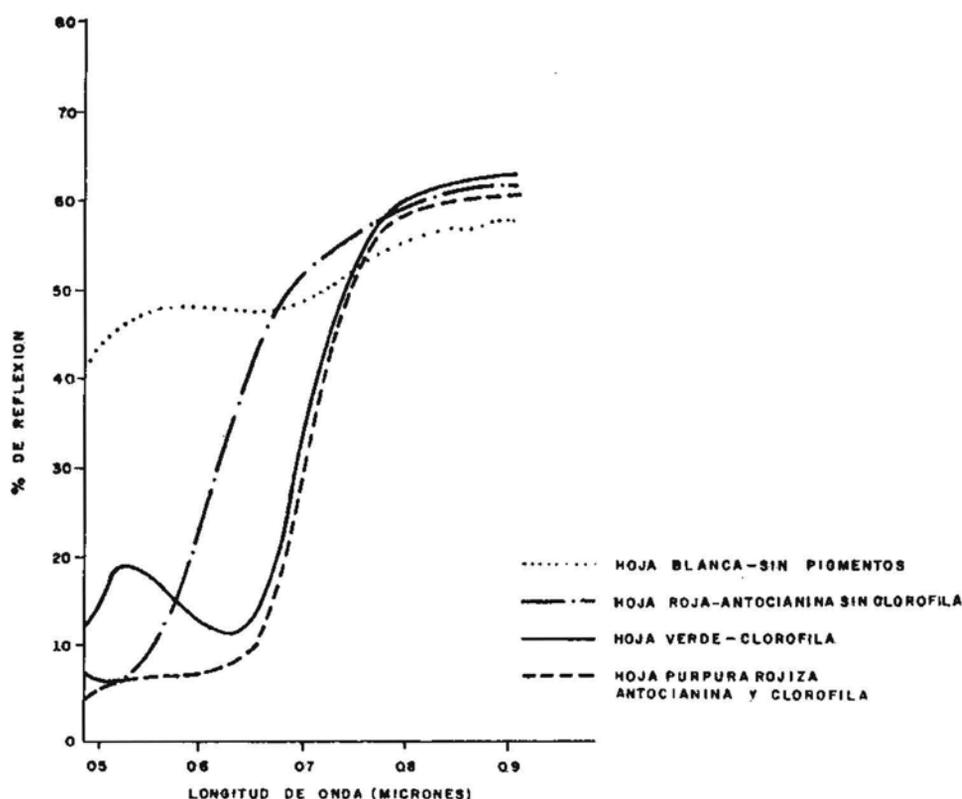


FIGURA 26. CURVAS DE REFLEXION PARA UNA HOJA DE COL CON DIFERENTE PIGMENTACION

c) Niveles de nutrientes y toxicidad

El estado químico de las plantas determina el normal o anormal crecimiento. Un exceso o deficiencia de algún elemento puede causar clorosis, amarillamiento prematuro; necrosis, falta de agua, cambios de color u otras anomalías. Cada una de estas desviaciones de lo normal pueden ser detectadas por medio de la percepción remota. Las anomalías provocan cambios en las propiedades ópticas de las superficies vegetales e incluso llegan a afectar la temperatura de la hoja. Plantas desarrolladas en condiciones salinas eran 2 a 3°C más calientes que las desarrolladas en condiciones normales. Estos cambios causan mayor transpiración, por lo que las células del mesófilo pierden turgor trayendo una disminución de los espacios aéreos.

Myers (33) expone que las hojas deficientes en nitrógeno presentan menos clorofila que las normales, tendiendo a dar color verde pálido.

Además presentan menor tamaño y un contenido mayor de agua por unidad de materia seca, características que afectan la reflexión de las hojas, aumentando en la región de 0.38 a 0.70 micrones a medida que los síntomas deficitarios se hacen más pronunciados. La reflexión en el cercano infrarrojo se ve disminuida ostensiblemente. Las mediciones de reflexión sugieren que las hojas deficientes en nitrógeno contienen más agua que las normales. El contenido hídrico de las hojas medianamente deficientes en nitrógeno fue aproximadamente un 30% menor comparada con aquellas severamente deficientes.

La percepción remota fotográfica es factible de utilizar en la detección cualitativa de toxicidad de cloro y boro, basándose en los síntomas foliares.

d) Enfermedades o agentes patógenos.

Las enfermedades provocan alteraciones en el metabolismo celular de las plantas, se produce una pérdida de vigor que afecta las características espectrales de la hoja.

Gausman (15), trabajando en cítricos, probó que la pudrición de la raíz producida por el hongo *Phytophthora citrophthora* provoca cambios en la reflexión de las hojas, las cuales pueden ser detectadas por fotografía aérea. Las plantas afectadas disminuyeron la reflexión sustancialmente, apareciendo con tonos más oscuros que las normales en la película infrarroja color. Los árboles sanos aparecieron de color rojo más brillante y oscuro.

Otros investigadores como Colwell y Heller, han probado la detección de enfermedades, causadas por agentes extraños, en árboles de producción forestal.

e) El suelo

El suelo influye en las características ópticas que presentan las plantas en un momento dado, por cuanto determina las condiciones químicas e hídricas en que se desarrolla la planta. Estas condiciones afectan el vigor de la planta influyendo en el estado de su mesófilo.

f) Residuos pulverizados en la superficie de la hoja.

Gausman (15) informa que residuos pulverizados sobre la superficie foliar provocan alteraciones en la reflexión de las plantas.

g) Tamaño relativo y estado de madurez.

Estos factores determinan características especiales de reflexión. El tamaño relativo de las plantas determina la mayor o menor reflexión de trasfondo dada por el suelo. En la medida que crecen las plantas y su índice de área foliar aumenta, disminuye la reflexión del suelo. Los suelos tienen mayor reflexión que las plantas en el espectro visible y una superficie mixta (suelo-pasto) podría reflejar menos que un suelo desnudo.

El estado de madurez de las plantas es factor importante por cuanto indica la cantidad de clorofila y el tamaño de las hojas de las plantas. Yost and Wenderoth (50) expresan que la película multibanda tiene la capacidad suficiente para identificar diferentes estados de madurez de los cultivos.

h) Especie y variedad

La diferenciación de especies y variedades se basa en numerosos factores. Los diferentes estados de madurez es un factor de identificación, así también la geometría del cultivo es importante para diferenciar especies y variedades.

La textura que entregan las especies en las imágenes fotográficas, es un índice que debe ser

considerado de primera importancia como ayuda para la discriminación entre especies y variedades.

La película multibanda, por las diferencias de contraste que presenta en las distintas bandas, permite diferenciar especies, pues las características que reflejan en igual forma en una determinada banda, pueden entregar reflexión diferente en otra banda. Hoffer (18) ratifica lo expuesto, agregando que los factores que más influyen en la discriminación de especies son las prácticas culturales tales como operaciones de cosecha, niveles de fertilización y manejo de los cultivos.

La geometría de la hoja y del cultivo tiene una marcada influencia en la reflexión desde cubiertas, en relación con el ángulo de observación y el ángulo de iluminación solar. Es necesario, entonces, determinar una estación crítica de madurez para identificar los cultivos.

Resumiendo, cualquier circunstancia que afecte a la planta, provoca una pérdida de vigor, la que puede detectarse a distancia por medio de aparatos adecuados.

Este investigador y otros ya citados, sostienen que, aparentemente, los cambios metabólicos que produce la pérdida de vigor, aparecen mucho antes que puedan ser detectadas en el rango visible del espectro electromagnético y aún antes que los cambios hayan afectado la calidad y cantidad de la clorofila del parénquima.

Pero en las imágenes infrarrojas, aun cuando los síntomas sean aparentes, las plantas que empiezan a estar menos sanas, presentan tonos más oscuros que las mismas especies totalmente sanas. Las películas pancromáticas tomadas en la misma fecha y hora, muestran poca o ninguna diferencia entre las plantas sanas y las enfermas. Specht (43).

Se llega a la conclusión que la pérdida de vigor de muchas plantas, puede ser vista mucho antes con película infrarroja, incluso antes que se haga visible para la visión humana.

D.2.— Suelos

En relación a los suelos, dos propiedades de la superficie del suelo son de interés general en la percepción remota. La primera se refiere a la reflexión de la luz incidente y la segunda concierne a la emisión de energía en ondas largas.

Condit (8) asevera que la reflexión de la superficie del suelo depende fundamentalmente de su coloración, textura, rugosidad, contenido de humedad, composición química y mineral, ángulo de iluminación y grado de sombreado por las plantas, edificaciones, etc.

La emisión de onda larga depende de la T° y por lo tanto de la absorción del suelo. Se explica su emisión como la de un cuerpo negro.

Este mismo investigador hizo mediciones de reflexión de suelos secos y húmedos, llegando a clasificarlos según la forma de la curva de reflexión para distintas longitudes de onda. Determinó también que las diferencias de reflexión entre suelos secos y húmedos se acentúan entre 0.8 y 1.0 micrón.

Los suelos desnudos tienden a tener una variación máxima de reflexión en la porción del espectro que va desde 0.6 a 0.7 micrones. Este rango está incluido en la sensibilidad de las películas fotográficas. Con películas color es más fácil determinar límites de suelo.

La película fotográfica infrarroja da contrastes más acentuados entre áreas de suelo húmedo y seco, siendo entonces superior para la preparación de mapas de drenaje.

Una superficie de suelo puede tener una cubierta vegetal completa, no tenerla o sólo poseer una fracción vegetal. Mientras los vegetales están inmaduros, la reflexión predominante será la del suelo, cubriendo la de las plantas, pero en la medida que las plantas crecen aumentan su índice foliar, su

reflexión y con ello se atenúa el efecto del suelo.

Las plantas reflejan algunas veces mejor que los suelos, en el cercano infrarrojo.

Las diferencias naturales y culturales en especies, vigor y densidad son indicadores de los cambios en el perfil del suelo.

Kuhl (26) investigó y probó que las fotos color e infrarrojo son mejores que la pancromática para interpretar drenaje y pendientes de suelo.

Hoffer (18). concluye que las diferencias en tipos de suelos pueden provocar marcadas diferencias en respuesta dentro de una banda de longitud de onda. Los suelos húmedos presentan menor respuesta, en los secos desde los 0.38 a 14 micrones.

La fertilidad del suelo puede ser calificada de acuerdo a la respuesta de los vegetales que soporta el suelo.

D.3.— Agua

Se encontró poco material bibliográfico respecto a las aguas, especialmente las de riego.

En las aguas que llevan sedimentos, la reflexión superficial es baja, ya que los sedimentos atenúan la reflexión. Hunter (22). afirma que para aguas turbias, con gran cantidad de material suspendido, las longitudes de ondas largas son ideales, incluso las contempladas en la sensibilidad fotográfica.

II.- MATERIAL Y METODO

A.- MATERIAL

A.1.- Ubicación del Area de Trabajo

Se eligió como área de investigación un sector de la cuenca San Felipe-Los Andes. Este lugar se encuentra ubicado en la provincia de Aconcagua, Departamento de San Felipe, correspondiendo al sector alto del curso medio del río Aconcagua, ubicándose a 32°50' de latitud Sur y 70°40' de longitud Oeste. Se detalla su ubicación en el fotomosaico adjunto (figura 27).

Las razones que impulsaron a elegir San Felipe como área de trabajo fueron las siguientes:

- Zona relativamente cercana a Santiago, lo que abarataba el costo de los vuelos. Además estaba cerca de la Facultad de Agronomía y de IREN.
- Zona frutícola antigua, poseedora de gran número de variedades. Rica, también, en datos sobre el manejo de los huertos.
- Porque existe interés en esferas de Gobierno. de desarrollar en el valle una intensa explotación frutícola de exportación e incluso las agroindustrias asociadas. Las proporciones de la explotación serían tan grandes que existe ya la preocupación de determinar medios de control y manejo de los huertos frutales, por medio de técnicas eficientes, económicas y rápidas.

Dentro del área descrita, se tomó una franja casi perpendicular al río Aconcagua, con una superficie aproximada de 5.864 há, que se encuentra totalmente especificada en la figura 27.

En esta faja se eligieron tres sitios de prueba o sitios-control, ubicados en distintos sectores del valle, ocupando los tres un área de 1.426 há (figura 27).

De acuerdo con Pettinger (37), y Benson, Draeger and Pettinger (1), es necesario tener sitios control en las experiencias con sensores remotos, para entrenar a los fotointérpretes, para calibrar el sistema receptor y determinar su potencialidad y para evaluar el rendimiento del sistema de percepción remota.

Las consideraciones tenidas en cuenta para la elección de los sitios de prueba se basaron en el potencial teórico del sensor utilizado, o sea, apoyándose sólo en la literatura, por cuanto no existía experiencia previa en el país. Las razones de la elección fueron las siguientes:

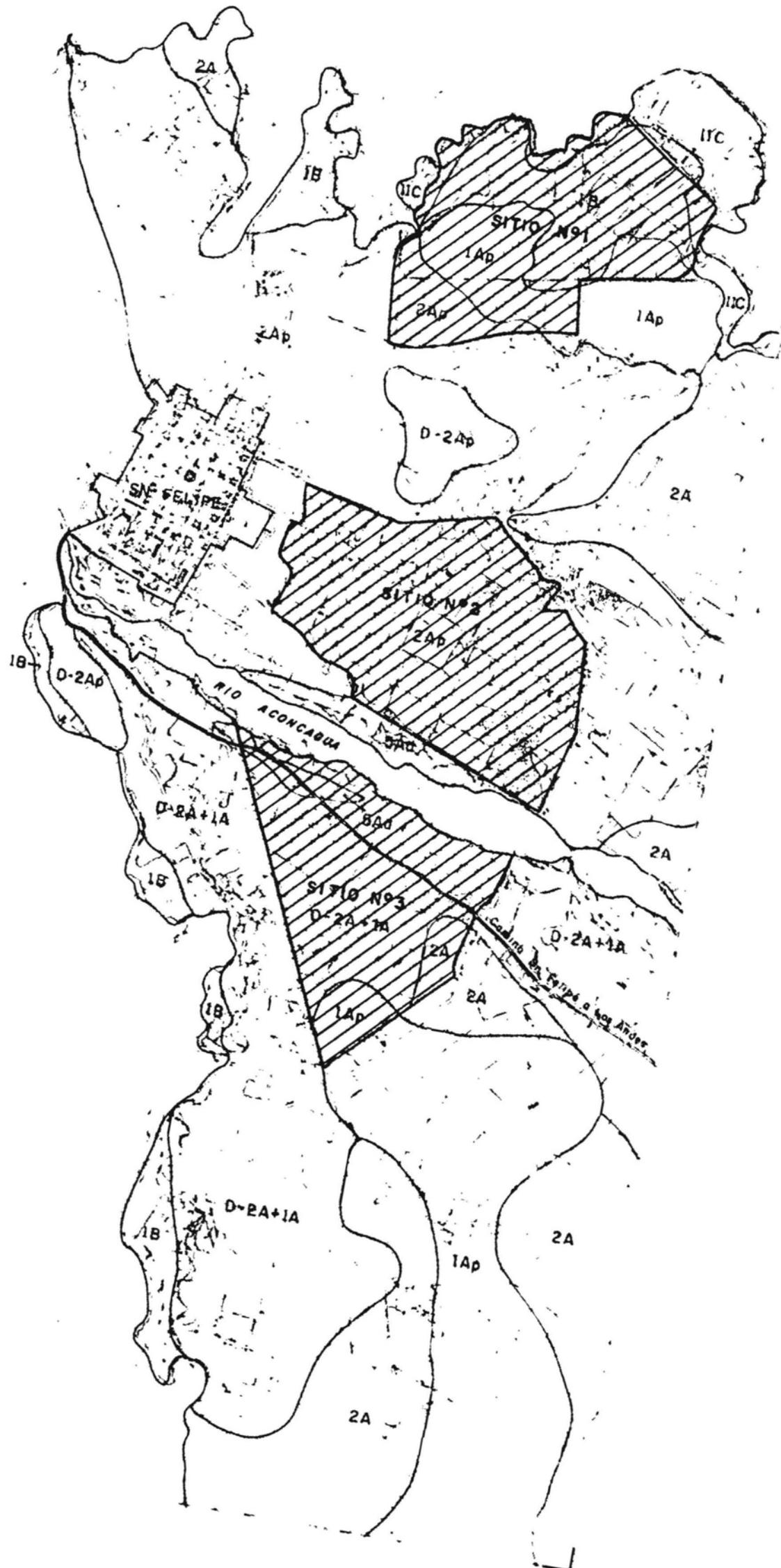
- Se eligieron sitios de distintas características pedogenéticas, dándose en el primero, suelos de relleno coluvial por efectos erosivos en las laderas de los cerros adyacentes (Pied-Mont). En el segundo y tercer sitio-control se encuentran suelos derivados de rellenos aluviales conformando terrazas.
- Facilidades de acceso a los sitios-control, elemento importante en la investigación, por cuanto permite controlar, levantar y encuestar rápidamente las áreas bajo estudio, no produciéndose, por demoras, distorsiones entre lo mapeado y lo fotografiado desde el avión.
- Porque en los sitios elegidos se encontraron frutales y cultivos representativos del área, asegurando así una evaluación cualitativa de las características de reflexión de las distintas especies y variedades.
- Porque el tamaño de la propiedad es distinto en tres sitios-control. Factor considerado para determinar variaciones en la reflectividad derivada del manejo de los predios.

RECONOCIMIENTO DE SUELOS. VALLE DEL ACONCAGUA

UNIDAD CARTOGRAFICA	SERIE	TIPO	ESPEJOR	PENDIENTE %	CAP. DE USO	CLASES DE DRENAJE	CLASES DE RIEGO
1Ap	San Felipe	FAaf	Profundo	0,5 - 1	I	5	1
1B	San Felipe	FAaf	Moderad. Profundo	1 - 2	II s	5	2
11C	San Felipe	FA	Mod. Prof., Piedmont	3 - 5	III s	5	2
2A	Los Andes	FAaf	Moderad. Profundo	0,5 - 1	II s	5	1
2Ap	Los Andes	FAaf	Profundo	0,5 - 1	I	5	1
D - 2Ap	Los Andes	FAaf	Mod. Prof., Profundo imperfect. drenado	0 - 1	III w	3	3
5Ad	Catemu	FA amf	Delgado	0 - 1	III s	3	1
UNIDAD NO DIFERENCIADA							
D - 2A + 1A	Los Andes y San Felipe	FAaf	Moderad. Profundo imperfect. drenado	0 - 1	III w	3	3

TOMADO DE : "ESTUDIO AGROLOGICO. RECONOCIMIENTO DE SUELOS.
VALLE DEL ACONCAGUA" 1966. SECCION ESTUDIOS DE SUELOS. CORFO.

AMPLIACION PANTOGRAFICA DE ESC. 1:100.000 A ESC. 1:50.000



Ahora, en dos sitios de prueba, 1 y 2, se eligieron dos parronales (*Vitis vinifera*) para efectuar mediciones de humedad del suelo, potencial de agua en las hojas y contenido de nitrógeno nítrico de la planta. En el sitio 1 se consideró un parronal de variedad Sultanina (Thompson Seedless) de 3.6 há, en el sitio 2, un parronal de 4 há, con cuatro variedades: Alfonso Lavallée, Emperador, Cardinal y Sultanina, cada una con 1 há. de superficie.

A.2.— Características Generales del Area

El área presenta un clima caracterizado por una precipitación promedio anual de 290 mm, por lo que se hace necesario regar. Las características térmicas, configuran un clima de cierta tendencia continental con bajas temperaturas en invierno y altas en verano.

Los suelos del sector, son de origen aluvial, de texturas medias, bien estructurados, moderadamente profundos a profundos y de buen drenaje. Según IREN-CORFO (23), son suelos potencialmente muy fértiles, con buena respuesta a la aplicación de nitrógeno y fósforo. No presentan problemas de salinidad.

A.3.— Equipos e Instrumentos

a) Plataforma

Las fotografías aéreas multibanda y color fueron tomadas desde un avión Twin Otter del Servicio Aerofotogramétrico de la Fuerza Aérea de Chile.

b) Cámaras fotográficas y filtros

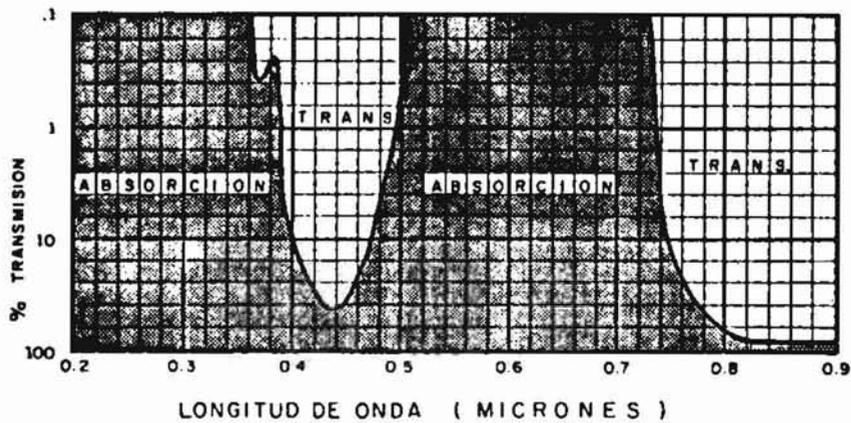
Las fotografías aéreas multiespectrales se tomaron con una cámara multiespectral Mark I fabricada por International Imaging Systems (24). Esta cámara aérea opera simultáneamente en cuatro bandas del espectro electromagnético dando cuatro imágenes de 3.5 x 3.5 pulgadas, que van colocadas en la película, en un formato de 9 x 9 pulgadas. La cámara cuenta con cuatro lentes marca Schneider Xenotar de 150 mm y f/2.8.

Los filtros usados por la cámara permitieron separar las bandas, y son los siguientes:

- Filtro 47 B con transmisión desde los 0.36 a los 0.50 micrones, correspondiente a la luz azul. Banda N° 1 de la cámara. (figura 28).
- Filtro 57 A, con poder de transmisión entre 0.44 y 0.62 micrones, correspondiente al verde. Banda N° 2 de la cámara. (figura 29).
- Filtro 25, con características de transmisión sólo entre 0.58 y 0.70 micrones, correspondiente al rojo. Banda N° 3 de la cámara multibanda. (figura 30).
- Filtro 88 A, permite el paso de radiación que va entre los 0.73 y 0.95 micrones. Banda N° 4 de la cámara. (figura 31).

Se incluyen filtros para el bloqueo de rayos infrarrojos en cada uno de los filtros 57 A, 25 y 47 B.

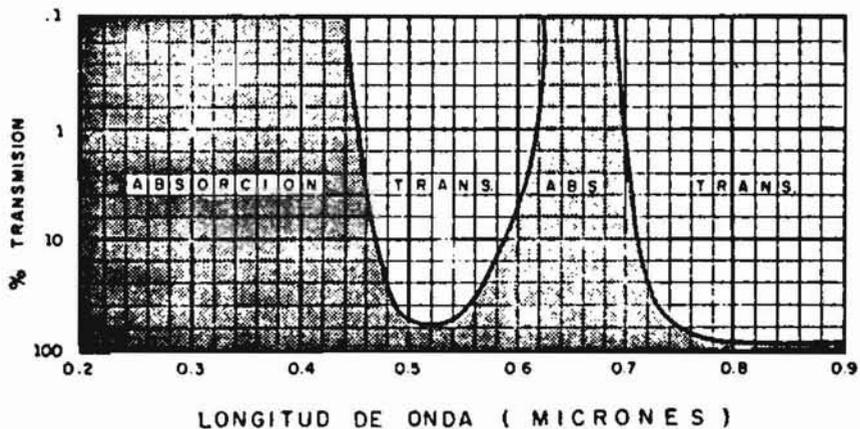
La cámara que tomó la película color fue una Wild de formato 9x9 pulgadas, llevando un filtro para reducir los efectos de vapor de agua de la atmósfera.



LONG. DE ONDA % TRANS.

400	--
410	--
420	--
430	--
440	--
450	0.7
460	3.3
470	11.0
480	26.8
490	46.8
<hr/>	
500	61.2
510	69.1
520	69.2
530	66.3
540	60.3
550	51.8
560	41.9
570	30.6
580	19.1
590	10.0
<hr/>	
600	4.7
610	2.2
620	0.8
630	--
640	--
650	--
660	--
670	--
680	--
690	--
<hr/>	
700	1.2

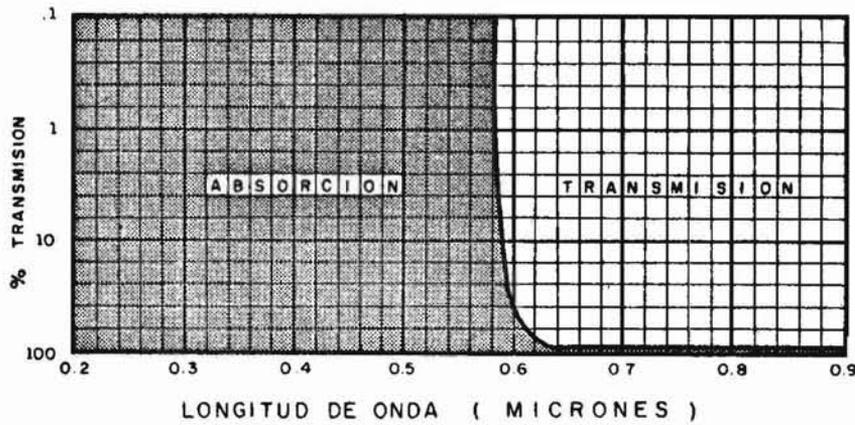
FIG 28 - BANDA I AZUL FILTRO 47 B



LONG. DE ONDA % TRANS.

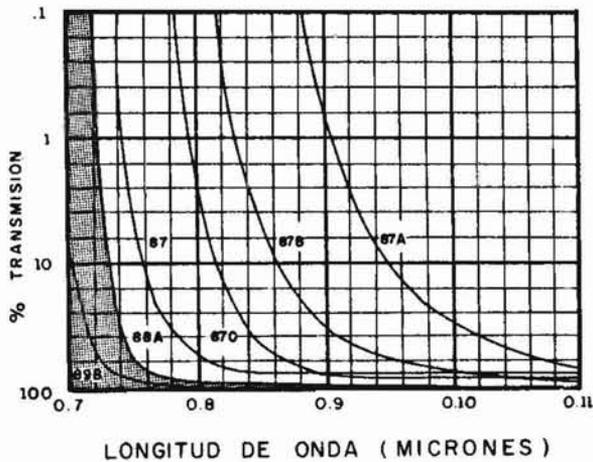
400	16.0
410	29.5
420	43.8
430	50.0
440	47.2
450	38.0
460	25.0
470	13.2
480	4.5
490	1.3
<hr/>	
500	0.17
510	--
520	--
530	--
540	--
550	--
560	--
570	--
580	--
590	--
<hr/>	
600	--
610	--
620	--
630	--
640	--
650	--
660	--
670	--
680	--
690	--
<hr/>	
700	--

FIG. 29 - BANDA II VERDE FILTRO 57 A



LONG. DE ONDA	% TRANS.
.400	—
.410	—
.420	—
.430	—
.440	—
.450	—
.460	—
.470	—
.480	—
.490	—
.500	—
.510	—
.520	—
.530	—
.540	—
.550	—
.560	—
.570	—
.580	12.6
.590	50.0
.600	75.0
.610	82.6
.620	85.5
.630	86.7
.640	87.5
.650	87.8
.660	88.2
.670	88.5
.680	89.0
.690	89.3
.700	89.8

FIG. 30 - BANDA III ROJO FILTRO 25



LONG. DE ONDA	% TRANS.
.700	—
.710	—
.720	—
.730	3.16
.740	19.0
.750	37.8
.760	55.2
.770	69.5
.780	78.4
.790	81.5
.800	82.6
.810	83.0
.820	83.8
.830	84.5
.840	85.0
.850	85.4
.860	85.8
.870	86.2
.880	86.5
.890	86.8
.900	87.0
.910	87.2
.920	87.4
.930	87.5
.940	87.6
.950	87.7
.960	—
.970	—
.980	—
.990	—

FIG. 31 - BANDA IV INFRAROJO FILTRO 88 A

c) Películas

Se utilizó como material filmico las siguientes películas:

- Película aérea Kodak Infrared Aerographic Film 2424, blanco y negro. Sensible en las bandas ultravioleta, visible y cercano infrarrojo. Utilizada en la cámara multibanda.
- Película Kodak Ektachrome MS Aerographic Film 2448, de grano fino y buen rendimiento de color. Película autopositiva.

d) Equipos de terreno

Se contó con una bomba Scholander para medir potencial de agua en las hojas de vid.
También se usaron cápsulas de aluminio para la determinación de la humedad del suelo.

e) Equipo de fotointerpretación

Se utilizó un visor Mini-Addcol modelo 600 de la International Imaging Systems (25), que es un proyector compacto de cuatro canales. Su función es facilitar la interpretación de imágenes multiespectrales. El sistema óptico y controles permite proyectar imágenes simples o superponer dos o más imágenes espectrales, obteniéndose una proyección con aumento fijo de 2.6 x. (figura 32).

Para superponer las imágenes, lleva un sistema de control en x e y. Como resultado se obtienen imágenes en una pantalla de 9x9 pulgadas, en blanco y negro, color monocromático, color natural o falso color. Cada canal posee un juego de filtros compuesto de un filtro azul BG-28, uno verde VG-9, uno rojo RG-610 y uno de vidrio óptico claro para blanco y negro. (Foto N° 1).

Se utilizó también mesas-luz y estereoscopios de espejo para examinar la película color.

B.— METODOLOGIA

La metodología seguida en este trabajo, en sus líneas generales, concuerda con las recomendadas por Nunnally (34), Colwell (6), Yost and Wenderoth (50), Pettinger (37), Gausman (15), Parker (36) y numerosos otros investigadores. Fundamentalmente, el trabajo se basa en datos de terreno, obtenidos de sitios controles, con los cuales se evalúan las características de operacionalidad y potencialidad del sensor-usado.

B.1.— Cubierta Aerofotogramétrica

Una vez determinadas las líneas de vuelo, se procedió a tomar fotografías color y multibanda en dos oportunidades, desplazadas en el tiempo, con el objeto de contar con imágenes que ofrecieran condiciones de invierno y verano.

a) Cubierta con película multibanda

El primer vuelo se realizó el 4 de Agosto de 1972 y el segundo, el 3 de Enero de 1973. Las imágenes se hicieron en días claros, sin nubes y lo más cerca al mediodía con el fin de evitar ángulos de incidencia solar que provocaran sombras.



Foto N° 1. Visor Multiespectral.

En el primer vuelo se tomaron líneas con escalas 1:21.000 y 1:10.000 para elegir cual de las dos era mejor para los fines perseguidos. Se decidió por la última. El segundo vuelo se hizo con escala 1:10.000.

Estos vuelos contaron con recubrimiento lateral y longitudinal mínimo. Las fotos no presentan visión estereoscópica.

La película fue revelada por la Fuerza Aérea de Chile (SAF), obteniéndose positivos transparentes para el visor, copias de contacto de las cuatro bandas juntas con un formato de 24x24 cms y una ampliación de la banda N° 4 (cercano infrarrojo) a 18x18 cms.

b) Cubierta con película color

La película color se tomó al día siguiente de la multibanda. Tuvo como objeto servir de patrón de la anterior. De las dos tomas fotográficas, sólo se contó con la primera (Agosto 1972) en forma de transparencias positivas de 24x24 cms. escala 1:20.000, con traslapeo suficiente para visión estereoscópica.

B.2.— Información de Terreno

La información de terreno se obtuvo mediante cuatro vías diferentes, cada una con distinto grado de precisión complementándose mutuamente. Ellas son:

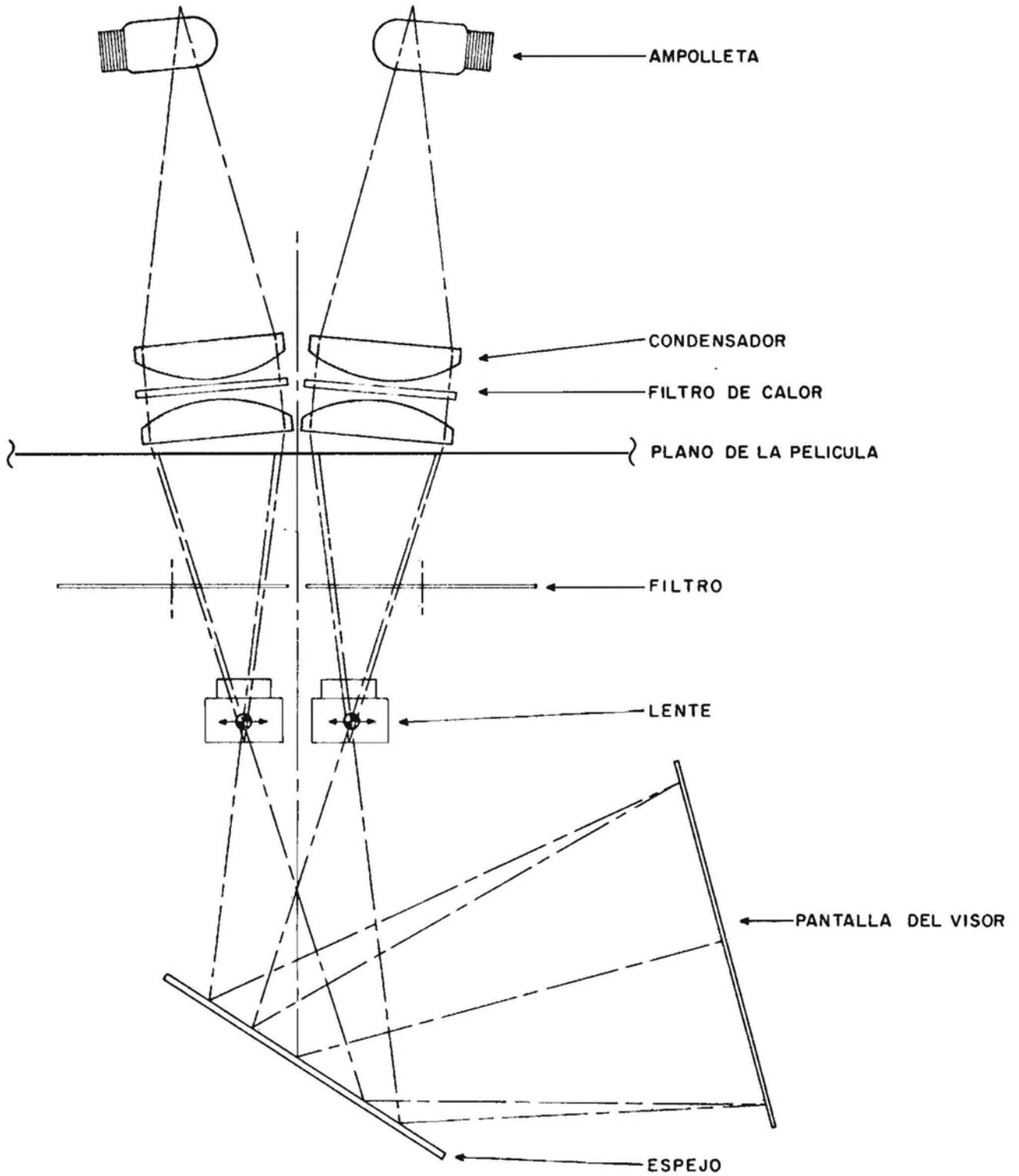


FIG. 32 - ESQUEMA OPTICO DEL VISOR

a) Levantamiento de uso de la tierra.

Se hicieron dos levantamientos de uso de la tierra en las 1.426 há. de los tres sitios control elegidos. Los levantamientos se efectuaron tres días antes de la toma fotográfica y fueron ligeramente corroborados el mismo día del vuelo.

Estos levantamientos de uso se hicieron con el fin de conocer las especies y variedades y otros rasgos que se encontraban en los potreros de los sitios-control.

El primer levantamiento, hecho en Agosto de 1972, se realizó usando como material base, fotografía aérea pancromática del año 1970, escala 1:20.000. El segundo levantamiento se hizo entre fines de Diciembre de 1972 y principios de Enero de 1973, utilizando como material base una ampliación de la banda cuatro de la película multibanda.

La información obtenida en las dos oportunidades se trasladó a mapas de uso, usando para ello una clave para la clasificación del uso de la tierra, semejante a la descrita por Benson, Draeger and Pettinger (1).

b) Cuestionario de manejo

La información detallada sobre los cultivos mapeados con el levantamiento de uso, se obtuvo aplicando un cuestionario a los agricultores (ver Anexo). Este cuestionario se utilizó sólo en la segunda oportunidad (Enero 1973) junto con el levantamiento de uso de la tierra. Durante el primer vuelo (Agosto 1972) no se encontró necesario aplicar el cuestionario, por cuanto la mayoría de los cultivos estaban sin hojas y predominaba principalmente la reflexión del suelo.

El cuestionario se elaboró con el fin de obtener información del manejo de los huertos y cultivos que permitiera controlar algunas variables que afectan la interpretación de las imágenes.

Al final de la clave para clasificar el uso de la tierra, se entrega un código que contiene parte de la información recogida por los cuestionarios.

Finalmente, se elaboró una fórmula descriptora de las especies, variedades y estados de ellas.

c) Obtención de datos en parronales.

Paralelo y simultáneo a la obtención de fotografías multibanda, se procedió a efectuar mediciones en los parronales elegidos.

En el primer vuelo, se muestreó el suelo de los parronales ubicados en los sitios 1 y 2, con el fin de conocer el porcentaje de humedad de esos suelos. El muestreo se hizo en cuadrículas, cada 32 metros. La humedad se determinó por gravimetría, expresándola en base a peso seco.

En el segundo vuelo, se hicieron lecturas de potencial de agua en las hojas de vid de las cuatro variedades ubicadas en los sitios 1 y 2. Para ello se utilizó una bomba de presión Scholander que funciona con nitrógeno. El método es el siguiente: el pecíolo de una muestra foliar se inserta en una tapa que cierra un depósito presurizado. El corte proximal del pecíolo se expone a la presión atmosférica. La parte foliar queda entonces dentro del depósito. Se introduce gas nitrógeno lentamente hasta que agua libre y burbujeante aparezca por las células traqueales del corte expuesto a la presión atmosférica. Se observa con una lupa. El follaje normal requiere una presión menor para sacar el agua que un follaje con déficit de agua.

En la misma oportunidad se sacaron muestras de pecíolos para determinar el nitrógeno nítrico de

las plantas. Se muestreó en los parronales de los sitios 1 y 2. El nitrógeno nítrico se obtuvo por el método del Electrodo en el laboratorio de Análisis Foliar de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Chile.

Tanto en la determinación del potencial de agua como en la de nitrógeno nítrico, se muestreó en cuadrículas cada 12 metros.

d) Información meteorológica

Se obtuvo sólo con el objeto de caracterizar las fotos aéreas en cuanto a las condiciones en que fueron tomadas. Los datos en el primer vuelo se obtuvieron de equipos llevados a terreno; en la segunda oportunidad se leyeron los registros de la estación meteorológica de la Escuela Agrícola de San Felipe.

B.3.— Fotointerpretación.

La interpretación de la película multibanda se efectuó con ayuda de un visor facilitado por el Interamerican Geodetic Survey. Se analizó cada banda por separado y luego las combinaciones de bandas, como color y otras combinaciones.

Se tomaron fotografías color de la pantalla del visor con el fin de ilustrar la tesis. También se usaron transparencias de celuloide para superponer la información sobre las imágenes.

Para apreciar detalles se utilizó lupa; de esta manera se evitó ampliar fotografías, lo que suponía un aumento en los costos de la investigación.

La película color se analizó con estereoscopio de espejo en mesa-luz.

En las transparencias positivas de la película multibanda se efectuaron algunos cortes densitométricos.

III.— PRESENTACION Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS

El presente capítulo se ha dividido en dos subtítulos. El primero de ellos consta de los resultados obtenidos con la interpretación de las imágenes multibanda. El segundo incluye el análisis de ciertas observaciones generales necesarias de considerar en la planificación de un futuro desarrollo de la percepción remota en el país.

A.— RESULTADOS Y SU ANALISIS

Previo a entregar y discutir los resultados obtenidos, es preciso dejar constancia que las condiciones bajo las cuales se desarrolló el proyecto no fueron las mejores. En los dos vuelos multibanda prácticamente se perdió la banda N° 2, una de las más importantes, ya que en esta región del espectro, correspondiente al color verde, las plantas reflejan casi un 20% de la energía incidente.

La pérdida de la banda N° 2, que fue total en el segundo vuelo, tuvo su origen en la adquisición de las fotografías, escapando a la investigación misma. Estas deficiencias motivaron problemas en la generación de imágenes aditivas, lo que, sumado a una deficiente calibración óptica del visor, redundó en imágenes de falso color y color natural, con colores dominantes en los extremos de la pantalla.

El orden de presentación de los resultados está sujeto a las fotografías, ya que algunas de ellas se utilizaron para el análisis de más de una variable.

La información recogida en terreno, por medio del estudio de Uso Actual y el Cuestionario de Manejo, se entrega en cartas que han sido incluidas en el anexo.

A.1.— Detección del Drenaje Natural

El análisis del drenaje natural se hizo en un conjunto de fotografías que incluyó:

- Imágenes de las cuatro bandas espectrales.
- Ampliación de la banda cercano infrarrojo.
- Foto falso color tomada desde la pantalla del visor.

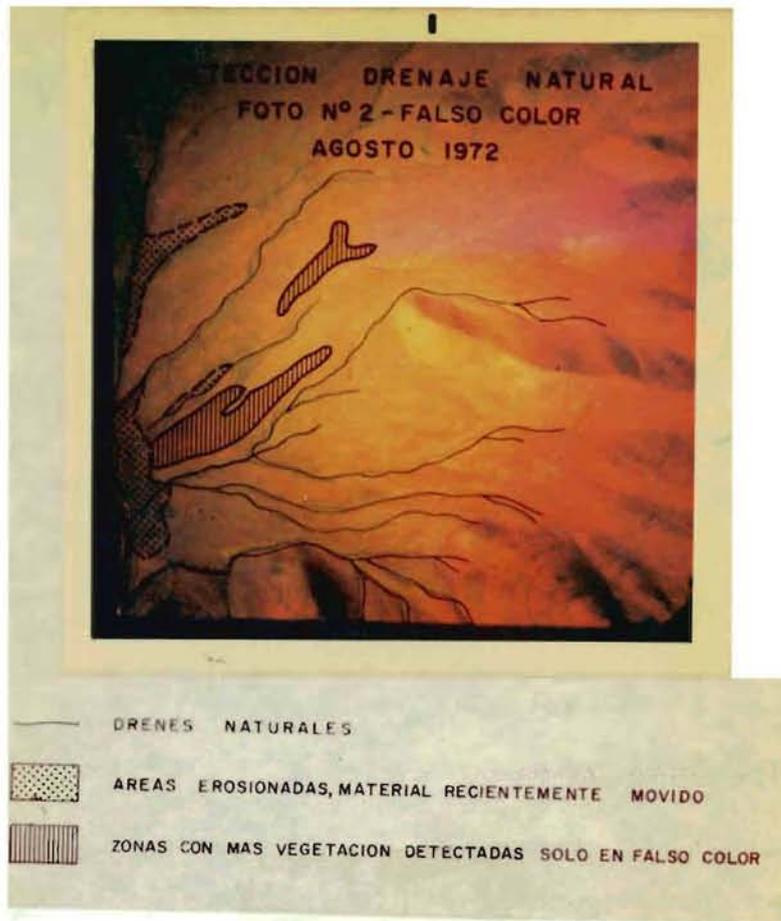
Analizando las cuatro bandas espectrales, fotos N° 3, se observa claramente que los drenes principales, de mayor sección, aparecen mejor resueltos en la banda N° 4 de 0.73-0.95 micrones. Luego en orden de resolución decreciente, en las bandas N° 2, N° 3 y N° 1. La fotografía falso color, obtenida mediante la combinación de las bandas del rojo con filtro verde y del cercano infrarrojo con filtro rojo, entrega en forma excelente estos drenes, definiéndolos mejor que cualquier otra banda (foto N° 2).

Los drenes de cabecera o elementales, que nacen en laderas de los cerros, prácticamente se pierden en la banda N° 4 y aparecen con mayor nitidez en la banda N° 2 (fotos N° 3).

En el transparente de la banda N° 4 ampliada, (foto N° 4) se indican con línea segmentada fina, los drenes que se detectan mejor en la región de 0.44-0.62 micrones.

La foto falso color también entrega los drenes finos, pero con menos nitidez que la banda anterior y se debe a que la resolución de las composiciones aditivas están restringidas a la banda de menor resolución.

El sector fotografiado corresponde a una zona de piedmont bastante erosionada por las aguas lluvias, mostrando un gran movimiento y traslado de material. Pero existen lugares donde la erosión es reciente, las últimas avenidas han removido el material dejando evidencias por donde han pasado.



En el transparente de la banda N°4 ampliada (foto N°4), se han achurado las zonas recientemente erosionadas, que han sido detectadas principalmente en las bandas N° 1 y N° 2. También se ha delimitado en una unidad punteada, las áreas erosionadas que se distinguen en todas las bandas espectrales.

La fotografía N° 2 falso color, también resuelve las áreas erosionadas que se aprecian en las cuatro bandas espectrales por separado.

Esta misma combinación de colores y canales, resulta mejor para distinguir la cubierta vegetal, mostrando en rojo la vegetación desarrollada y en tonos claros, los sectores donde no existe o donde ha sido removida por las avenidas. El sector del tercio derecho, de tono rojo, no corresponde todo a vegetación; se trata de una desregulación óptica del visor.

El hecho de distinguir la vegetación, facilita delimitar los sectores que han sido erosionados ultimamente. Si se compara el falso color (foto N° 2), con las imágenes de las cuatro bandas separadas (fotos N° 3), se verá que es imposible distinguir algún elemento indicador de presencia de vegetación; y se debe a que en el rango visible del espectro, refleja más el suelo que la vegetación cuando el índice del área foliar es pequeño. En el falso color cercano infrarrojo (foto N° 2), el suelo con escasa cubierta, absorbe la energía incidente, camuflando con ello la vegetación presente. En esta composición se distinguen más tonalidades, debido al complemento de información dado por la



Foto N° 3^a. Banda N° 1 (0.36-0.50 μ).
Detección del drenaje natural.



Foto N° 3^b. Banda N° 2 (0.44-0.62 μ).
Detección del drenaje natural.



Foto N° 3c. Banda N° 3 (0.58–0.70 μ).
Detección del drenaje natural.

superposición y también al hecho de que en esos colores el ojo humano tiene un mayor rango de percepción de tonos que en el gris.

A.2.— Detección de Algunos Elementos de Geomorfología

En las fotografías N° 2, 3 y 4 es posible detectar algunos elementos de geomorfología que presentan diferentes respuestas en cada banda.

En el transparente de la foto N° 4 ampliada, se ha marcado, con línea gruesa continua, la cumbre de un cerro que se puede apreciar en todas las bandas, pero con mayor definición en las bandas N° 1 y N° 2 (foto N° 3^a y 3^b).

También se ha dibujado con línea gruesa segmentada las cumbres de cerros que se han determinado mejor en la banda N° 2. Observando las cuatro bandas espectrales, fotos N° 3, se aprecia las ventajas de las bandas azul (0.36-0.50 μ) y verde (0.44-0.62 μ) para definir las formas del relieve.

La banda con rango espectral entre 0.73–0.95 micrones resulta pobre, entregando poco contraste entre las formas; sin embargo la estratificación que se ve en el vértice inferior derecho ha sido resuelta mejor por esta banda y luego por la banda con rango espectral entre 0.58-0.70 micrones. Pero las estratas inferiores se delimitan con más claridad en las bandas N° 1 y N° 2 (fotos N° 4).

La composición de falso color mostró, en otras imágenes vistas directamente en la pantalla del visor, que la estratificación es fácil de seguir por la vegetación que crece en las estratas, notándose que a cada estrata corresponde una densidad vegetal distinta, derivada de las condiciones de suelo diferentes que presentan.

A.3.— Detección de Riego



Foto N° 5a. Banda N° 1 (0.36-0.50 μ).
Detección de riego.



Foto N° 5b. Banda N° 3 (0.58-0.70 μ).
Detección de riego.



Foto N° 5c. Banda N° 4 (0.73-0.95 μ).
Detección de riego.

Estas tres imágenes espectrales correspondientes a las fotos multibanda N° 5, tomadas en Enero de 1973, son un ejemplo de lo detectado en cuanto a riego. En ellas se presentan las distintas respuestas tonales de un cultivo bajo riego.

Las imágenes N° 5a y 5b no muestran gran diferencia entre sí, sólo que en la N° 5b se delimitan mejor los pretiles y canales de riego. El agua de riego se ve claramente aprovechando el reflejo del sol.

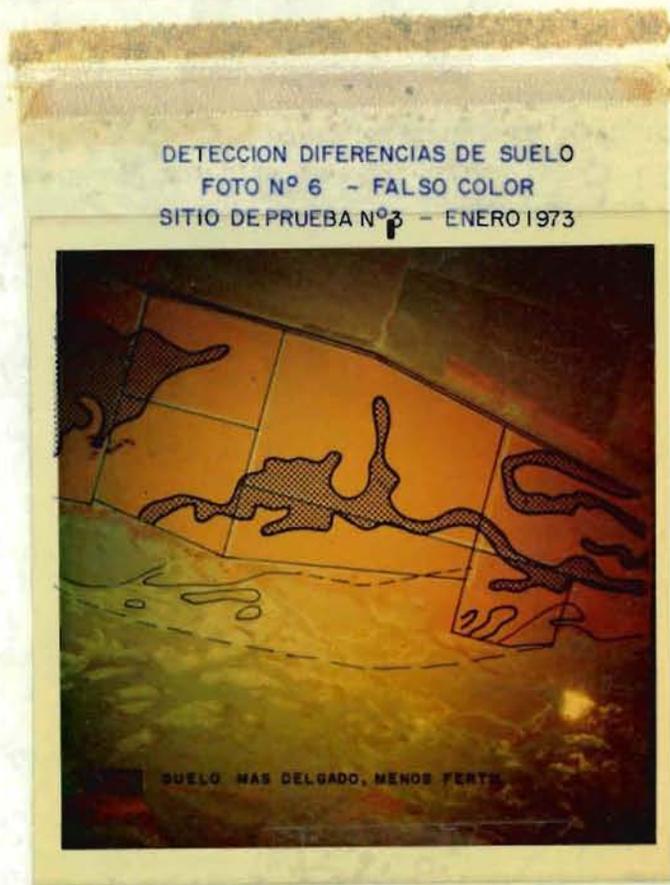
En la fotografía N° 5c aparecen los bordes y pretiles perfectamente marcados, enseñando incluso diferencias en la mojadura del suelo. El agua no se aprecia tan bien como en las bandas anteriores.

Los potreros centrales superior e inferior presentan diferencias marcadas de tonos en la banda N° 4, lo que no sólo se debe a diferentes humedades del suelo, sino también a que en el potrero inferior la alfalfa ha recibido un corte.

Disminuido así el índice de área foliar, predomina la absorción del suelo, apareciendo en tonos más oscuros que el potrero superior subsiguiente, que presenta una cubierta más tupida y por lo tanto más reflectante de la energía del cercano infrarrojo.

En la foto N° 5c, que comprende la región de los 0.73 a los 0.95 micrones, en el potrero que está al medio de los mencionados en el párrafo anterior, se observan los derrames del potrero superior (en la parte central superior). Estos derrames, no son apreciados en las otras bandas con tanta nitidez y resolución.

A.4.— Detección de Diferencias de Suelo



Las fotografías falso color y multibanda N° 6 y 7 respectivamente, señalan en sus transparentes las diferencias de suelo detectadas.

El transparente de las tres bandas separadas, fotos N° 7, presenta en achurado, los sectores correspondientes a suelos más delgados, menos fértiles.

Las bandas de 0.36-0.50 y la de 0.58-0.70 micrones, fotos N° 7, muestran en tonos más claros los suelos que están menos cubiertos con vegetación, predominando la reflexión del suelo, que en esas bandas es mayor que la de la vegetación.

Definir las líneas que separan los suelos delgados de los menos delgados, es más fácil en la banda de 0.73-0.95 micrones, la que entrega más información al respecto. Los sectores oscuros de este canal corresponden a lugares donde no se ha desarrollado vegetación con la misma densidad y vigor que en sectores adyacentes. De ahí que predomina la absorción del suelo, apareciendo los tonos más oscuros.

La información de terreno, indica que estos suelos corresponden a la última terraza del río Aconcagua, son suelos delgados, de no más de 40 cms. y que descansan sobre grava. Se encontró que las áreas marcadas en los transparentes correspondían a sectores donde las plantas de vid presentaban menor desarrollo vegetativo, producían menos racimos y de menor tamaño. La fertilización del parronal es pareja, encontrándose dentro de rangos aceptables. Las plantas tienen la misma edad y distancia de plantación.

Se comprobó entonces lo detectado, en cuanto a que en los sectores más delgados la vegetación era menos vigorosa, dejando pasar más luz hacia el suelo, la que era reflejada en las bandas de luz visible y absorbida en el cercano infrarrojo.

En la banda de 0.73-0.95 micrones, foto N° 7, se ha marcado con línea segmentada la ubicación de una unidad cartográfica determinada por la Sección Agrología de CORFO (9). Esta unidad corresponde al tipo franco arcillo arenoso muy fino de la Serie Catemu, y ha sido descrita como "un suelo plano, delgado, estratificado, de texturas medias en la superficie y gruesas entre 30 y 50 cms. derivado de materiales aluviales y que descansa sobre un substratum de piedras y arenas. Son suelos de fertilidad moderada a baja y de buen drenaje".

El origen de estos suelos más delgados, en la misma terraza, se encuentra indudablemente en avenidas del río Aconcagua que se salieron de su cauce, arrastrando el material superficial, adelgazando el suelo y restándole fertilidad.

La foto N° 6 falso color, hecha en la banda de 0.73-0.95 con filtro rojo y banda de 0.50-0.70 μ con filtro verde, señala también las diferencias de suelo, pero con menor nitidez que la banda del cercano infrarrojo. Esto se debe a problemas de composición de la imagen. Si se lograra una buena foto de falso color desde la pantalla del visor, es indudable que resultaría la más indicada para este fin, porque, como la interpretación es indirecta (por vegetación), el hecho de tener colores y tonos distintos en rojo, para la cubierta vegetal, significa facilidad para delimitar y establecer los contactos entre las unidades.

En la foto falso color, se han dibujado líneas continuas y segmentadas que indican el curso probable que tomó el agua cuando se produjo la avenida que dio origen a los sectores de suelos más delgados y pobres.

A.5.— Respuestas Espectrales Específicas de Cultivos

En relación a la detección de señales espectrales específicas de los cultivos, se analizaron los positivos de las fotografías mediante densitometría, obteniéndose valores relativos de la densidad de la



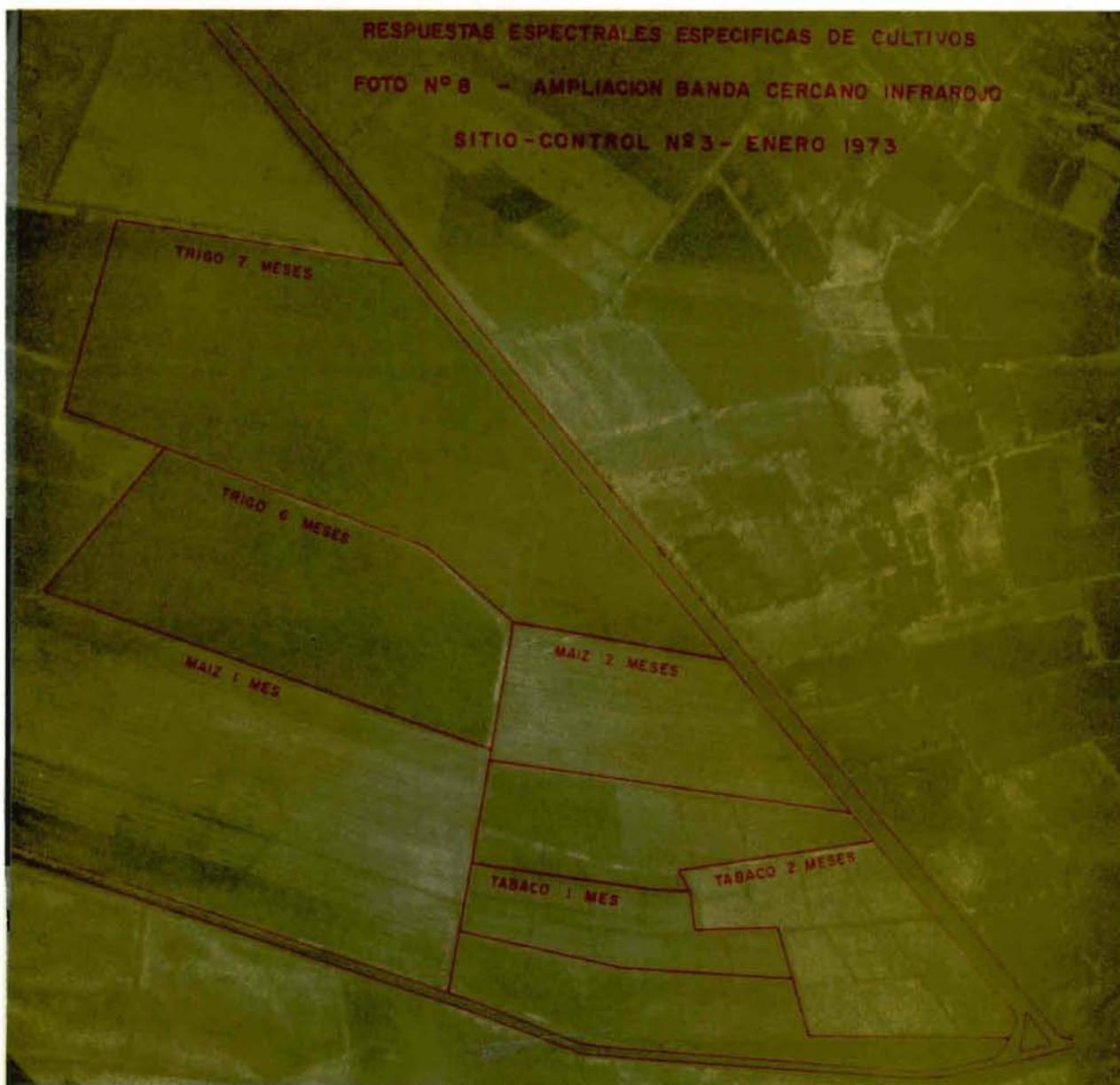
Foto N° 7 Sitio Control N° 3 Enero 1973
Diferencias de Suelo



Foto N° 7 Sitio Control N° 3 Enero 1973
Diferencias de Suelo



Foto N° 7 Sitio Control N° 3 Enero 1973
Diferencias de Suelo



película. Los valores más bajos corresponden a los tonos más claros, mientras que los valores altos señalan tonos oscuros.

Se compararon las densidades de algunos cultivos en cada banda espectral, graficándose las respuestas tonales.

La foto Nº 8 presenta en el transparente la información sobre delimitación y ubicación de los cultivos.

Con fines comparativos, se incluye también las otras dos bandas espectrales, fotos Nº 9a y 9b.



Foto N° 9a. Banda N° 1 (0.36-0.50 μ).
Respuestas espectrales específicas de
cultivos.



Foto N° 9b. Banda N° 3' (0.58-0.70 μ).
Respuestas espectrales específicas de
cultivos.

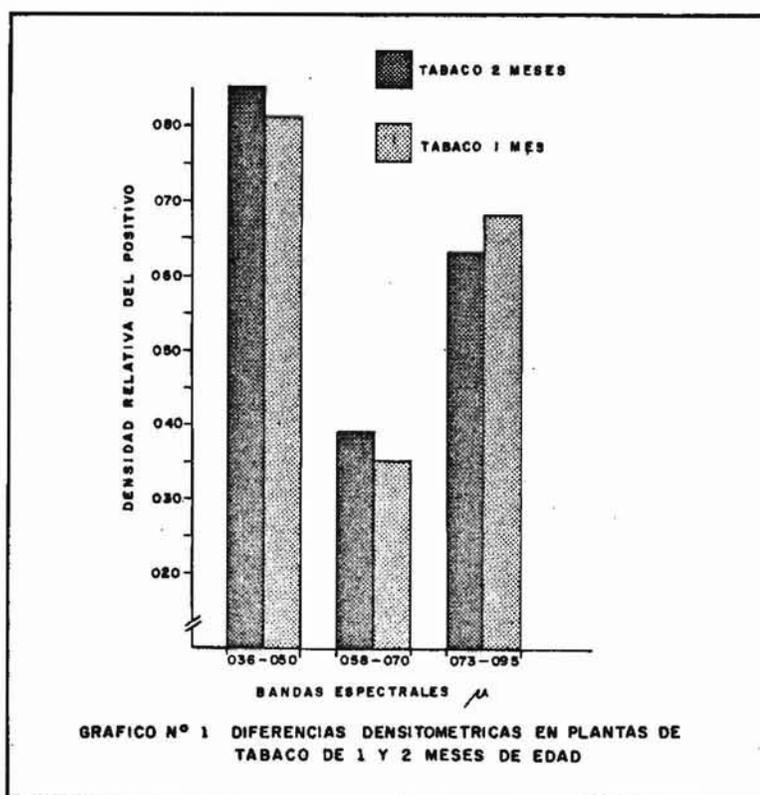
a) Tabaco

En el estudio de Uso Actual, se determinó la existencia de tabaco de distintas edades, desde 15 días a dos meses. Se eligió dos paños, de uno y dos meses respectivamente, señalados en el transparente de la foto N° 8. Estas plantas habían recibido el mismo grado de fertilización basado en salitre, urea y sulfato de potasa. Hacía cuatro días que habían sido regadas y se encontraba el suelo limpio de malezas en el momento de la toma fotográfica.

Las imágenes de cada banda señalan las diferencias entre los dos paños, siendo la banda de 0.36–0.50 micrones la que mejor define los límites. La región de 0.73–0.95 micrones permite diferenciar los dos paños en forma más rápida por la diferencia en el tono gris.

El Gráfico N° 1 muestra las diferencias de densidad de la película para cada uno de los paños en cada banda.

En la banda de 0.36–0.50 micrones, la diferencia entre los dos paños de tabaco alcanza a 0,04 unidades relativas de densidad, siendo las plantas de mayor edad las que absorben más luz, dando un valor de densidad de 0.85. La densidad se debe a que en estas longitudes de onda existe una fuerte absorción por parte de la clorofila de la hoja utilizada con fines fotosintéticos. Como las plántulas de un mes tienen un índice de área foliar bajo, absorben poca energía, dejando pasar la reflexión del suelo, que es alta en la región de 0.36–0.50 micrones y levemente inferior en la región de 0.58–0.70 micrones.



La porción del espectro electromagnético que va entre 0.73—0.95 micrones, entrega la diferencia mayor de reflexión entre los dos paños. El tabaco de un mes aparece 0.05 unidades de densidad relativa más oscuro que el tabaco de dos meses. Este último refleja más en la banda del cercano infrarrojo porque posee un mayor desarrollo vegetativo, y por lo tanto, el mesófilo de las hojas está más desarrollado.

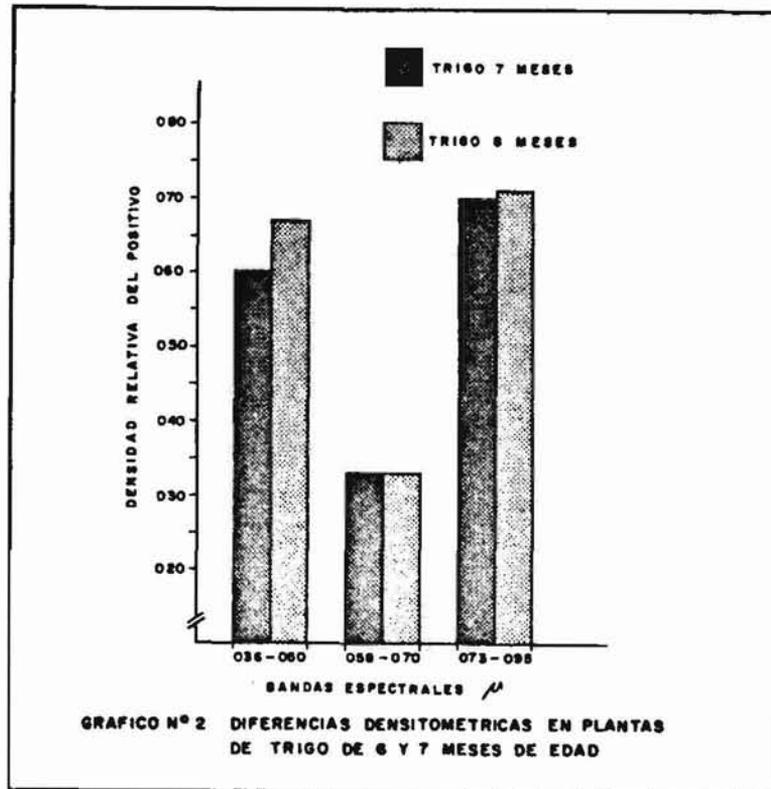
El paño de tabaco con plantas de 30 días refleja menos debido a que la absorción de luz en esa banda es alta, siendo el principal absorbente el suelo, lo que eleva la densidad relativa.

La densitometría prueba que la banda del cercano infrarrojo permite discriminar mejor las diferencias de edad de las plantas de tabaco, dependiendo en gran medida de las condiciones hídricas del suelo.

b) Trigo

Las tres bandas espectrales se muestran casi iguales para los trigos de seis y siete meses de edad. En la banda de 0.36-0.50 micrones, el trigo de siete meses aparece con un tono más claro que el de seis meses. En la banda 0.58-0.70 micrones, se ven prácticamente iguales y en el cercano infrarrojo (0.73-0.95 micrones) la diferencia es pequeña, resultando más difícil distinguirlos que en la región de 0.36-0.50 micrones.

La densitometría probó que el trigo joven refleja menos en la banda de 0.36 a 0.50 micrones. La razón estaría en que el trigo de siete meses presenta un color amarillo dorado más intenso que el trigo



de seis meses, por lo que la luz del sector visible es reflejada mejor por el primero. En la región de 0.58-0.70 micrones, no se detectaron diferencias en la densidad de los dos palos.

La banda de 0.73-0.95 micrones aparece mostrando algo singular, refleja más luz el trigo de siete meses que el de seis meses. Lo anómalo está en que, a medida que las plantas pierden agua, reflejan menos luz en esta banda, hasta que cuando pierden la totalidad del agua, aparecen oscuras. La situación detectada es inversa a todas las estudiadas, especialmente en la detección del vigor de las plantas. La explicación estaría en que el trigo más viejo, más deshidratado, ha tomado un color amarillo que podría ser buen reflector en la región de 0.73-0.95 micrones.

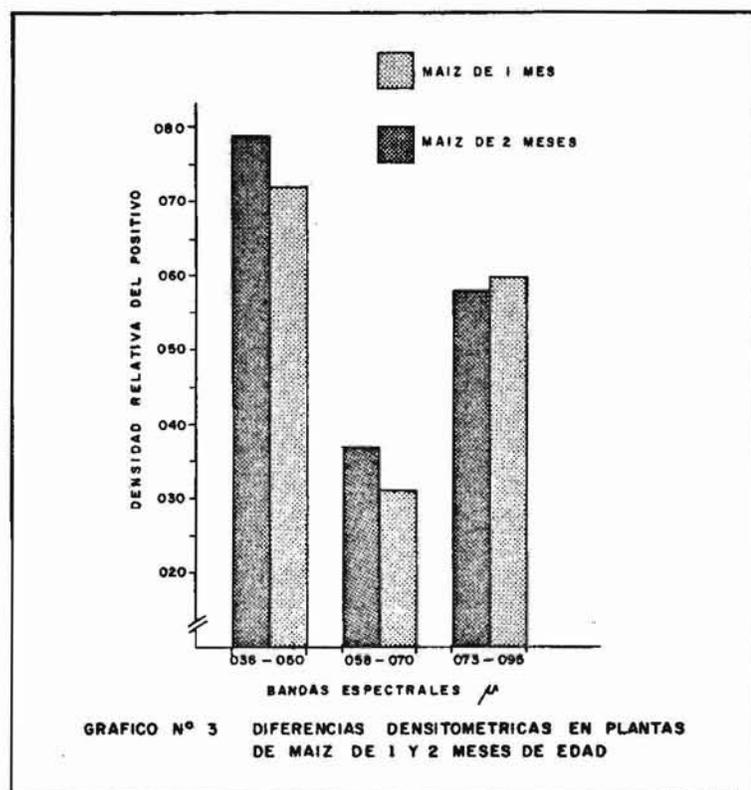
Esto llevaría a pensar que el trigo de seis meses, en la medida que vaya perdiendo más agua, irá reflejando más luz en la banda del cercano infrarrojo, porque paralela a la deshidratación avanza una coloración amarillo clara en las plantas, que reflectivamente sería más importante que la pérdida de agua de las mismas. Es necesario investigar más en este punto.

La composición de falso color, banda del cercano infrarrojo con filtro rojo y banda de 0.58-0.70 micrones con filtro verde, vista en el visor, resuelve mejor las diferencias de edad de una misma especie.

c) Maíz.

Las diferencias entre maizales de distintas edades se advierten mejor en la banda de 0.58-0.70 micrones, luego en la 0.36-0.50 y finalmente en la región de 0.73-0.95 micrones.

Al efectuar la densitometría se probó lo interpretado visualmente. La banda de 0.36-0.50 micrones da la mayor diferencia con 0.07 unidades de densidad relativa, correspondiendo al maíz de dos meses la mayor absorción de energía electromagnética (fotosíntesis).



La banda de 0.58-0.70 micrones da el segundo valor con 0.06 unidades y por último la porción de 0.73-0.95 micrones sólo con 0,02 unidades de densidad relativa, haciendo aparecer de un tono similar a ambos paños.

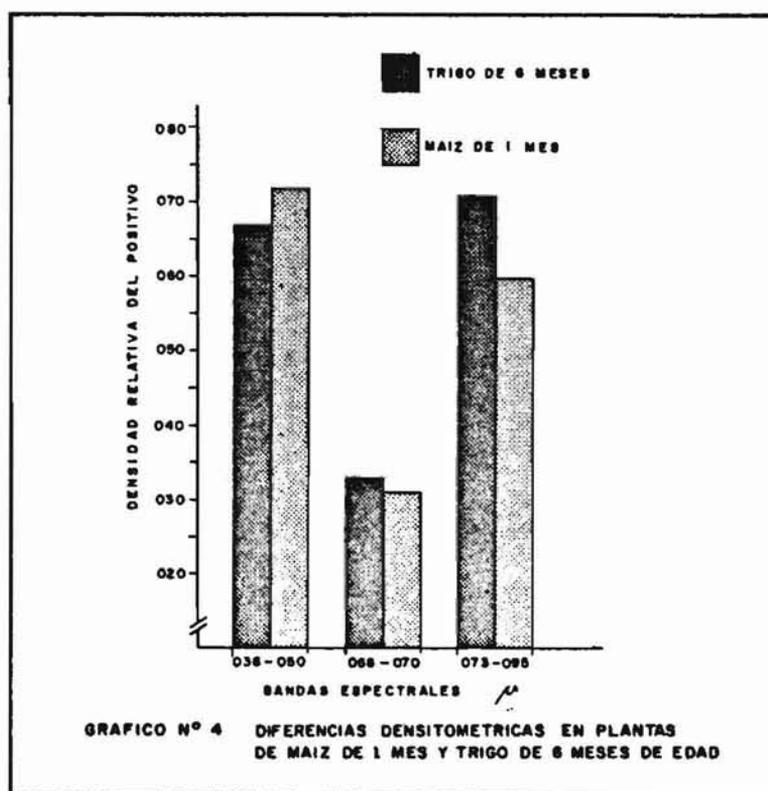
d) Comparación densitométrica entre especies

Se probó la diferenciación entre especies de maíz y trigo, que en las bandas de la región visible aparecen prácticamente iguales en textura y trama, variando sólo los tonos, pero en un rango tan pequeño para la visión humana, que hace imposible la diferenciación visual.

Se analizó comparativamente trigo de seis meses con maíz de uno y dos meses respectivamente.

— Trigo de seis meses con maíz de un mes. Las porciones del espectro entre 0.36-0.50 y 0.58-0.70 micrones los muestran semejantes, siendo imposible determinar que se trata de potreros con distintas especies.

El gráfico de densitometría muestra que las diferencias en densidad de las bandas visible son pequeñas, pero en el cercano infrarrojo sí se logra establecer diferencias sustanciales entre los dos



cultivos; el potrero de maíz aparece reflejando más energía que el trigo, tomando en la foto una tonalidad 0.11 unidades de densidad relativa más clara que el potrero con trigo, permitiendo diferenciarlos sin ninguna dificultad.

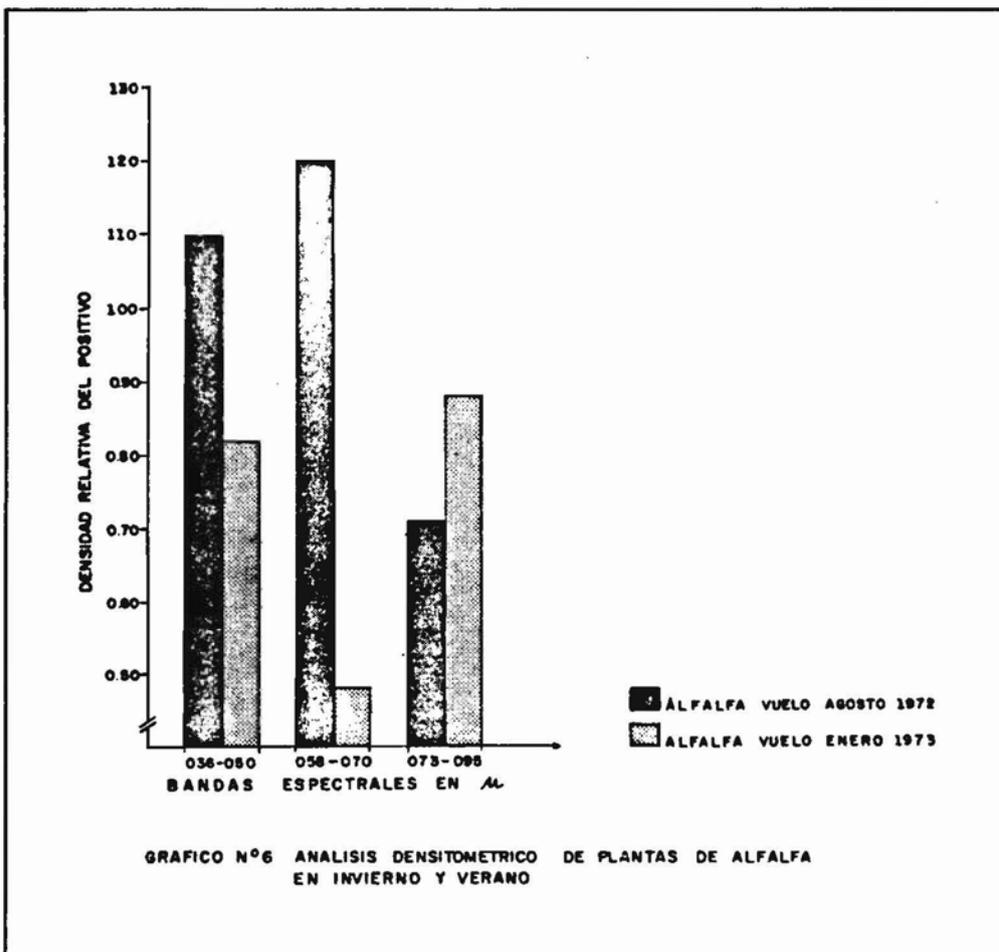
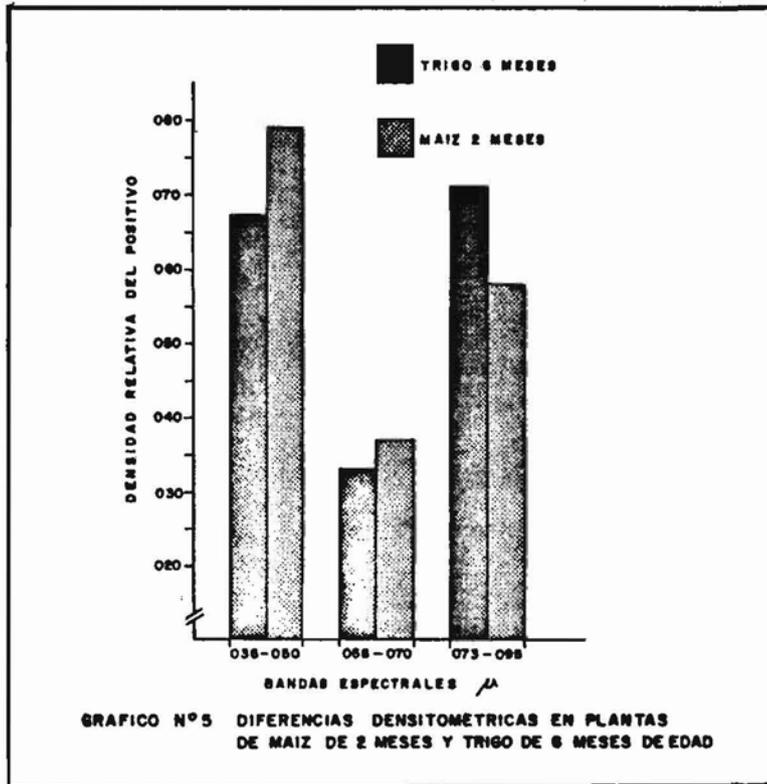
– Trigo de seis meses con maíz de dos meses. Las bandas espectrales en las fotografía y el gráfico densitométrico señalan que es más fácil establecer diferenciaciones entre trigo de seis meses y maíz de dos meses, lo que resulta lógico, ya que el maíz, al presentar un mayor desarrollo foliar, absorbe energía en la región visible del espectro y refleja fuertemente en el cercano infrarrojo.

El rango espectral de 0.73-0.95 micrones resultó, al igual que en el caso anterior, el mejor para diferenciar ambas especies.

A medida que aumenta la edad del maíz, aumenta la reflexión en el cercano infrarrojo, por lo que irá siendo más fácil distinguirlo del trigo maduro. Del mismo modo, aumenta la absorción de energía para fotosíntesis en las longitudes de onda visible.

e) Alfalfa.

Se analizó, densitométricamente, un potrero de alfalfa, comparando su comportamiento frente a la energía en las fotografías de Agosto de 1972 y Enero de 1973.

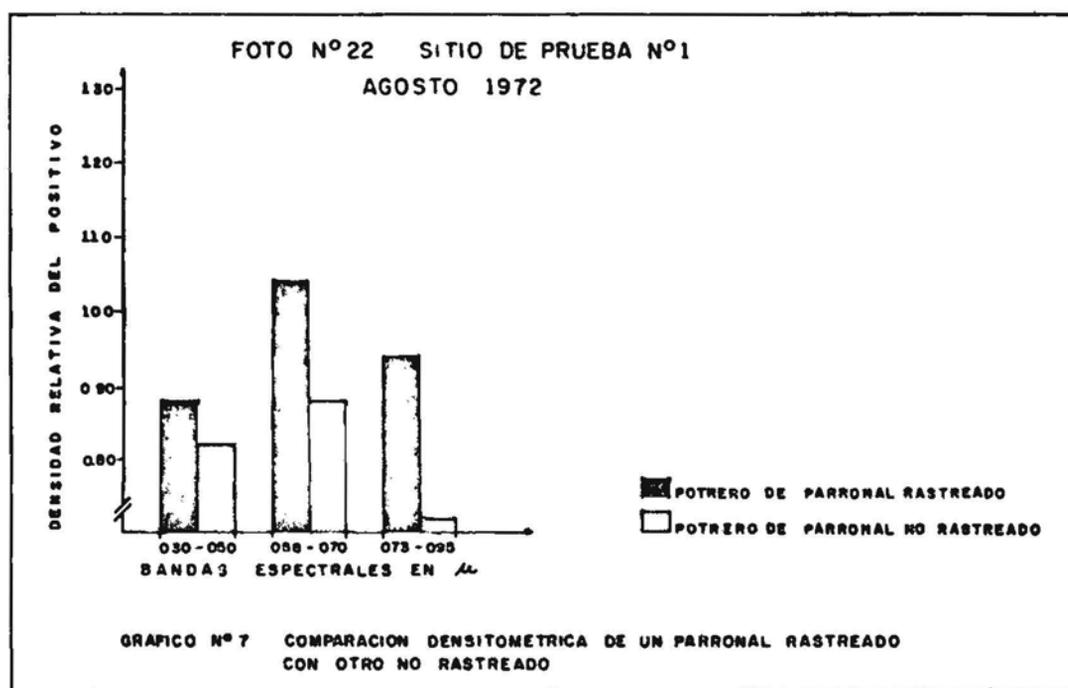


Es posible inferir que el estado general de vigor de la alfalfa era mejor en Invierno que en Verano, pues presenta una fuerte reflexión en la banda de 0.73-0.95 micrones. Además la absorción de energía evidencia un elevado índice de área foliar.

La banda de 0.58-0.70 micrones señala la mayor diferencia de reflexión.

f) Comparación densitométrica de un parronal rastreado con uno no rastreado

Las tres bandas espectrales dan respuestas densitométricas distintas. En la banda de 0.38-0.50 micrones, el potrero de parronal no rastreado refleja 0.06 veces más energía que el potrero con parronal rastreado; esto es lógico, ya que su índice de área foliar es mayor por el hecho de presentar malezas, por lo tanto se suma la reflexión del suelo y de las plantas que en él crecen.



En la porción del espectro correspondiente al rojo de 0.58-0.70 micrones, se detecta una mayor diferencia de reflexión entre ambos casos, de 0.16 veces más el parronal no rastreado. En la banda con rango entre 0.73-0.95 micrones se logra establecer diferencias sustanciales entre los dos potreros, donde se aprecia claramente que el suelo desnudo en esta fracción del espectro no visible absorbe 0.8 veces más energía que el suelo cubierto con malezas.

A.6.- Detección del Estado Hídrico en Vides

Se ensayó la detección de algunas características espectrales que pudiesen relacionarse con los estados hídricos de las plantas de vid. Para ello se determinó el potencial del agua en las hojas mediante

una bomba de presión Scholander.

El ensayo se realizó en los sitios N° 1 y N° 2, durante el vuelo multibanda de Enero de 1973.

a) Sitio de prueba N° 2

En las fotografías N° 10, 11 y 12, tomadas en Enero de 1973, se analizó la detección de potenciales de agua en las hojas de vid en parronales.

El potrero elegido en este sitio de prueba consta de cuatro cuarteles de distintas variedades. Todas las plantas reciben el mismo manejo, nivel de fertilización y riego en idéntica oportunidad. Las plantas tienen una edad de ocho años.

El potrero, que había sido regado ocho días antes del levantamiento fotográfico, se encontraba algo enmalezado, con una densidad que permitía ver gran parte del suelo.

En la foto N° 10, ampliación de la banda N° 4 ($0.73-0.95 \mu$), se han superpuesto tres transparentes que contienen gran parte de la información obtenida en terreno, y la ubicación bastante aproximada de los puntos de muestreo para la determinación de los potenciales de agua.

En el cuartel A, de variedad Alfonso Lavallón, se tomaron doce valores en la hectárea de superficie que comprende el cuartel. No se distingue ninguna relación entre el tono de la película y los valores de potenciales, excepto para los valores -72 y -100 lb/pulg², achurados en el tercer transparente, que pudieran corresponder a lugares donde la reflexión de energía es menor, o sea, donde la planta aparece de un tono gris oscuro. La variedad presentó inconvenientes debido a su escaso desarrollo foliar, derivado de una falta absoluta de fertilidad y de características de la variedad, ya que no presenta un gran desarrollo foliar aún en óptimas condiciones, pero que sí es suficiente para cubrir gran parte del suelo. Esta situación hizo disminuir la reflexión de las plantas en la banda de 0.73 a 0.95 micrones.

En las bandas N° 1 ($0.36-0.50 \mu$) y N° 2 ($0.44-0.62 \mu$) (fotos 11a y 11b), tampoco se logró apreciar diferencias que indiquen alguna relación con los valores obtenidos.

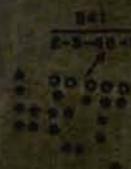
La variedad vecina Emperor, más robusta, con mayor desarrollo foliar, permitió establecer algunas relaciones entre los valores obtenidos y el tono de la película. Todos los valores bajos de potencial del agua en las hojas, que corresponden a plantas con mayor necesidad de agua, se ubicaron casi en el centro del cuartel (ver transparente de foto N° 10) coincidiendo con el sector donde se nota menos reflexión, o sea, donde las plantas estarían acusando la falta de agua con una disminución en su respuesta dentro del rango de 0.73-0.95 micrones, derivada de una pérdida de turgencia en las células del mesófilo de las hojas.

Analizando con lupa, se distinguen las plantas que están "camufladas", por presentar una respuesta espectral similar a la del suelo.

Se estima que la baja respuesta de las plantas deriva de la falta de agua disponible en el suelo provocada por la mayor exposición del suelo en ese sector, lo que permite una evaporación de agua con mayor rapidez. Como consecuencia, presenta déficit antes que los sectores adyacentes, donde las plantas reflejan con mayor intensidad.

El estudio de la variedad Cardinal, paño C, no entrega datos significativos, predomina la reflexión del suelo. Al igual que Alfonso Lavallón, es una variedad menos robusta que Emperor y Sultanina, con un desarrollo vegetativo menor. Los valores más bajos de potencial de agua en las hojas corresponden a lugares muy localizados donde las plantas manifiestan una menor respuesta, pero es necesario observar con lupa. Existen sectores como el achurado, en que a pesar de entregar una respuesta mayor,

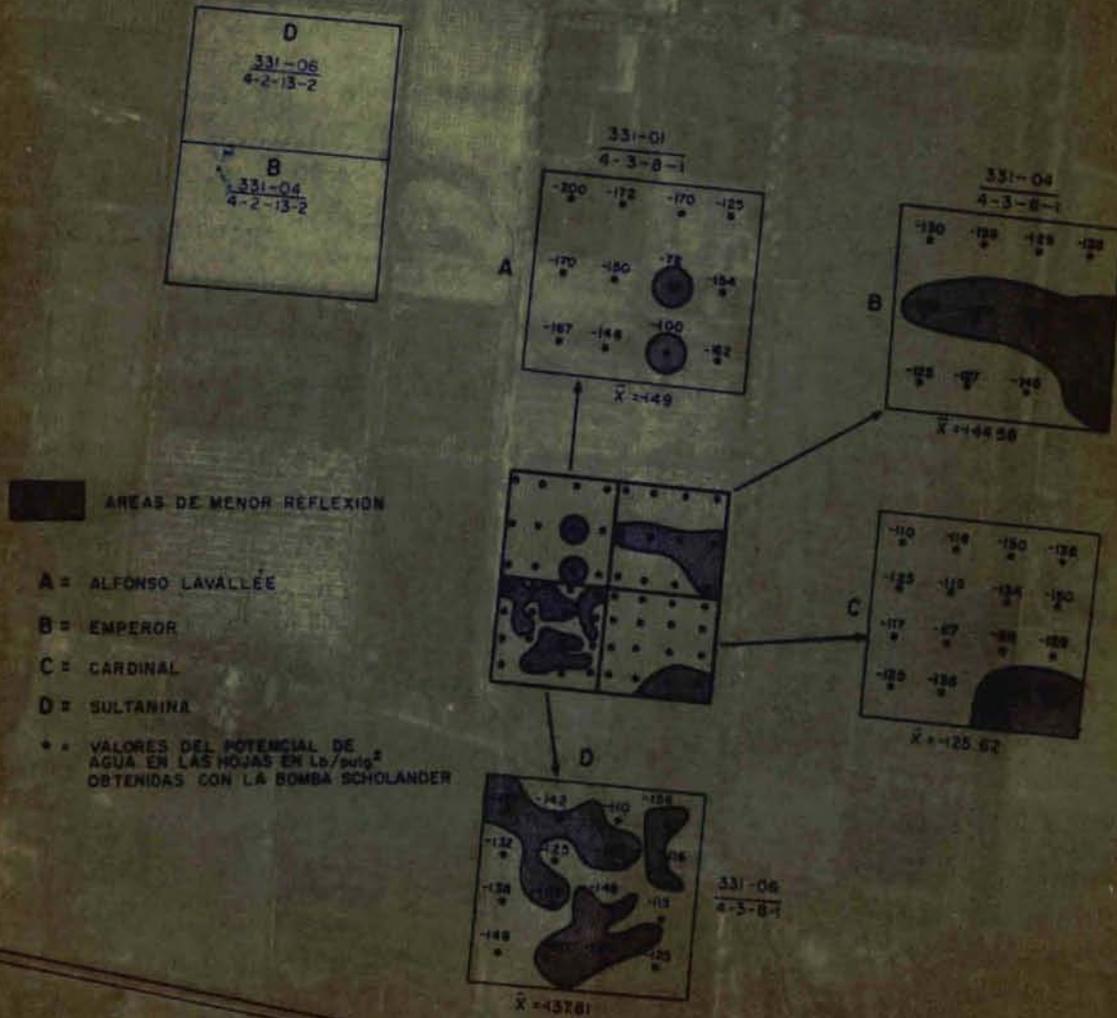
DETECCION DE PERDIDAS DE VIGOR EN PALTOS
FOTO N° 10 - AMPLIACION BANDA CERCANO INFRAROJO
SITIO PRUEBA N° 2 ENERO 1973



- 0000 PALTOS DE APARIENCIA NORMAL, SANOS
- 0001 PALTOS DE APARIENCIA CEN NORMAL
- 0002 PALTOS CON SIGNOS DE PERDIDAS DE VIGOR

DETECCION DEL ESTADO HIDRICO EN PARRONALES

FOTO N°10 - AMPLIACION BANDA CERCANO INFRAROJO
SITIO PRUEBA N° 2 ENERO 1973



DETECCION DE NIVELES DE NITROGENO NITRICO EN PARRONALES

FOTO N° 10 - AMPLIACION BANDA CERCANO INFRAROJO
SITIO PRUEBA N° 2 ENERO 1973





Foto N° 11a. Banda N° 1 (0.36-0.50 μ).
Detección de niveles de nitrógeno y estados
hídricos en vides. Detección de vigor en paltos.



Foto N° 11b. Banda N° 3 (0.58-0.70 μ).
Detección de niveles de nitrógeno y estados
hídricos en vides. Detección de vigor en paltos.

las plantas se ven de tonos grises más oscuros, debido a que el índice de área foliar es menor en esos sectores. Si se compara con el lugar donde está el valor -110 lb/pulg^2 , se verá que en este sector el tono es más blanquecino, este valor no indica un déficit pronunciado que afecte a la planta. De todas maneras, la escala no permite visualizar planta por planta con la nitidez necesaria como para comparar con el valor obtenido.

La variedad Sultanina, cuartel D, presenta áreas achuradas en el tercer transparente de la foto N° 10, con valores bajos de potencial de agua y que calzan con aquéllas donde el tono de la fotografía se oscurece.

La composición de falso color (foto N° 12) ayuda bastante al análisis de la cubierta vegetal de cada variedad. Así, es fácil notar que la variedad Alfonso Lavallée es la que ha desarrollado menos vegetación, predominando la reflexión del suelo.

Pero el análisis no está completo si no se consideran los contenidos de nitrógeno de las plantas. Myers (33) señala que, a menor contenido de nitrógeno, existe mayor cantidad de agua por unidad de materia seca. La reflexión, en el intervalo de 0.38-0.70 micrones aumenta, ya que hay menos clorofila y por lo tanto menos absorción de energía de longitudes de onda corta. (azul y verde).

Las plantas con menos nitrógeno tienen más agua que las normales y la reflexión disminuirá en el cercano infrarrojo en la medida que aumentan las necesidades de agua.

Los resultados obtenidos se ajustan a lo señalado por Myers (33).

Los valores de nitrógeno determinados resultaron ser bajísimos, encontrándose los parronales con una severa deficiencia. A los valores más bajos de nitrógeno nítrico le corresponden valores

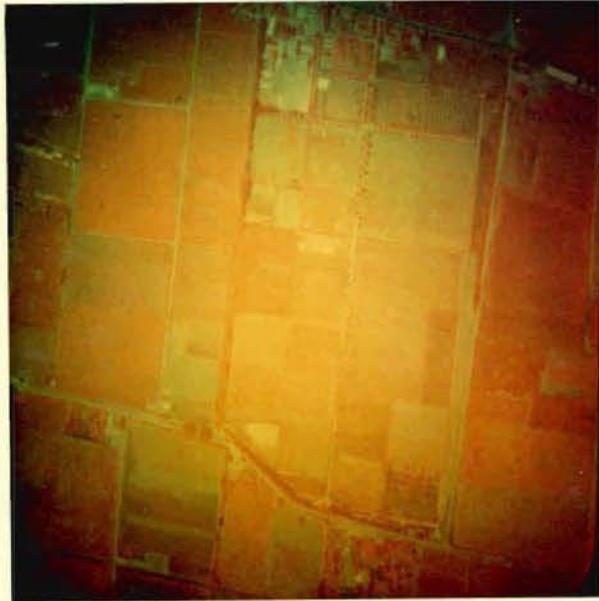


Foto N° 12. Falso color infrarrojo. Detección de estados hídricos y nitrógeno nítrico en vides. Detección de vigor en paltos.

mayores de potencial de agua en las hojas.

CUADRO N° 1

Valores promedios de potencial de agua en las hojas de parronal, expresados en bares, relacionados con las partes por millón de nitrógeno nítrico para cada variedad.

Variedad	P.p.m. N ₂ nítrico	Bares
Sultanina	120	- 9.37
Cardinal	130	- 8.55
A. Lavalée	152	- 10.13
Emperor	220	- 9.83

Afinando el análisis con densitometría, se ha determinado densidades promedio de las cuatro variedades en la banda de 0.73-0.95 micrones, las que se graficaron en relación con el potencial de agua de las hojas y las p.p.m. de nitrógeno nítrico.

El gráfico N° 8-A indica que a medida que aumentan las necesidades de agua, la densidad de la película se hace mayor, o sea, muestra con ello una disminución de la reflexión de las plantas. Se encontró un valor muy fuera de la recta, señalando una baja densidad (alta reflexión) para un potrero con relativamente bajo potencial de agua promedio. La explicación podría estar en que a ese valor le

FOTO N°10 - ENERO 1973

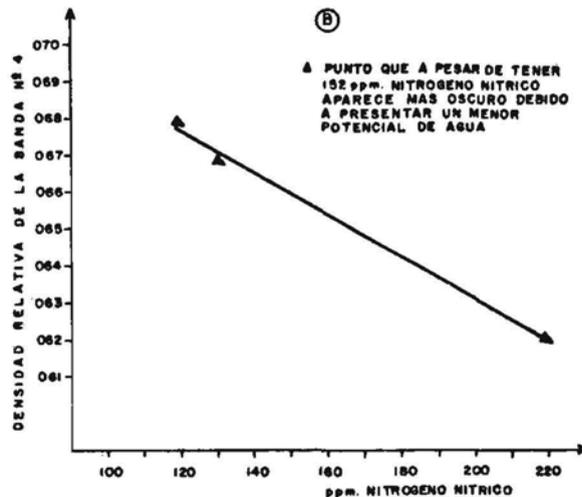
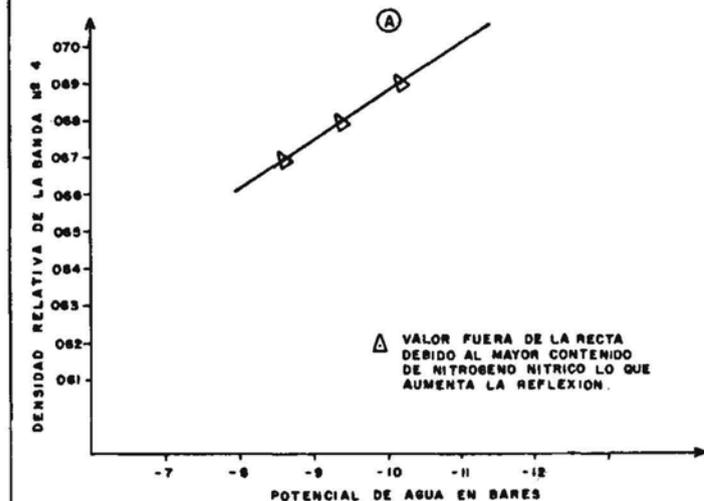


GRAFICO N° 8

(A) RELACION ENTRE POTENCIAL DE AGUA EN LAS HOJAS Y DENSIDAD RELATIVA DEL POSITIVO

(B) RELACION ENTRE CONTENIDO NITROGENO Y DENSIDAD RELATIVA DE LA BANDA N° 4

corresponde el contenido mayor de nitrógeno encontrado en el parronal, 220 p.p.m., que acompañado de un mayor desarrollo foliar, provocaría una reflexión que logra encubrir el déficit de agua.

El gráfico N° 8-B, a pesar de los pocos puntos, muestra una tendencia a la recta, indicando que existe una relación inversa entre el contenido de nitrógeno y la densidad de la película. A mayor concentración de nitrógeno nítrico, la densidad es menor, o sea, la reflexión de las plantas es mayor. La razón estaría en la relación nitrógeno vigor de las plantas.

También un punto escapó a la recta trazada. La explicación podría estar en que a ese valor de 152 p.p.m. de nitrógeno nítrico le corresponde al menor potencial de agua encontrado en las variedades, el que sería más influyente en la reflexión de la luz en la región de 0.73-0.95 micrones.

La variedad Alfonso Lavallée, en la banda con rango espectral entre 0.73-0.95 micrones, tiene la menor respuesta y corresponde al valor promedio más bajo de potencial de agua en las hojas.

En el transparente de detección de niveles de nitrógeno, de la foto N° 10 (2° Transp.), se ha remarcado un parronal con las variedades Sultanina y Emperador que ha recibido fertilización y riego adecuados. Al comparárseles con los cuarteles donde se efectuaron las mediciones hídricas, es fácil apreciar la enorme diferencia. Estas plantas son cinco años más viejas que las muestreadas.

b) Sitio de prueba N° 1.

En este sitio también se tomaron valores de potencial de agua y niveles de nitrógeno en hojas de vid.

El transparente de la foto N° 13 señala los valores y la ubicación aproximada de ellos en el potrero.

En el momento de la toma fotográfica, el potrero de vides en parronal recibió riego unas 15 horas

AMPLIACION BANDA CERCANO INFRAROJO
TRANSPARENTE - FOTO Nº 13
SITIO DE PRUEBA Nº 1 ENERO 1973

DETECCION DE NIVELES DE NITROGENO NITRICO
Y POTENCIALES DE AGUA EN HOJAS DE VID



- ZONA DE MENOR REFLEXION
PARRONAL CON 1420 pp.m. NITROGENO NITRICO
- VALORES DEL POTENCIAL DE AGUA EN LAS
HOJAS EN $lb/100kg$ OBTENIDAS
CON LA BOMBA SCHOLANDER

SITIO DE PRUEBA N°2 FOTO N°10 ENERO 1973

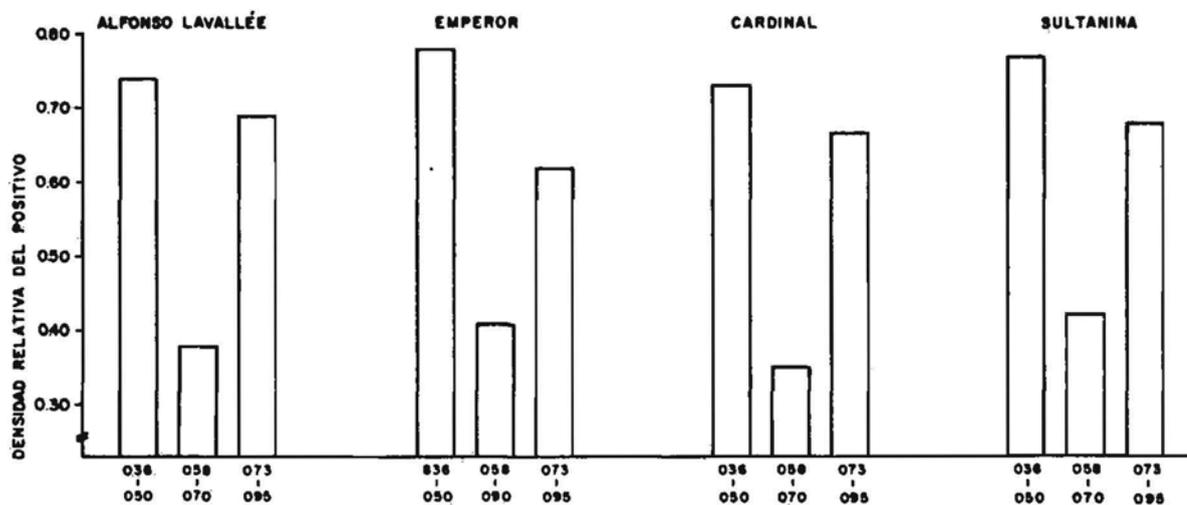


GRAFICO N° 9 RESPUESTAS MULTIESPECTRALES DE VARIEDADES DE VID

antes, por lo que las condiciones hídricas eran buenas. Las plantas tienen 5 años, el potrero estaba limpio de maleza y había recibido una buena fertilización.

Existen sectores del potrero, marcados en el transparente, que tienen mayor necesidad de agua que el resto, con valores de potencial de agua en las hojas que van de -90 a -120 lb/pulg². La superposición del transparente permite apreciar que estos sectores calzan con puntos de menor reflexión, no sólo derivada de un índice de área foliar menor, sino también del tono de las plantas levemente más oscuro, blanco opaco (ver con lupa). El sector inferior, no achurado, muestra un tono blanco brillante, indicando una reflexión muy marcada. La fotografía N^o 14, correspondiente a falso color, deja ver un sector rojo brillante más intenso que el vecino.



Foto N^o 14. Falso color. Detección del potencial del agua y niveles de nitrógeno nítrico en hojas de vid.

Como se ha dicho anteriormente, la calidad de las imágenes aditivas no fue buena, concentrándose los colores en los extremos. Se puede apreciar en esta foto, en el sector izquierdo, la claridad con que aparecen los parronales, entregando información sobre densidad, estado hídrico y otros, que reflejan por sectorización del parronal en zonas de un tono rojo más brillante y otras más opacas.

Las bandas N^o 1 y 3 (fotos 15a y 15b) se ven más homogéneas, no revelan diferencias dentro del potrero en forma tan clara como la banda N^o 4 (foto N^o 13), además, el tono de las plantas es parejo: sólo se aprecian los sectores raleados.

Las plantas de vid del potrero entregaron un valor de 1.420 p.p.m. de nitrógeno nítrico, presentando un nivel suficiente de fertilización nitrogenada. Si se compara este potrero de variedad Sultanina con el cuartel de la misma variedad del sitio de prueba N^o 2 (foto N^o 12), se puede ver la diferencia existente entre ellos, dada fundamentalmente por el manejo del huerto, ya que el suelo,



Foto 15^a. Banda N^o 1 (0.36-0.50 μ)
Detección de potenciales de agua y
niveles de nitrógeno nítrico en hojas
de vid.



Foto 15^b. Banda N^o 3 (0.58-0.70 μ).
Detección de potenciales de agua y
niveles de nitrógeno nítrico en hojas
de vid.

según CORFO (9), corresponde al mismo Tipo de la Serie San Felipe.

En el transparente de la foto N^o 13, se ha dibujado el trazado de un antiguo canal que cruzaba los potreros, siendo la banda de 0.7 a 0.95 micrón la única que lo muestra en toda su extensión.

A.7.— Detección de Pérdidas de Vigor por Enfermedades

Se confirmó lo aseverado por Colwell (4), Gausman y otros investigadores, en el sentido que la banda del cercano infrarrojo es un excelente medio para detectar las pérdidas de vigor de vegetación, incluso antes de que éstas sean claramente observables para el ojo humano.

En el presente trabajo se identificaron numerosos casos de árboles de distintas especies, que presentaron una reflexión disminuida en el cercano infrarrojo, lo que, según la teoría, se debe a la pérdida de esponjosidad del mesófilo de las hojas, derivado de un déficit de turgor cuyo origen puede estar en diversas causas.

El mejor ejemplo de detección de pérdida de vigor encontrado, corresponde a paltos, los que pudieron ser observados en los dos vuelos por tratarse de un árbol de hoja perenne.

Los árboles de palto corresponden a un huerto de 45 años, con fertilización nula en los últimos 8 años, sin riego en Primavera ni Verano. El suelo se presentaba enmalezado, especialmente con maicillo y no había recibido tratamiento alguno de labores mecánicas ni de pesticidas.

En la ampliación de la banda del cercano infrarrojo de la foto N^o 16, se presentan dos transparentes, el primero entrega la ubicación de los paltos y una clasificación de ellos de acuerdo con

lo que se vio en terreno.

Los paltos clasificados de apariencia vigorosa, sanos, corresponden a los de mayor reflexión y en terreno se ven realmente vigorosos, de hojas verde oscuro, de bastante desarrollo vegetativo, en general, en buen estado.

Luego, los paltos de apariencia vigorosa a la visión humana, incluye los árboles que en terreno se ven prácticamente iguales a los anteriores, excepto pequeños detalles; quizás un tono levemente más claro, casi imperceptible en algunos árboles, o algunas hojas con bordes denotando necrosis.

Los paltos de apariencia menos vigorosa muestran en terreno evidentes signos de estar enfermos, expresan un decaimiento general, hojas necróticas, pérdida de follaje que empieza por la copa del árbol y un tono verde amarillento muy generalizado. La respuesta espectral de estos árboles es muy pobre, reflejan un pequeño porcentaje más de energía que los nogales de su derecha, los cuales no tienen hojas en esa época.

En esta misma foto N° 16, se ha incluido un transparente obtenido de la foto Color Ektrachrome, donde también se logra apreciar diferencias. Los paltos individualizados como de apariencia vigorosa, sanos y los de apariencia vigorosa a la visión humana, se ven iguales, de un tono verde oscuro. Los árboles enfermos, decaídos, revelaron un tono verde más amarillento.

En el extremo superior izquierdo de la foto N° 16, se encuentra otro huerto de paltos que también presenta una reflexión diferenciada.

El análisis de las restantes bandas espectrales revela que sólo en la N° 3, correspondiente a la región de 0.58-0.70 micrones, se logra establecer alguna reflexión diferente.

La fotografía multibanda de Enero de 1973 mostró mayores desigualdades de respuesta entre los árboles. En la foto N° 10, ampliación de la banda del cercano infrarrojo, se presenta un transparente relacionado con los paltos.

Los paltos individualizados como normales, sanos, corresponden sólo a la primera línea superior de árboles, coincidiendo con los de la foto N° 16 de Agosto de 1972. Los restantes clasificados como sanos en Agosto de 1972, aparecen, en Enero, con signos de pérdida de reflexión.

Los árboles de apariencia casi normal a la visión humana, corresponderían a los paltos catalogados de la misma forma en Agosto de 1972, con la diferencia que los signos de pérdida de vigor, en terreno, son más evidentes que la vez anterior.

Los árboles de la última clasificación, enfermos, aparecen con menos reflexión que en Agosto, manifestando síntomas de empeoramiento.

Es claro que en los cinco meses de diferencia entre las dos tomas fotográficas, se acentuaron los problemas, posiblemente debido a la falta de riego y al avance de una enfermedad.

El número de árboles detectados como sanos disminuyó de nueve a cinco; los de apariencia vigorosa casi normal, aumentaron de once a catorce árboles.

La imagen de falso color, foto N° 14, muestra los paltos clasificados como sanos, de un tono rojo más brillante, pero la resolución es muy pobre, inferior a la banda del cercano infrarrojo sola. (foto N° 16).

La reflexión tan diferente entre la primera línea de árboles sanos y el resto podría tener su explicación en que las condiciones de manejo de estos árboles ha sido casualmente distinta, ya que han aprovechado las labores y riegos aplicados al potrero colindante, que se explota con cultivos anuales.

La falta de fertilización, riego, labores y el ataque de algunos patógenos, han debilitado el vigor de la mayoría de los paltos, provocando alteraciones en el metabolismo del agua que induce a una reflexión diferencial entre los árboles de condiciones levemente mejores a los abandonados.

DETECCION REGIONAL DE VIGOR PASTO
 DETERMINACION HUMEDAD DEL SUELO

OM. 7.756 - AMPLIACION BAQUA MERCADO INFRAMUNICIPAL
 SITIO DE PRUEBA Nº2. AGOSTO 1972



 ZONAS DE MAYOR REFLEXION, MAS PASTO

 VALORES DE HUMEDAD RELATIVA DEL SUELO EN %

 PALTOS DE APARIENCIA VIGOROSA SANDS
 PALTOS DE APARIENCIA VIGOROSA A LA VISION HUMANA
 PALTOS DE APARIENCIA MENOS VIGOROSA, CLAYEN
 DECAICED CON VISIBLES PERDIDAS DE VIGOR

DETECCION HUMEDAD DEL SUELO
TRANSPARENCIA FOTO COLOR



ZONAS DE MAYOR PASTO



MANCHA DE HUMEDAD SOLO EN FOTO COLOR



PALTOS DE COLOR VERDE OSCURO



PALTOS DE COLOR VERDE MAS AMARILLENTO

Analizando la foto N° 11a en el visor multiespectral con filtro claro, se puede decir que en esta banda de 0.36-0.50 micrones, se distinguen los paltos más vigorosos levemente más claros debido, fundamentalmente, al hecho de que el suelo que rodea estos árboles refleja más energía, lo que acentúa la delimitación de los árboles e influye en los granos de la emulsión fotográfica. En esta misma banda, pero con filtro azul, la imagen se presenta semejante a la anterior, sólo que alcanza a definir mejor los contornos de los paltos.

Usando el canal correspondiente a la banda azul (0.36-0.50 μ) y aplicando filtro verde, la resolución es mejor, notándose una pequeña diferencia en los tonos de los árboles.

La banda N° 3, de 0.50 a 0.70 micrones, permite apreciar diferencias muy leves entre los paltos, aunque algunos árboles menos vigorosos, se ven igual a los más vigorosos.

En la banda de 0.73-0.95 micrones, cercano infrarrojo, los filtros claros y verde fueron los mejores para notar las diferencias. La foto N° 12 de falso color, vista directamente en la pantalla del visor, permite detectar claramente diferencias entre los paltos. Cabe hacer notar que las fotos tomadas de la pantalla del visor pierden bastante resolución, siendo de inferior calidad a las imágenes observadas directamente en la pantalla del aparato.

Otro caso es el presentado en el conjunto de fotografías N° 18 y que incluye las tres bandas del espectro, una ampliación de la banda N° 4 (foto N° 17) y una composición en colores aditivos lograda desde la pantalla del visor (foto N° 19).

Se trata de un huerto de nogales asociados con duraznos. Los nogales, que corresponden en la foto a las copas más grandes, tienen 23 años de edad. El huerto recibió una buena fertilización en Primavera y desinfección con Gusathion y Citroliv en las épocas recomendadas, configurando un cuadro de buen manejo, con excepción de estar enmalezado entre las hileras.

En la inspección de terreno, se encontraron árboles de apariencia completamente sana, normal; otros manifiestamente enfermos, con sus ramas secas, gran pérdida de hojas, algunos con exudaciones y otros totalmente secos.

La enfermedad de los árboles, conocida en el lugar como "pudrición del cuello", ha sido provocada por un hongo del género *Phythophthora*.

En la banda N° 4 del cercano infrarrojo (foto N° 17), se detectó árboles que presentaban pérdidas de reflexión de la energía electromagnética.

El primer transparente de la foto N° 17 corresponde a los distintos estados de vigor de los nogales. Los nogales más vigorosos, que tienen mayor reflexión y que en terreno se ven en óptimas condiciones, presentando un follaje verde oscuro, denso y túrgido, además con antecedentes de buena producción. También se delimitan los árboles de menor reflexión, lo que estaría indicando algún tipo de problemas que podría ser la pudrición del cuello. En terreno se ven de apariencia normal, encontrándose, en algunos sectores indicios de árboles anormales, mostrando un tono verde más claro que los normales, algunas exudaciones, pero todavía no se encontraba muy disminuída su producción.

En este mismo transparente se muestra árboles de bajísima reflexión en el cercano infrarrojo e incluso algunos tonos negros que corresponden a nogales muertos con muy poco follaje. Estos árboles, en terreno, muestran signos de estar atacados por alguna enfermedad; presentan pérdida de hojas, necrosis, exudaciones en el tronco y algunos muestran signos de haber sido tratados con cobre en las zonas afectadas, incluso en el cuello del árbol.

En la foto N° 18, falso color hecha con banda del cercano infrarrojo con filtro rojo y banda N° 3, de 0.50 a 0.70 micrones, con filtro verde, se ha superpuesto un transparente que presenta sectorizados los árboles con distintas respuestas espectrales.

DETECCION PERDIDAS DE VIGOR
TRANSPARENTE DE FOTO COLOR EKTACHROME

AGOSTO 1972



Foto N° 17, Banda N° 4 (0.73-0.95 μ). Detección de pérdidas de vigor en nogales.

Al observar otras bandas, no es posible diferenciar árboles aparentemente sanos de aquellos afectados en distinto grado por la "pudrición del cuello".

La foto falso color señala los nogales sanos en un tono rojo brillante, dándole mayor nitidez a los árboles, haciéndolos más distinguibles. Los árboles afectados levemente tienen un tono de rojo más opaco y los nogales muertos o sin hojas se ven como puntos oscuros.

En la banda N° 1 (foto N° 19a), se percibe una pequeña diferencia en el tono de los grises, siendo más oscuro en los árboles sanos que en los otros dos clasificados. Esto se debe a que los árboles aparentemente sanos están absorbiendo energía en esa longitud de onda y utilizándola para fotosíntesis.

La banda N° 3 por estar en el rango visible, ofrece la misma respuesta espectral que la banda N° 1, o sea, notándose los mismos árboles de tonos oscuros y de mayor superficie.

En el rango espectral entre 0.35 a 0.73 micrones, no es posible distinguir diferencias entre estos



Foto Nº 17, Banda Nº 4 (0.73-0.95 μ). Detección de pérdidas de vigor en nogales.

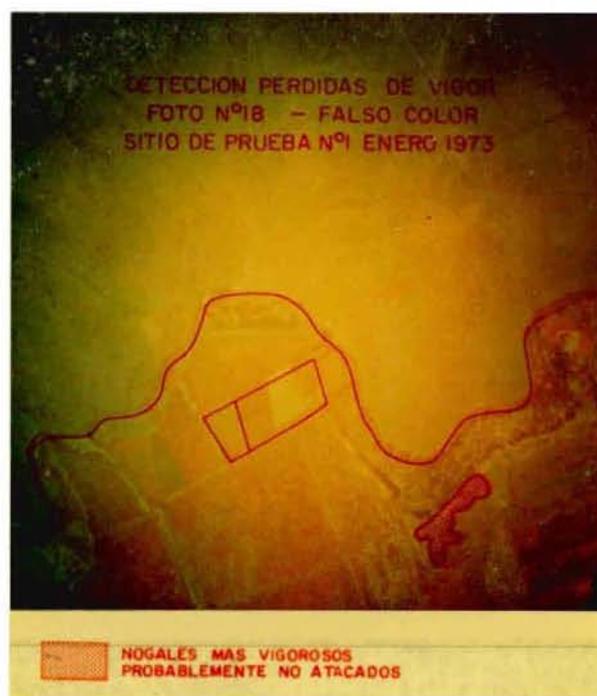
Al observar otras bandas, no es posible diferenciar árboles aparentemente sanos de aquellos afectados en distinto grado por la “pudrición del cuello”.

La foto falso color señala los nogales sanos en un tono rojo brillante, dándole mayor nitidez a los árboles, haciéndolos más distinguibles. Los árboles afectados levemente tienen un tono de rojo más opaco y los nogales muertos o sin hojas se ven como puntos oscuros.

En la banda Nº 1 (foto Nº 19a), se percibe una pequeña diferencia en el tono de los grises, siendo más oscuro en los árboles sanos que en los otros dos clasificados. Esto se debe a que los árboles aparentemente sanos están absorbiendo energía en esa longitud de onda y utilizándola para fotosíntesis.

La banda Nº 3 por estar en el rango visible, ofrece la misma respuesta espectral que la banda Nº 1, o sea, notándose los mismos árboles de tonos oscuros y de mayor superficie.

En el rango espectral entre 0.35 a 0.73 micrones, no es posible distinguir diferencias entre estos

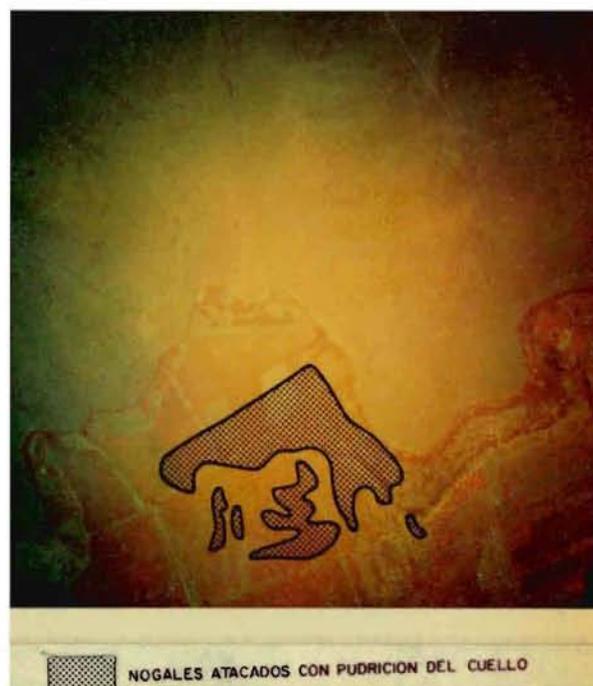


árboles. Los nogales de tonos grises más claros que corresponden a los más afectados, pueden ser interpretados como árboles de menor tamaño, recientemente plantados, etc.

El análisis de la fotografía color Ektachrome tomada en Agosto 1972, lógicamente no enseña ninguna diferencia, por cuanto los árboles estaban sin hojas, pero sí se pudo detectar áreas con mayor cubierta de malezas y que se han vaciado en el segundo transparente de la foto N° 17. Esta área de mayor cantidad de malezas refleja una condición de suelo más húmeda y comprende el sector más afectado con “pudrición del cuello”, donde casi todos los árboles están muertos. De acuerdo con lo recogido en el terreno, la “pudrición del cuello” afecta las raíces de los árboles y la zona del cuello. Acompañado de un mal riego, que humedece los cuellos de los árboles, junto con condiciones de poca permeabilidad, estará probando la presencia de la enfermedad en los nogales.

El último de los casos detectados, es el que se encuentra en la foto N° 20. También se trata de un huerto de nogales de 30 años, asociado con duraznos. Los árboles han recibido una fertilización de 5 kg. de salitre y 2,5 kg. de superfosfato por planta. Tienen riego oportuno por surcos y escasas malezas que son controladas mecánicamente. Sin embargo, existen diferencias de reflexión entre los árboles, encontrándose tres tipos de respuesta espectral, tal como se indica en el transparente de la fotografía N° 20. El propietario atribuye la decadencia de su huerto a la pudrición del cuello.

La fotografía color Ektachrome de Agosto de 1972 muestra zonas de más pasto que corresponden a lugares donde el agua permanece más tiempo en el suelo; estas áreas han sido marcadas en el transparente para tratar de buscar alguna relación con el estado de los árboles. No se ha encontrado una respuesta muy significativa, sólo que el área central marcada corresponde a una zona

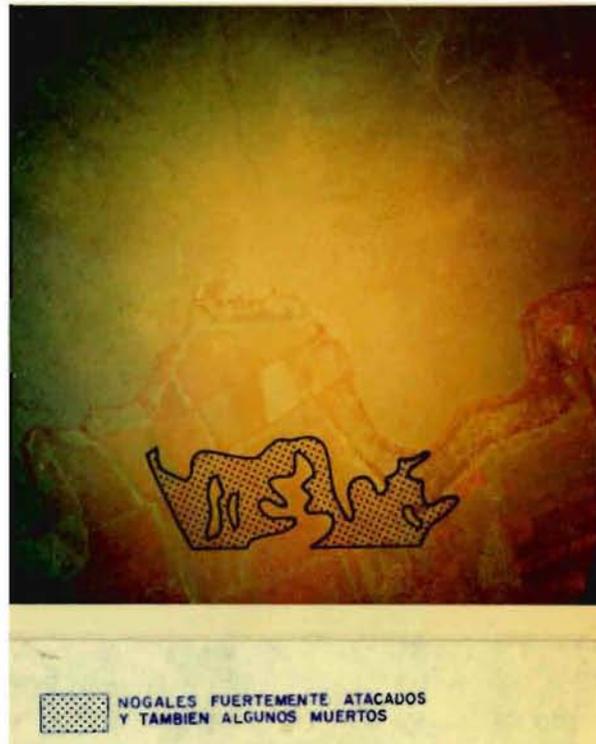


árboles. Los nogales de tonos grises más claros que corresponden a los más afectados, pueden ser interpretados como árboles de menor tamaño, recientemente plantados, etc.

El análisis de la fotografía color Ektachrome tomada en Agosto 1972, lógicamente no enseña ninguna diferencia, por cuanto los árboles estaban sin hojas, pero sí se pudo detectar áreas con mayor cubierta de malezas y que se han vaciado en el segundo transparente de la foto N° 17. Esta área de mayor cantidad de malezas refleja una condición de suelo más húmeda y comprende el sector más afectado con "pudrición del cuello", donde casi todos los árboles están muertos. De acuerdo con lo recogido en el terreno, la "pudrición del cuello" afecta las raíces de los árboles y la zona del cuello. Acompañado de un mal riego, que humedece los cuellos de los árboles, junto con condiciones de poca permeabilidad, estará probando la presencia de la enfermedad en los nogales.

El último de los casos detectados es el que se encuentra en la foto N° 20. También se trata de un huerto de nogales de 30 años, asociado con duraznos. Los árboles han recibido una fertilización de 5 kg. de salitre y 2,5 kg. de superfosfato por planta. Tienen riego oportuno por surcos y escasas malezas que son controladas mecánicamente. Sin embargo, existen diferencias de reflexión entre los árboles, encontrándose tres tipos de respuesta espectral, tal como se indica en el transparente de la fotografía N° 20. El propietario atribuye la decadencia de su huerto a la pudrición del cuello.

La fotografía color Ektachrome de Agosto de 1972 muestra zonas de más pasto que corresponden a lugares donde el agua permanece más tiempo en el suelo; estas áreas han sido marcadas en el transparente para tratar de buscar alguna relación con el estado de los árboles. No se ha encontrado una respuesta muy significativa, sólo que el área central marcada corresponde a una zona



árboles. Los nogales de tonos grises más claros que corresponden a los más afectados, pueden ser interpretados como árboles de menor tamaño, recientemente plantados, etc.

El análisis de la fotografía color Ektachrome tomada en Agosto 1972, lógicamente no enseña ninguna diferencia, por cuanto los árboles estaban sin hojas, pero sí se pudo detectar áreas con mayor cubierta de malezas y que se han vaciado en el segundo transparente de la foto N° 17. Esta área de mayor cantidad de malezas refleja una condición de suelo más húmeda y comprende el sector más afectado con “pudrición del cuello”, donde casi todos los árboles están muertos. De acuerdo con lo recogido en el terreno, la “pudrición del cuello” afecta las raíces de los árboles y la zona del cuello. Acompañado de un mal riego, que humedece los cuellos de los árboles, junto con condiciones de poca permeabilidad, estará probando la presencia de la enfermedad en los nogales.

El último de los casos detectados es el que se encuentra en la foto N° 20. También se trata de un huerto de nogales de 30 años, asociado con duraznos. Los árboles han recibido una fertilización de 5 kg. de salitre y 2,5 kg. de superfosfato por planta. Tienen riego oportuno por surcos y escasas malezas que son controladas mecánicamente. Sin embargo, existen diferencias de reflexión entre los árboles, encontrándose tres tipos de respuesta espectral, tal como se indica en el transparente de la fotografía N° 20. El propietario atribuye la decadencia de su huerto a la pudrición del cuello.

La fotografía color Ektachrome de Agosto de 1972 muestra zonas de más pasto que corresponden a lugares donde el agua permanece más tiempo en el suelo; estas áreas han sido marcadas en el transparente para tratar de buscar alguna relación con el estado de los árboles. No se ha encontrado una respuesta muy significativa, sólo que el área central marcada corresponde a una zona



Foto N° 19a. Banda N° 1 (0.36-0.50 μ).
Detección pérdidas de vigor en nogales.



Foto N° 19b. Banda N° 3 (0.44-0.62 μ).
Detección pérdidas de vigor en nogales.

que ya no presenta nogales. Es necesario investigar más para establecer relaciones, especialmente entre el suelo y sus propiedades hidráulicas.

Es interesante notar que en la última hilera de árboles del huerto, extremo inferior, se detecta una degradación del tono gris a medida que se avanza hacia la izquierda.

La foto falso color compuesta en el visor por proyección de la banda N° 4, con filtro rojo y la banda N° 3 con filtro verde muestra los árboles presumiblemente sanos de un color rojo más intenso y brillante. En cambio se degrada el color a medida que los árboles están más enfermos, llegando a perderse en los árboles muertos.

A.8.— Detección de la Humedad del Suelo

La detección de la humedad del suelo se probó en los dos sitios controles durante la primera toma fotográfica de Invierno. Se eligió esa época porque al no presentar follaje la mayoría de las plantas, dejaban ver el suelo.

a) Sitio de prueba N° 1

Se muestreó el suelo y se calculó su humedad en base a peso seco. Los resultados se entregan en el transparente de la banda cercano infrarrojo, (foto N° 22). Los puntos corresponden bastante aproximados a los lugares donde se muestreó.

El suelo se encontraba recientemente rastreado, por lo que no hubo otro factor extraño. El lugar corresponde a un parronal de 5 años.



Foto N° 20a. Banda N° 1 (0.36-0.50 μ).
Detección pérdidas de vigor. Enero 1973.



Foto N° 20b. Banda N° 3 (0.58-0.70 μ).
Detección pérdidas de vigor. Enero 1973.



Foto N° 20c. Banda N° 4 (0.73-0.95 μ).
Detección pérdidas de vigor. Enero 1973.



Foto N° 21. Falso color. Detección
pérdidas de vigor.

Los valores indican un sector, el lateral derecho, que presenta una menor humedad que el resto del potrero; esto no se aprecia en ninguna de las bandas de la fotografía multibanda y tampoco en la composición de falso color, foto N° 23.

Como el potrero estaba recientemente rastreado y el muestreo fue superficial, los valores de humedad resultaron bajos, apareciendo el suelo prácticamente de un mismo tono. El potrero muestreado, en el rincón inferior izquierdo, muestra una densidad de tono menor, pero sólo es efecto del revelado de la película.

Las diferencias de humedad fueron muy pequeñas como para que un cambio notorio de temperatura se presentara e influyera en la reflexión y emisión de energía electromagnética tanto en las bandas visibles como en el cercano infrarrojo.

La escala de la fotografía tampoco se prestó mucho para este tipo de detección. Quizás una escala más grande podría entregar algún resultado, especialmente en la región espectral entre 0.73 a 0.95 micrones.

Sin embargo, en los potreros subyacentes (foto N° 22) se detectan diferencias en la reflexión desde el suelo. La foto falso color muestra la vegetación en color rojo, haciendo posible apreciar la existencia de malezas en zonas de mayor humedad.

El examen de la foto color Ektachrome probó la existencia de vegetación más densa y que corresponde a las marcadas en el transparente de la foto N° 22.

En las otras bandas no se aprecian diferencias de humedad, viéndose todos los potreros de igual forma.

b) Sitio de prueba N° 2

Se determinó la humedad del suelo en un parronal. El transparente de la foto N° 16 entrega los valores y la ubicación de los puntos de muestreo en el potrero. Se vuelve a probar que la humedad del suelo, dentro de los rangos encontrados, no es posible de observar en la fotografía. A pesar de las fuertes diferencias de tono entre los cuarteles A, B, C y D, los porcentajes de humedad no calzan con los tonos.

El cuartel A tiene una humedad promedio de 17.07%, el B de 17.06%, o sea, tiene una humedad prácticamente igual, siendo los tonos totalmente diferentes. Lo mismo sucede entre el cuartel D con 18.33% de humedad y el cuartel C con 17.94% de humedad promedio.

Sin embargo, los valores superiores, sobre 20%, se encuentran ubicados en zonas de menor reflexión y los valores menores en los sectores más claros, tal es el caso de los extremos superior derecho e inferior izquierdo de los cuarteles A y C respectivamente.

La detección de diferencias de humedad en los rangos encontrados no dio los resultados esperados, probablemente debido a que la información registrada por la película multibanda se limita sólo a la energía reflejada por el suelo, dejando sin captar la emisión que está en relación con la temperatura del suelo y por lo tanto con la humedad. Por otro lado, la capa superficial del suelo, presumiblemente los tres primeros centímetros, estaba prácticamente seca debido a la acción solar, ya que el Valle de Aconcagua, aun en Invierno, tiene alta luminosidad e irradiación. Esta circunstancia emparejó la humedad del suelo superficial y como la energía captada por la cámara multibanda es sólo reflexión desde la superficie, no ha habido respuestas espectrales factibles de registrar y reconocer como diferencias de humedad.

La humedad detectada indirectamente en el rango espectral de 0.73-0.95 micrones, corresponde

DETECCION HUMEDAD DEL SUELO

FOTO Nº 22 - AMPLIACION BANDA CERCANO INFRAROJO

SITIO Nº 1 - AGOSTO 1972

INDICACION Y VALORES DE HUMEDAD RELATIVA (%)

7x10	8x10	8x20	7x20	10x20	8x20
7x14	8x20	8x20	8x27	7x24	7x20
7x21	10x20	10x20	7x20	8x5	8x20
8x	10x20	8x20	7x24	8x27	4x20
7x10	8x	8x20	10x20	8x20	8x20
7x20	10x27	7x20	7x27	7x20	8x20



ZONAS CON MALEZA, MAYOR HUMEDAD DEL SUELO. EN FOTO COLOR EXTACHROME SE VEN DE COLOR VERDE Y CORRESPONDEN A LAS AREAS DELIMITADAS.

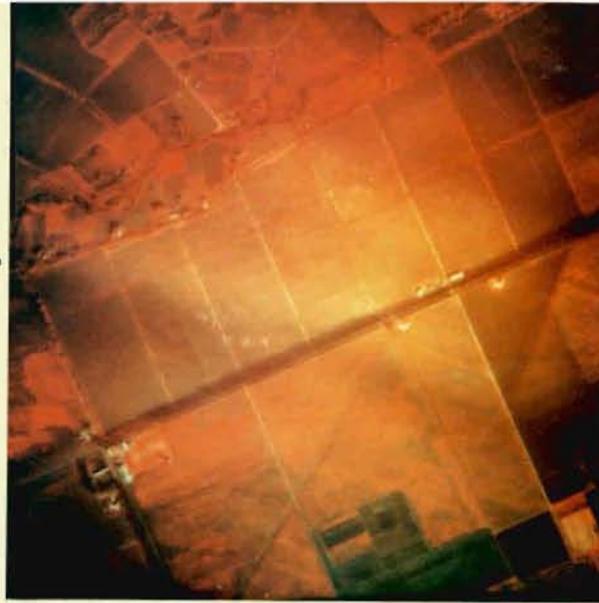


Foto-Nº 23. Falso color. Detección de la humedad del suelo.

sólo a sectores con mayor desarrollo vegetacional muy localizados, con contornos característicos. Esta maleza se ha localizado por condiciones especiales de suelo o topografía. Los suelos menos permeables retienen más tiempo el agua, dando oportunidad a que se desarrolle una mayor densidad de malezas comparado con suelos permeables y de buen drenaje.

Las pequeñas depresiones también acumulan agua por períodos más largos que posibilitan un índice de área foliar más elevado, provocando con ello una reflexión más fuerte.

En otras fotografías no incluidas en este trabajo, se ha podido constatar con claridad los frentes de avance del agua para riego, mostrando la mojadura del suelo. En los sectores adyacentes al río Aconcagua, última terraza, se ha detectado también zonas de mayor humedad generadas por niveles freáticos.

Para la detección de lo descrito anteriormente ha demostrado especial utilidad la banda del cercano infrarrojo, con rango espectral entre 0.73-0.95 micrones.

B.— ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE EL ANALISIS DE FACTIBILIDAD TECNICO-ECONOMICA APLICADO A PROGRAMAS DE SENSORES REMOTOS

Es de interés desarrollar algunas ideas de orden técnico-económicas necesarias de tener presente para un eventual desenvolvimiento de la percepción remota en el país.

El análisis ha utilizado como guía un estudio de factibilidad técnico-económica realizado por Muir y Sattinger (32). Según estos investigadores, los asuntos de factibilidad pueden ser resueltos si se consideran problemas específicos, para luego extrapolar los usos estudiados individualmente a áreas completas de aplicación, asegurando de este modo que todos los detalles sean considerados.



Foto N° 24a. Banda N° 1 (0.36-0.50 μ).
Detección de la humedad del suelo.



Foto N° 24b. Banda N° 2 (0.44-0.62 μ).
Detección de la humedad del suelo.



Foto N° 24c. Banda N° 3 (0.58-0.70 μ).
Detección de la humedad del suelo.

Las etapas más importantes a considerar en el análisis son las siguientes:

- Definición de los requerimientos de información.
- Elección del sistema receptor remoto.
- Análisis de factibilidad técnica.
- Evaluación económica.

B.1.– Definición de los Requerimientos de Información

La función del sistema de percepción remota, es entregar cierto tipo de antecedentes requeridos por el o los usuarios, a fin de ejecutar un propósito específico.

Para el país, es importante determinar qué información y para qué se necesita. Es un error común preocuparse de cómo obtenerla, olvidando los propósitos que se persiguen con la búsqueda de determinados antecedentes.

Fundamental para el desarrollo de Chile. es la adquisición de información sobre sus recursos. Actualmente existe en el país. una carencia de información básica que dificulta la planificación económica. El problema se ve acentuado por una crisis en el volumen y calidad de los datos existentes, por la falta de personal calificado, por los escasos recursos y datos catastrales y lo antiguo de las cubiertas fotográficas.

Las cubiertas aéreas obtenidas. han sido parciales y desuniformes en sus escalas al no existir un plan nacional que racionalice la adquisición de fotogramas. Tampoco se ha contado con una frecuencia, regularidad y sistematización en la renovación de los vuelos.

Dado que las principales cubiertas fotogramétricas del país tienen más de una década, se puede establecer que la mayor parte de las fotografías, mosaicos o cualquier otro material derivado, ha perdido su valor como herramienta de trabajo para la mayoría de las disciplinas y sectores que prospectan, evalúan o proyectan. Según FACH-CORFO (10), sólo mantienen cierto valor para estudios geológicos y cartográficos.

Como resultado de esta situación, la demanda de información se ha agravado año tras año, en forma progresiva y acumulativa en términos de volumen de trabajo que tienen como base material fotográfico aéreo.

La potencialidad económica de los recursos del país, está supeditada a la información que de ellos se obtenga, ya sean datos físicos, económicos o ingenieriles, de manera tal, que hagan posible calcular relaciones numéricas indicadoras de las ventajas o desventajas de su explotación. Es útil entonces conocer con cierto grado de precisión el tipo, cantidad y calidad de los datos requeridos para calcular esas relaciones.

Es indispensable. que el país elabore una reorientación de las prácticas y manejo de la información con base fotográfica, a objeto de acelerar el procesamiento y desglose de los datos contenidos en las imágenes, pensando que la rapidez y exactitud de la interpretación redundan directamente en beneficio de la nación.

La situación planteada por las técnicas de percepción remota. ha llevado a reducir costos en la adquisición de información. Hoy día es posible obtener rápidamente una gran cantidad de antecedentes, incluso muchos más de los que pueden ser analizados y usados en el momento actual por el país.

Los programas de compilación de datos por medio de sensores. deben estar siempre ajustados a las reales demandas de información. A su vez, estos requerimientos deben estar acorde con el nivel

económico del país. El estado de desarrollo del país. determinará su capacidad para financiar la adquisición de tecnología e información y su posterior procesamiento.

La información entregada por los sensores no sustituye, de modo alguno, la prospección de terreno; es necesario, de todas maneras, revisar y comprobar lo interpretado.

B.2.— Elección del Sistema de Percepción Remota

Una vez definidas las necesidades de información, se debe enfrentar el problema de decidir sobre el tipo de sensor y el método de interpretación a seguir para satisfacer la demanda establecida. Se debe elegir también el tipo de plataforma, que dependerá de la escala con que se trabaja y de la realidad tecnológica del país.

Una parte importante del sistema, es el apoyo terrestre necesario para interpretar, procesar y analizar los datos obtenidos. Es recomendable usar sistemas automáticos de procesamiento de datos con el fin de agilizar y reducir costos.

También es preciso revisar factores económicos, sociales y políticos que afectan o son afectados por la aplicación de un determinado programa de percepción.

Ya que Chile posee estudios de una gran parte de sus recursos a nivel exploratorio, parece conveniente y recomendable utilizar sistemas de sensores que entreguen información semidetallada y detallada. Esto involucra la necesidad de plataformas de mediana y baja altura.

Dada la realidad tecnológica del país, sus características fisiográficas y climáticas y sobre la base de los resultados obtenidos en este trabajo, amén de la bibliografía consultada, los receptores ideales para aplicar en el país serían la cámara multibanda en las regiones visible y cercano infrarrojo, el barredor multiespectral en el rango visible y lejano infrarrojo y el radar en la zona de microondas.

La cámara multibanda es de gran utilidad en la detección de plagas, pérdidas de vigor, estudios de suelo y riego, identificación de especies y mapeo del uso de la tierra. El barredor térmico ayudaría a la hidrología, a la prospección de aguas subterráneas, a la detección de contaminaciones, estudios de oceanografía, de geología como vulcanismo y geotermia, etc. . . El radar prestaría utilidad en la zona sur, especialmente en aquellas regiones donde los problemas climáticos impiden la realización de proyectos aerofotogramétricos. Entregaría información sobre geología, geomorfología y cubierta vegetal.

B.3.— Análisis de Factibilidad Técnica

La factibilidad técnica puede ser analizada en términos de:

- Características funcionales del sensor.
- Capacidad de interpretación de las imágenes y
- Capacidad operacional.

Es indudable que para algunos fines, las características funcionales de un sensor pueden ser un factor limitante. Para los sensores que generan imágenes, es requisito fundamental una buena resolución. Para instrumentos que no generan imágenes, las características de sensibilidad y rango dinámico serán de importancia en la obtención de datos de alta calidad.

Las características funcionales de los sensores mencionados anteriormente, satisfacen los requerimientos técnicos necesarios para una máxima aprovechabilidad.

En cuanto a la capacidad para interpretar las imágenes, se debe pensar que en muchos casos la información deseada no se encuentra directamente observable en las fotos, por lo que se requiere el análisis de intérpretes entrenados. Los equipos tales como barredores térmicos, radares y cámaras multibanda, necesitan de una interpretación especial, haciéndose necesaria una preparación adicional.

FACH-CORFO (10) asevera que existe actualmente en el país personal con diversos grados de capacidad técnica, pero centrada en procedimientos convencionales de fotografía aérea. La dificultad estriba en el escaso número de estas personas, siendo insuficientes para utilizar global o intensamente el material aerofotográfico.

Aun cuando la aplicación de un sistema sea factible en cuanto a funcionalidad y capacidad de interpretación, es preciso considerar factores de naturaleza operacional, tales como limitaciones en el aprovechamiento de las plataformas, de la tripulación y de los intérpretes.

Muir y Sattinger (32) explican que "excepto donde la aplicación de un programa es inconveniente, se debe determinar el grado de factibilidad y sus efectos en la evaluación económica". Un aumento en las restricciones de funcionamiento eleva el costo, lo que puede ser visualizado mediante una relación beneficio/costo. Las limitaciones también afectan el valor total de los beneficios derivados.

B.4.— Evaluación Económica

Una vez determinado el sistema perceptor y especificado su uso operacional, debe tratarse la evaluación económica de su aplicación. El impacto de un sistema dado consiste no sólo en efectos directos sobre producción o reducción de costos, sino también en otros efectos indirectos que deben ser tratados en la medida que el análisis se hace más detallado. La estimación de los beneficios económicos, debe basarse en la situación económica real a esperar en el lapso que dure el análisis.

En la evaluación económica debe considerarse:

- Estimación de costos.
- Estimación de beneficios.
- Comparación beneficio/costo.

a) Estimación de costos

En la estimación de costos deben incluirse:

- Todos los costos de preparación de personal y desarrollo, incluyendo aquéllos necesarios para llevar el sistema a un estado operacional.
- Costos de inversión en sensores remotos. Estos costos deben repetirse si el período de estudio excede la vida útil de los equipos.
- Costos de operación y mantención, cubriendo costos de personal, gastos de operación, mantención y reparación de equipos, renta de equipos y servicios arrendados, etc. . .

Estos costos deben estimarse para cada año del período de estudio y los resultados deben llevarse a valores actualizados.

b) Estimación de beneficios.

Es preciso estimar los beneficios totales percibidos por el sector económico que recibe la aplicación de un programa de percepción. Los beneficios pueden aparecer aumentando directamente la producción o reduciendo costos. Por otro lado, algunas aplicaciones de sensores tienen como resultado el evitar daños o disminuir enfermedades que también constituyen beneficios monetarios expresados en forma indirecta.

En muchos estudios, especialmente en aquéllos financiados por el Estado, pueden aparecer otros beneficios que deben ser incluidos en el análisis. Progresos en la condición social o política, efectos en la balanza de pagos, avance tecnológico, etc. . . son ejemplos de beneficios que no son fácilmente cuantificables en términos de dinero. A medida que los beneficios aparecen, es necesario identificarlos y calcular su valor.

Los beneficios que derivan como resultado directo del empleo de información nueva o mejorada, son beneficios primarios y pueden provenir de:

- “Un mejoramiento tecnológico en el proceso de producción, de manera que, con los mismos recursos empleados, se produzca un aumento de producción”.
- Un traslado de recursos aprovechables desde actividades de bajo valor productivo a otras de mayor valor.
- Usar recursos detectados y no empleados cuando la información indica que es provechoso hacerlo.

Adosados a estos beneficios primarios, vienen otros secundarios que deben ir incluidos en el total. En condiciones donde existen recursos mal empleados, los mismos investigadores explican que un aumento en la producción puede redundar en beneficios adicionales que aparecen induciendo inversiones debido a la creciente aprovechabilidad de los factores de la producción.

Un factor que afecta la magnitud de los beneficios obtenidos, es la movilidad que posee la economía para trasladar recursos de un uso a otro o para llevarlos desde la subutilización a la utilización plena.

c) Comparación beneficio-costos.

La comparación se expresa normalmente como una relación de beneficios a costos. Si los beneficios son mayores que los costos, el proyecto es justificado económicamente. Cuando varios proyectos están en competencia, enmarcados en un límite presupuestal, deberá seleccionarse el proyecto que tenga la relación beneficio-costos más favorable.

Es menester aclarar que en los estudios necesarios para justificar un sistema de percepción, se debe tener siempre presente que el objetivo perseguido podría ser obtenido por diferentes caminos, o sea, tener en cuenta las alternativas.

IV.- CONCLUSIONES

Por los resultados obtenidos en el presente trabajo, se sugieren las siguientes conclusiones:

1.- La región espectral de 0.73-0.95 micrones es un excelente medio para detectar pérdidas de vigor en paltos, vides y nogales, incluso antes de que aparezcan síntomas visibles para el ojo humano; pero no entrega las causas. Se ha comprobado que suelos delgados y pobres, falta de agua y fertilización, deficiencias de manejo, ataque de patógenos y déficit de agua en las plantas, provocan una pérdida de reflexión que es identificable en las fotos.

2.- La fotografía multibanda, en la región de 0.73-0.95 micrones, aparece como una notable herramienta factible de utilizar en el manejo preventivo de huertos de nogales, paltos y de vides en parronal.

3.- Es posible la detección del estado hídrico en vides mediante la foto multibanda, dependiendo de la región espectral utilizada y de la escala fotográfica. Las plantas con menor potencial aparecen de tonos más oscuros en la banda de 0.73-0.95 micrones.

4.- Con la percepción remota multibanda, es posible detectar diferencias de edad y madurez en plantas de trigo, tabaco y maíz a través de las respuestas espectrales de cada cultivo.

5.- La película multibanda no dio resultados en la detección de valores de humedad del suelo determinados por gravimetría y expresados en porcentaje. Sin embargo, la región de 0.73-0.95 micrones distingue mejor las zonas de alta humedad, siendo detectadas indirectamente por poseer una mayor densidad de malezas.

6.- Que diferencias en el nivel de nitrógeno nítrico determinado en pecíolos de vid por el método del Electrodo, fueron detectadas en la región espectral de 0.73-0.95 micrones sólo para rangos extremadamente amplios (220 a 1.420 p.p.m.). En rangos pequeños (120 a 220 p.p.m.) no se determinaron diferencias.

7.- Es posible detectar diferencias entre parronales manejados con distintos niveles de fertilización.

8.- Las imágenes cercano infrarrojo y las composiciones de falso color que incluyen la región de 0.73-0.95 micrones, permiten definir mejor los elementos asociados al riego como los frentes de avance y la distribución del agua, el sistema de riego y los canales. También detecta con claridad el drenaje natural.

9.- La región espectral de 0.36-0.62 micrones. resuelve con mayor facilidad las zonas erosionadas por avenidas de agua. También es superior en la definición de formas geomorfológicas.

10.- El rango espectral 0.73-0.95 micrones y las composiciones de falso color que incluyen esta región espectral, resuelven con claridad la secuencia litológica a través de la vegetación diferenciada

que crece en las estratas.

11.— La foto multibanda, especialmente la banda de 0.73-0.95 micrones y el falso color con banda cercano infrarrojo, permite diferenciar suelos basándose en la vegetación que lo cubre.

12.— Que la densitometría es una buena técnica para determinar diferencias de tono en las imágenes, permitiendo establecer relaciones cuantitativas.

13.— No es necesario obtener información meteorológica para la percepción remota multibanda cuando no se cuenta con equipo adicional que posibilite medir irradiación u obtener curvas de reflexión de los cuerpos en estudio.

14.— Comparativamente con las fotos pancromáticas de 1970, utilizadas en el primer levantamiento de Uso Actual de la Tierra, las imágenes multibanda ofrecen más información, mayor seguridad y rapidez en la discriminación de cultivos. Es fácil de probar analizando las cartas de Uso Actual de la Tierra de Agosto de 1972 y Enero de 1973.

15.— Es importante la época del año para la adquisición de fotografías multibanda. En Invierno para vegetación herbácea y árboles de hoja perenne; en Verano para frutales de hoja caduca. Parece que la mejor época para diferenciación de especies sería aquella en que las hojas de los árboles de acuerdo con la especie, presentan distintas pigmentaciones, lo que facilita la discriminación.

16.— Se perdió información de la película multibanda por no presentar estereoscopía, situación determinada por comparación con la película color Ektachrome.

Del análisis de factibilidad técnico-económico, sumado a las conclusiones señaladas, se infieren las siguientes recomendaciones:

1.— Es necesario profundizar en la materia con nuevas investigaciones más específicas y controladas, analizando menos variables. Las imágenes deben ser estudiadas no sólo con fines agronómicos, sino que también por otras disciplinas, con el objeto de obtener una visión multidisciplinaria de la potencialidad de la percepción remota multibanda.

2.— En el país existe una ausencia total de equipos relacionados con la percepción remota, por lo que sería provechoso establecer contactos con países que los poseen para indagar sobre experiencias realizadas.

3.— Dado que el país cuenta con una cubierta fotográfica antigua y casi obsoleta para muchas disciplinas, sería de interés considerar la percepción remota multibanda en los futuros proyectos, a fin de adquirir tecnología, experiencia y soltura en el manejo de estas imágenes.

Ya que la potencialidad económica de los recursos está supeditada a la información que de ellos se tenga, es necesario que el país no quede postergado en el conocimiento y desarrollo de modernas técnicas de evaluación y prospección.

4.— Ya que gran parte del territorio nacional ha sido investigado a niveles de reconocimiento, el país debería considerar un sistema de percepción remota que entregue información semidetallada o detallada, lo que implica la necesidad de utilizar plataformas de mediana y baja altura.

5.— Se debe considerar, como metodología normal de trabajo, la elección de sitios controles representativos del área a investigar, de manera que el sistema perceptor pueda ser calibrado para luego extrapolar la interpretación a lugares adyacentes.

6.— Es necesario, para desarrollar la percepción remota a un mejor nivel, contar con espectrómetros para conocer el comportamiento de los cuerpos frente a las distintas regiones del espectro electromagnético.

7.— Es preciso definir los requerimientos de información del país con el fin de diseñar un sistema adecuado de percepción que sea capaz de satisfacer la demanda establecida.

8.— Es conveniente enseñar, a nivel universitario, estas nuevas técnicas, con el objeto de agilizar su introducción como herramienta regular de trabajo en la ejecución de proyectos e investigaciones sobre recursos naturales.

Resumiendo, se concluye que la percepción remota multibanda sería de gran utilidad para el país, especialmente para el sector agrícola, ya que ayudaría a evaluar el estado en que se encuentra en un momento dado, permitiendo la posterior planificación de los recursos de manera tal que puedan ser usados con el máximo de eficiencia.

V.- RESUMEN

Desde Junio de 1972 a Diciembre de 1973, se desarrolló un programa de percepción remota multibanda con el objeto de determinar su utilidad como medio analítico para algunos aspectos del suelo, el agua y las plantas. Para ello se levantó fotográficamente, en dos estaciones del año, un sector del Valle del río Aconcagua próximo a la ciudad de San Felipe.

En dicho lugar, se eligieron tres sitios de prueba donde se estudió el estado hídrico foliar en parronales mediante bomba Scholander, niveles de nitrógeno nítrico en parronales, humedad del suelo por gravimetría, diferencias de suelo, vigor de las plantas, enfermedades patógenas, estados de madurez y edad de las plantas, identificación de especies, riego, diferencias en fertilización y algunos elementos de geomorfología.

La metodología usada, pretendió calibrar tanto el sistema receptor como al intérprete, aplicando para ello un levantamiento de Uso Actual de la Tierra y un Cuestionario de Manejo en los respectivos sitios de prueba, con el propósito de lograr extrapolaciones de lo interpretado a sitios adyacentes.

Las imágenes multibanda fueron analizadas con un Visor Multiespectral que permitió, además de proyectar y ampliar cada una de las bandas, generar falsos colores mediante filtros. Se contó también con una película color de la zona en estudio y que fue tomada al día siguiente del vuelo multibanda. Tuvo como objeto servir de patrón de interpretación.

Se ha comprobado que el sistema, en el rango espectral de 0.73 a 0.95 micrones, permite reconocer pérdidas de vigor en vegetales aun antes de que se presenten indicios o síntomas visibles para el ojo humano. Los nogales, paltos y vides en parronal con problemas provocados por agentes internos o externos, se presentaron de tonos más oscuros que las plantas presumiblemente sanas. Entre los problemas se cuenta el estado hídrico foliar (déficit), el ataque de patógenos, el manejo, las deficiencias en fertilización, suelos delgados y pobres y falta de agua para riego.

El agua, perfectamente detectada, hace que la percepción remota multibanda haya demostrado utilidad en el reconocimiento de sistemas de riego, drenaje natural y zonas de alta humedad. Permite además, detectar los frentes de avance y la distribución del agua en los potreros.

En cuanto a los suelos, indirectamente, por medio de la expresión foliar de las plantas, fue posible distinguir variaciones importantes. De mayor utilidad para este fin resultaron las composiciones de falso color y la región de 0.73 a 0.95 micrones. Los suelos delgados y pobres desarrollan vegetación más débil y por lo tanto menos reflectora de la energía del cercano infrarrojo. Es interesante notar que algunos elementos de geomorfología son mejor resueltos en la región de 0.36 – 0.60 micrones.

La percepción remota multibanda facilita la identificación de algunas especies y su estado de madurez (edad). El hecho de contar con cuatro canales, permite observar las características de las especies en cuatro zonas espectrales diferentes que entregan información en forma de señales tonales específicas derivadas de la interacción de la energía con la materia.

Se analiza también, en forma superficial, algunas consideraciones de orden general necesarias de tener presente para un eventual desarrollo de la percepción remota en el país. Finalmente, se dan recomendaciones de carácter general relativas a la adquisición de esta nueva tecnología.

SUMMARY

From June 1972 to December 1973, a program on remote multiband sensing was developed with the purpose of determining its utility in analyzing some aspects of soil, water and plants.

Aerial photographs were obtained from a location in the Aconcagua River Valley near San Felipe in two seasons of the year. Three field sites of the area were chosen to study the foliar water state of grapevines by means of a Scholander pump.

Leaf nitric nitrogen levels were determined as well as soil moisture (by gravimetry), soil differences, plant vigor, pathogenic diseases, plant age and maturity, irrigation, fertilization differences and some geomorphological elements. Species identification was carried out as well.

The applied methodology was intended to calibrate the sensing system as well as the interpreter applying the system to Actual Land Use Survey and to test it as a management tool in the selected areas in order to extrapolate interpretations to adjacent places.

The multiband images were analyzed with a multispectral viewer that allowed the investigator to project and enlarge each band and generate a false color image by the interceding filters. In addition, natural color films were taken of the research area the day after the multiband flight with the objective of obtaining further data for the interpretation.

It was verified that the system in the range of 0.73-0.95 micrometers allows one to recognize vigor vegetative loss before it becomes perceptible to the human eye. Walnut trees, avocado trees and grapevines with problems caused by external and internal agents were shown as dark tones in comparison to the healthy ones. Some of these problems were water stress, pathogenic agents, management practices, fertilizer deficiency, poor and bare soils and the lack of irrigation.

As water was easily delineated, remote multiband sensing proved to be useful in identifying the irrigation systems as well as natural drainage and high humidity zones. Water movement and distribution in the pastures (range 0.73-0.95 micrometers) could also be distinguished.

Important soil variations were indirectly detected by foliar expression. False color composition and the region of 0.73 to 0.95 micrometers were found to be the most useful for this application. Since bare and poor soils develop a feeble vegetation, less energy was reflected in the near infrared region. A remarkable observation was that some elements of geomorphology showed better resolution in the range of 0.38-0.56 micrometers.

Multiband remote sensing assists in the identification of some species and their maturity state (age). The four channels allow the interpreter to observe the species characteristics in the four different spectral zones. This information is presented as separate specific signals derived from electromagnetic energy interaction with matter.

Finally, general recommendations are given for the prospective development of this advanced technology in Chile.

VI.— BIBLIOGRAFIA

1. BENSON, A., DRAEGER, W. and PETTINGER, L. *Ground data collection and use*. Photogrammetric Engineering. 37 (11) 1971.
2. BRADFORD, W. R., LAKE D.B. and PLASTER, M. *Microwave radar*. In: EMI Electronics Ltd. Handbook of Remote Sensing Techniques. London Royal Aircraft Establishment, 1973. 173-213.
3. BURTON, BERNARD. *El ABC de la energía infrarroja*. Programa EROS. Fuerte Clayton, Zona del Canal, Panamá. Servicio Geodésico Interamericano (IAGS), S.F. 1-23.
4. COLWELL, ROBERT N. *Applications of remote sensing in agriculture and forestry*. In: National Academy of Sciences. Remote Sensing with Special Reference to Agriculture and Forestry. Washington D. C., 1970. 164-223.
5. *Remote Sensing of Nature Resources*. Scientific American 218: 54-69. 1968.
6. *Uses and limitations of multispectral remote sensing*. In: Proceedings of the Fourth Symposium on Remote Sensing of Environment. Ann Arbor, Michigan, The University of Michigan, 1966. 71-100.
7. COLWELL, ROBERT et al. *Basic matter and energy relationship involved in remote sensing reconnaissance*. Photogrammetric Engineering. 36: 761-799 1963.
8. CONDIT, H. R. *The spectral reflectance of American Soils*. Photogrammetric Engineering. 36(9): 955-966. 1970.
9. CORFO. *Mapa generalizado de series, tipos y fases en Valle del río Aconcagua*. Publicación Técnica N° 2. 2ª ed. 1969.
10. FACH-CORFO. *Proyecto integral a nivel nacional para aerofotogrametría y prospección aérea de recursos*. Santiago, Servicio Aero-fotogramétrico, 1973. 1-37.
11. FINNIS, R. T. and FORSHAW, M. R. *Photographic Cameras*. In: Handbook of Remote Sensing Techniques. London, Royal Aircraft Establishment, 1973. 173-213.
12. GATES, DAVID. *Physical and physiological properties of plants*. In: National Academy of Sciences. Remote Sensing with Special Reference to Agriculture and Forestry. Washington D. C., 1970. 224-252.
13. *Characteristics of soil and vegetable surface to reflected and emitted radiation*. In: Proceedings of the Third Symposium on Remote Sensing of Environment. Ann Arbor, Michigan, The University of Michigan, 1964. 573-600.
14. GAUSMAN, HAROLD et al. *Relation of light reflectance to cotton leaf maturity*. In: Proceedings of the Sixth International Symposium on Remote Sensing of Environment. Ann Arbor, Michigan, The University of Michigan, 1969. 1123-1141.
15. GAUSMAN, HAROLD W. *Photographic remote sensing of "Sick" citrus trees*. In: International Workshop on Earth Resources Survey Systems. Washington D. C., NASA, 1971. 15-30.
16. HELLER, ROBERT. *Detection and characterization of stress symptoms in forest vegetation*. In: International Workshop on Earth Resources Survey Systems. Washington D. C., NASA, 1971. 109-158.
17. *Imaging with photographic sensors*. In: National Academy of Sciences. Remote Sensing with Special Reference to Agriculture and Forestry. Washington D. C., 1970. 224-252.
18. HOFFER, ROGER. *Interpretation of remote multispectral imagery of agriculture crops*. Purdue University. Agricultural Experiment Station. Research Bulletin N° 831. 1967. 36 p.
19. HOFFER, ROGER; HOLMES, ROGER and SHAY, RALPH. *Vegetable, soil and photographic factors affecting tone in agricultural remote multispectral sensing*. In: Proceedings of the Fourth Symposium on Remote Sensing of Environment. Ann Arbor, Michigan, The University of Michigan, 1966. 115-134.
20. HOLTER, MARVIN. *The interpretation of spectral data*. In: International Workshop on Earth Resources Survey Systems. Washington D. C., NASA, 1971. 305-325.

21. *Imaging with nonphotographic sensors*. In: *National Academy of Sciences. Remote Sensing with Special Reference to Agriculture and Forestry*. Washington D. C., 1970. 73-163.
22. HUNTER, GARY T. *Critical terrain analysis*. *Photogrammetric Engineering*. 36(9): 939-951. 1970.
23. IREN-CORFO. *Suelos. Descripciones Proyecto Aerofotogramétrico CHILE/OEA/BID*. IREN. Publicación N° 2. 1964. 330 p.
24. INTERNATIONAL IMAGING SYSTEMS. I²S. *Multispectral Camera Viewer Systems*. California, s.f., s.e.
25. *Maintenance and Operating Manual for I²S Mini-Addcol Additive Color Wiewer*. California, S.e., 1971.
26. KUHL, ARTHUR. *Color and IR photos for soils*. *Photogrammetric Engineering*. 36(5): 475-482. 1970.
27. LAKE, D. B. *Infrared radiometry and imaging*. In: *Handbook of Remote Sensing Techniques*. London, Royal Aircraft Establishment, 1973. 93-144.
28. LAVER, DONALD. *Testing multiband and multirate photography for map identification*. In: *International Workshop on Earth Resources Survey Systems*. Washington D. C., NASA, 1971. 33-46.
29. LEGAULT, R. R. *Multispectral Remote Sensing*. Ann Arbor. Michigan, The University of Michigan, s.f. 2-16.
30. LUEDER, DONALD. *Aerial Photographic Interpretation*. Principles and applications. New York, Mc Graw-Hill, 1969. 462 p.
31. LUNEY, PERCY and DILL, HENRY W. *Uses, potentialities and needs in agriculture and forestry*. In: *National Academy of Sciences. Remote Sensing with Special Reference to Agriculture and Forestry*. Washington D. C., 1970. 1-33.
32. MUIR, ALLAN and SATTINGER, IRVIN. *Methods of feasibility and economics analysis of remote sensing applications*. In: *Proceedings of the Fifth Symposium on Remote Sensing of Environment*. Ann Arbor, Michigan, The University of Michigan, 1968. 927-939.
33. MYERS, VICTOR I. *Soil, water and plant relations*. In: *National Academy of Sciences. Remote Sensing with Special Reference to Agriculture and Forestry*. Washington D. C., 1970. 253-255.
34. NUNNALLY, NELSON and WITNER, RICHARD. *Remote sensing for land use studies*. *Photogrammetric Engineering*. 36(5): 449-453. 1970.
35. PARKER, DANA and WOLFF, MICHAEL. *Remote Sensing*. In: *Selected Papers on Remote Sensing of Environment*. Michigan, The University of Michigan, 1966. v-xvi.
36. PARKER, DANA. *Some basic consideration related to the problem of Remote Sensing*. In: *Proceedings of the First Symposium on Remote Sensing of Environment*. Ann Arbor, Michigan, The University of Michigan, 1962. 701-709.
37. PETTINGER, LAWRENCE R. *Field data collection, and essential element in remote sensing applications*. In: *International Workshop on Earth Resources Survey Systems*. Washington D. C., NASA, 1971. 49-66.
38. RICHARDSON, ARTHUR et al. *Discrimination of vegetation by multispectral reflectance measurements*. In: *Proceedings of the Sixth International Symposium on Remote Sensing of Environment*. Ann Arbor, Michigan, The University of Michigan, 1969. 1143-1156.
39. RODHE, WAYNE and OLSON, E. Jr. *Detecting tree moisture stress*. *Photogrammetric Engineering*. 36(6): 561-566. 1970.
40. SCHADE, OTTO H. *Televisión Cameras*. In: *International Workshop on Earth Resources Survey Systems*. Washington D. C., NASA, 1971. 245-261.
41. SEARS, F. W. y ZEMANSKY, M. W. *Física General*. 4ª ed. Madrid. Aguilar, 1957, 1040 p.
42. SLATER, P. N. *Multiband Cameras*. *Photogrammetric Engineering* 38(6): 543-555. 1972.
43. SPECHT, M. R. *A comparison between Infrared and Panchromatic sensitive films for aerial photography*. *Photogrammetric Engineering* 36(4): 360-364. 1970.

44. SUITS, GWYNN H. *Introduction to Sensors*. In: International Workshop on Earth Resources Survey Systems. Washington D.C., NASA, 1971. 239-243.
45. THOMAS, J.R. et al. *Factors affecting light reflectance of cotton*. In: Proceedings of the Fourth Symposium on Remote Sensing of Environment. Ann Arbor, Michigan, The University of Michigan, 1966. 305-312.
46. VILLA, MIGUEL. *Uso de sensores remotos en la percepción de recursos naturales*. IREN-CORFO. Informe N° 26. 1968. 4-22.
47. WEBER, F. P. and POLCYN, F. C. *Remote sensing to detect stress in forests*. Photogrammetric Engineering 38(2): 163-175. 1972.
48. WIEGAND, C. L. et al. *Comparison of multibands and multiemulsion photography for identifying crop and soil conditions from space*. Photogrammetric Engineering 36(6): 597. 1970.
49. WOODWARD, PRISCILLA. *How to get started in remote sensing*. Washington, U. S. Department of the Interior. EROS, 1970. 47 p.
50. YOST, EDWARD and WENDEROTH, SONDRÁ. *Multispectral color for Agriculture and Forestry*. Photogrammetric Engineering 37(6): 590-604. 1971.

VII.- ANEXOS

CLAVE PARA LA CLASIFICACION DETALLADA DEL USO ACTUAL DE LA TIERRA

100	CULTIVOS ANUALES
110	Gramíneas
111	cebada
112	trigo
113	avena
114	maíz
115	curaguilla
116	cañamo
117	centeno
120	Leguminosas
121	frejoles
122	arvejas
123	habas
130	Industriales y otras
131	maravilla
132	tabaco
133	papas
134	soya

200	HORTALIZAS
210	Chacra múltiple
220	Cultivos individuales
221	cebolla
222	ajos
223	zanahorias
224	tomates
225	lechugas
226	repollos
227	zapallos

- 310 Hoja perenne
- 311 olivos
- 312 limones
- 313 naranjos
- 314 paltos
- 315 nísperos
- 320 Hoja caduca
- 321 manzano
- 322 durazno
- 322-1 variedad American Nectar
- 322-02 variedad Champion
- 322-03 variedad Dixie Red
- 322-04 variedad Early Elberta
- 322-05 variedad Early Sandgrand
- 322-06 variedad Elberta
- 322-07 variedad Fortuna
- 322-08 variedad J. H. Hale
- 322-09 variedad John River
- 322-10 variedad Halford
- 322-11 variedad Incomparable
- 322-12 variedad Legrand
- 322-13 variedad Magdalena
- 322-14 variedad May Flower
- 322-15 variedad Phillips Cling
- 322-16 variedad Pomona
- 322-17 variedad Red Haven
- 322-18 variedad Reina Elena
- 322-19 variedad Río Oso
- 322-20 variedad Sol de Oro
- 322-21 variedad Waterloo
- 323 perales
- 324 cerezos
- 325 damascos
- 326 ciruelos
- 327 castaños
- 328 nogales
- 330 Vides
- 331 vides en parronal
- 331-01 variedad Alfonso Lavallée
- 331-02 variedad Almería
- 331-03 variedad Cardinal

	331-04	variedad Emperor
	331-05	variedad Rivier
	331-06	variedad Sultanina
	331-07	variedad Perlette
	332	vides tendidas
540		Huerto múltiple
350		Huerto con chacra

400 EMPASTADAS

410		Artificiales
	411	alfalfa
	412	trébol
	413	ballica
420		Naturales
	421	natural mejorada
	422	natural no mejorada

500 TIERRAS ARABLES NO PRODUCIENDO O EN TRANSICION

510		Rastrojos
520		Barbecho desnudo
530		Barbecho cubierto (enmalezado)

600 VEGETACION NATURAL

610		Arbórea
620		Arbustiva
630		Herbácea

700	TIERRAS ARBOLADAS
------------	--------------------------

710	Arborestros
720	Bosques
721	álamos
722	pinos
723	eucaliptus

800	EDIFICACIONES RURALES Y RASGOS ASOCIADOS
------------	---

810	Residencial
811	casas
812	construcciones anexas
820	Industrial – Fábricas – Aserraderos
830	Almacenaje
831	silos
832	bodegas
833	tranques
840	Construcciones para crianza
841	vacunos
842	cerdos
843	aves
844	otros
850	Cementerio
860	Recreación
861	cancha de futbol
862	media luna
863	parque

900	TIERRAS SIN USO
------------	------------------------

910	Tierras anegadas
920	Arenas
930	Ripio

CLAVE DE LA CONDICION DE LAS ESPECIES

CLAVE DEL ESTADO DE DESARROLLO

- 1 Recién sembrado o en emergencia
 - 2 En desarrollo foliar
 - 3 En desarrollo floral
 - 4 En desarrollo frutal
-

CLAVE DE LA FERTILIZACIÓN

- 1 Suficiente
 - 2 Regular
 - 3 Nula
-

CLAVE DE EDAD EN AÑOS

Meses expresados como décimas

CLAVE DE LA PRESENCIA DE MALEZAS

- 1 Hay
 - 2 No hay
-

DESARROLLO DE LA FORMULA EMPLEADA

especie	variedad		
331	01		
4	1	2	1
estado de desarrollo	ferti- zación	edad	malezas

331 - 01

4 - 1 - 2 - 1

Casos especiales que se encuentran en un mismo potrero:

a.- Especies distintas con iguales condiciones de manejo:

$$\frac{323}{2-1-2-1} \quad ; \quad \frac{322}{2-1-2-1}$$

b.- Especies distintas con diferentes condiciones de manejo:

$$\frac{331}{2-1-1-1} \quad ; \quad \frac{322}{3-2-7-1}$$

c.- Distintas variedades de una misma especie con iguales condiciones de manejo:

$$\frac{322-01-07-12}{4-1-9-1}$$

d.- Una misma especie con diferentes condiciones de manejo:

$$\frac{331}{2-1-2-1-} \quad ; \quad \frac{331}{4-1-10-2}$$

CUESTIONARIO DE MANEJO

I.- IDENTIFICACION

Nombre del Propietario :

Nombre del Predio : Rol N°

Nombre del Encuestado :

Función :

II.- CULTIVOS PERMANENTES (Frutales y Viñas)

CLAVE				
Especie				
Variedad				
Sistema de Plantación				
Distancia				
Edad				

Niveles de Fertilización (30 de Abril de 1972 en adelante)

Tipo				
Cantidad				
Oportunidad				
Tipo				
Cantidad				
Oportunidad				

Estado Sanitario ¿Se presentan pestes o plagas? ¿Cuál? Localizar

Peste				
Plaga				

Malezas (Tipos principales que existen)

1. Nombre				
2. Nombre				

Uso de Pesticidas (año 72-73)

Nombre				
Cantidad				
Oportunidad				
Nombre				
Cantidad				
Oportunidad				

Forma de Control

Mecánico				
Herbicida				

Sistema de Riego

1. Tendido				
2. Surco				
3. Taza				

¿Es suficiente la cantidad de agua?

SI -- NO				
----------	--	--	--	--

Si no es suficiente, ¿en qué período falta?

Meses				
-------	--	--	--	--

Fecha del último riego

--	--	--	--	--

Producción

Año 71 - 72				
-------------	--	--	--	--

Podas

Fecha de poda				
---------------	--	--	--	--

Uso de Pesticidas e Insecticidas

Nombre				
Cantidad				
Oportunidad				
Nombre				
Cantidad				
Oportunidad				

Malezas (Tipos principales que existen o se presentan)

Nombre				
Nombre				

Forma de Control

Mecánico				
Herbicida				

Sistema de Riego Utilizado

¿Cuál?				
--------	--	--	--	--

¿Hay períodos con déficit de agua?

Meses				
Fecha del último riego				

Producción (Año 71 - 72. Expresada en volumen, superficie o unidades/superficie)

Cantidad				
Indicar medida				

V.- PASTOS

Clave

Especie (indicar si se trata de mezcla forrajera)				
Variedad				

Estado de Desarrollo

Fecha de siembra				
Tamaño aprox.				

Estado de la Pradera (Densidad, Bueno, Regular, Malo)

--	--	--	--	--

Niveles de Fertilización año actual (1972 - 1973)

Tipo				
Cantidad				
Oportunidad				
Tipo				
Cantidad				
Oportunidad				

Estado Sanitario ¿Se presentan pestes o plagas? ¿cuáles? Localizar

Pestes				
Plagas				

III.- ROTACION (Los cultivos en rotación)

Clave N^os.

Año 72 - 73				
Año 71 - 72				
Año 70 - 71				
Año 69 - 70				
Año 68 - 69				
Año 67 - 68				
Año 66 - 67				

IV.- CULTIVOS ANUALES * ACTUALES (Sin pastos) Anotar por variedad

Clave

Especie				
Variedad				

Estado de la Siembra (Densidad)

Bueno, malo, regular			
----------------------	--	--	--

Niveles de Fertilización Año Actual (1972 - 1973)

Tipo				
Cantidad				
Oportunidad				
Tipo				
Cantidad				
Oportunidad				
Tipo				
Cantidad				
Oportunidad				

Estado Sanitario ¿se presentan pestes o plagas? ¿cuáles? Localizar

Pestes				
Plagas				

Uso de pesticidas e insecticidas

Nombre				
Cantidad				
Oportunidad				
Nombre				
Cantidad				
Oportunidad				

Malezas (Tipos principales que existen o se presentan)

Nombre				
Nombre				

Formas de Control

Mecánico				
Herbicidas				

Sistema de Riego Utilizado

¿Cuál?				
--------	--	--	--	--

¿Hay períodos con déficit de agua? SI – NO

Cuáles meses				
Fecha del último riego				