

LA RELACION ENTRE LA ESPECTORREFLECTANCIA Y LA
BIOMASA EN LA VEGETACION

Dra. Juana CARDOSO
Grupo Energía No-Convencional - C.N.I.E.

Lic. Mirta Aída RAED
Grupo Sensores Remotos - C.N.I.E.

Avda. Mitre 1663 - San Miguel
Buenos Aires - República Argentina

RESUMEN

La biomasa de origen fotosintético constituye una masa enorme de energía química, renovable, disponible y escasamente usada por el hombre. Se puede usar en aguas marinas o dulces o en tierras marginales. Otra aplicación es la explotación de los bosques, es decir, conversión de madera en plásticos y drogas.

También se utiliza en la conversión de residuos orgánicos en combustibles.

La utilización efectiva de la energía solar por fotosíntesis requiere investigación y desarrollo tecnológico. De ahí la importancia de relacionar los métodos espectrales de análisis, por ejemplo, en vegetación, para medir su biomasa.

Se debe estudiar cómo determinar las bandas óptimas del espectro para tener el mejor informe sobre biomasa verde, seca, biomasa marrón, seca, biomasa total húmeda, biomasa total seca, contenido de agua en las hojas y cantidad total de clorofila, así como sus curvas de espectrocorrelación.

También está en discusión los tipos de sensores remotos a ser utilizados para discriminar la biomasa de la vegetación, tomando en cuenta la influencia del medio atmosférico.

Mediante estos datos se pretende determinar la distribución de biomasa en nuestro país.

IMPORTANCIA DE LA BIOMASA EN NUESTRO PAIS

La sociedad industrial contemporánea se ha basado en la explotación y consumo de los combustibles fósiles. El agotamiento de estos combustibles nos lleva al reemplazo de los mismos por otras fuentes alternativas de energía.

En nuestro país sería necesario estudiar en cada región las fuentes de energía disponibles que se adapten a sus requerimientos.

Hay zonas que podrían recurrir a energía geotérmica. La Patagonia es un territorio propicio para la energía eólica. La Energía Solar puede utilizarse en todo el país bajo sus aspectos físicos y biológicos.

La biomasa de origen fotosintético, que no es un producto agrícola tradicional, constituye una fuente enorme de energía química renovable, a nuestro alcance y es muy poco usada por el hombre. Se puede obtener de ella, de acuerdo con su naturaleza y tecnología que empleemos:

- 1) Alimento no convencional para consumo humano o animal;
- 2) Compuestos orgánicos tales como: plásticos, drogas, fertilizantes;
- 3) Combustibles gaseosos, líquidos y sólidos. Los tipos de biomasa utilizados a este efecto son:

a) la biomasa de origen acuático (aguas marinas o dulces), la cual puede ser explotada y producida mediante cultivos.

-Este es un recurso importante en nuestro país, ya que el mismo posee un extenso litoral marítimo, amplia plataforma submarina, extensos ríos y grandes lagos.

-A este respecto recordamos que el Centro Submarino Naval de los Estados Unidos de América ha desarrollado un proyecto granja-oceánica para cultivos y explotaciones de las algas gigantes de la costa californiana. En apoyo a tal proyecto se ha estimado que teóricamente en una granja de 1.122 km² de mar se podría producir todo el gas natural que consume los Estados Unidos.

-En nuestro país tendría la importancia de utilizar, como fuente de combustible gaseosa o de abonos agrícolas mediante su fermentación anaeróbica, plantas acuáticas como el camalote que actualmente constituye una plaga que dificulta la navegación obstruyendo canales y tomas de agua. A este respecto citamos que el CEFOTI (Centro de Estudios Fotosintéticos y Bioquímicos), perteneciente a la Universidad Nacional de Rosario, iniciará un estudio para evaluar la productividad potencial de biomasa del Río Paraná y la factibilidad de conversión del metano en escala industrial.

b) Explotación integral de bosques.

Los bosques (madera) pueden ser usados como fuentes de drogas químicas (etanol, etileno, butadieno, fenoles, furfural, etc.), para producir plásticos sintéticos, fibras y gomas.

Antes de la crisis energética de 1973 el desarrollo tecnológico de esta conversión de la madera estaba detenido en casi todo el

mundo debido al bajo precio de los productos derivados del petróleo.

El contenido de la energía de la celulosa es un 60% del contenido de energía del carbón; pero existen otros hidrocarburos de origen vegetal que contienen más energía que el carbón, lo que hace posible transformar la biomasa en sustituto adecuado de los combustibles fósiles.

La pirólisis del aserrín y otros productos forestales (arbustos, malezas y árboles no maderables resultado del desmonte), permiten obtener combustibles sólidos como el carbón en polvo y briquetas, así como también, gas de 2.500 a 4.500 cal/m³ y un residuo líquido del tipo del fuel-oil con una eficiencia de conversión del 70%.

Puede utilizarse también, en el proceso pirolítico el bagazo de la caña de azúcar, las plantas de algodón, la cáscara de arroz y otros tipos de residuos agrícolas.

- c) Conversión de residuos orgánicos, incluyendo residuos agrícolas y urbanos en combustibles.

Esta es una de las fuentes de biomasa más fácilmente disponible y adaptable para su conversión en energía. Ella no puede ser determinada mediante sensores remotos. El total de residuos agrícolas producidos anualmente suman 27,5 millones de toneladas.

Es difícil establecer el destino actual de todos estos residuos, pero la mayoría no es usada adecuadamente.

- d) Es posible obtener, por lo menos, tres tipos de combustibles líquidos, que son el metanol, etanol e hidrocarburos. La materia prima es hidratos de carbono (azúcares, almidones y celulosa provenientes de las plantas). Una de las plantas más utilizadas industrialmente es la caña de azúcar, otra fuente importante es la mandioca. El etanol producido en Brasil, en base a caña de azúcar y mandioca, es utilizado y mezclado con gasolina como combustible en los automóviles. Por otra parte, Melvin Calvin, premio Nobel de Química, ha hecho notar que ciertas plantas, como el árbol de caucho, pueden producir hidrocarburos similares al petróleo. También llamó la atención sobre ciertos arbustos del género *Euphorbia* que tienen una savia lechosa formada por una suspensión de hidrocarburos en agua. Esta se puede separar por centrifugación y lo que queda tiene una composición similar al petróleo que puede ser procesada en las refinerías actuales.

El mismo Calvin, la Universidad de California y Petrobras (Empresa Petrolera Brasileña), están estudiando y cultivando estos arbustos "petroleros". En nuestro país existen otras especies de *Euphorbia* que pueden ser también interesantes. Finalmente, la biogaseficación que se obtiene mediante el proceso de fermen

tación anaeróbica bacteriana de sustancias orgánicas, produce compuestos de menor peso molecular como metano y CO_2

Todo esto hace que se haya despertado interés universal por la determinación del potencial de biomasa.

La forma más rápida de realizar un censo de biomasa es usar los datos de sensores remotos.

DISTINTOS TIPOS DE SENSORES USADOS EN LA MEDICION DE LA BIOMASA

El uso de los datos del barredor multiespectral LANDSAT (MSS) para censar vegetación ha provisto de una nueva herramienta para los recursos naturales. Este satélite es un equipo importante en sensores remotos. Sobrevuela la tierra a 980 km de altura aproximadamente y pasa por el mismo lugar, cada 18 días, a la misma hora. Tiene cuatro bandas en las cuales registra la reflectancia del terreno, 0,50-0,60, 0,60-0,70, 0,70-0,80, 0,80-1,10 μm . De estas 4 bandas algunas son más adecuadas para diferenciar estados de crecimiento de cultivos.

Los sensores remotos son usados para censar vegetación, registrando radiación electromagnética reflejada o emitida.

También existe otro tipo de sensor, es un barredor multiespectral de 12 canales entre 0,38-12 μm que va montado en un avión y sobrevuela la zona a estudiar con más detalle. Simultáneamente, se pueden estudiar áreas desde tierra con un radiómetro, de los 4 mismos canales del satélite LANDSAT.

Lo importante es medir la reflectancia de los cultivos con los tres tipos de equipos simultáneamente, sobre la zona a estudiar, y así comparar los resultados y hacer las correcciones debidas a la influencia del medio atmosférico en la radiación solar incidente y reflejada, siempre tomando en cuenta la resolución de cada equipo de medida.

METODOS Y ANALISIS

Consideremos el espectro de reflexión (0,35-2,50 μm) y veamos los intervalos espectrales donde diferentes variables fisiológicos controlan la reflectancia espectral de la hoja y/o de la canopia.

- 1) En el intervalo 0,35-0,50 μm existe una fuerte relación entre reflectancia espectral y pigmentación de las plantas.
- 2) Entre 0,50-0,62 μm se caracteriza por un reducido nivel de absorción por pigmentación. Esto resulta en una mayor reflectancia que las regiones adyacentes.
- 3) La región 0,62-0,70 μm se caracteriza por una fuerte absorción de clorofila.
- 4) 0,70-0,74 μm se caracteriza por la transición entre fuerte absorción de clorofila (0,70-0,71 μm) y los altos niveles de reflectan-

cia, en el infrarrojo, características de la vegetación verde que comienza en $0,74-0,75 \mu\text{m}$.

- 5) $0,74-1,10 \mu\text{m}$ se caracteriza por altos niveles de reflectancia que suceden en ausencia de absorción.

En esta región hay una fuerte relación entre reflectancia espectral y la cantidad de vegetación verde.

En el intervalo $0,75-0,80 \mu\text{m}$ hay una fuerte correlación entre la biomasa de las hojas verdes y el alto contraste entre la reflectancia del suelo y la vegetación verde.

- 6) La región $1,1-1,3 \mu\text{m}$ es una transición entre una zona de alta reflectancia ($0,74-1,1 \mu\text{m}$) y la región de absorción de agua ($1,3-2,5 \mu\text{m}$).

- 7) En el intervalo $1,3-2,50 \mu\text{m}$ existe una fuerte relación entre reflectancia y la cantidad de agua presente en las hojas de la canopia.

El conjunto de estas características, como puede observarse en la Figura 1, constituye la firma espectral de las plantas verdes, y, por lo tanto, de la biomasa.

En este trabajo se intenta realizar un censo de la biomasa en el país. Para ello se hace uso de los datos recogidos del satélite LANDSAT, distinguiendo los tipos de cultivo por sus diferencias en sus firmas espectrales, usando el Método de Máxima Verosimilitud y admitiendo que los datos medidos para un determinado cultivo, en cada una de sus bandas espectrales, tiene una distribución normal multivariada.

De la zona elegida se observa, con radiómetros manuales o localizados en aviones, regiones de cultivos determinados que le servirán como áreas de control al programa computacional, a partir de las cuales dicho programa comenzará a caracterizar el resto del terreno.

Se tiene también en cuenta que, en particular, los datos de la banda $0,60-0,70 \mu\text{m}$ para identificar áreas cloróticas del sorgo siguiendo el trabajo de Gausman en 1975.

También se consideran las distintas etapas del cultivo a fin de obtener en cada caso la biomasa correspondiente.

En la Figura 2 se observa la relación existente entre la razón de valores medios de radiancia en el infrarrojo y en el rojo, de canopías de maíz y de soja, con la variación de biomasa en el tiempo. La razón queda expresada de la siguiente manera:

$$\frac{\text{infrarrojo} - \text{rojo}}$$

$$\text{infrarrojo} + \text{rojo}$$

Ella ha sido representada versus: a) biomasa húmeda de soja, b) biomasa húmeda de maíz, c) biomasa seca de soja, d) biomasa seca de maíz. Los números de cada dato puntual corresponden a la secuencia temporal de la muestra. La línea continua conecta los datos puntuales con respecto al tiempo.

La conclusión es que la reducción en la biomasa húmeda está asociada con la pérdida de humedad debido a la senectud, y en la biomasa seca por la pérdida de las hojas secas.

Esta gráfica muestra la relación existente entre la radiancia versus variación de biomasa con el tiempo. Lo que muestra que las medidas espectrales en el rojo y en el infrarrojo están relacionadas con el crecimiento y desarrollo de las plantas.

La Figura 3 representa la radiación media $\frac{\text{infrarrojo} - \text{rojo}}{\text{infrarrojo} + \text{rojo}}$ versus: a) porcentaje de cobertura de soja y b) de maíz.

Los datos son tomados de muestras medidas semanalmente.

La línea continua representa la progresión temporal.

El máximo de porcentaje de cobertura corresponde a los valores máximos de radiancia. Cuando las plantas envejecen, ambos valores decrecen.

La relación entre la radiancia y la altura de la plantación tiene un comportamiento similar, como se observa en la Figura 4. Las curvas aumentan hasta los valores máximos de radiancia y permanece en estos valores por un período de tiempo, hasta la senectud de la planta, con la cual comienza a crecer progresivamente.

En la Figura 5 se relaciona negativamente el porcentaje de clorosis con la radiancia relativa. La clorosis surge de condiciones desfavorables del medio ambiente y/o senectud. La concentración de clorofila se reduce y esto se manifiesta amarillentándose las hojas.

De lo expuesto, se observa que se encuentran relaciones significativas entre biomasa, porcentaje de cobertura de cultivo, altura de la plantación, porcentaje de clorosis y pérdida de las hojas.

A continuación se realizará un análisis de campos de pastoreo, utilizando como indicador la relación entre la radiación en la banda 7 (infrarrojo) y en la banda 5 (rojo) que son las más indicativas para conocer la longitud del período de crecimiento y el secado, resultando íntimamente relacionados con la cantidad de biomasa verde presente, como se observa en la Figura 6.

Mediante estos datos reunidos se puede establecer una regresión múltiple entre el cociente de reflectancias, antes indicado, obtenidos con los datos del satélite LANDSAT y los recogidos en tierra y las condiciones climáticas para poder predecir en forma más exacta las condiciones de crecimiento del pasto en determinado lugar.

BIBLIOGRAFIA

- TUCKER, C.J.: Shortgrass Prairie Spectral Measurements - Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.
Vol. 41, N° 9, September 1975, pp. 1157-1162.
- VALLEJOS, R.H.: Posibilidades de la Explotación Biológica de la Energía Solar en la Argentina - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Universidad Nacional de Rosario - Santa Fe, 1977.
- TUCKER, C.J.: A comparison of Satellite Sensor Bands for Vegetation Monitoring - Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.
Vol.44, N° 11, November 1978.
- LEMME, G.D.: Landsat Simulating Radiometer for Agricultural Remote Sensing. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.
Vol. 45, N°1, January 1977, pp. 99-103.
- GAUSMAN, H. : Plant Size, etc., and Aerial Films - Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.
Vol. 40, N°1, January 1974, pp.61-67.
- TUCKER, C.J.: Temporal Spectral Measurements of Corn and Soybean Crops. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.
Vol. 45, N°5, May 1979, pp. 643-653.
- LE MASTER, E.W.: A Seasonal Verification of the Suits Spectral Reflectance Model for Wheat. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.
Vol.46, N°1, January 1980, pp. 107-114.
- CARNEGGI, D.M.: Usefulness of Landsat Data for Monitoring Plant Development and Range Conditions in California's Annual Grassland. NASA TMX - 58168-JSC 09930 - Texas, June 1975, Vol. 1 A, pp. 19-42.
- GAUSMAN, H.W.: Use of ERTS-1 Data to Detect Chlorotic Grain Sorghum. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.
Vol. 41, N°2, February 1975, pp. 177-179.
- KANEMASU, E.T.: Seasonal Canopy Reflectance Patterns of Wheat, Sorghum and Soybean. Remote Sensing of the Environment.
Vol. 3, N°1, 1974.

- *** Soja verde madura
- - - Mezcla de césped verde y marrón
- . - Camino arenoso
- Franco limo-arcilloso

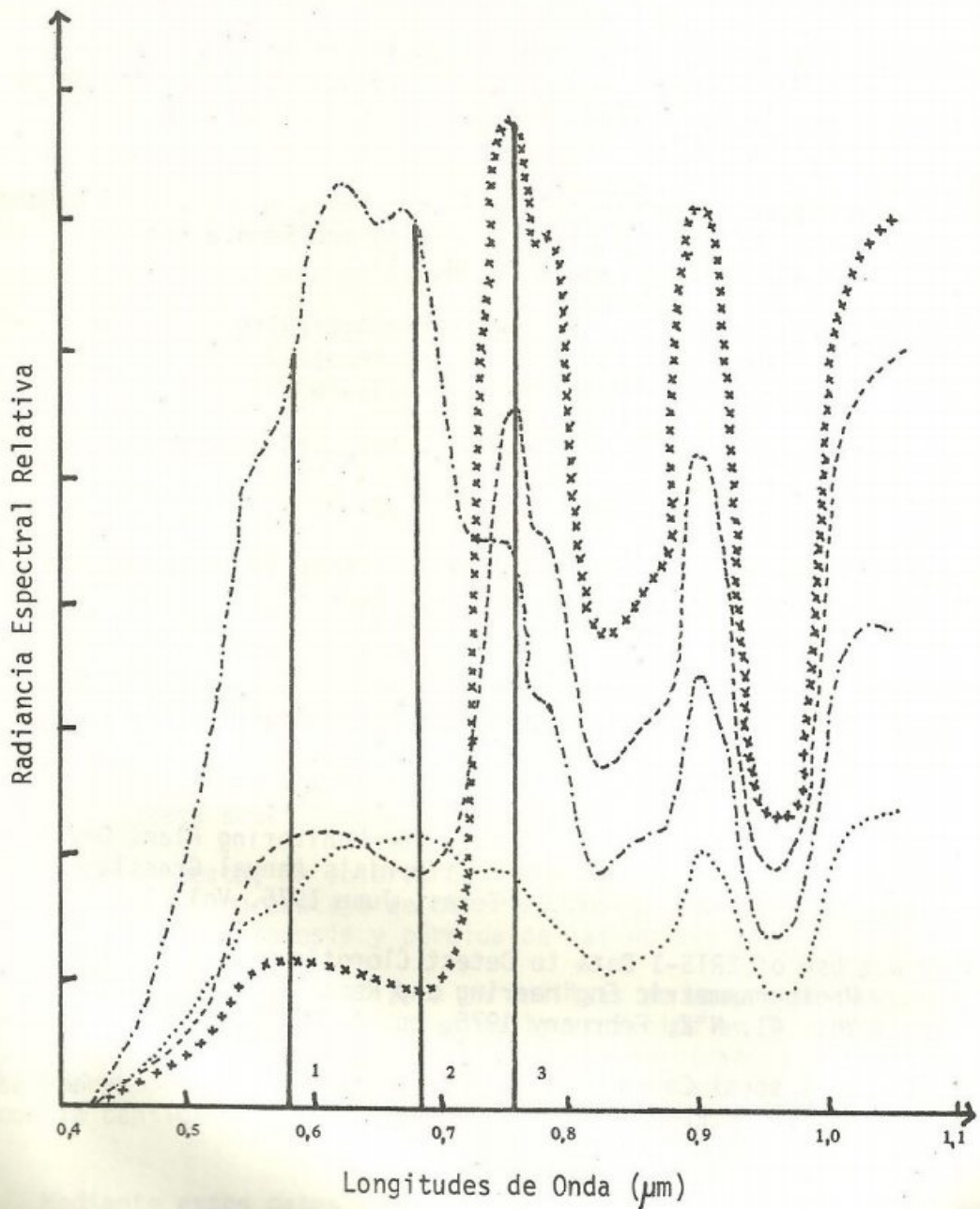


Figura 1. Radiancia espectral relativa de escenas agrícolas

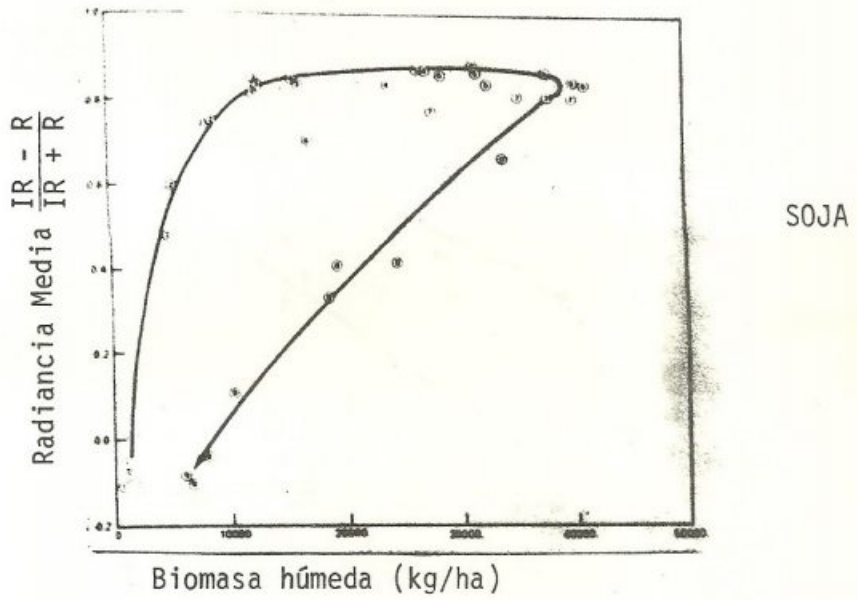
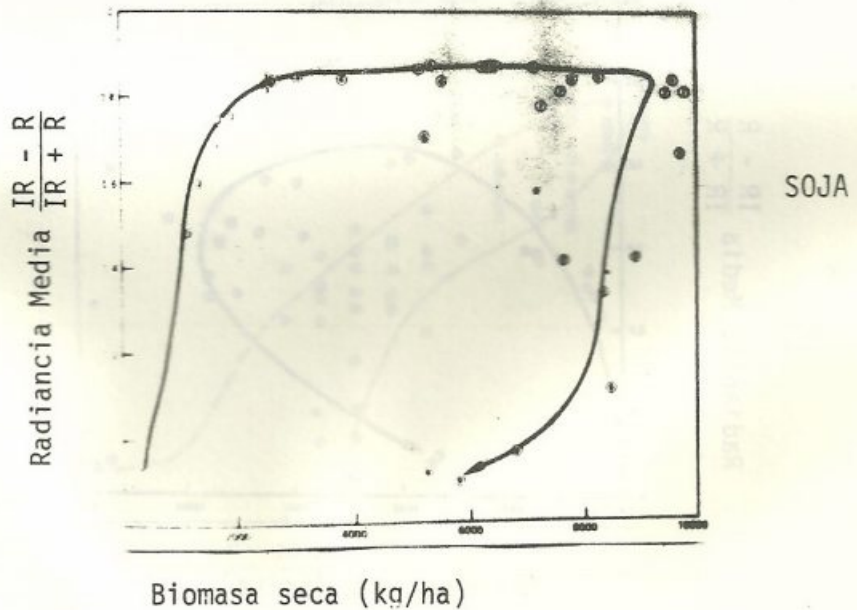


Figura 2. Gráfica de los valores medios de Radiancia versus Biomasa para Soja.



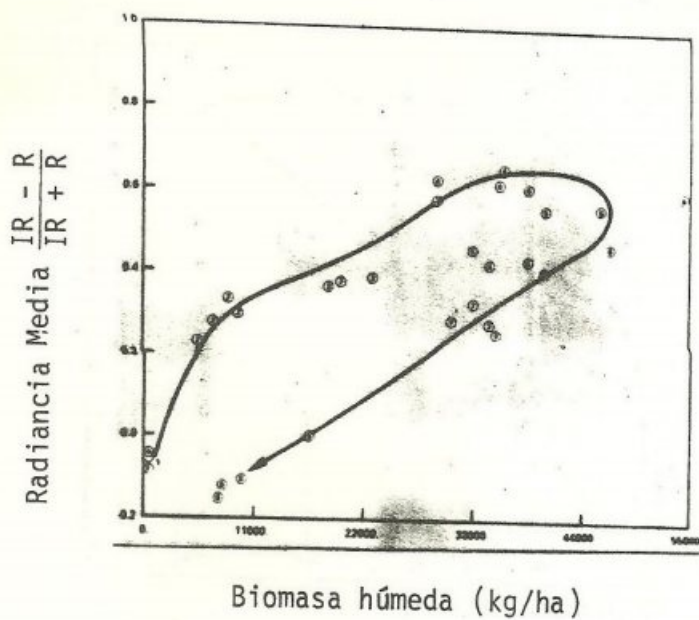
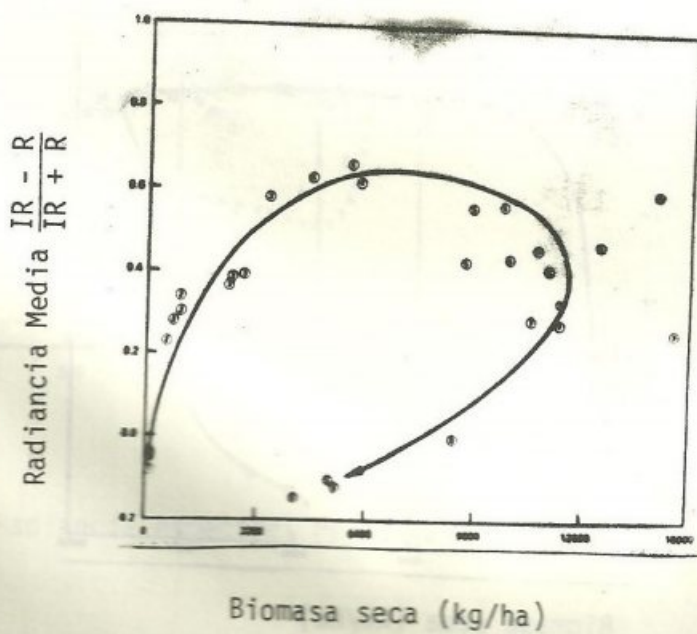


Figura 2 (cont.). Gráfica de los valores medios de Radiancia versus Biomasa para Maíz.



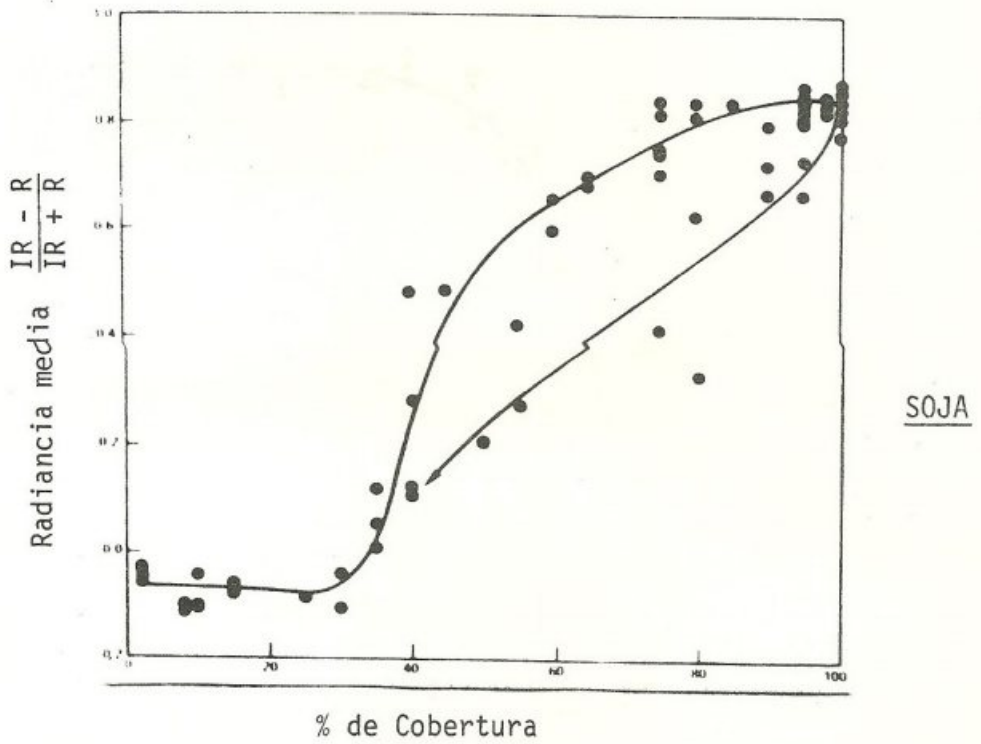
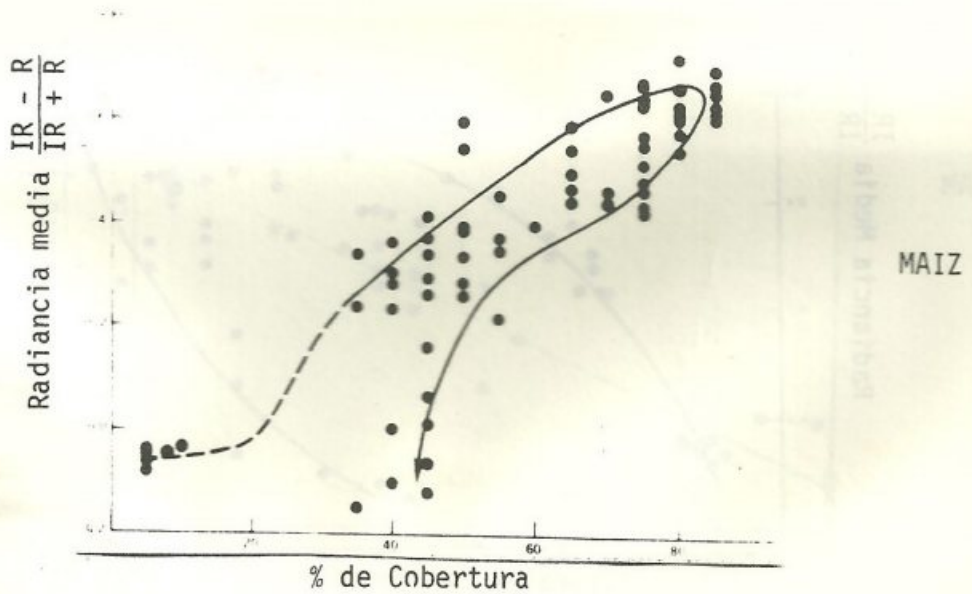
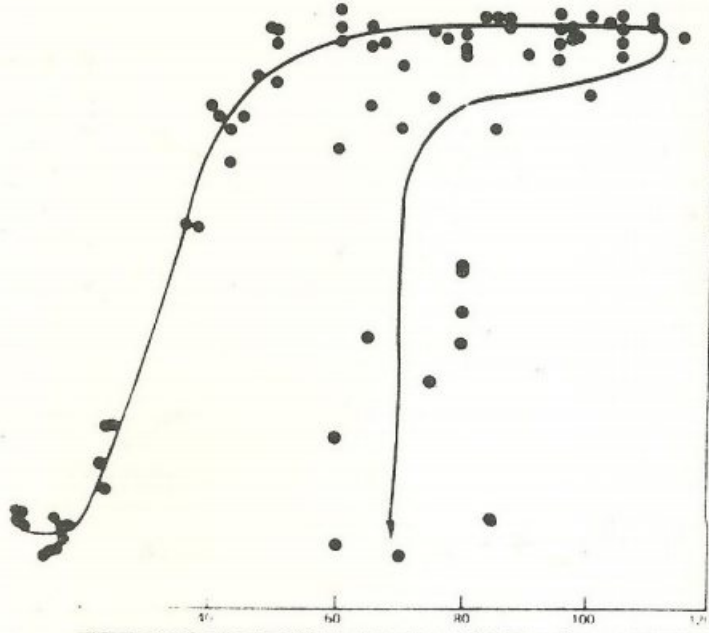


Figura 3. Gráfica de Radiancia Media versus Porcentaje de Cobertura para Maíz y Soja.



Radiancia Media $\frac{IR - R}{IR + R}$

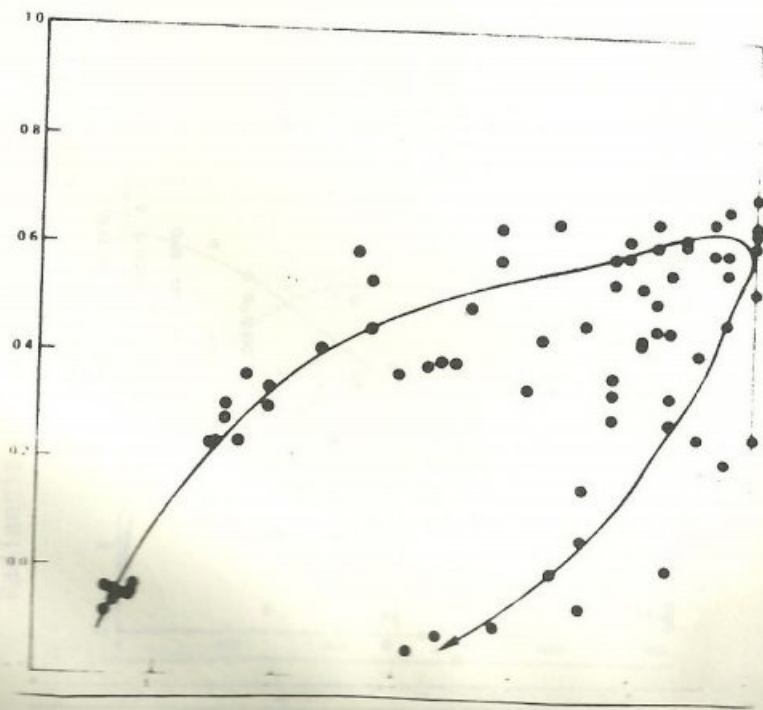


SOJA

Altura de la Planta en cm

Figura 4. Gráfica de Radiancia Media versus Altura de la Planta para Soja y Maíz.

Radiancia Media $\frac{IR - R}{IR + R}$



MAIZ

Altura de la Planta en cm

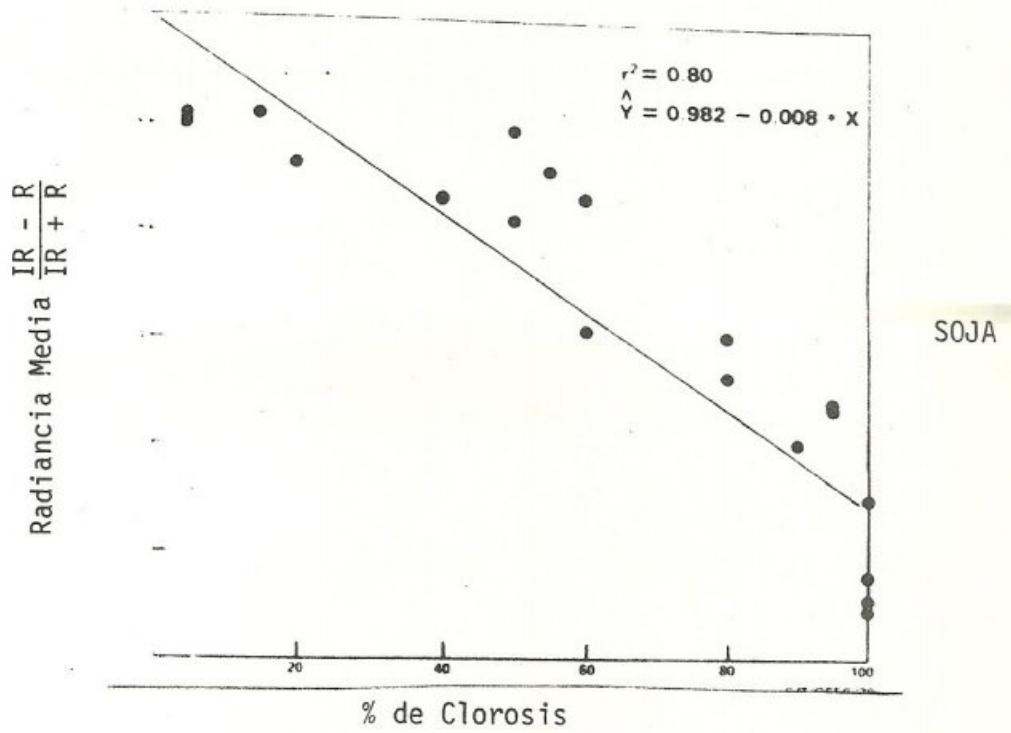
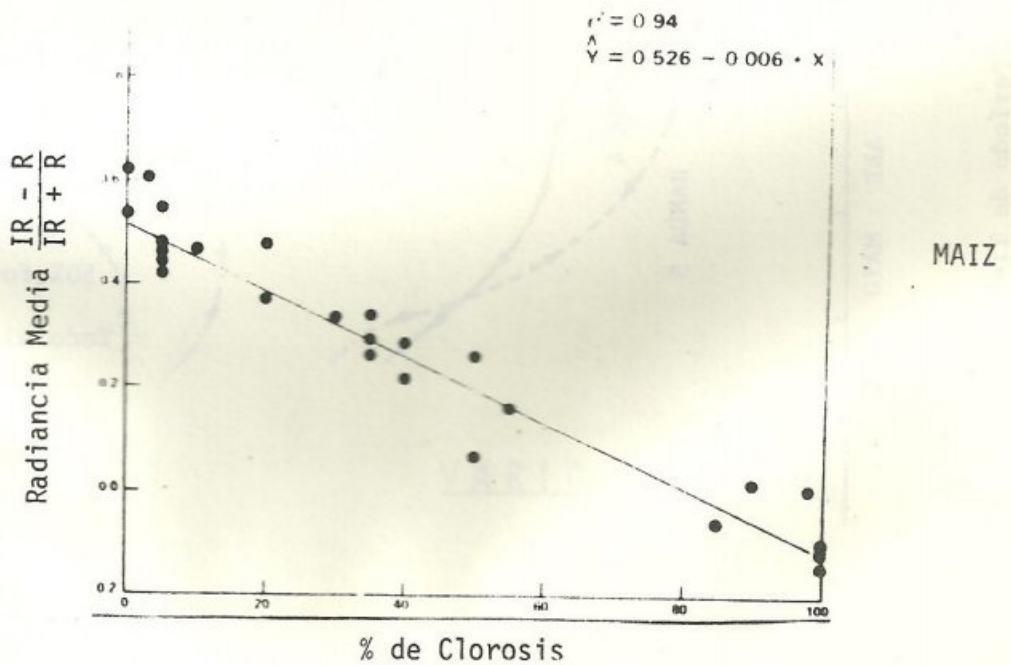


Figura 5. Gráfica de Radiancia Media versus Porcentaje de Clorosis para Soja y Maíz.



LANDSAT 1 - DATOS DE RADIANCIA

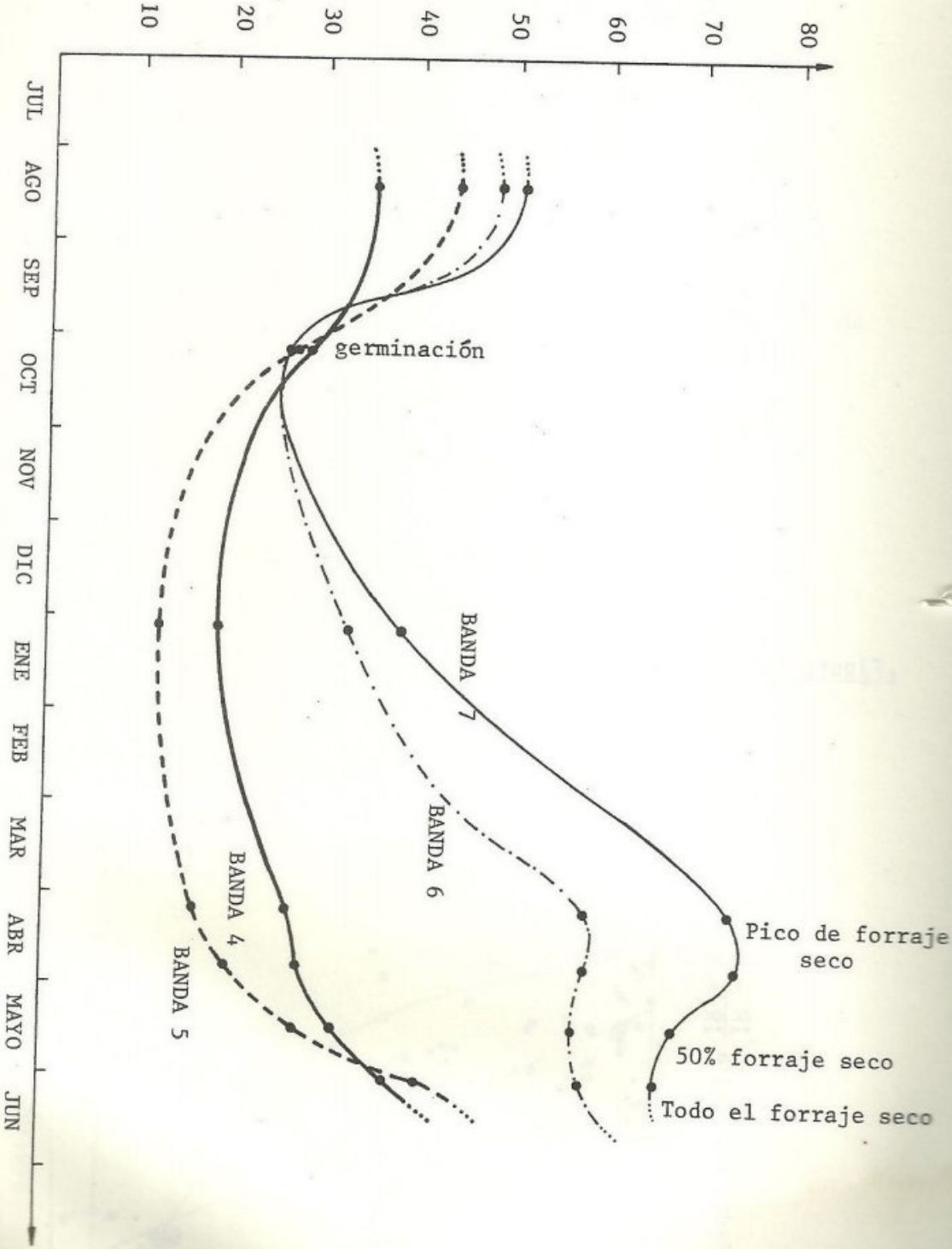


Figura 6. Curvas de Reflectancia Espectral LANDSAT versus Período de Tiempo.

FECHA: 1972-1973