



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala

UTILIZACION DEL ANALISIS MICRODENSITOMETRICO
DE FOTOGRAFIAS AEREAS EN LA DETERMINACION
DE RENDIMIENTO VEGETAL.

T E S I S

Que para obtener el título de:

B I O L O G O

P r e s e n t a :

José Antonio Serratos Hernández

Los Reyes Iztacala, México

1 9 8 4



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A MI ABUELO, ANTONIO
HERNÁNDEZ TOVAR. EN
RECUERDO DE SU INFINITA
BONDAD Y NOBLEZA.

A BERNARDO, JOELITO, LAURA Y
ARTURO ANTONIO.

AGRADECIMIENTOS.

AGRADEZCO EL APOYO ECONÓMICO RECIBIDO DE CONACYT A TRAVÉS DEL IX PROGRAMA DE INTERCAMBIO MÉXICO-CANADÁ POR MEDIO DEL CUAL FUE POSIBLE LA REALIZACIÓN DE ESTA TESIS.

AGRADEZCO A LOS INVESTIGADORES DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES SOBRE RECURSOS DE LA TIERRA (LRRI, AGRICULTURE CANADA) POR SU AYUDA Y PRINCIPALMENTE A LOS DOCTORES ALEX MACK, P. BASU Y RAYMOND DESJARDINS POR SUS CONSEJOS Y APOYO CONSTANTE.

AGRADEZCO MUY ESPECIALMENTE A LA DRA. PILAR RUIZ AZUARA LA DIRECCIÓN FINAL DE ESTE TRABAJO. ASIMISMO, MI MÁS SINCERO AGRADECIMIENTO AL DR. RAÚL BERNIEL V. Y A LA LIC. EN COMP. IRMA GARZÓN POR EL TRABAJO DE DENSITOMETRÍA REALIZADO EN EL INSTITUTO DE ASTROFÍSICA, ÓPTICA Y ELECTRÓNICA DE TONANTZINTLA, EL CUAL FUE DE GRAN IMPORTANCIA PARA ESTA INVESTIGACIÓN.

UNA MENCIÓN ESPECIAL DE AGRADECIMIENTO PARA MI TÍA RAQUEL Y PARA INÉS NAVARRO POR EL TRABAJO DE MECANOGRAFÍA Y A MIS PRIMOS FERNANDO Y DANIEL POR SU VALIOSA COOPERACIÓN, ASÍ COMO A LA FAMILIA SERRATOS REYES POR LAS FACILIDADES QUE ME BRINDARON.

FINALMENTE, MI TESTIMONIO DE SINCERA GRATITUD A LAURA TORRENTERA POR SU CONSTANTE APOYO, COMPRENSIÓN Y CARIÑO.

RESUMEN

EL PRESENTE TRABAJO MUESTRA EL EMPLEO DE TÉCNICAS Y MÉTODOS CONVENCIONALES EN PERCEPCIÓN REMOTA, PARA LA ESTIMACIÓN DEL RENDIMIENTO DE ALGUNAS COSECHAS DE IMPORTANCIA AGRÍCOLA.

HACIENDO USO DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS, CON PELÍCULA INFRARROJO DE FALSO COLOR SE EVALUÓ, MEDIANTE DENSITÓMETRO MANUAL Y DE BARRIDO, LAS PROPIEDADES REFLECTIVAS DE DIFERENTES CULTIVOS FORRAJEROS: ALFALFA (MEDICAGO SATIVA L.); TRÉBOL (TRIFOLIUM REPENS L.); Y TRES TIPOS DE PASTOS FORRAJEROS (BROMUS MOLLIS L., DACTYLIS GLOMERATA L. Y PHLEUM PRATENSE).

CON LOS DATOS OBTENIDOS DEL PROCESO DE DIGITALIZACIÓN SE CONSTRUYERON DOS COCIENTES DE BANDA COMO ÍNDICES DE REFLEXIÓN ESPECTRAL PARA RELACIONARLOS CON LAS MEDIDAS DE RENDIMIENTO REALIZADAS A NIVEL DE CAMPO. SE ENCONTRÓ QUE EXISTE UNA RELACIÓN SIGNIFICATIVA Y BIEN CORRELACIONADA ENTRE EL RENDIMIENTO Y LOS COCIENTES DE DENSIDAD ÓPTICA GENERADOS DEL ANÁLISIS DENSITOMÉTRICO. SIN EMBARGO, LA RELACIÓN NO ES LINEAL.

POR ÚLTIMO, SE ENCONTRÓ QUE NO EXISTÍA UNA ADECUADA DISCRIMINACIÓN DE LOS DIFERENTES CULTIVOS A TRAVÉS DE LAS MEDIDAS DENSITOMÉTRICAS POR LO QUE NO SE REALIZÓ UNA CLASIFICACIÓN DE LOS CULTIVOS BASÁNDOSE EN EL TONO FOTOGRÁFICO.

C O N T E N I D O

	PÁGINA
INTRODUCCION	1
ANTECEDENTES	5
PROPIEDADES ESPECTRALES DE LAS PLANTAS	6
ESTIMACIÓN DE PRODUCTIVIDAD Y FOTOGRAFÍA AÉREA	10
OBJETIVOS	14
MATERIAL Y METODOS	
PARCELAS EXPERIMENTALES	15
FOTOGRAFÍA AÉREA	16
CALIBRACIÓN	21
DENSITOMETRÍA	24
PROCEDIMIENTOS ESTADÍSTICOS	29
RESULTADOS	
PERFILES TEMPORALES	33
ESTIMACIÓN DEL RENDIMIENTO	42
IDENTIFICACIÓN DE CULTIVOS	61
DISCUSION Y CONCLUSIONES	70
REFERENCIAS	78

PICTURE YOURSELF IN A BOAT ON A RIVER
WITH TANGERINE TREES AND MARMALADE SKIES
SOMEBODY CALLS YOU, YOU ANSWER QUITE SLOWLY
A GIRL WITH KALEIDOSCOPE EYES.

CELLOPHANE FLOWERS OF YELLOW AND GREEN,
TOWERING OVER YOUR HEAD
LOOK FOR THE GIRL WITH THE SUN
IN HER EYES AND SHE'S GONE.

(LUCY IN THE SKY WITH DIAMONDS; LENNON & McCARTNEY)

I N T R O D U C C I O N

LOS MÉTODOS Y LA TECNOLOGÍA DE LA PERCEPCIÓN REMOTA, ENTRE LOS QUE SE INCLUYE LA FOTOGRAFÍA AÉREA, SE HAN VENIDO UTILIZANDO CADA VEZ MÁS EN UNA GRAN CANTIDAD DE DISCIPLINAS CIENTÍFICAS ASÍ COMO EN SUS ÁREAS DE APLICACIÓN RESPECTIVAS.

LAS CIENCIAS RELACIONADAS CON EL ESTUDIO DE LOS RECURSOS NATURALES HAN SIDO LAS QUE MAYORES BENEFICIOS HAN OBTENIDO DEL DESARROLLO DE ESTA PODEROSA HERRAMIENTA TECNOLÓGICA QUE HA PERMITIDO UN ENFOQUE MUCHO MÁS AMPLIO DE NUESTRO ENTORNO MEDIOAMBIENTAL Y ECOLÓGICO. SE HA HECHO POSIBLE, EN NUESTROS DÍAS, CONTAR CON UNA GRAN CANTIDAD DE INFORMACIÓN PROVENIENTE DE SENSORES REMOTOS PARA EL ESTUDIO DE COMUNIDADES VEGETALES, ECOSISTEMAS AGRÍCOLAS, FENÓMENOS ATMOSFÉRICOS Y GEOLÓGICOS, CONTAMINACIÓN Y AÚN SOBRE EL IMPACTO DE LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS EN LAS GRANDES CIUDADES Y SUS ALREDEDORES.

DENTRO DE TODO ESTE ÁMBITO DE APLICACIONES, UNA DE LAS ÁREAS QUE HA TENIDO MAYOR AUGE ES LA QUE SE REFIERE AL ESTUDIO, MONITOREO E INSPECCIÓN DE LOS RECURSOS DE TIPO VEGETAL. LA ADQUISICIÓN DE MEDIDAS DE REFLEXIÓN VEGETAL OBTENIDAS MEDIANTE AVIONES Ó SATÉLITES HAN TENIDO UNA IMPORTANCIA FUNDAMENTAL EN LA CLASIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE VEGETACIÓN AGRÍCOLA Ó NATURAL Y LA MAYOR PARTE DE LOS TRABAJOS REALIZADOS HAS

TA AHORA SE HAN ENFOCADO A LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE USO DE SUELO Y VEGETACIÓN POR MEDIO DE CLASIFICACIONES AUTOMATIZADAS DE LOS DATOS PROVENIENTES DE SENSORES TALES COMO: CÁMARAS FOTOGRÁFICAS, BARREDORES MULTIESPECTRALES, RADARES, LÁSER, ETC., LOS CUALES VAN MONTADOS EN DICHAS PLATAFORMAS DE OBSERVACIÓN.

HARALICK ET AL. (1970) HAN ENCONTRADO QUE EXISTEN MUCHAS DIFICULTADES PARA EXPLICAR LA CORRELACIÓN ENTRE LAS CARACTERÍSTICAS REFLECTIVAS DE LA VEGETACIÓN Y SUS ATRIBUTOS GENÉTICOS. ESTAS CARACTERÍSTICAS SON LAS QUE SE ANALIZAN AL HACER UNA DISCRIMINACIÓN ENTRE DIFERENTES CULTIVOS Ó POBLACIONES DE PLANTAS, POR LO QUE, LA INTERPRETACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE COSECHAS, AÚN DE TIPO EXPERIMENTAL, RESULTA UN TRABAJO ARDUO Y SUMAMENTE SUBJETIVO EN MUCHOS CASOS (CROWN, 1979; RYERSON ET AL. 1979). SIN EMBARGO, OTRAS INVESTIGACIONES RECIENTES (TUCKER ET AL. 1980; HORLER Y BARBER 1981; MACK, 1980) HAN DEMOSTRADO QUE EXISTE UNA RELACIÓN ÚTIL ENTRE LOS MENCIONADOS ATRIBUTOS DE LAS PLANTAS, LO CUAL PUEDE SER UTILIZADO SATISFACTORIAMENTE DESDE EL PUNTO DE VISTA AGRONÓMICO Y ECOLÓGICO A PESAR DE LA GRAN CANTIDAD DE FACTORES INVOLUCRADOS EN ESTA RELACIÓN.

OTRO DE LOS ASPECTOS QUE SE HAN ESTUDIADO ACERCA DE LAS PROPIEDADES ESPECTRALES DE LOS VEGETALES ES EL QUE ESTÁ RELACIONADO CON LA ESTIMACIÓN DE PRODUCTIVIDAD VEGETAL. EN

ESTE SENTIDO, UNA GRAN CANTIDAD DE INVESTIGACIONES SE HAN DESARROLLADO AUNQUE LOS RESULTADOS HAN SIDO SORPRESIVAMENTE VARIABLES (MACK, ET AL., 1977; CURRAN, 1981; GLICK, 1983; JAGUES Y CIHLAR, 1979; TUCKER, 1977; TUCKER, ET AL., 1980). LO QUE FINALMENTE SE TRATA DE EXPLOTAR EN CUANTO A LA ESTIMACIÓN DE PRODUCTIVIDAD, ES EL HECHO DE QUE LA ENERGÍA RECIBIDA POR EL SENSOR PROPORCIONA INFORMACIÓN INDIRECTA ACERCA DE LA CANTIDAD DE CLOROFILA Y CONSECUENTEMENTE NOS PERMITE HACER INFERENCIAS ACERCA DEL RENDIMIENTO POTENCIAL DE LOS CULTIVOS.

ESTOS DOS ASPECTOS, ESTIMACIÓN DE PRODUCTIVIDAD E IDENTIFICACIÓN DE CULTIVOS, HAN SIDO ABORDADOS TRADICIONALMENTE A TRAVÉS DEL MÁS VIEJO DE LOS SISTEMAS DE PERCEPCIÓN REMOTA, LA FOTOGRAFÍA AÉREA. ESTE SISTEMA HA VENIDO SIENDO DESPLAZADO POR OTROS SISTEMAS DE TELEDETECCIÓN QUE OFRECEN MAYOR VERSATILIDAD EN CUANTO AL USO DE SISTEMAS COMPUTARIZADOS. SIN EMBARGO, AÚN QUEDAN BASTANTES POSIBILIDADES DE EMPLEO DE SENSORES FOTOGRÁFICOS Y A PESAR DEL AVANCE DE LOS SISTEMAS DE SATÉLITE, LA FOTOGRAFÍA AÉREA NO HA SIDO DESECHADA DEL TODO (CURRAN, 1981).

TOMANDO EN CUENTA ESTO ÚLTIMO, EL OBJETIVO PRIMARIO DE ESTE ESTUDIO FUE INVESTIGAR LA FACTIBILIDAD DE USAR FOTOGRAFÍA AÉREA DE BAJA ALTITUD PARA IDENTIFICAR CULTIVOS FORRAJEROS Y DETERMINAR LA RELACIÓN ENTRE RENDIMIENTO DE COSECHAS

Y DENSIDAD ÓPTICA DE PELÍCULA INFRARROJO FALSO-COLOR MEDIANTE
UN PROCESO DE TRANSFORMACIÓN ANALÓGICO A DIGITAL.

A N T E C E D E N T E S

ESTE ESTUDIO FUE INICIADO DURANTE LA ESTANCIA DEL AUTOR EN EL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES SOBRE RECURSOS DE LA TIERRA (LAND RESOURCES RESEARCH INSTITUTE) Y CONSTITUYE UNO MÁS DE LA SERIE DE TRABAJOS QUE SE HAN VENIDO REALIZANDO EN LA GRANJA CENTRAL DE EXPERIMENTACIÓN DE OTTAWA DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA DE CANADÁ (CENTRAL EXPERIMENTAL FARM, AGRICULTURE CANADA, OTTAWA) ACERCA DE DIFERENTES ASPECTOS DE INTERÉS AGRONÓMICO RELACIONADOS CON EL CULTIVO DE PLANTAS FORRAJERAS, ESPECIALMENTE ALFALFA Y ALGUNOS MÉTODOS DE PERCEPCIÓN REMOTA.

LOS PRINCIPALES ASPECTOS QUE SE HAN ESTUDIADO EN LOS TRABAJOS PRECEDENTES AL ACTUAL HAN SIDO:

1. DESCRIPCIÓN DE UN MÉTODO DE EVALUACIÓN DE LA CANTIDAD DE DAÑO DE INVIERNO Y RECUPERACIÓN DE COBERTURA VEGETAL EN ALFALFARES, POR MEDIO DEL ANÁLISIS DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS (WALLEN ET AL., 1977).

2. DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA QUE PERMITIERA DIFERENCIAR ALFALFA, PASTOS Y ÁREAS SIN VEGETACIÓN A TRAVÉS DEL BARRIDO ELECTRÓNICO DE IMÁGENES. DETERMINACIÓN DEL DAÑO CAUSADO POR HONGOS FITOPATÓGENOS ASI COMO EL ANÁLISIS DE LAS CAUSAS DE DECAIMIENTO DE ALFALFA DEBIDAS A INVASIÓN DE MALEZAS,

COMPETENCIA Y ENFERMEDADES (BASU ET AL., 1978).

3. UTILIZACIÓN DE ALGUNAS TÉCNICAS DE PERCEPCIÓN REMOTA PARA IDENTIFICAR Y DIFERENCIAR ENTRE CULTIVOS DE ALFALFA Y OTROS TIPOS DE CULTIVOS FORRAJEROS, TANTO EN CAMPOS EXPERIMENTALES COMO EN CULTIVARES DESARROLLADOS EN GRANJAS PARTICULARES (BASU, 1981). ESTA ÚLTIMA INVESTIGACIÓN ES, DE HECHO, EL ANTECEDENTE INMEDIATO DEL PRESENTE ESTUDIO, SIENDO ÉSTE EL COMPLEMENTO CUANTITATIVO DEL PRIMERO YA QUE SE ENSAYARON TÉCNICAS DE DENSITOMETRÍA ANALÍTICA QUE NO HABÍAN SIDO EMPLEADAS EN EL TRABAJO PRELIMINAR.

PROPIEDADES ESPECTRALES DE LAS PLANTAS.

UN ASPECTO ESENCIAL PARA LA INTERPRETACIÓN DE DATOS OBTENIDOS POR SENSORES REMOTOS A DISTANCIA ES LA ADECUADA COMPRENSIÓN DEL FENÓMENO DE INTERACCIÓN DE LAS DIFERENTES ESTRUCTURAS FOLIARES CON LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA.

AL ANALIZAR LAS PROPIEDADES ESPECTRALES DE LAS PLANTAS, GATES, ET AL., (1965) HACEN UN ANÁLISIS EXHAUSTIVO DE LOS FACTORES INVOLUCRADOS EN EL FENÓMENO DE LA INTERACCIÓN DE LA ENERGÍA RADIANTE CON LA ESTRUCTURA FOLIAR. EL ELEMENTO DE MÁS PESO ES, EN PRIMER LUGAR, LA MORFOLOGÍA INTERNA DE LAS HOJAS. SIN EMBARGO, SE TIENEN QUE TOMAR EN CONSIDERACIÓN LOS

SIGUIENTES COMPONENTES FOLIARES RELACIONADOS CON LA INTERACCIÓN DE LA LUZ: 1) LA ESTRUCTURA CELULAR DE LA HOJA COMPARADA CON LA LONGITUD DE ONDA DE LA LUZ; 2) LAS DIMENSIONES DE LOS GRANA, LOS CUALES MIDEN ENTRE 0,5 MICRAS Y 0,05 MICRAS PARA LA LONGITUD Y EL DIÁMETRO RESPECTIVAMENTE, Y QUE PRODUCEN UNA CONSIDERABLE DISPERSIÓN DE LUZ EN EL CLOROPLASTO; 3) LA ABUNDANCIA DE CLOROPLASTOS EN LA PARTE SUPERIOR DE LAS HOJAS; 4) LA CELULOSA DE LAS PAREDES CELULARES, LOS SOLUTOS EN AGUA DENTRO DE LAS CÉLULAS (IONES, ÁCIDOS NUCLÉICOS Y PROTEINAS), LOS ESPACIOS AÉREOS INTERCELULARES Y LOS PIGMENTOS DENTRO DE LOS CLOROPLASTOS. TODO LO CUAL CONSTITUYE EN CONJUNTO, FACTORES Y ELEMENTOS DE IMPORTANCIA ÓPTICA YA QUE LA ENERGÍA RADIANTE INTERACCIONA CON LA ESTRUCTURA FOLIAR PRINCIPALMENTE POR ABSORCIÓN Y DISPERSIÓN.

EN CUANTO A LOS PARÁMETROS ÓPTICOS DE LAS ESPECIES ESTUDIADAS EN ESTE TRABAJO NO EXISTE UNA DESCRIPCIÓN PRECISA EN LA LITERATURA. ÚNICAMENTE LA ALFALFA HA SIDO ESTUDIADA DESDE EL PUNTO DE VISTA ÓPTICO CON CIERTA PROFUNDIDAD (TUCKER, ET AL., 1980).

EN EL CASO DE LOS PASTOS FORRAJEROS SE HAN PUBLICADO ALGUNOS ESTUDIOS SOBRE BOUTELOUA GRACILIS H.B.K.LAG. (PEARSON Y MILLER, 1972; SMITH Y OLIVER, 1972; TUCKER, 1979), PERO EN CUANTO A BROMUS, PHLEUM Ó DACTYLIS SOLAMENTE HAY ALGU-

NAS REFERENCIAS AISLADAS DE SUS PROPIEDADES ESPECTRALES (VAN HECKE, ET AL., 1980).

EL ÚNICO TRABAJO QUE SIRVE COMO REFERENCIA GENERAL EN ESTE SENTIDO ES EL QUE REALIZARON GAUSMAN ET AL. (1973) QUIENES DESCRIBIERON ALGUNOS PARÁMETROS ÓPTICOS Y GEOMÉTRICOS RELACIONADOS CON LAS DIFERENTES ESTRUCTURAS DEL MESÓFILO FOLIAR DE 11 GÉNEROS BOTÁNICOS REPRESENTATIVOS.

SI BIEN LAS PLANTAS ABSORBEN EFICIENTEMENTE EN LAS REGIONES VISIBLE Y ULTRAVIOLETA DEL ESPECTRO, EN LA REGIÓN DEL INFRARROJO CERCANO LA REFLEXIÓN Y TRANSMISIÓN DE LAS HOJAS SE INCREMENTA SIGNIFICATIVAMENTE. ESTE HECHO ES DE ESENCIAL IMPORTANCIA YA QUE LOS SENSORES REMOTOS REGISTRAN LA REFLEXIÓN DE IRRADIACIÓN.

SIN EMBARGO, LAS PROPIEDADES REFLECTIVAS DE LA VEGETACIÓN EN EL INFRARROJO CERCANO NO SON LAS MISMAS PARA LAS HOJAS AISLADAS QUE PARA LAS CUBIERTAS VEGETALES. EN OTRAS PALABRAS, LAS PROPIEDADES ESPECTRALES DE LAS PLANTAS INDIVIDUALES NO PUEDEN EXPLICAR SATISFACTORIAMENTE LA REFLEXIÓN DE UNA CUBIERTA VEGETAL YA QUE UNA CUBIERTA ES UNA COMPOSICIÓN DE SUELO ILUMINADO Y SOMBREADO ASI COMO UNA ESTRUCTURA DE SUPERFICIES FOLIARES CON ORIENTACIONES ANGULARES VARIADAS (RICHARDSON ET AL., 1975). COLWELL (1973) HA CONCLUIDO QUE LAS PRO-

PIEDADES ESPECTRALES DE LAS CUBIERTAS VEGETALES SON UNA FUNCIÓN DE: 1) LA TRANSMISIÓN FOLIAR; 2) EL ÁREA Y LA GEOMETRÍA FOLIAR; 3) LOS COMPONENTES NO VEGETATIVOS DE LA CUBIERTA; 4) LAS CARACTERÍSTICAS DEL FONDO REFLECTIVO; 5) EL ÁNGULO SOLAR; Y 6) EL ÁNGULO VISUAL.

LA INTERACCIÓN DE LA LUZ CON LAS CUBIERTAS VEGETALES SE HA EXPLICADO EN BASE A LA TEORÍA DE KUBELKA Y MUNK (ALLEN Y RICHARDSON, 1968). EL MODELO DE K-M ESTÁ BASADO EN UN SISTEMA DE ECUACIONES DIFERENCIALES ACOPLADAS QUE EXPLICAN LA TRANSMISIÓN Y REFLEXIÓN DE LUZ DIFUSA A TRAVÉS DE UN MEDIO DISPERSOR, SIENDO ENTONCES UNA REPRESENTACIÓN BI-PARAMÉTRICA QUE CONSERVA LAS VENTAJAS DE LA LEY DE BEER Y QUE ADEMÁS PROVEE UN VALOR TEÓRICO DE REFLEXIÓN QUE PUEDE SER VERIFICADO MEDIANTE EXPERIMENTACIÓN (ALLEN Y BROWN, 1965; KUMAR, 1972).

AÚN CUANDO EL MODELO DE K-M HA SIDO CONSIDERADO COMO LA MÁS SATISFACTORIA REPRESENTACIÓN DEL PASO DE LUZ POR UN MEDIO DISPERSOR, SE HAN DESARROLLADO MODELOS DE TIPO ESTOCÁSTICO QUE PRESENTAN CIERTAS VENTAJAS SOBRE EL MODELO DETERMINÍSTICO DE K-M. SMITH Y OLIVER (1972) GENERARON UN MODELO DE MONTE-CARLO QUE MANEJA A LA CUBIERTA VEGETAL COMO UN ENSAMBLAJE ESTADÍSTICO DE ELEMENTOS FOLIARES Y QUE PERMITE ANALIZAR MEZCLAS DE MULTICOMPONENTES VEGETATIVOS, CON DIFERENTES CARACTERÍSTICAS FOLIARES Y ESPECTRALES, DE UNA FORMA MUCHO MÁS ADE

CUADA EN COMPARACIÓN CON EL MODELO DE K-M. DE ESTE MODO, EL MODELO DE SMITH Y OLIVER ES MÁS REALISTA EN ALGUNOS ASPECTOS PUESTO QUE FUE DESARROLLADO PARA AMBIENTES NATURALES (PRADERAS) DONDE EXISTEN UNA GRAN CANTIDAD DE FACTORES QUE SE PRESENTAN, GENERALMENTE, EN SITUACIONES DE DETECCIÓN A DISTANCIA.

ESTIMACIÓN DE PRODUCTIVIDAD Y FOTOGRAFÍA AÉREA.

TRABAJOS RECIENTES HAN DEMOSTRADO LA FACTIBILIDAD DE PODER ESTIMAR LA BIOMASA VEGETAL E INFERIR PRODUCTIVIDAD POR MEDIO DE LA DETECCIÓN REMOTA DE LA REFLEXIÓN MULTIESPECTRAL DIRECCIONAL DE LAS CUBIERTAS VEGETALES (CURRAN, 1981; CURRAN, ET AL., 1981; CURRAN, 1980).

BASÁNDOSE EN EXPERIENCIAS CON DIFERENTES TIPOS DE VEGETACIÓN, CURRAN (1981) DISCUTIÓ EL GRADO DE COVARIACIÓN ENTRE REFLEXIÓN BIDIRECCIONAL Y BIOMASA POR ENCIMA DEL SUSTRATO, ENCONTRANDO QUE ÉSTA CORRELACIÓN DEPENDE DE DOS RELACIONES INTERCONECTADAS. LA PRIMERA ES LA RELACIÓN EXISTENTE ENTRE REFLEXIÓN BIDIRECCIONAL E ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR Y LA SEGUNDA ES AQUELLA QUE SE REFIERE A LA ASOCIACIÓN ENTRE ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR Y BIOMASA. ESPECÍFICAMENTE, LA REFLEXIÓN BIDIRECCIONAL PUEDE SER RELACIONADA A LA BIOMASA SÓLO CUANDO EL ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR ESTÁ LINEALMENTE RELACIONADO CON LA BIOMASA,

PARA LA PRESENTE INVESTIGACIÓN SE CUMPLE SATISFACTO-
RIAMENTE LA CONDICIÓN ANTES MENCIONADA YA QUE LOS FORRAJES,
ESPECIALMENTE LOS PASTOS, SON VEGETALES NO-LEÑOSOS DE Poca
BIOMASA EN LOS CUALES EL MAYOR PORCENTAJE DE BIOMASA TOTAL ES
APORTADA POR LAS HOJAS. CONSECUENTEMENTE, LA RELACIÓN DE LA
REFLEXIÓN BIDIRECCIONAL CON LA BIOMASA Y CON EL ÍNDICE DEL
ÁREA FOLIAR, TENDRÁ LA MISMA FORMA EN AMBOS CASOS.

POR OTRA PARTE, TUCKER (CIT. POS: CURRAN, 1981)
MENCIONA QUE CUANDO LOS SUELOS NO SON EXCESIVAMENTE CLAROS U
OSCUROS, SI LA VEGETACIÓN NO ES SENESCENTE, SI EL ÁNGULO VI-
SUAL ES VERTICAL, ADEMÁS DE QUE EL ÁNGULO SOLAR SEA CONSTANTE
Y EL ACIMUT CONOCIDO; ENTONCES, LA FORMA DE LA RELACIÓN EN-
TRE CUALQUIER COCIENTE DE REFLEXIÓN BIDIRECCIONAL E ÍNDICE DE
ÁREA FOLIAR SERÁ CURVILÍNEA CON UNA ASÍNTOTA CUANDO LA VEGETA-
CIÓN CUBRA COMPLETAMENTE EL SUSTRATO DE FONDO. ASIMISMO,
CURRAN (1981) HA POSTULADO QUE PARA ALGUNOS LUGARES DONDE EL
ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR ESTÁ POR ARRIBA DEL RANGO 0 - 3, LA RE-
LACIÓN ENTRE LA REFLEXIÓN BIDIRECCIONAL Y BIOMASA SERÁ DE TI-
PO LINEAL. UNA VEZ MÁS, LOS FACTORES DE INTERÉS PARA EL ANÁ-
LISIS DE LAS CUBIERTAS VEGETATIVAS DEL PRESENTE ESTUDIO FUE-
RON MANTENIDOS DENTRO DE UN RANGO RAZONABLEMENTE CONSTANTE A
EXCEPCIÓN DEL COMPONENTE ACIMUTAL QUE NO FUE CONOCIDO NI RE-
GISTRADO.

RECIENTEMENTE SE HAN DESARROLLADO MÉTODOS FOTOGRÁFICOS DE EVALUACIÓN DE LA REFLEXIÓN BIDIRECCIONAL (LILLESAND Y KIEFER, 1979; CURRAN, 1980). ESTOS MÉTODOS, SI BIEN NO PERMITEN OBTENER UNA MEDIDA ABSOLUTA DE LA REFLEXIÓN BIDIRECCIONAL, PERMITEN AL MENOS, MEDICIONES RELATIVAS DE GRAN UTILIDAD, PRINCIPALMENTE PORQUE SE PUEDE HACER USO DE LAS CÁMARAS FOTOGRÁFICAS COMO RADIÓMETROS DE BASTANTE PRECISIÓN (CURRAN, ET AL., 1981). LA FUNDAMENTACIÓN DE ESTOS MÉTODOS ESTÁ BASADA EN EL PRINCIPIO DE QUE EL TONO DE LA IMAGEN FOTOGRÁFICA ES UN INDICADOR DE LA REFLEXIÓN SUPERFICIAL (CURRAN, 1980).

UNA INVESTIGACIÓN CLAVE PARA EL DESARROLLO DEL PRESENTE ESTUDIO ES EL QUE REALIZARON SMEDES ET AL. (1972) YA QUE EN ÉL DEMOSTRARON LA POSIBILIDAD DE PODER EMPLEAR LOS TRES ESTRATOS DE LA PELÍCULA DE COLOR INFRARROJO COMO UN ESPECTRÓMETRO DE 3 BANDAS. EL ANÁLISIS RADIOMÉTRICO QUE HICIEROS ESTOS AUTORES ESTÁ BASADO EN LA SUPOSICIÓN DE QUE LA EXPOSICIÓN EFECTIVA $E(x,y)$ PUEDE SER OBTENIDA MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD ANALÍTICA EN EL PUNTO (x,y) PARA CUALQUIER ESTRATO. ASIMISMO, ESTABLECIERON UN TEOREMA QUE INDICA QUE EN AUSENCIA DE UN CONOCIMIENTO EXACTO DE CUALQUIER ESPECTRO, UNA FUNCIÓN CONSTANTE CONSTITUYE UNA SOLUCIÓN APROPIADA. EN ESTE SENTIDO, LA PELÍCULA DE COLOR INFRARROJO HACE POSIBLE APROXIMAR LA RADIACIÓN ESPECTRAL POR MEDIO DE TRES VÍAS O FUNCIONES CONSTANTES EN 3 SUBREGIONES DEL INTERVALO DE RADIACIÓN ESPEC-

TRAL AL CUAL SEAN SENSIBLES LOS CORRESPONDIENTES ESTRATOS DE LA PELÍCULA.

EN CUANDO A LAS CARACTERÍSTICAS Y LIMITACIONES DE LA PELÍCULA AÉREA DE COLOR INFRARROJO, ÉSTAS HAN SIDO EXTENSIVAMENTE ESTUDIADAS POR FRITZ (1977), FLEMING (1982) Y UNA GRAN CANTIDAD DE ESPECIFICACIONES SE DAN EN EL MANUAL DE INFRARROJO (INFRARED HANDBOOK 1978, CAP.14). SIN EMBARGO, CABE DESTACAR QUE LA PELÍCULA DE COLOR INFRARROJO ESTÁ HECHA CON UNA EMULSIÓN DE 3 CAPAS PARECIDAS A LA PELÍCULA DE COLOR NORMAL, CON LA DIFERENCIA DE QUE EN LA PELÍCULA DE INFRARROJO LOS COLORANTES ESTÁN ASIGNADOS A LOS ESTRATOS EN UN ESQUEMA SIMPLE DE TRASLACIÓN DE COLOR.

LA SENSIBILIDAD ESPECTRAL DE CADA ESTRATO ESTÁ CONTROLADA POR MEDIO DE UNA ADECUADA SENSIBILIZACIÓN DE TINTES QUE EN EL CASO DE LA PELÍCULA DE COLOR INFRARROJO CORRESPONDEN A LA BANDA DEL VERDE, LA DEL ROJO Y LA DEL INFRARROJO CERCAÑO.

O B J E T I V O S

LAS INVESTIGACIONES ANTECEDENTES EN ESTA ÁREA PERMITEN TENER UN SOPORTE TEÓRICO Y EXPERIMENTAL PARA EL DESARROLLO DE LA PRESENTE TESIS, ESPECIALMENTE EN CUANTO AL EMPLEO DE TECNOLOGÍA CUYA UTILIDAD PRÁCTICA ES INNEGABLE.

EN ESTE SENTIDO, LOS OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN QUE SE PLENTEAN PARA ESTE TRABAJO SON:

- A) DETERMINAR Y ANALIZAR LA RELACIÓN ENTRE DENSIDAD ÓPTICA FOTOGRAFICA, COMO UNA MEDIDA RELATIVA DE REFLEXIÓN Y LA BIOMASA HÚMEDA DE COSECHAS, COMO UNA MEDIDA DEL RENDIMIENTO DE CULTIVOS.
- B) APLICAR Y DESARROLLAR LAS TÉCNICAS FOTOGRAFICAS DE DENSITOMETRÍA ANALÍTICA EN LA ESTIMACIÓN DE RENDIMIENTO DE CULTIVOS FORRAJEROS A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE IMÁGENES AÉREAS DE BAJA ALTITUD.
- C) IDENTIFICAR DIFERENTES TIPOS DE CULTIVOS POR MEDIO DE TÉCNICAS MICRODENSITOMÉTRICAS.

MATERIAL Y METODOS

PARCELAS EXPERIMENTALES.

LAS PARCELAS FUERON SEMBRADAS CON CULTIVOS PUROS Y MIXTOS DE ALFALFA (MEDICAGO SATIVA L.), TRÉBOL (TRIFOLIUM REPENS L.), BROMO (BROMUS MOLLIS L.), FLEO (PHLEUM PRATENSE L.) Y DÁCTILO (DACTYLIS GLOMERATA L.).

LAS TASAS DE SIEMBRA (KG/HA) SE REALIZARON SEGÚN LAS RECOMENDACIONES DE PRODUCCIÓN DE COSECHAS DADAS POR EL MINISTERIO DE AGRICULTURA (BASU, 1981) SIENDO DICHAS TASAS DE SIEMBRA LAS SIGUIENTES:

ALFALFA	13.44
TRÉBOL	6.72
BROMO	11.20
FLEO	8.96
DÁCTILO	8.96
ALFALFA Y TRÉBOL	11.2/4.48
ALFALFA Y BROMO	11.2/8.96
ALFALFA Y FLEO	11.2/6.72
ALFALFA Y DÁCTILO	11.2/6.72
ALFALFA, TREBOL Y DÁCTILO	8.96/2.24/8.96

CADA PARCELA MEDÍA 6.1 POR 6.1 M, Y FUE REPLICADA ALEATORIAMENTE DENTRO DEL ÁREA DE ESTUDIO. SE DEJÓ SUFICIENTE ESPACIO ENTRE PARCELAS (APROXIMADAMENTE 4.6 M) PARA PODER DISTINGUIR LAS FRONTERAS DE CADA UNO DE LOS CULTIVOS EN LA FOTOGRAFÍA AÉREA.

LA DISTANCIA ENTRE SURCOS PARA ALFALFA, BROMO Y DACTILO FUE DE 30 CM, PARA TRÉBOL FUE DE 40 CM Y PARA FLEO DE APROXIMADAMENTE 45 CM.

LOS TIPOS DE SUELO QUE SE ENCUENTRAN EN LA GRANJA EXPERIMENTAL Y QUE HAN SIDO DETERMINADOS EN ESTUDIOS PREVIOS (GALWAY, COM. PERS.) SON CUATRO Y COMPRENDEN; DOS DE LA SERIE GRENVILLE (FRANCO Y FRANCO-ARENOSO), EL GRANBY (FRANCO-ARENOSO) Y EL KARS (GRAVOSO-FRANCO-ARENOSO). LOS RANGOS DE DRENAJE Y PH VAN DE POBRE A BUENO Y DE 6 A 7.9 RESPECTIVAMENTE.

FOTOGRAFÍA AÉREA.

SE UTILIZÓ UN HELICÓPTERO JET-RANGER C-47 VOLANDO A UNA ALTITUD ENTRE 122-137 M. EL HELICÓPTERO ESTABA EQUIPADO CON UNA CÁMARA VINTEN DE LONGITUD FOCAL Y FORMATO DE 76 MM Y 70 MM RESPECTIVAMENTE. LA ESCALA DE LAS TRANSPARENCIAS FUE DE 1:1600 Y DE 1:1804 DEPENDIENDO DE LAS FLUCTUACIONES EN AL-

TITUD DE VUELO A TRAVÉS DE LAS DIFERENTES TOMAS. LAS FOTOGRAFÍAS FUERON VERTICALES EN TODOS LOS CASOS.

SE UTILIZÓ COMO SENSOR REMOTO LA PELÍCULA INFRARROJA FALSO COLOR CIR-2443 KODAK JUNTO CON UN FILTRO AMARILLO WRATTEN NÚMERO 12 (MENOS AZUL). EL PROCESO Y REVELADO DE LA PELÍCULA FUE EL E-4 DE KODAK (JOHN DOWNER, COM. PERS.) Y FUE REALIZADO POR EL DEPARTAMENTO BIO-GRÁFICO DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA CANADIENSE (BIO-GRAPHICS DEPT. HEADQUARTERS, CEF, OTTAWA).

LAS CARACTERÍSTICAS DE LA PELÍCULA AEROCHROME INFRARROJA 2443 SON: PRESENCIA DE TRES ESTRATOS DE FALSO COLOR INVERSO CON RESOLUCIÓN MODERADA Y SU BASE ES DE TIPO ESTAR (IR-HANDBOOK). LA SENSIBILIDAD ESPECTRAL DE LA PELÍCULA VA DE 550 NM A 900 NM USANDO FILTRO AMARILLO, COMO SE PUEDE OBSERVAR EN LAS FIGURAS 1 Y 2.

LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LA FIGURA 3 SON LAS CURVAS OBTENIDAS DEL ANÁLISIS SENSITOMÉTRICO DE LA PELÍCULA UTILIZADA. PUESTO QUE HAY TRES ESTRATOS EN LA PELÍCULA DE COLOR, HAY TRES CURVAS SENSITOMÉTRICAS LAS CUALES REPRESENTAN LA RESPUESTA DE LA PELÍCULA EN LA REGIÓN ESPECTRAL A LA CUAL ESE ESTRATO ES SENSITIVO.

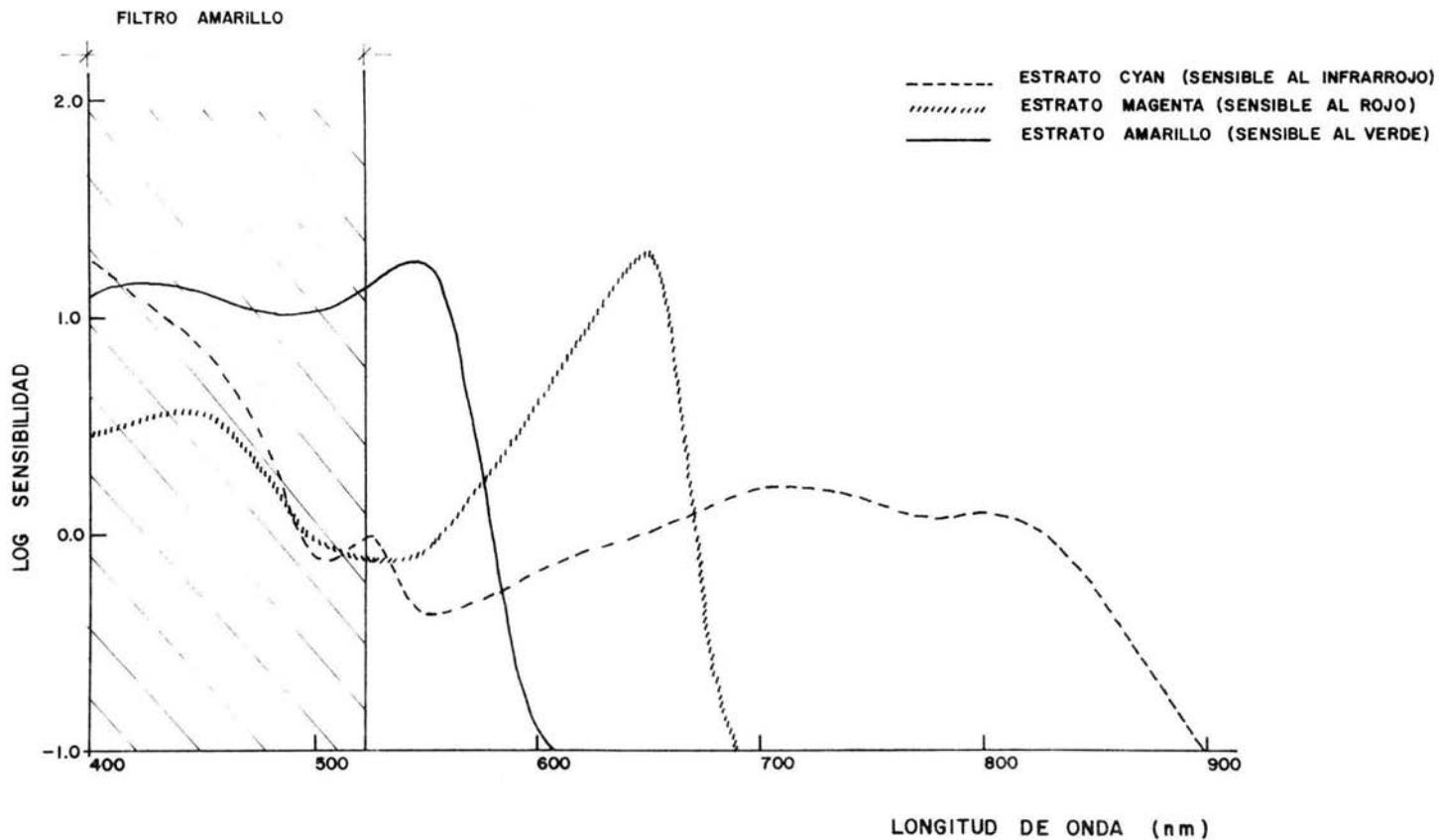


FIG. I SENSIBILIDAD ESPECTRAL DE LA PELICULA INFRARROJA KODAK AEROCHROME TIPO 2443

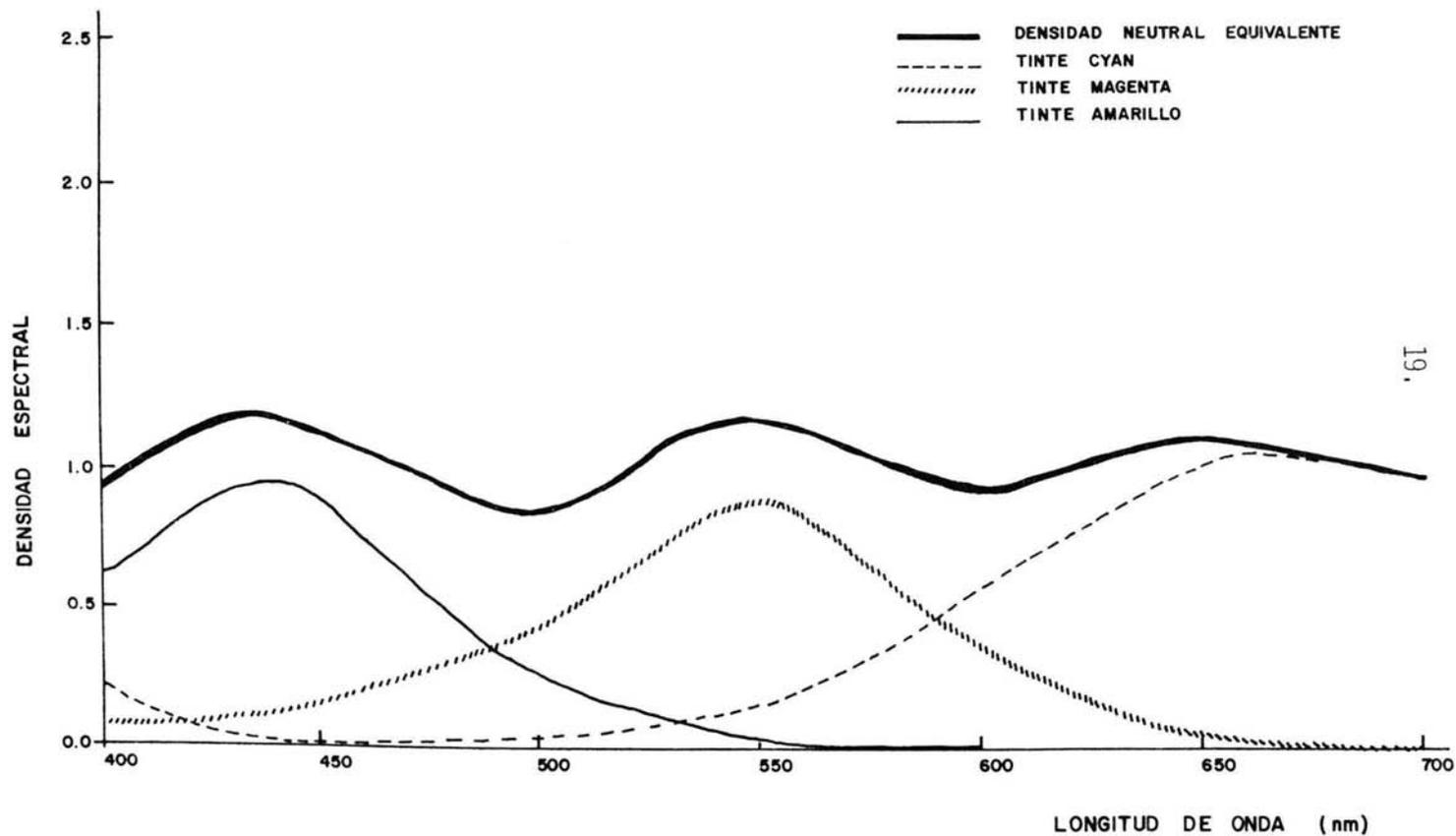


FIG. 2 DENSIDADES ESPECTRALES DE LOS TINTES DE LA PELICULA INFRARROJA KODAK AEROCHROME TIPO 2443 CON SU DENSIDAD NEUTRAL EQUIVALENTE

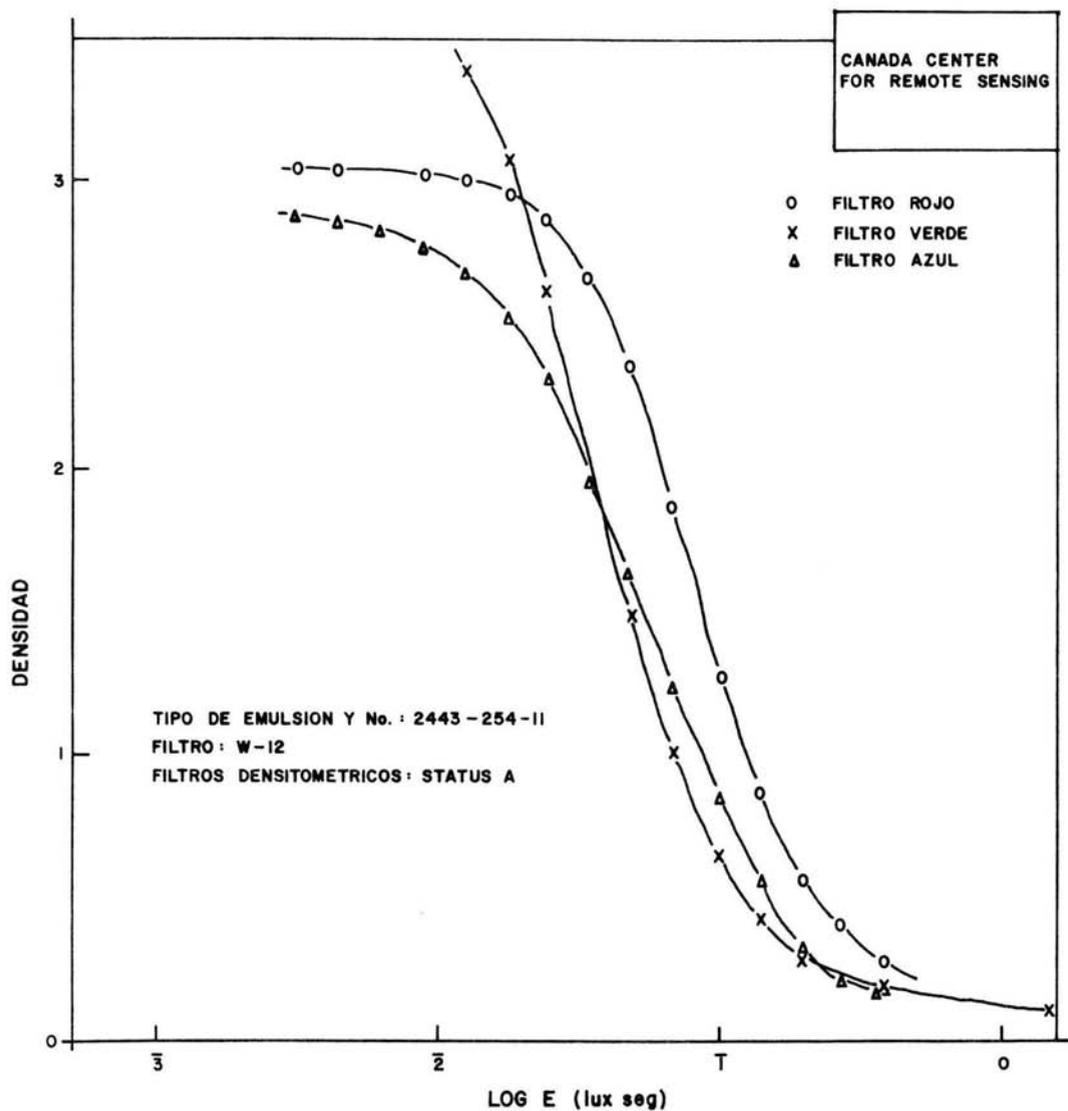


FIG. 3 CURVAS SENSITOMETRICAS DE LA PELICULA 2443

EL FILTRO WRATTEN NÚM. 12 ES EL MÁS COMUNMENTE EMPLEADO CON LA PELÍCULA 2443. LAS CARACTERÍSTICAS MÁS IMPORTANTES DEL FILTRO W-12 SON QUE EN LONGITUDES DE ONDA DE APROXIMADAMENTE 500 NM EL FILTRO CASI NO TIENE TRANSMITANCIA, PROTEGIENDO DE RADIACIÓN AZUL Y ULTRAVIOLETA A LA PELÍCULA. LA OTRA PROPIEDAD DE LOS FILTROS DE GELATINA ES QUE TRANSMITEN LIBREMENTE EN LA REGIÓN ESPECTRAL DEL INFRARROJO CERCANO (FRITZ, 1977).

LOS PRINCIPIOS OPERACIONALES DE MANEJO DE LA PELÍCULA 2443 JUNTO CON EL FILTRO W-12 SE DETALLAN EN LA TABLA 1.

CALIBRACIÓN.

LA RELACIÓN ENTRE REFLEXIÓN Y TONO FOTOGRÁFICO DE UNA IMAGEN ES UNA RELACIÓN COMPLEJA QUE INVOLUCRA DIVERSOS FACTORES TANTO PARA EL SENSOR COMO PARA LA ESCENA QUE ESTA SIENDO ESTUDIADA O INTERPRETADA. SIEVERS (1977) RESUME TODOS ESTOS FACTORES EN LA ECUACIÓN SIGUIENTE:

$$IT = K Y \text{ LOG } (E T_A R E') T_0 F_2 \tau$$

DONDE:

IT = TONO DE LA IMAGEN

K = PARÁMETRO DE REVELADO Y EMULSIÓN

TABLA 1. Principios operacionales de la película Aeorocroma Infrarroja 2443.

REGION ESPECTRAL	UV	AZUL	VERDE	ROJO	INFRARROJO
SENSIBILIDAD DE LA PELICULA IR	UV	AZUL	VERDE	ROJO	INFRARROJO
SENSIBILIDAD CON FILTRO AMARILLO			VERDE	ROJO	INFRARROJO
COLOR DE LOS ESTRATOS DE TINTE			AMARILLO	MAGENTA	CYAN
COLORES RESULTANTES EN LA FOTOGRAFIA		AZUL	VERDE	ROJO	

(SEGUN FRITZ, 1977)

Y	=	GAMA
E	=	ILUMINACIÓN DEL SOL Y DEL CIELO
T _A	=	TRANSMISIÓN ATMOSFÉRICA
R	=	REFLEXIÓN DEL OBJETO
E'	=	ILUMINACIÓN POR NEBLINA ATMOSFÉRICA
T _O	=	TRANSMISIÓN DEL EJE ÓPTICO DEL LENTE
F ₂	=	DISMINUCIÓN DE LUZ
T	=	TIEMPO DE EXPOSICIÓN

PARA DISMINUIR LA VARIABILIDAD ENTRE DIFERENTES PELÍCULAS ASÍ COMO ENTRE TIEMPOS DISTINTOS PARA DATOS MULTIESPECTRALES Y MULTITEMORALES EXISTEN VARIOS MÉTODOS DE CALIBRACIÓN QUE PERMITEN MEDIR LAS DIFERENCIAS REALES DE REFLEXIÓN ESPECTRAL, ELIMINANDO LA MAYORÍA DE LOS FACTORES DESCRITOS EN LA RELACIÓN DE SIEVERS (CURRAN, 1980).

EN EL PRESENTE CASO, EL PROCESO DE CALIBRACIÓN CONSISTIÓ EN TOMAR UN OBJETIVO DEL TERRENO COMO REFERENCIA DENTRO DE LA ESCENA (DOWNER, COM. PERS.). DICHO OBJETIVO DEL TERRENO ERA UN CUADRADO DE 9,81 cm² QUE ESTABA SITUADO A UN LADO DE LAS PARCELAS DE PRUEBA COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA 4. POR LO QUE RESPECTA AL SUBSECUENTE PROCESO, SE SIGUIÓ EL MÉTODO DESCRITO POR GLICK (1983) PARA LA EVALUACIÓN DE DE VARIABILIDAD Y LA ELECCIÓN DE COCIENTES DE BANDAS SE HIZO SIGUIENDO EL CRITERIO DE CURRAN (1980) Y EL REPORTE DE VAN HECKE, ET AL. (1980).

DENSITOMETRÍA.

SE SIGUIERON DOS TIPOS DE PROCESOS DE ANÁLISIS DENSITOMÉTRICOS. EL PRIMERO CONSISTIÓ EN EL EMPLEO DE UN DENSITÓMETRO MANUAL DE PUNTO (MACBETH TD-504) Y EN EL SEGUNDO SE UTILIZÓ UN MICRODENSITÓMETRO DE BARRIDO DE SUPERFICIE PLANA (PDS-PERKIN ELMER).

EN EL PRIMER CASO SE UTILIZARON FILTROS STATUS A, CUYAS CARACTERÍSTICAS SE MUESTRAN EN LA FIGURA 5. EL TIPO DE APERTURA DEL DENSITÓMETRO FUE CIRCULAR Y SU DIÁMETRO FUE DE 1 MM LO CUAL ERA EQUIVALENTE A UN ÁREA DE MUESTREO DE - - - 2,56 M² - 3,24 M² DEPENDIENDO DE LAS FLUCTUACIONES DE ALTITUD. CON ESTE MÉTODO SE OBTUVIERON 3 MEDIDAS DE DENSIDAD ÓPTICA PARA CADA UNO DE LOS PUNTOS DE MUESTREO A NIVEL DE CAMPO, LOS CUALES ERAN FÁCILMENTE LOCALIZABLES EN LAS TRANSPARENCIAS. PARA CADA TRANSPARENCIA Y POR CADA FILTRO SE PROMEDIARON LOS VALORES DE DENSIDAD PARA CADA CULTIVO.

EN EL SEGUNDO CASO, SE UTILIZARON LOS FILTROS NÚM. 92 (ROJO); NÚM. 93 (VERDE); Y NÚM. 94 (AZUL) DE LOS CUALES SE DAN LAS CARACTERÍSTICAS EN LA FIGURA 5. EL TAMAÑO DEL PIXEL FUE DE 100 MICRAS X 25 MICRAS Y DE 50 X 50 MICRAS, LO CUAL EQUIVALE A TAMAÑOS DE ÁREA DE MUESTREO ENTRE 64 Y 81 CM². DE ESTE PROCESO SE OBTUVIERON UNA SERIE DE ARCHIVOS PARA CADA

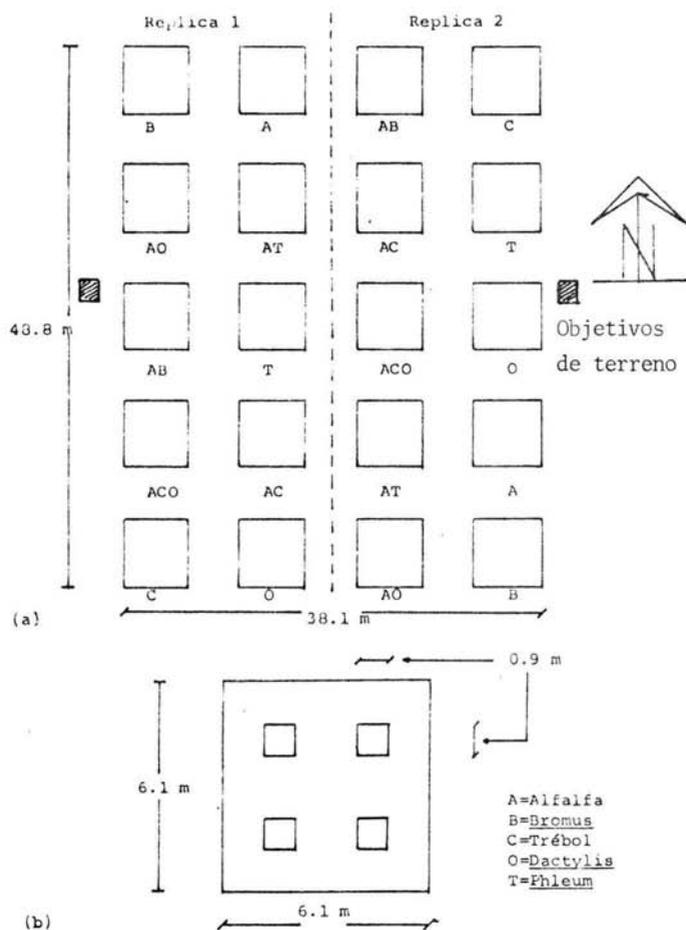
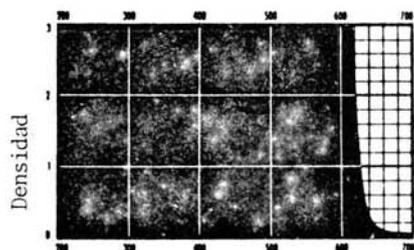
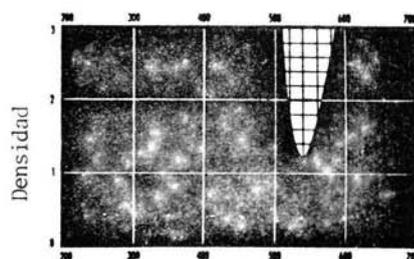


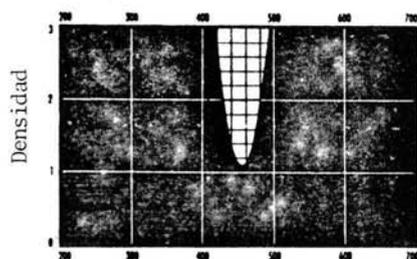
Figura 4. a) Disposición de las parcelas en el terreno y localización de los objetivos de terreno.
b) Ubicación de los puntos de muestreo en cada parcela.



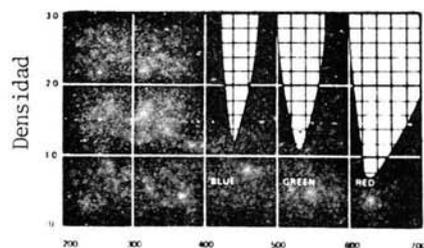
Longitud de onda (nm)
Filtro rojo (92)



Longitud de onda (nm)
Filtro verde (93)



Longitud de onda (nm)
Filtro azul (94)



Longitud de onda (nm)
Status A.

Figura 5. Características de los filtros densitométricos.

PARCELA Y CON LOS TRES FILTROS EN CADA UNA DE LAS IMÁGENES, LOS CUALES FUERON GRABADOS EN CINTA MAGNÉTICA DE 9 CANALES Y 800 BPI, PARA SU ANÁLISIS POR COMPUTADORA. POSTERIORMENTE SE HIZO UN REGRABADO DE LA CINTA PARA HACERLA COMPATIBLE CON EL SISTEMA HP-3000 DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA-XOCHIMILCO (UAM-X).

UNA CUBIERTA VEGETAL DENSA SE DISTINGUE DE UNA VEGETACIÓN ESCASA PORQUE LA PRIMERA ABSORBE MUCHO MÁS RADIACIÓN INCIDENTE EN EL INTERVALO DE 0,6-0,7 MICRAS DE LONGITUD DE ONDA. ASIMISMO, LA REFLEXIÓN EN EL RANGO DE 0,8-1,1 MICRAS DE LONGITUD DE ONDA ES MUCHO MAYOR PARA UNA VEGETACIÓN ABUNDANTE QUE PARA UNA CUBIERTA MUY POBRE. ÉSTO ES, A MAYOR CANTIDAD DE MATERIA VERDE PRESENTE EN UNA PARCELA, MENOR SERÁ LA REFLEXIÓN DE LA ENERGÍA EN EL INTERVALO 0,6-0,7 MICRAS Y MAYOR PORCENTAJE DE REFLEXIÓN SE OBSERVARÁ EN EL INTERVALO 0,8-1,1 MICRAS DE LONGITUD DE ONDA.

TOMANDO EN CONSIDERACIÓN LOS SUPUESTOS ANTERIORES Y SABIENDO QUE CADA UNO DE LOS ESTRATOS DE LA PELÍCULA DE INFRA ROJO TIENE UNA SENSIBILIDAD CARACTERÍSTICA A LA RADIACIÓN EN DIFERENTES LONGITUDES DE ONDA, SE PLANTEA QUE:

- 1) CUALQUIER CAMBIO EN LAS CARACTERÍSTICAS REFLECTIVAS DE LA VEGETACIÓN PUEDE SER MEDIDO A TRAVÉS DE LA

DENSIDAD ÓPTICA DE LAS IMÁGENES FOTOGRÁFICAS.

- II) TENIENDO TRES ESTRATOS DE PELÍCULA SENSIBLES A TRES DIFERENTES INTERVALOS DE LONGITUD DE ONDA ES POSIBLE, A TRAVÉS DE FILTROS DENSITOMÉTRICOS, TENER INFORMACIÓN ACERCA DE LAS VARIACIONES REFLECTIVAS DE LA VEGETACIÓN BAJO ESTUDIO.

- III) EXISTE UNA RELACIÓN FUNCIONAL ENTRE EL COCIENTE DE REFLEXIÓN BIDIRECCIONAL GENERADO A PARTIR DE DENSITOMETRÍA ANALÍTICA Y EL RENDIMIENTO DE LAS COSECHAS DE CULTIVOS FORRAJEROS, TOMANDO EN CONSIDERACIÓN QUE LAS MEDICIONES DE DENSIDAD ÓPTICA FOTOGRÁFICA SON UNA EXPRESIÓN DE LAS PROPIEDADES REFLECTIVAS DE LA VEGETACIÓN.

DE ESTA FORMA SE INTENTÓ APLICAR UN COCIENTE DE REFLEXIÓN BIDIRECCIONAL GENERADO DEL ANÁLISIS DE LOS ESTRATOS DE LA PELÍCULA DE COLOR INFRARROJO. EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN EN BASE A LAS CAPAS DE PELÍCULA SE ESQUEMATIZA EN LA FIGURA 6.

TODO ESTE PROCESO DE CONVERSIÓN ANALÓGICO (IMAGEN) DIGITAL (VALORES DE DENSIDAD), TIENE POR OBJETIVO, EXPLOTAR EL HECHO DE QUE FRECUENTEMENTE SE PUEDE DERIVAR MÁS INFORMACIÓN

DE LAS FOTOGRAFÍAS POR MEDIO DE LAS DENSIDADES DE LAS CAPAS QUE DE LA SIMPLE INSPECCIÓN VISUAL (FRITZ, 1977). SIN EMBARGO, LAS CARACTERÍSTICAS ESPECTRALES DE LOS FILTROS DENSITOMÉTRICOS DEBERÁ SER TAL QUE LA RESPUESTA DEL DENSITÓMETRO ES COINCIDENTE CON LOS MÁXIMOS DE LAS LONGITUDES DE ONDA DONDE EXISTE LA SEPARACIÓN MÁS GRANDE ENTRE LAS ABSORCIONES DE TINTE.

PROCEDIMIENTOS ESTADÍSTICOS.

PUESTO QUE EL OBJETIVO DE ESTE TRABAJO ES DETERMINAR LA RELACIÓN ENTRE DENSIDAD ÓPTICA Y RENDIMIENTO DE COSECHA, ADEMÁS DE ESTIMAR EL RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS, EL PROCEDIMIENTO ESTADÍSTICO QUE SE EMPLEÓ FUE EL DE AJUSTE DE ECUACIONES A DATOS EXPERIMENTALES POR EL MÉTODO DE MÍNIMOS CUADRADOS. ESTE MÉTODO ES AQUEL DONDE SE CONOCEN TANTO LA FORMA DE LA ECUACIÓN A SER AJUSTADA COMO LA FORMA DE LA DISTRIBUCIÓN DEL ERROR ALEATORIO EN LAS OBSERVACIONES. EL OBJETIVO ES ENCONTRAR UN CONJUNTO PARTICULAR, LLAMADO DE MÁXIMA VEROSIMILITUD, QUE MAXIMIZA EL PRODUCTO DE LAS PROBABILIDADES DE TODAS LAS OBSERVACIONES PARA UN CONJUNTO DADO DE VALORES DE LAS CONSTANTES CUANDO LA DISTRIBUCIÓN DE LAS ALTERACIONES ALEATORIAS ES UNA DISTRIBUCIÓN NORMAL.

LOS SUPUESTOS CLAVES DEL MÉTODO DE MÍNIMOS CUADRADOS SON:

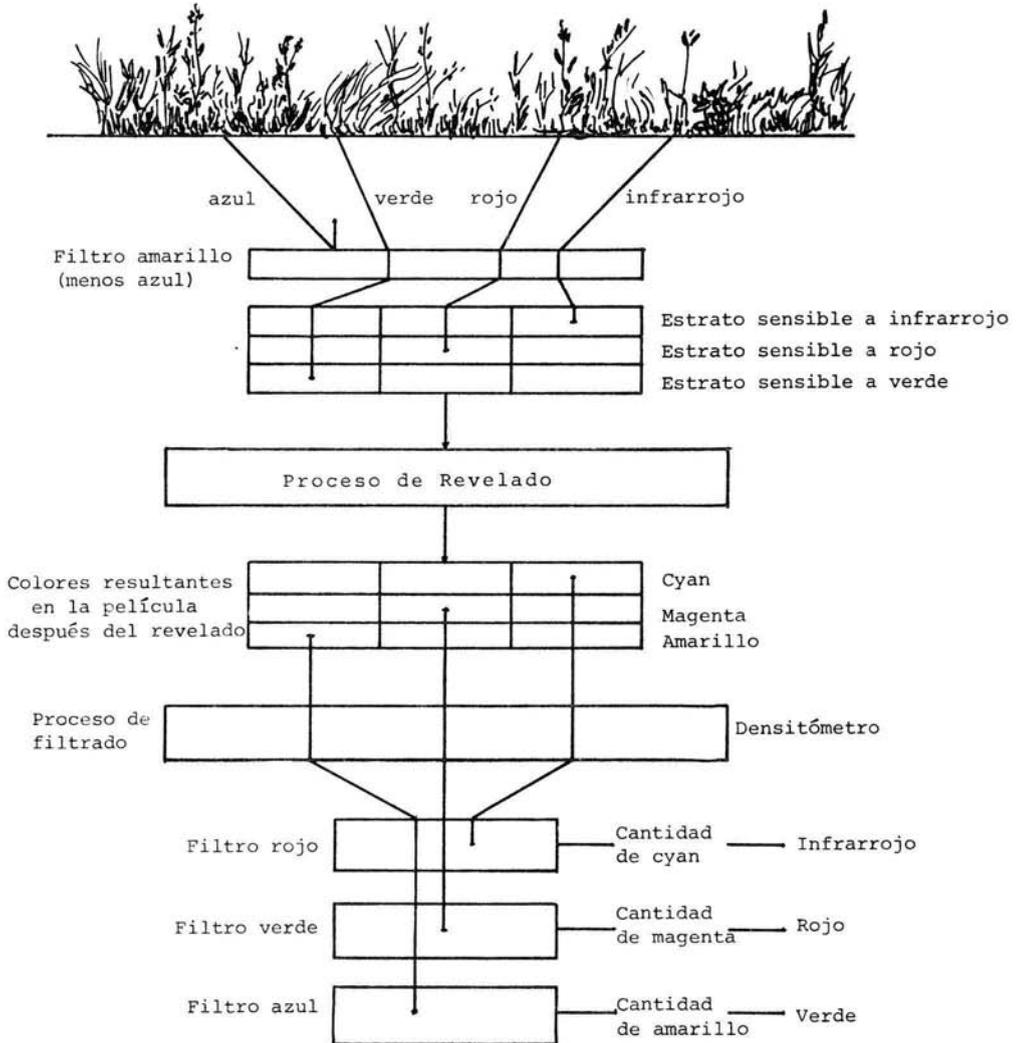


Figura 6. Representación esquemática del proceso de análisis densitométrico.

- I) SE HA ELEGIDO CORRECTAMENTE LA FORMA DE LA ECUACIÓN.
- II) LOS DATOS SON UNA MUESTRA REPRESENTATIVA DEL RANGO COMPLETO DE SITUACIONES ACERCA DE LAS CUALES SE DESEA GENERALIZAR.
- III) LAS OBSERVACIONES EN LA VARIABLE DEPENDIENTE NO ESTÁN CORRELACIONADAS. ÉSTO ES, QUE EXISTE INDEPENDENCIA ESTADÍSTICA CUANDO LA DISTRIBUCIÓN ES GAUSSIANA.
- IV) TODAS LAS OBSERVACIONES SOBRE LA VARIABLE DEPENDIENTE TIENEN LA MISMA, AUNQUE DESCONOCIDA, VARIANZA.
- V) TODAS LAS CONDICIONES (NIVELES) DE LAS VARIABLES INDEPENDIENTES SON CONOCIDAS SIN ERROR.
- VI) LA DISTRIBUCIÓN DEL ERROR INCONTROLADO ES NORMAL.

EN ESTE ESTUDIO LOS DATOS OBTENIDOS FUERON SOMETIDOS A ANÁLISIS DE REGRESIÓN MEDIANTE LAS SUBROUTINAS SCATTERGRAM Y REGRESSION DEL PAQUETE ESTADÍSTICO SPSS DEL SISTEMA HP-3000 DE LA UAM-X.

EL ANÁLISIS DE DISCRIMINANTES ES UN PROCEDIMIENTO

ESTADÍSTICO MULTIVARIADO QUE TRATA CON EL PROBLEMA DE DIFERENCIAR ENTRE DOS Ó MÁS CLASES DE OBJETOS (SWAIN, 1979; LODWICK, 1979; WACKER Y LANDGREBE, 1972). UNA APLICACIÓN FUNDAMENTAL DEL ANÁLISIS DE DISCRIMINANTES ES QUE, DADA LA EXISTENCIA DE POBLACIONES DIFERENCIABLES Y MUESTRAS ALEATORIAS DE INDIVIDUOS DE CADA POBLACIÓN, SE DESARROLLA UNA REGLA Ó ÍNDICE QUE UBIQUE INDIVIDUOS DESCONOCIDOS EN LA POBLACIÓN CORRECTA CON UN MÍNIMO DE ERROR. EL ÍNDICE USADO ES UNA COMBINACIÓN LINEAL DE VARIABLES QUE MIDEN CARACTERÍSTICAS SOBRE LAS CUALES SE SUPONE QUE LAS POBLACIONES SON DIFERENTES. LOS VALORES CRÍTICOS PARA ESTE ÍNDICE SE ESTABLECEN DE TAL FORMA QUE SI EL VALOR DEL ÍNDICE CAE EN UN RANGO ESPECIFICADO, EL INDIVIDUO SERÁ CLASIFICADO DENTRO DE LA POBLACIÓN CORRECTA.

SI LAS POBLACIONES SON SIMILARES CON RESPECTO A SUS MATRICES DE MEDIAS Y COVARIANZAS, ENTONCES LA DISCRIMINACIÓN RESULTARÁ MUY POBRE DEBIDO AL ENCIMAMIENTO DE LAS POBLACIONES.

EN ESTE SENTIDO SE EMPLEARON DOS PROGRAMAS DE DISCRIMINANTES. UNO FUE EL BMDP Y OTRO EL LISA, AMBOS DEL SISTEMA HP-3000. ESTOS PROGRAMAS UTILIZAN UN CRITERIO DE CLASIFICACIÓN BASADO EN LO QUE SE DENOMINA DISTANCIA CUADRADA GENERALIZADA, ADEMÁS, TIENEN RUTINAS DE PASOS SUCESIVOS HACIA ADELANTE Y HACIA ATRÁS E INCORPORAN, OPCIONALMENTE, EL USO DE PROBABILIDADES A PRIORI.

RESULTADOS

PERFILES TEMPORALES.

SE OBTUVIERON LOS PROMEDIOS DE LAS DENSIDADES ÓPTICAS DE CADA CULTIVO PURO DURANTE LAS TEMPORADAS DE COSECHA EN CADA AÑO (TABLAS 2-4). LAS REPRESENTACIONES GRÁFICAS DE ESOS DATOS MUESTRAN LA VARIACIÓN TEMPORAL DE LA DENSIDAD ÓPTICA QUE CARACTERIZA EL DESARROLLO DE CADA COSECHA (FIGURAS 7-9),

LAS FIGURAS 10 Y 11 MUESTRAN EL CAMBIO EN RENDIMIENTO PARA TODOS LOS CULTIVOS DURANTE LOS TRES AÑOS. COMO SE PUEDE OBSERVAR, TODOS LOS SITIOS MUESTRAN UN DECREMENTO EN RENDIMIENTO A LO LARGO DE LA TEMPORADA DE CORTE, ASÍ COMO EN EL TRANSCURSO DE LOS AÑOS. EN ESTE SENTIDO, LAS MEDIDAS DE DENSIDAD ÓPTICA RESPONDEN SATISFACTORIAMENTE A LOS CAMBIOS DE RENDIMIENTO DE LAS COSECHAS, MOSTRANDO UNA RELACIÓN NO-ESTÁTICA QUE PERMITE ANALIZAR LA DINÁMICA DEL CAMBIO DE CONCENTRACIÓN DE CLOROFILA EXPRESADA COMO CANTIDAD DE MATERIAL VEGETAL POR ENCIMA DEL SUSTRATO.

ES EVIDENTE QUE LA DENSIDAD ÓPTICA SIGUE CERCANAMENTE LAS VARIACIONES DE RENDIMIENTO. SIN EMBARGO, HACIENDO UNA COMPARACIÓN ENTRE LOS 3 FILTROS SE OBSERVA QUE, LOS FILTROS VERDE Y AZUL SON MUCHO MÁS SENSIBLES A LAS CANTIDADES DE BIO-

DENSIDAD OPTICA MEDIA Y DESVIACION ESTANDAR PARA 5 CULTIVOS
 FILTRO ROJO, 9 FECHAS

FECHAS	B	C	A	T	O
16-05-78	1.515 (0.209)	1.190 (0.029)	1.370 (0.030)	1.535 (0.050)	1.483 (0.040)
20-07-78	1.165 (0.065)	0.940 (0.075)	0.745 (0.010)	1.045 (0.033)	1.088 (0.051)
05-09-78	0.788 (0.112)	0.705 (0.006)	0.660 (0)	0.708 (0.025)	0.718 (0.046)
19-06-79	1.058 (0.323)	0.855 (0.066)	0.838 (0.110)	1.058 (0.146)	1.088 (0.074)
11-09-79	0.844 (0.147)	0.701 (0.047)	0.654 (0.021)	0.721 (0.050)	0.699 (0.067)
23-06-80	0.623 (0.154)	0.578 (0.039)	0.555 (0.075)	0.703 (0.068)	0.715 (0.057)
24-07-80	0.648 (0.085)	0.515 (0.017)	0.570 (0.024)	0.600 (0.028)	0.703 (0.038)
11-08-80	0.638 (0.075)	0.518 (0.017)	0.558 (0.013)	0.563 (0.026)	0.693 (0.047)
10-09-80	0.688 (0.021)	0.490 (0.014)	0.698 (0.030)	0.653 (0.079)	0.660 (0.073)

B=Bromus
 A=Alfalfa
 C=Trébol
 O=Doctylis
 T=Trifolium

TABLA 2.

TRANSMISIDAD OPTICA MEDIA Y DESVIACIONES ESTANDAR PARA 5 CUMULITOS
 FILTRO VERDE, 9FECHAS

FECHAS	B	C	A	T	O
16-05-78	2.278 (0.043)	2.303 (0.022)	2.340 (0.231)	2.055 (0.040)	2.180 (0.406)
20-07-78	1.608 (0.010)	1.965 (0.029)	2.050 (0.076)	1.428 (0.026)	1.765 (0.229)
05-09-78	1.550 (0.016)	1.928 (0.061)	1.973 (0.026)	1.028 (0.211)	1.580 (0.226)
19-06-79	2.013 (0.400)	2.120 (0.082)	1.985 (0.205)	1.998 (0.162)	1.895 (0.156)
11-09-79	1.298 (0.225)	1.655 (0.070)	1.655 (0.040)	1.458 (0.247)	1.078 (0.052)
23-06-80	1.683 (0.284)	1.568 (0.159)	1.560 (0.194)	1.680 (0.043)	1.718 (0.095)
24-07-80	1.395 (0.214)	1.558 (0.043)	1.445 (0.116)	1.438 (0.059)	1.385 (0.091)
11-09-80	1.535 (0.126)	1.665 (0.024)	1.633 (0.085)	1.528 (0.085)	1.600 (0.099)
10-09-80	1.453 (0.052)	1.625 (0.049)	1.350 (0.192)	1.358 (0.171)	1.255 (0.149)

B=Bromus
 C=Trébol
 A=Alfalfa
 T=Phleum
 O=Dactylis

TABLA 3.

DENSIDAD OPTICA MEDIA Y DESVIACIONES ESTANDAR PARA 5 CULTIVOS
FILERO AZUL, 9 FECHAS

FECHAS	B	C	A	T	O
16-05-78	2.163 (0.141)	1.998 (0.073)	1.983 (0.207)	1.853 (0.050)	2.220 (0.453)
20-07-78	1.200 (0.024)	1.583 (0.067)	1.615 (0.026)	1.103 (0.026)	1.363 (0.258)
05-09-78	1.295 (0.106)	1.645 (0.110)	1.643 (0.069)	1.053 (0.149)	1.340 (0.223)
19-06-79	2.108 (0.027)	1.993 (0.173)	1.903 (0.294)	1.915 (0.220)	1.920 (0.113)
11-09-79	0.958 (0.196)	1.095 (0.110)	1.040 (0.052)	1.013 (0.238)	0.798 (0.081)
23-06-80	1.368 (0.424)	1.260 (0.144)	1.223 (0.200)	1.358 (0.049)	1.508 (0.056)
24-07-80	1.015 (0.220)	1.100 (0.022)	1.085 (0.138)	1.053 (0.067)	0.940 (0.529)
11-08-80	1.218 (0.163)	1.375 (0.031)	1.385 (0.091)	1.248 (0.084)	1.430 (0.062)
10-09-80	1.063 (0.102)	1.180 (0.057)	1.100 (0.104)	1.013 (0.166)	1.050 (0.150)

B=Erasmus
C=Trébol
A=Alfalfa
T=Phleum
O=Dactylis

TABLA 4.

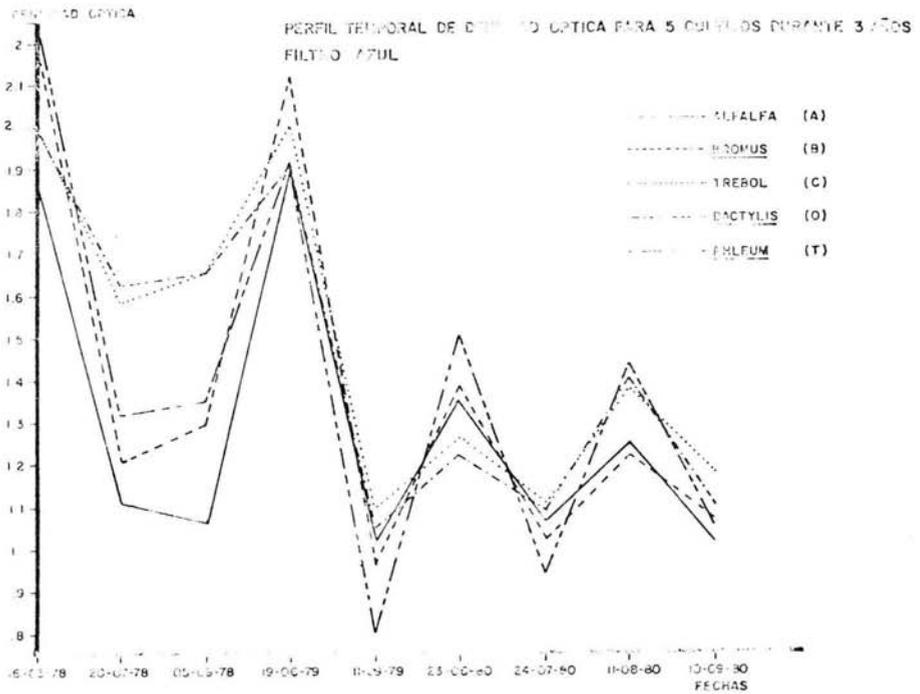


FIGURA 7.

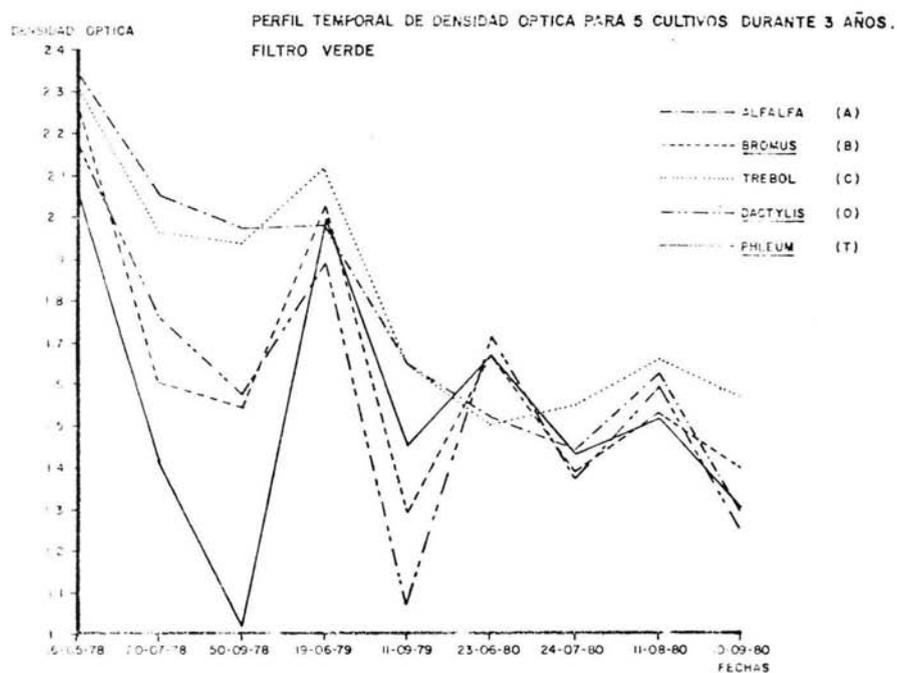


FIGURA 8.

PERFIL TEMPORAL DE DENSIDAD OPTICA PARA 5 CULTIVOS PUROS DURANTE 3 AÑOS
 FILTRO ROJO

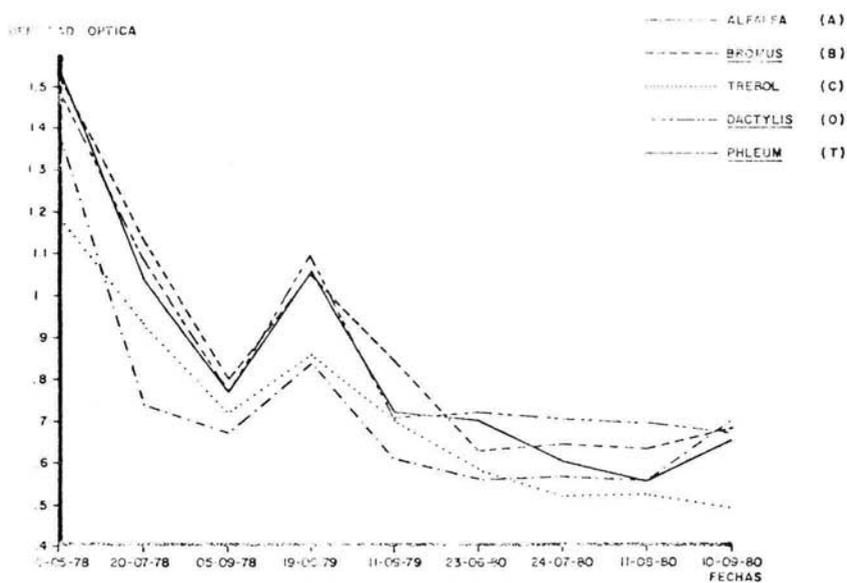


FIGURA 9.

FIG. 10. PERFIL TEMPORAL DE RENDIMIENTO PARA 5 CULTIVOS DURANTE 3 AÑOS

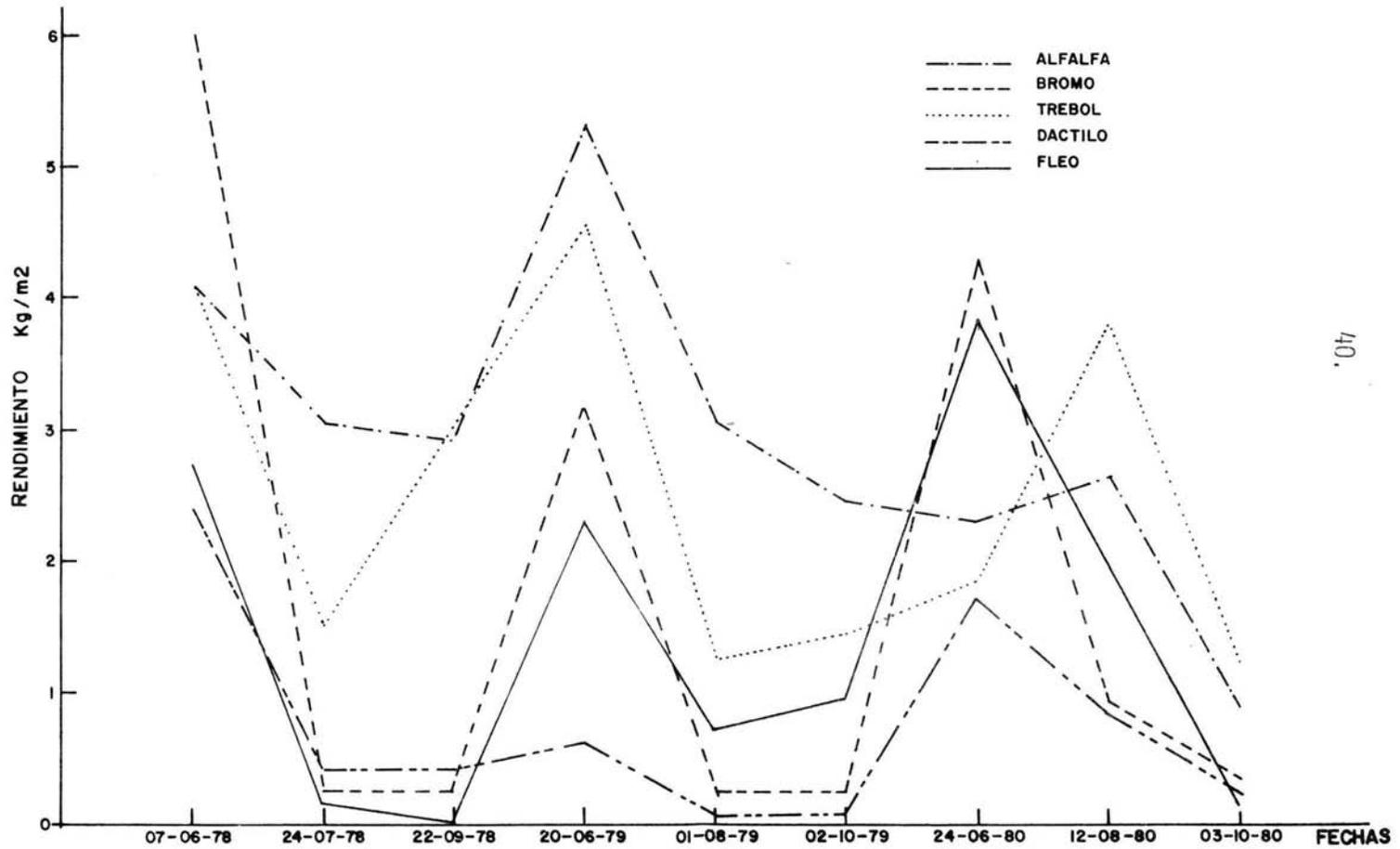
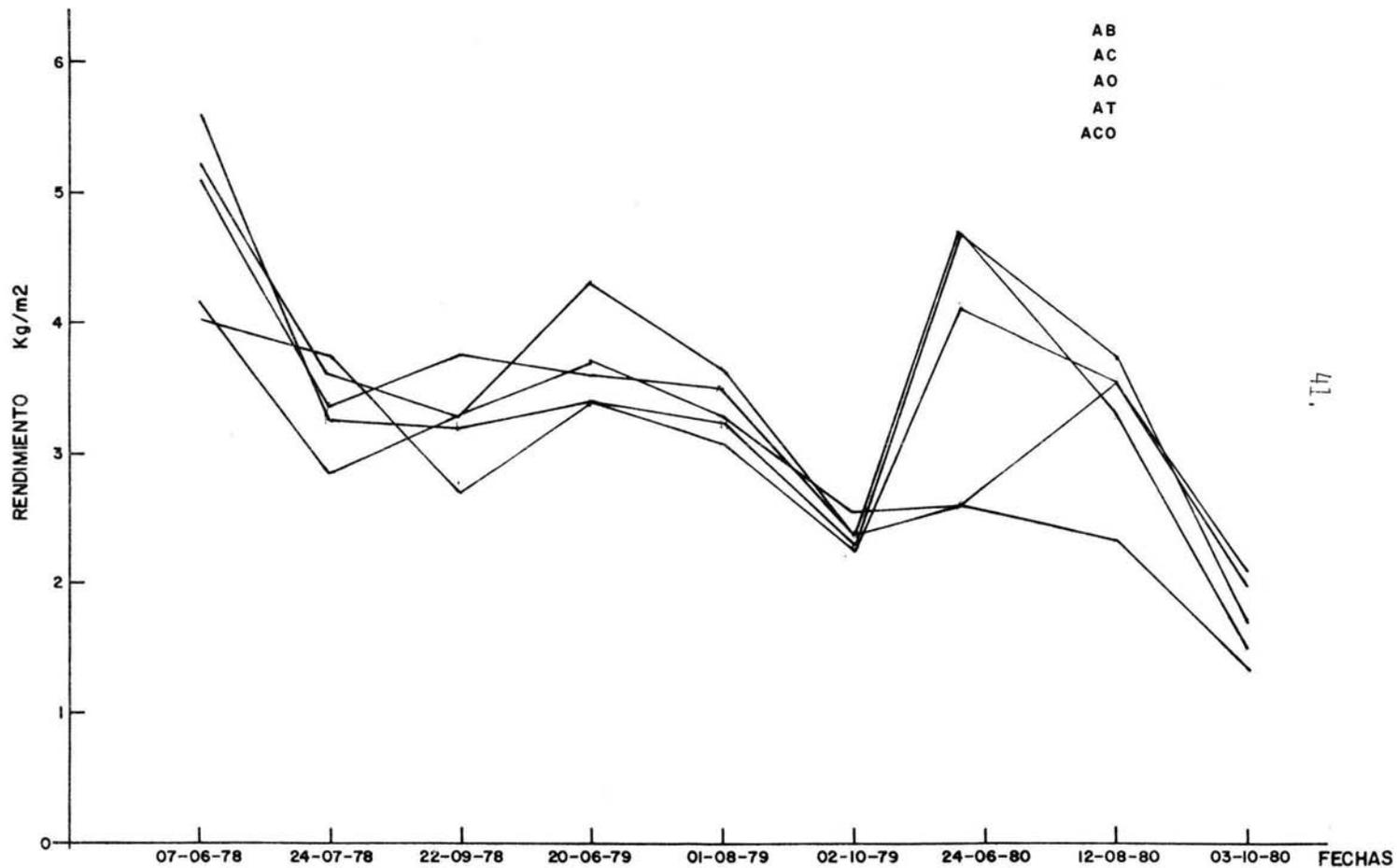


FIG. 11. PERFIL TEMPORAL DE RENDIMIENTO (Kg/m²) PARA 5 CULTIVOS DURANTE 3 AÑOS



MASA PRESENTES EN CADA UNO DE LOS CULTIVOS.

A NIVEL AGRONÓMICO SE HA REPORTADO EL DECREMENTO DE RENDIMIENTO QUE SE PRESENTA EN LA MAYORÍA DE LOS CULTIVOS FORRAJEROS (DEL POZO, 1970; McVICKER, 1974; VOISIN, 1974). SE HA OBSERVADO QUE, EN GENERAL, LOS FORRAJES DISMINUYEN SU RENDIMIENTO DE COSECHA EN EL TRANCURSO DE LOS AÑOS, LO CUAL FUE PATENTE EN EL PRESENTE TRABAJO,

COMO UN RASGO PARTICULAR, LOS CULTIVOS MIXTOS PRESENTAN UNA MENOR VARIACIÓN DE RENDIMIENTO (FIGURA 11), LO CUAL PUEDE SER EXPLICADO POR EL HECHO DE QUE EN ESOS CASOS EXISTEN MÁS COMPONENTES DENTRO DE LAS PARCELAS, SIENDO ESTO UN FACTOR DE MAYOR ESTABILIDAD DENTRO DEL SISTEMA.

ESTIMACIÓN DEL RENDIMIENTO.

LA CORRELACIÓN PRELIMINAR ENTRE CADA UNO DE LOS FILTROS Y EL RENDIMIENTO DE LAS COSECHAS DE CULTIVOS PUROS SE SUMARIZA EN LA TABLA 5.

SE CONSTRUYERON DOS COCIENTES DE REFLEXIÓN QUE INVOLUCRABAN A LOS TRES FILTROS DENSITOMÉTRICOS. DICHOS COCIENTES FUERON:

$$\frac{V}{R} + V \quad \text{Y} \quad \frac{A}{R} + A$$

DONDE:

V = FILTRO VERDE
 A = FILTRO AZUL
 R = FILTRO ROJO

POSTERIORMENTE, AL COCIENTE $\frac{V}{R} + V$ SE LE DENOMINÓ VAR 8 Y AL COCIENTE $\frac{A}{R} + A$ SE LE LLAMÓ VAR 10 PARA SU INTRODUCCIÓN AL PROGRAMA DE COMPUTADORA.

LOS RESULTADOS DE LA REGRESIÓN SOBRE EL RENDIMIENTO CON LAS VARIABLES ROJO, VERDE, AZUL, VAR8 Y VAR10 SE RESUMEN EN LAS TABLAS 6 A 10. AUNQUE LAS RELACIONES SON SIGNIFICATIVAS, EL COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN OBTENIDO NO ES SATISFACTORIO YA QUE NO EXPLICA, EN LA MAYORÍA DE LOS CASOS, NI EL 60% DE LA VARIACIÓN DE LA VARIABLE DEPENDIENTE.

SE PROCEDIÓ A HACER UN ANÁLISIS DE RESIDUALES PARA TENER UNA MEJOR APROXIMACIÓN AL TIPO DE RELACIÓN QUE EXISTIERA ENTRE LAS VARIABLES. LOS RESULTADOS SE MUESTRAN EN LAS FIGURAS 12-16. EN LA MAYORÍA DE LOS CASOS SE OBSERVÓ UN DEFECTO DE CURVATURA EN LAS GRÁFICAS DE RESIDUALES, POR LO QUE SE HICIERON TRANSFORMACIONES LOGARÍTMICAS SOBRE LOS VALORES DE LAS VARIABLES. LOS RESULTADOS SE SUMARIZAN EN LAS TABLAS 11-15 Y EN LAS FIGURAS 17-21.

MATRIZ DE CORRELACION PARA EL RENDIMIENTO
Y LA DENSIDAD OPTICA

Años	Cultivos	Filtro rojo	Filtro verde	Filtro azul
1978	A	.62	.75	.96
	B	.52	.89	.87
	C	.08	.41	.66
	D	.70	.83	.92
	E	.80	.96	.97
1979	A	.87	.80	.91
	B	.16	.59	.60
	C	.95	.99	.99
	D	.80	.96	.93
	E	.77	.53	.66
1980	A	-.60	.82	.66
	B	-.64	.29	.24
	C	.05	.77	.93
	D	-.09	.85	.75
	E	-.12	.76	.78

TABLA 5

TABLA 6. Resultados del análisis de regresión sobre el rendimiento de cosecha (Filtro verde = VERDE).

CULTIVO	r	r ²	Nivel de significación	Prueba de Durbin-Watson	No. de datos
ALFALFA	.73129	.53479	.00129	1.52162	16
BROMO	.62271	.38777	.00998	2.10471	16
TREBOL	.56028	.31391	.02938	1.78766	16
DACTILO	.74236	.55110	.00999	1.69223	16
FLEO	.62770	.39401	.00923	2.15090	16
PUROS	.64028	.40996	.00001	1.73185	79
MIXTOS	.58489	.34210	.00001	1.78105	80
PUROS Y MIXTOS	.62972	.39655	.00001	1.51221	159

TABLA 7. Resultados del análisis de regresión sobre el rendimiento de cosecha (Filtro azul = AZUL).

CULTIVO	r	r ²	Nivel de significación	Prueba de Durbin-Watson	No. de datos
ALFALFA	.78355	.61396	.00033	1.37364	16
BROMO	.55703	.31028	.02500	1.90639	16
TREBOL	.69306	.48034	.00417	1.54217	16
DACTILO	.74875	.56063	.00085	1.54012	16
FLEO	.56954	.32438	.02128	1.77107	16
PUROS	.58001	.33641	.00001	1.47337	79
MIXTOS	.61996	.38436	.00001	1.65782	80
PUROS Y MIXTOS	.55350	.30636	.00001	1.24027	159

TABLA 8. Resultados del análisis de regresión sobre el rendimiento de cosecha (Cociente (A/R)+ A = VAR8).

CULTIVO	r	r ²	Nivel de significación	Prueba de Durbin-Watson	No. de datos
ALFALFA	.65096	.42374	.00631	1.25410	16
BROMO	.61619	.37969	.01103	1.84684	16
TREBOL	.76540	.58583	.00088	1.48368	16
DACTILO	.71654	.51344	.00179	1.68314	16
FLEO	.69018	.47635	.00308	2.27771	16
PUROS	.66665	.44443	.00001	1.75795	79
MIXTOS	.46241	.21382	.00002	1.40218	80
PUROS Y MIXTOS	.62638	.39235	.00001	1.45649	159

TABLA 9. Resultados del análisis de regresión sobre el rendimiento de cosecha (Cociente (V/R)+ V = VAR10)

CULTIVO	r	r ²	Nivel de significación	Prueba de Durbin-Watson	No. de datos
ALFALFA	.43280	.18731	.09405	1.35539	16
BROMO	.64473	.41568	.00701	1.61201	16
TREBOL	.53500	.28623	.03988	1.69142	16
DACTILO	.66326	.43991	.00510	1.84319	16
FLEO	.69891	.48841	.00259	2.03420	16
PUROS	.65552	.42971	.00001	1.98881	79
MIXTOS	.16196	.02623	.15121	1.56175	80
PUROS Y MIXTOS	.61854	.38259	.00001	1.80102	159

TABLA 10. Resultados del análisis de regresión sobre el rendimiento de cosecha (Filtro rojo = ROJO).

CULTIVO	r	r ²	Nivel de significación	Prueba de Durbin-Watson	No. de datos
ALFALFA	.44429	.19739	.08469	.97935	16
BROMO	.29589	.08755	.26584	1.76867	16
TREBOL	.25500	.06503	.35902	1.91608	16
DACTILO	.49802	.24803	.04962	1.56952	16
FLEO	.19414	.03769	.47123	1.72390	16
PUROS	.16035	.02571	.15805	1.49722	79
MIXTOS	.53884	.29035	.00001	1.79900	80
PUROS Y MIXTOS	.15803	.02497	.04665	1.29865	159

FILE NONAME (CREATION DATE = 4/ 4/84)

***** PLOT: STANDARDIZED RESIDUAL (COND) ** FREQUENTLY USED FOR IDENTIFYING OUTLIERS *****

DEPENDENT VARIABLE: REND VARIABLE LIST 1
REGRESSION LIST 1

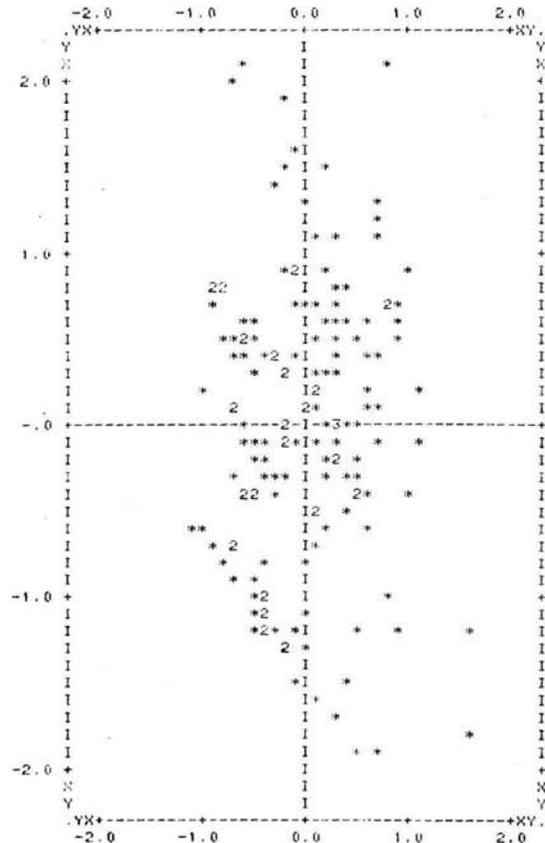


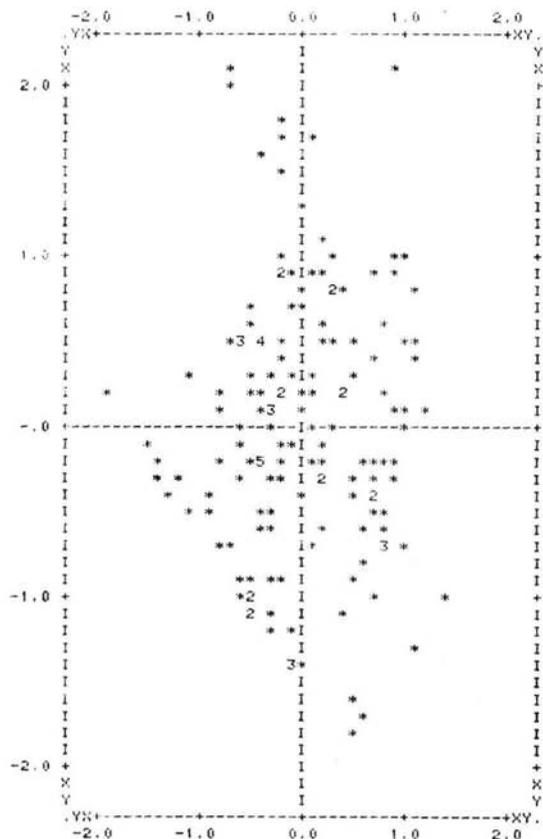
FIGURA 12. Gráfica de residuales de la variable de respuesta (REND).
Factor: Valores de densidad con el filtro azul (AZUL).

ROWS,COLUMNS Y: VALUES OUTSIDE (-3.0,3.0) ROWS,COLUMNS X: VALUES IN (-3.0,-2.05) OR (2.05,3.0)

FILE HONASE (CREATION DATE = 4/ 4/84)

***** PLOT: STANDARDIZED RESIDUAL (DOWN) -- PREDICTED STANDARDIZED DEPENDENT VARIABLE (UP) *****

DEPENDENT VARIABLE: REND VARIABLE LIST 1
REGRESSION LIST 1



ROWS,COLUMNS Y: VALUES OUTSIDE (-3.0,3.0)

ROWS,COLUMNS X: VALUES IN (-3.0,-2.05) OR (2.05,3.0)

FIGURA 13. Gráfica de residuales de la variable de respuesta (rend).
Factor: Valores de densidad con el filtro verde (VERDE).

FILE NONAME (CREATION DATE = 4/ 4/84)

***** PLOT: STANDARDIZED RESIDUAL (DOWN) -- PREDICTED STANDARDIZED DEPENDENT VARIABLE (UP) *****

DEPENDENT VARIABLE: REND

VARIABLE LIST 1
REGRESSION LIST 1

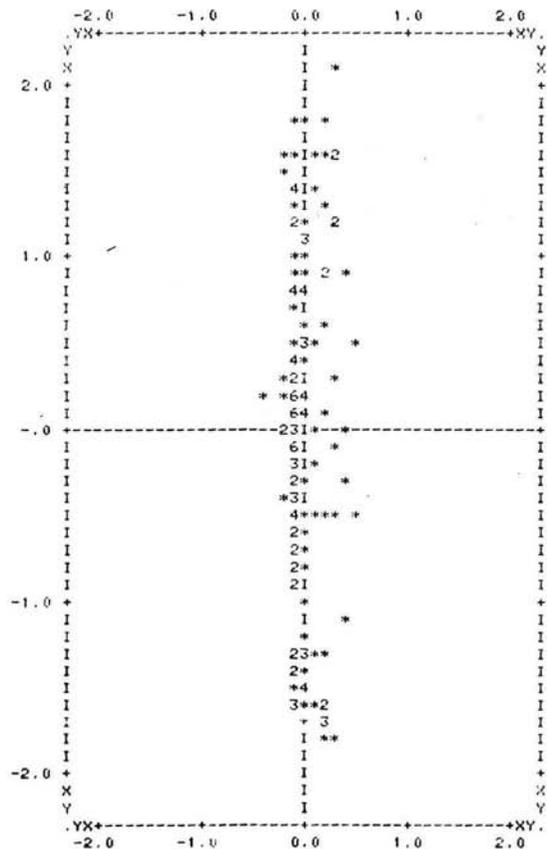


FIGURA 14. Gráfica de residuales de la variable de respuesta (REND).
Factor: Valores de densidad con el filtro rojo (ROJO).

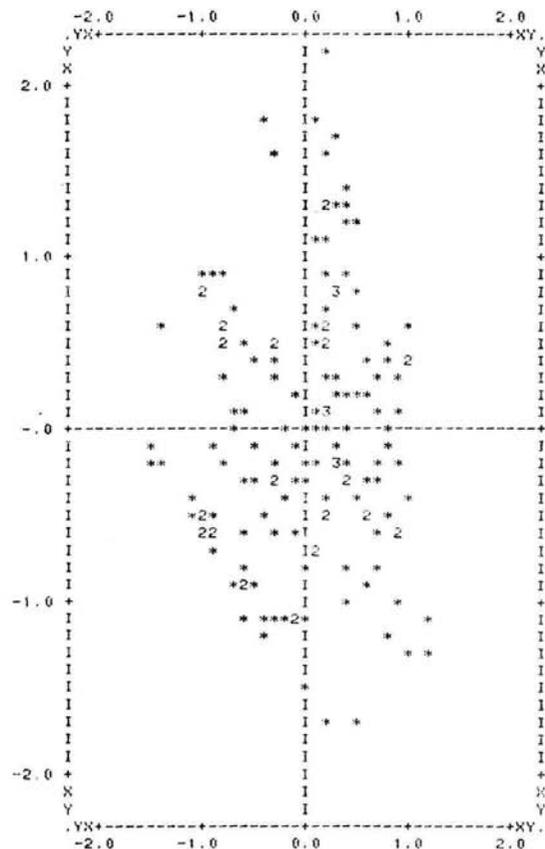
ROWS,COLUMNS Y: VALUES OUTSIDE (-3.0,3.0)

ROWS,COLUMNS X: VALUES IN (-3.0,-2.05) OR (2.05,3.0)

FILE NONAME (CREATION DATE = 4/ 4/84)

***** PLOT: STANDARD (D) RESIDUAL (Down) -- PLOT OF RESIDUALS VS. INDEPENDENT VARIABLE

DEPENDENT VARIABLE: REND VARIABLE LIST 1
REGRESSION LIST 1



ROWS,COLUMNS Y: VALUES OUTSIDE (-3.0,3.0)

ROWS,COLUMNS X: VALUES IN (-3.0,-2.05) OR (2.05,3.0)

FIGURA 15. Gráfica de residuales de la variable de respuesta (REND).
Factor: Valores del cociente (A/R)+ A (VAR8)

FILE NONAME (CREATION DATE = 4/ 4/84)

***** PLOT: STANDARDIZED RESIDUAL (DOWN) -- PREDICTED STANDARDIZED DEPENDENT VARIABLE (ACROSS) *****

DEPENDENT VARIABLE: REND VARIABLE LIST 1
REGRESSION LIST 1

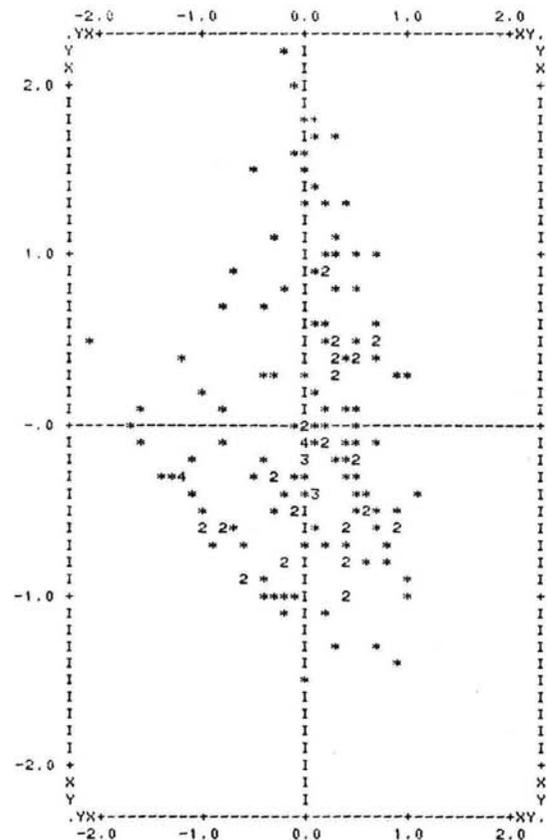


FIGURA 16. Gráfica de residuales de la variable de respuesta (REND).
Factor: Valores del cociente (V/R)+ V (VAR10).

ROWS,COLUMNS Y: VALUES OUTSIDE (-3.0,3.0)

ROWS,COLUMNS X: VALUES IN (-3.0,-2.05) OR (2.05,3.0)

TABLA 11. Resultados del análisis de regresión sobre el rendimiento de cosecha. Transformación logarítmica. (LN ROJO).

CULTIVO	r	r ²	Nivel de significación	Prueba de Durbin-Watson	No. de datos
ALFALFA	.20161	.04065	.45399	.87404	16
BROMO	.13523	.01829	.61754	1.82307	16
TREBOL	.18620	.03467	.50641	1.90422	16
DACTILO	.45624	.20815	.07569	-	16
FLEO	.26933	.07254	.31311	1.37571	16
PUROS	.01914	.00037	.86702	1.40086	79
MIXTOS	.48623	.23642	.00001	1.83340	80
PUROS Y MIXTOS	-.00169	-	.98314	-	159

TABLA 12. Resultados del análisis de regresión sobre el rendimiento de cosecha. Transformación logarítmica. (LN VERDE).

CULTIVO	r	r ²	Nivel de significación	Prueba de Durbin-Watson	No. de datos
ALFALFA	.78953	.62336	.00028	1.40399	16
BROMO	.62313	.38829	.00992	1.99790	16
TREBOL	.49621	.24622	.05993	1.71652	16
DACTILO	.82608	.68241	.00008	-	16
FLEO	.81299	.66095	.00013	1.67683	16
PUROS	.74075	.54871	.00001	1.33196	79
MIXTOS	.59589	.35508	.00001	1.83679	80
PUROS Y MIXTOS	.68703	.45973	.00001	1.04845	159

TABLA 13. Resultados del análisis de regresión sobre el rendimiento de cosecha. Transformación logarítmica. (LN AZUL).

CULTIVO	r	r ²	Nivel de significación	Prueba de Durbin-Watson	No. de datos
ALFALFA	.70551	.49775	.00226	1.16107	16
BROMO	.58101	.33757	.01826	1.93253	16
TREBOL	.62577	.39158	.01259	1.53664	16
DACTILO	.83135	.69115	.00007	-	16
FLEO	.58498	.34220	.01730	1.44015	16
PUROS	.58993	.34801	.00001	1.20774	79
MIXTOS	.62181	.38665	.00001	1.70453	80
PUROS Y MIXTOS	.49190	.24197	.00001	.96760	159

TABLA 14. Resultados del análisis de regresión sobre el rendimiento de cosecha. Transformación logarítmica. (LN VAR8).

CULTIVO	r	r ²	Nivel de significación	Prueba de Durbin-Watson	No. de datos
ALFALFA	.67729	.45872	.00395	1.08896	16
BROMO	.72277	.55239	.00156	2.22085	16
TREBOL	.74142	.54970	.00156	1.53769	16
DACTILO	.85346	.72840	.00003	-	16
FLEO	.59446	.35338	.01516	2.17476	16
MIXTOS	.51760	.26791	.00001	1.47512	80
PUROS Y MIXTOS	.65000	.42250	.00001	1.38230	159
PUROS	.70448	.49630	.00001	1.78756	79

TABLA 15. Resultados del análisis de regresión sobre el rendimiento de cosecha. Transformación logarítmica. (LN VAR10).

CULTIVO	r	r ²	Nivel de significación	Prueba de Durbin-Watson	No. de datos
ALFALFA	.66829	.44661	.00466	1.22884	16
BROMO	.75972	.57718	.00064	2.08632	16
TREBOL	.59368	.35246	.01963	1.75917	16
DACTILO	.82151	.67488	.00010	-	16
FLEO	.83572	.69842	.00006	1.86377	16
PUROS	.82603	.68232	.00001	2.12391	79
MIXTOS	.25811	.06662	.02164	1.63613	80
PUROS Y MIXTOS	.80951	.65531	.00001	1.90810	159

FILE NONAME <CREATION DATE = 4/ 4/84>

* * * * * PLOT: STANDARDIZED RESIDUAL <DOWN> -- PREDICTED STANDARDIZED DEPENDENT VARIABLE <ACROSS> * * * * *

DEPENDENT VARIABLE: LNREND VARIABLE LIST 1
 REGRESSION LIST 1

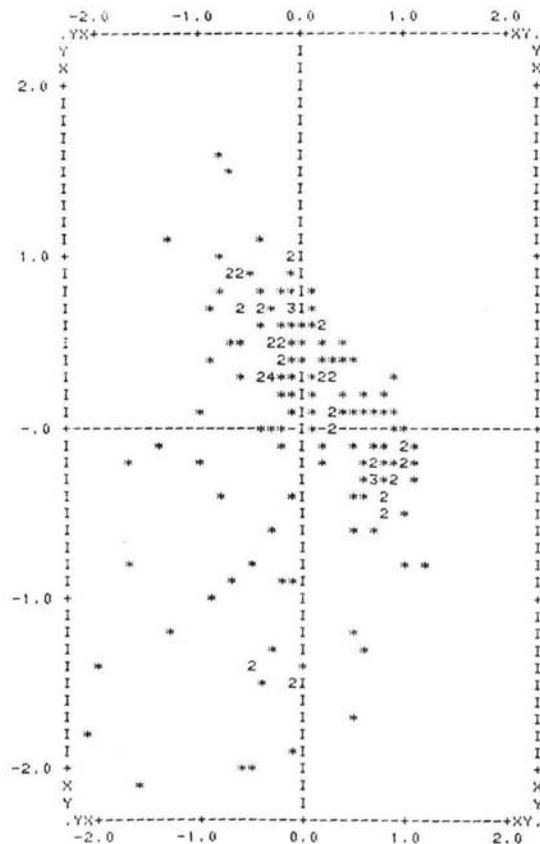


FIGURA 17. Gráfica de residuales de la variable de respuesta transformada (LN REND). Factor: Valores de densidad con el filtro verde transformados (LN VERDE).

ROWS,COLUMNS Y: VALUES OUTSIDE <-3.0,3.0>

ROWS,COLUMNS X: VALUES IN <-3.0,-2.05> OR <2.05,3.0>

***** REGRESSION PROBLEM REQUIRES 2232 BYTES WORKSPACE INCLUDING RESIDUALS *****

NO RESIDUALS WILL BE CALCULATED

CPU TIME REQUIRED.. 2.95 SECONDS

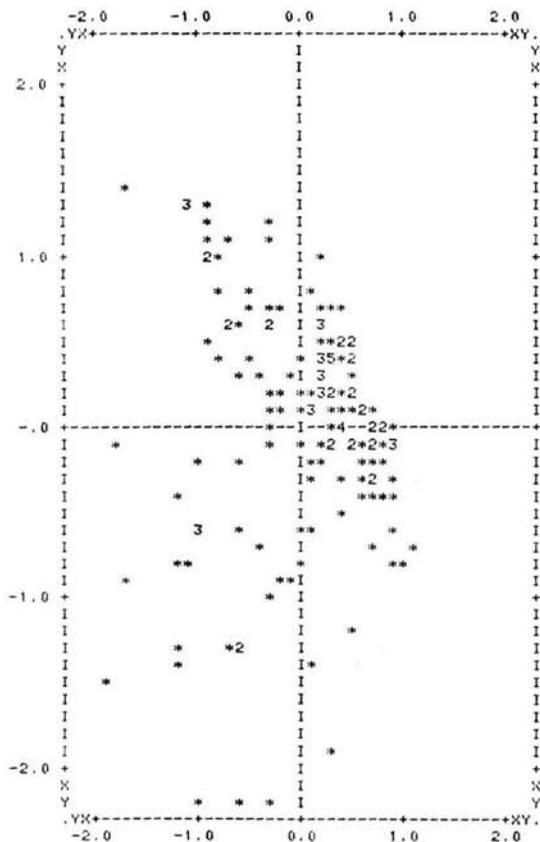
***** REGRESSION PROBLEM REQUIRES 192 BYTES WORKSPACE, NOT INCLUDING RESIDUALS *****

FIGURA 19. La gráfica de residuales de la relación Rendimiento - ROJO no pudo ser calculada

FILE NO:NAME (CREATION DATE = 4/ 4/84)

***** PLOT: STANDARDIZED RESIDUAL (DOWN) -- PREDICTED STANDARDIZED DEPENDENT VARIABLE (ACROSS) *****

DEPENDENT VARIABLE: LNREND VARIABE LIST 1
REGRESSION LIST 1



ROWS,COLUMNS Y: VALUES OUTSIDE (-3.0,3.0)

ROWS,COLUMNS X: VALUES IN (-3.0,-2.05) OR (2.05,3.0)

FIGURA 20. Grafica de residuales de la variable de respuesta transformada (LN REND). Factor: Valores del cociente (A/R)+ A transformados (LN VAR8).

FILE NONAME (CREATION DATE = 4/ 4/84)

* * * * * PLOT: STANDARDIZED RESIDUAL (DOWN) -- PREDICTOR & UNPREDICTED DEPENDENT VARIABLE (ACROSS)

DEPENDENT VARIABLE: LNREND VARIABLE LIST 1
REGRESSION LIST 1

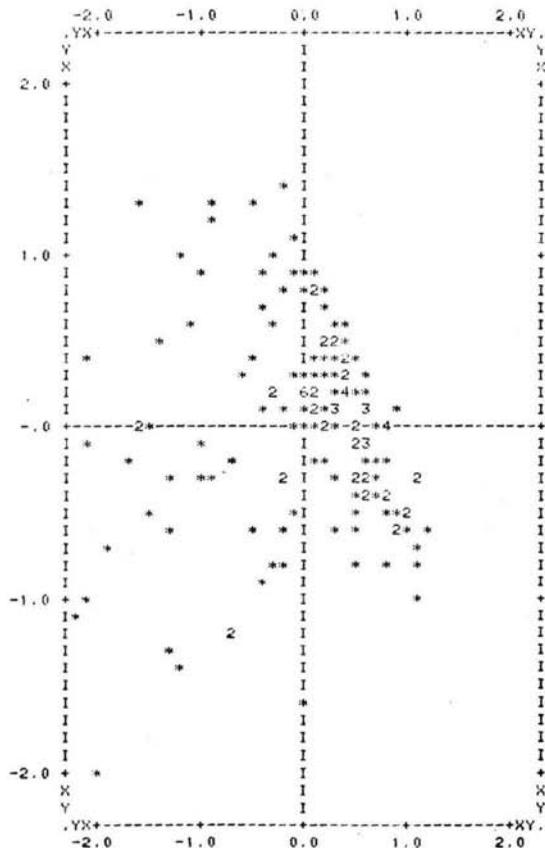


FIGURA 21. Gráfica de residuales de la variable de respuesta transformada (LN REND). Factor: Valores del cociente (V/R)+ V transformados (LN VARIO).

SE PUEDE OBSERVAR UN MEJORAMIENTO EN LOS VALORES ESTADÍSTICOS OBTENIDOS POR LO QUE SE ASUMIÓ QUE LA RELACIÓN ENTRE RENDIMIENTO Y LAS VARIABLES DE INTERÉS ERA DE TIPO EXPONENCIAL. EL ÚNICO CASO DONDE NO HUBO UNA RELACIÓN APRECIABLE FUE EN LA VARIABLE ROJO (FILTRO ROJO).

IDENTIFICACIÓN DE CULTIVOS.

SE REALIZÓ UN ANÁLISIS DE VARIANZA TIPO I PARA LOS PROMEDIOS DE DENSIDAD ÓPTICA DE CADA CULTIVO PURO EN TODAS LAS FECHAS DE CADA AÑO. LAS TABLAS 16 A 18 MUESTRAN LOS RESULTADOS OBTENIDOS PARA LOS 3 FILTROS EN CADA UNO DE LOS AÑOS. SE PROCEDIÓ A HACER UN ANÁLISIS DE DISCRIMINANTES QUE EXPLOTARA LA VARIABILIDAD TEMPORAL DE LAS MEDIAS DE DENSIDAD ÓPTICA.

LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE DISCRIMINANTES PARA EL PRIMER AÑO CON LOS DOS PRIMEROS VARIADOS CANÓNICOS SE ILUSTRAN EN LA FIGURA 22. LAS DOS PRIMERAS RAICES CANÓNICAS FUERON 4.9 Y 3.12 LAS CUALES EXPLICABAN 70% DE LA VARIABILIDAD.

LA BAJA SEPARABILIDAD DE LOS GRUPOS FUE DEBIDA, SEGURAMENTE, A LA SIMILARIDAD DE LAS MEDIAS DE GRUPO PARA CADA VARIADO CANÓNICO Y LA VARIABILIDAD DE LAS OBSERVACIONES ALREDEDOR DE ESAS MEDIAS.

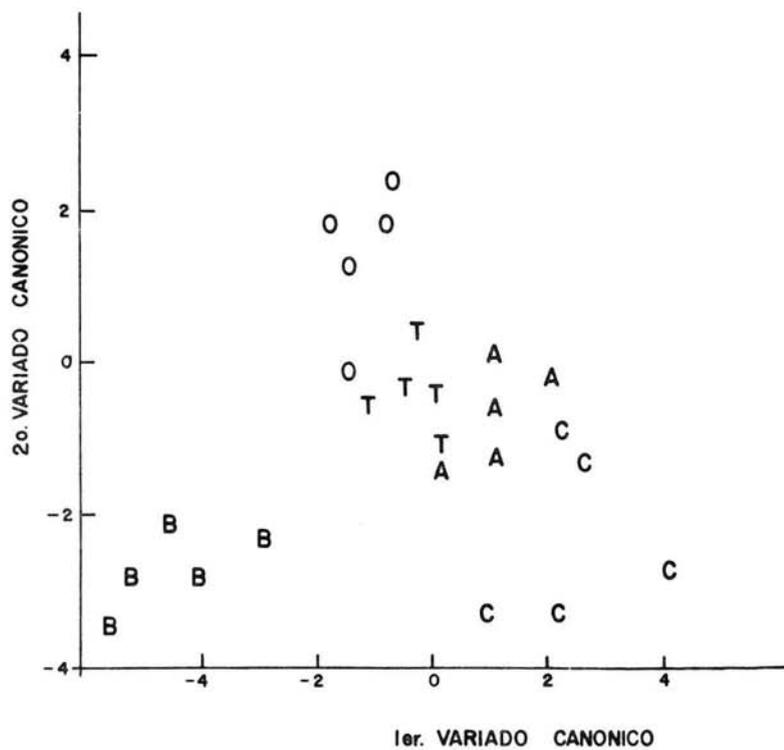
RESULTADOS DEL ANALISIS DE VARIANZA TIPO I
PARA 5 CULTIVOS EN CADA AÑO

	FILTRO ROJO	Valor de F
1978		40.4*
1979		16.3*
1980		0.4
	FILTRO VERDE	
1978		6.96*
1979		24.43*
1980		7.69*
	FILTRO AZUL	
1978		15.9*
1979		240.3*
1980		17.9*

TABLA 16.

TABLA 17.

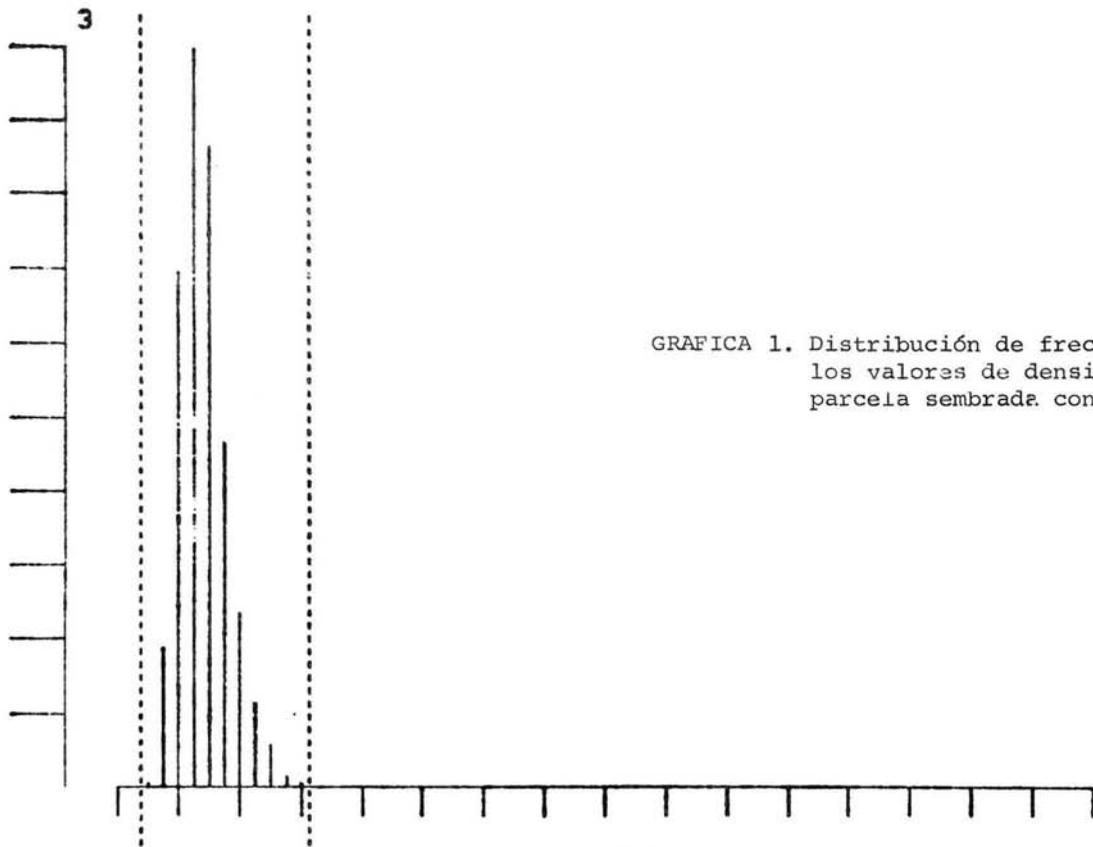
TABLA 18.



A - ALFALFA
 B - BROMO
 C - TREBOL
 O - DACTILO
 T - FLEO

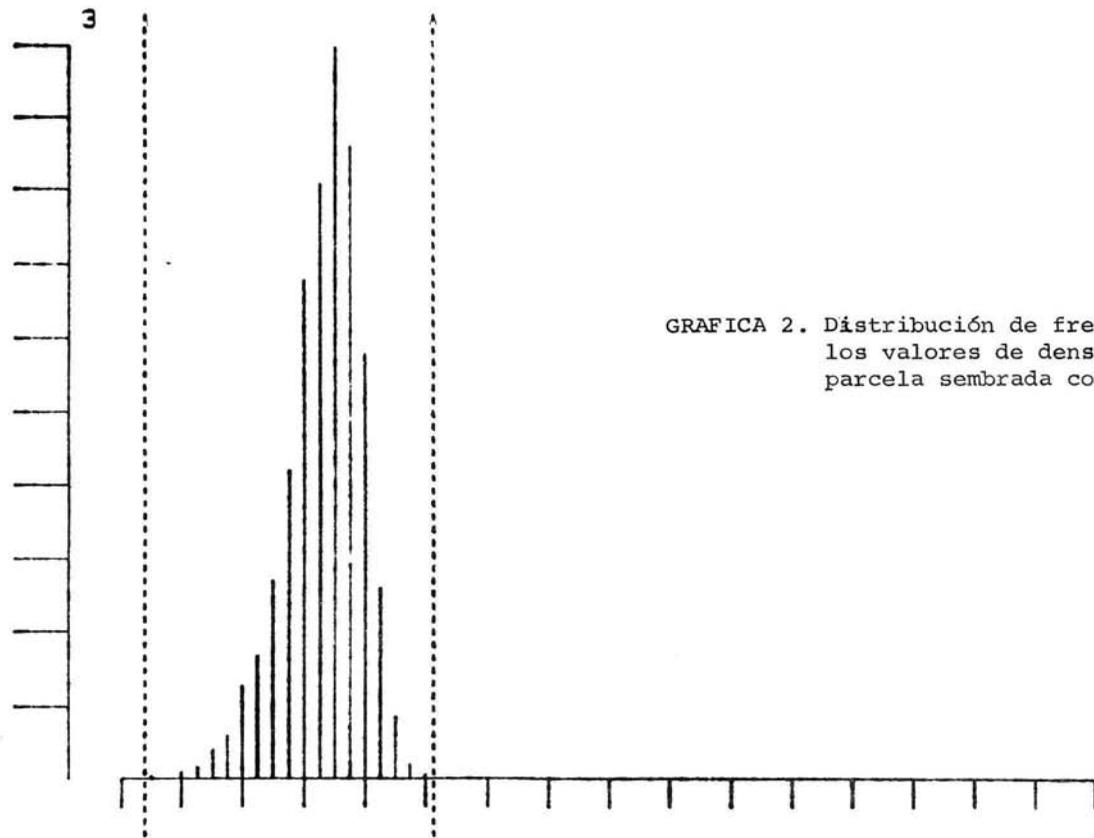
LAS GRÁFICAS 1-5 DEL SISTEMA CIAS DEL CENTRO CANADIENSE PARA LA PERCEPCIÓN REMOTA (CANADA CENTER FOR REMOTE SENSING) CONFIRMAN EL GRAN ENCIMAMIENTO QUE EXISTE EN LAS DISTRIBUCIONES DE DENSIDAD PARA CADA UNO DE LOS CULTIVOS PUROS.

65.



GRAFICA 1. Distribución de frecuencias de los valores de densidad en la parcela sembrada con alfalfa.

```
** CHANNEL # 3 ** + COMPARISON FILE:  
# LB UB DEL PEAK MEAN S.E. +  
3 2 12 11 559. 5.6 1.6 +  
TRAINING AREA= 2040. PIXELS +  
ALARMED AREA= 32587. PIXELS( 12.4%)+  
TYPE: CHANNEL *. (A)I 1/21 MORE BOUND. (S)ET BOUNDS. F(X)IT
```

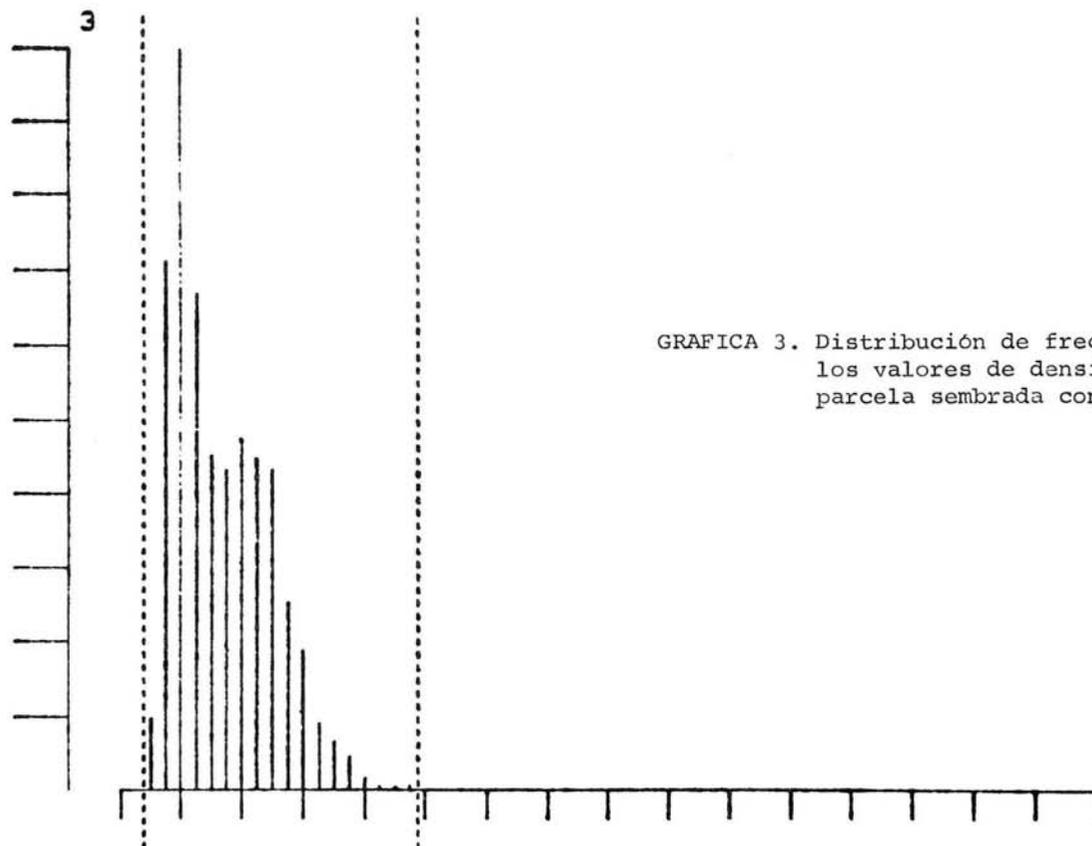


GRAFICA 2. Distribución de frecuencias de los valores de densidad en la parcela sembrada con bromo.

```

** CHANNEL # 3 ** + COMPARISON FILE:
# LB UB DEL PEAK MEAN S.E. +
3 2 20 19 377. 13.3 2.5 +
TRAINING AREA= 2040. PIXELS +
ALARMED AREA= 37164. PIXELS ( 14.2%)+
TYPE: CHANNEL #. (ANY) 1 (L) MORE BOUNDS. (S) SET BOUNDS. (E) END

```



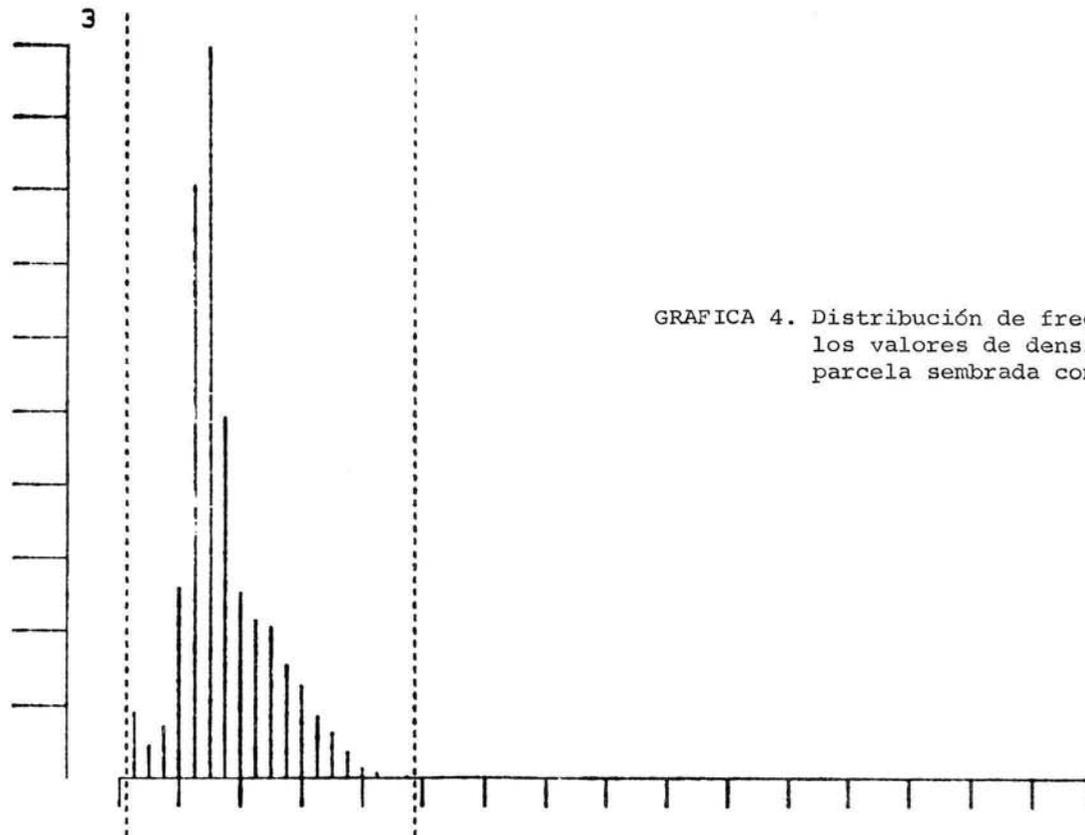
GRAFICA 3. Distribución de frecuencias de los valores de densidad en la parcela sembrada con trebol.

```

** CHANNEL # 3 ** + COMPARISON FILE:
# LB UB DEL PEAK MEAN S.E. +
3 2 19 18 378. 6.7 3.1 +
TRAINING AREA= 2040. PIXELS +
ALARMED AREA= 37085. PIXELS( 14.1%)+
TYPE: CHANNEL #. (A)IT 1/21 MOUF BOUND. (S)ET BOUNDS. F(X)IT

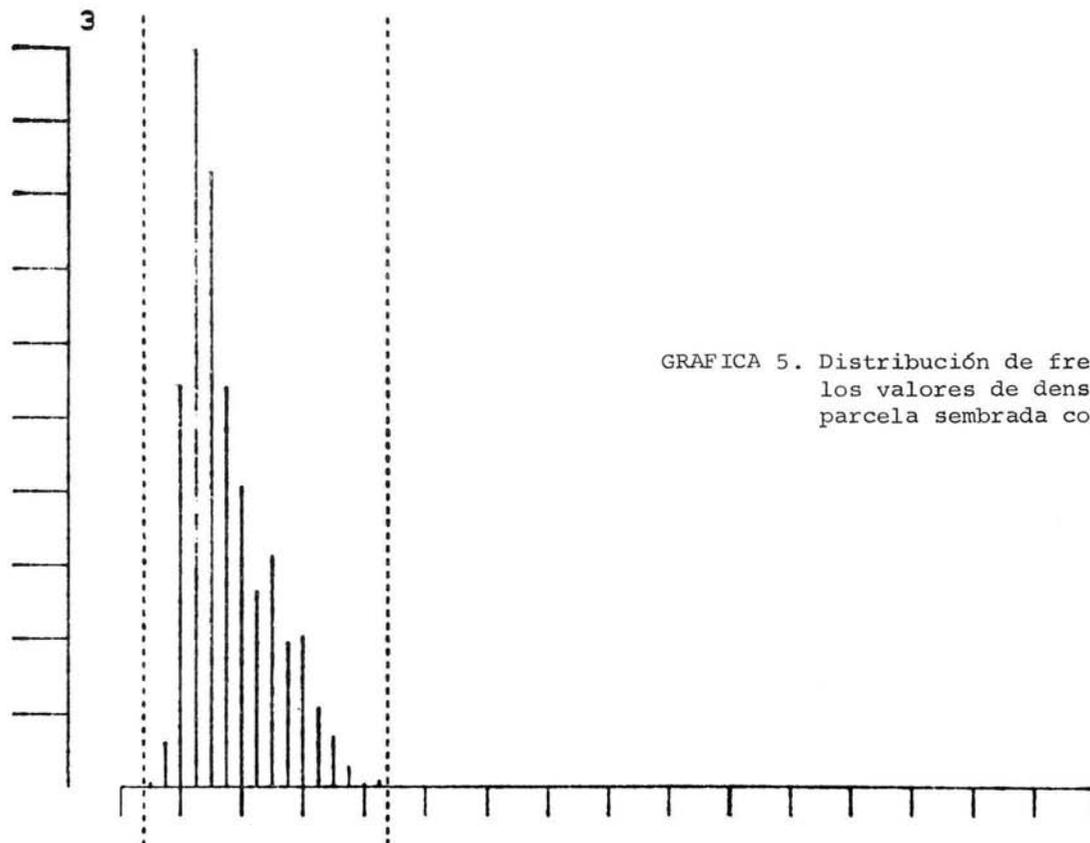
```

60,



GRAFICA 4. Distribución de frecuencias de los valores de densidad en la parcela sembrada con dactilo.

```
** CHANNEL # 3 ** + COMPARISON FILE:  
# LB UB DEL PEAK MEAN S.E. +  
3 1 19 19 519. 6.9 2.8 +  
TRAINING AREA= 2040. PIXELS +  
ALARMED AREA= 87355.PIXELS( 33.3%)+  
TYPE: CHANNEL *. (A)IT 1/11 MOUF BOUND. (S)ET BOUNDS. F(X)IT
```



GRAFICA 5. Distribución de frecuencias de los valores de densidad en la parcela sembrada con fleo.

```

** CHANNEL # 3 ** + COMPARISON FILE:
# LB UB DEL PEAK MEAN S.E. +
3 2 17 16 445. 7.1 2.7 +
TRAINING AREA= 2040. PIXELS +
ALARMED AREA= 32928.PIXELS( 14.1%)+
TYPE: CHANNEL #. (X)IT 1 (X)I MORE ROUND. (S)ET ROUNDS. F(X)IT

```

DISCUSION Y CONCLUSIONES

LOS RESULTADOS PRELIMINARES OBTENIDOS EN RELACIÓN A LOS TRES CORTES DE COSECHA POR AÑO (TABLA 5), MUESTRAN UNA CORRELACIÓN MÁS ALTA EN LA MAYORÍA DE LOS CASOS EN COMPARACIÓN CON LOS RESULTADOS OBTENIDOS PARA CADA UNO DE LOS CULTIVOS PUROS DURANTE LOS TRES AÑOS DE ESTUDIO (TABLAS 6-10). ASIMISMO, CUANDO SE CONSIDERAN LOS CULTIVOS PUROS Y MIXTOS EN CONJUNTO SE OBSERVA UN DECREMENTO EN LA CORRELACIÓN OBTENIDA.

UNA CUESTIÓN QUE SE DESPRENDE DE LOS RESULTADOS MENCIONADOS ES QUE AL INCREMENTAR LA HETEROGENEIDAD DE LOS CULTIVOS SE ENCUENTRA UNA MENOR PRECISIÓN EN LA RELACIÓN DE LAS VARIABLES INVOLUCRADAS. PUESTO QUE LA CORRELACIÓN DE LOS DATOS FOTOGRÁFICOS CON EL RENDIMIENTO DECRECE CON LA PÉRDIDA DE HOMOGENEIDAD DE LA CUBIERTA, SE HACE NECESARIO CONOCER DE ANTEMANO LA COMPOSICIÓN FLORÍSTICA DE LA SUPERFICIE BAJO ESTUDIO. SIN EMBARGO, ESTO NO ES POSIBLE EN LA MAYORÍA DE LAS SITUACIONES DE ANÁLISIS EN PERCEPCIÓN REMOTA, POR LO QUE, AL CONJUNTAR LOS DATOS DE LAS CUBIERTAS VEGETALES SE INTENTÓ TENER UNA SITUACIÓN EXTREMA DONDE EXISTIERA EL MÁXIMO DE VARIABILIDAD PARA LOS DATOS DE PERCEPCIÓN REMOTA. ÉSTO ES, AUNQUE SE CONOCÍA LA COMPOSICIÓN DE CADA UNA DE LAS PARCELAS Y SE TENÍA EL REGISTRO DE SUS CAMBIOS A TRAVÉS DEL TIEMPO, SE CONJUNTARON TODOS SUS FACTORES PARA OBSERVAR EL COMPORTAMIENTO DE LA RELACIÓN

CIÓN DE INTERÉS BAJO CIRCUNSTANCIAS QUE SE SIMULARÍA DE MÁXIMAS DESVENTAJAS.

DE ESTA FORMA, SE OBSERVA QUE LOS RESULTADOS MÁS SIGNIFICATIVOS Y MEJOR CORRELACIONADOS SE ENCUENTRAN EN EL COCIENTE TRANSFORMADO DE LA VARIABLE 10 (LNVAR 10) (VER TABLAS 5 Y 15 Y FIGURAS 23 Y 24) EN RELACIÓN A LOS VALORES DE RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS (PUROS Y MIXTOS) CONSIDERADOS EN CONJUNTO, ASÍ COMO SI SE CONSIDERAN CADA UNO POR SEPARADO.

DIVERSOS ESTUDIOS DE LABORATORIO Y DE CAMPO (COLWELL, 1973; JAQUES Y CIHLAR, 1979; JAQUES, 1978; TUCKER, 1977; PEARSON Y MILLER, 1972; CURRAN, 1981) HAN DEMOSTRADO CON DIVERSAS TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN QUE LA ESPECTRO-REFLEXIÓN EN CIERTAS BANDAS PUEDE SER USADA PARA ESTIMAR BIOMASA DE VEGETACIÓN HERBÁCEA EN UN GRAN RANGO DE VALORES DE COBERTURA, ENCONTRANDO RELACIONES LINEALES ENTRE BIOMASA Y COCIENTES ESPECTRALES. POR EJEMPLO, TUCKER (OP.CIT.) UTILIZÓ UN RADIÓMETRO MANUAL ACOPLADO A UNA CALCULADORA DE BOLSILLO PARA DIGITALIZAR LOS VALORES ESPECTRALES; CURRAN (OP.CIT.) EMPLEÓ FOTOGRAFÍA AÉREA Y UN PROCESO SENSITOMÉTRICO; Y, EN CAMBIO, JAQUES Y CIHLAR (OP.CIT.) HICIERON USO DE DATOS LANDSAT EN "CRUDO" Y CON CORRECCIONES ATMOSFÉRICAS PARA LOS COCIENTES DE BANDA $7/5$ Y $(7-5)/(75)$.

EN EL PRESENTE ESTUDIO LOS RESULTADOS INDICARON QUE LA RELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES IMPLICABA UNA FUNCIÓN DE TIPO EXPONENCIAL AL MENOS EN LOS COCIENTES DE REFLEXIÓN VAR8 Y VAR10. ¿POR QUÉ NO SE ENCONTRÓ UNA RELACIÓN LINEAL EN ESTE ESTUDIO?. LA RESPUESTA PARECE RADICAR EN LA RELACIÓN QUE EXISTE ENTRE DENSIDAD ÓPTICA FOTOGRÁFICA Y EL LOGARITMO DE LA REFLEXIÓN DE LA ESTRUCTURA DE INTERÉS. ESTA RELACIÓN NOS INDICA UNA FUNCIÓN COMPLEJA (VER FIGURA 3) QUE PUEDE SER PASADA POR ALTO CUANDO SABEMOS QUE LOS VALORES OBTENIDOS CAEN DENTRO DE LA PARTE LINEAL DE LA FUNCIÓN (CONOCIDA COMO GAMA) (DOWNER, COM, PERS.),

PUESTO QUE EN LA PRESENTE INVESTIGACIÓN SE UTILIZARON LOS VALORES DENSITOMÉTRICOS COMO UNA MEDIDA RELATIVA DE REFLEXIÓN, SE INFIERE QUE LA RELACIÓN EXPONENCIAL ENTRE DENSIDAD Y LOGARITMO DE LA EXPOSICIÓN INFLUYÓ MARCADAMENTE SOBRE LA RELACIÓN DENSIDAD ÓPTICA Y RENDIMIENTO.

POR OTRO PARTE, EL POCO ÉXITO LOGRADO EN CUANTO A LA IDENTIFICACIÓN DE CULTIVOS PUEDE DEBERSE A LA PRESENCIA DE MALEZAS EN ALGUNAS DE LAS PARCELAS LO QUE CONTRIBUIRÍA A ENSANCHAR LA DISTRIBUCIÓN ESPECTRAL DE LAS COSECHAS CON EL CONSECUENTE INCREMENTO DE LA PROBABILIDAD DE ERROR EN LA CLASIFICACIÓN.

EN ESTE SENTIDO, LA TABLA 19 MUESTRA LOS INCREMEN-

Figura 23. Curva ajustada a los datos experimentales de la relación rendimiento-cociente de densidad óptica. Todas las parcelas.

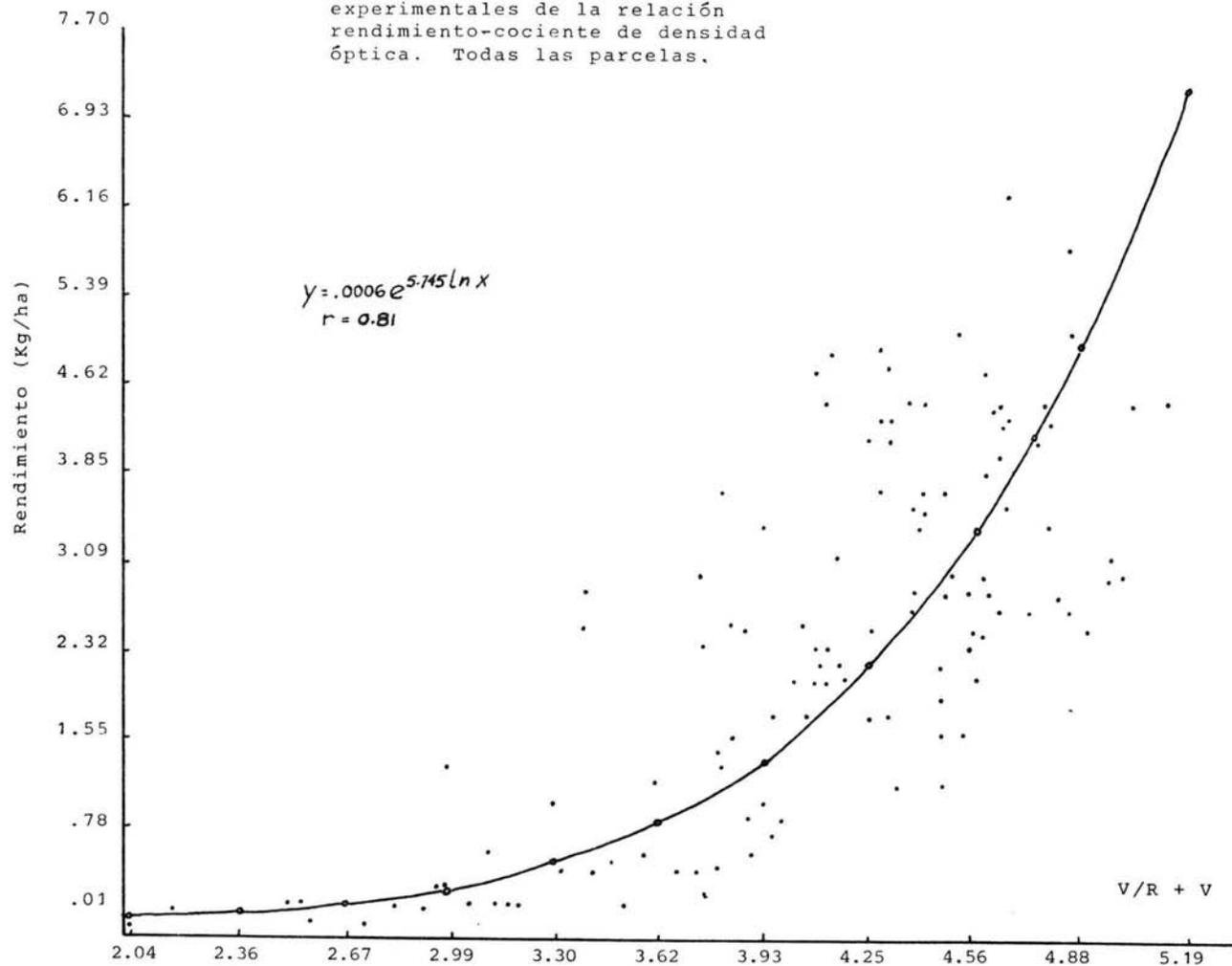
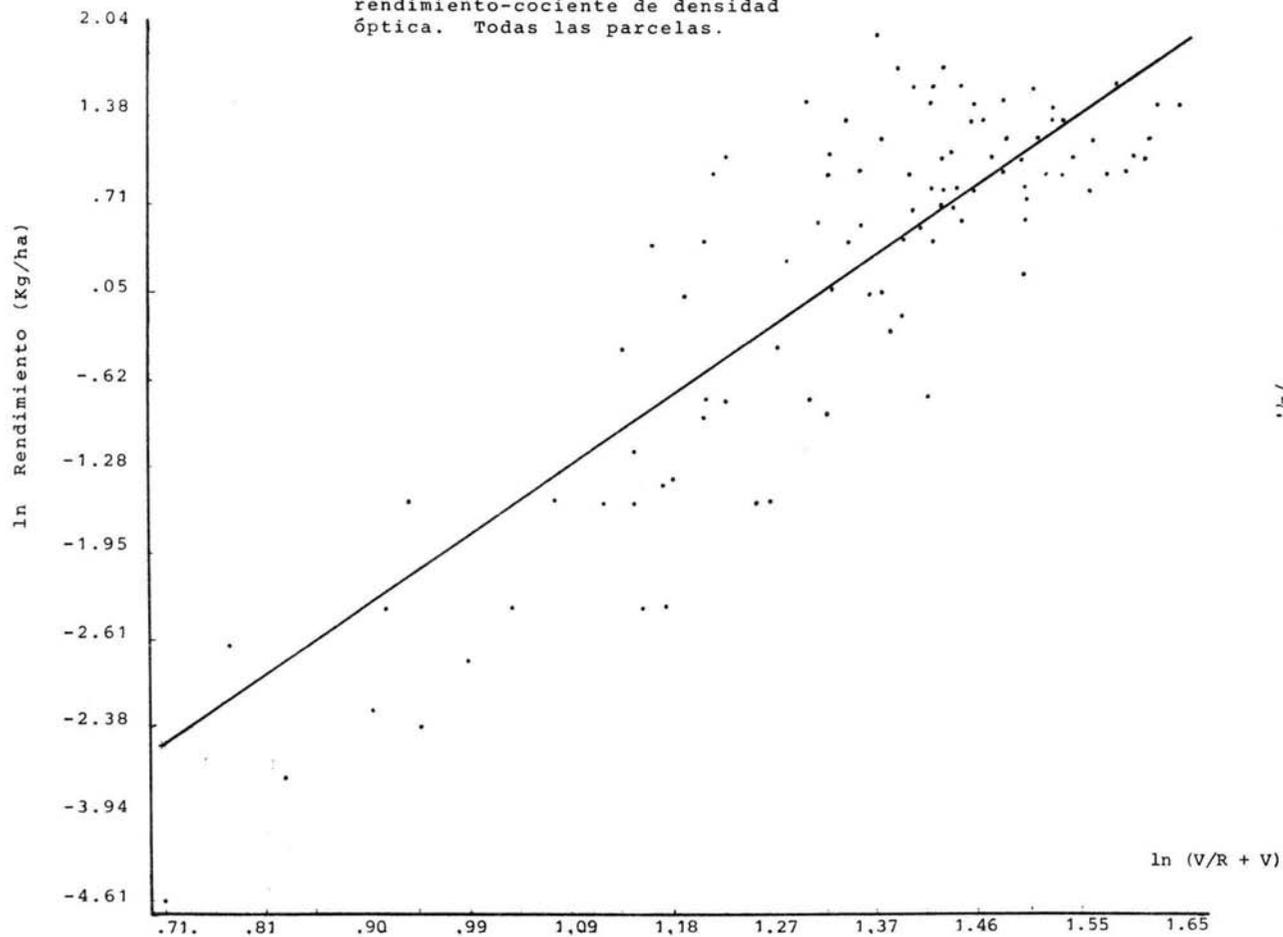


Figura 24. Transformación logarítmica y ajuste lineal de la relación rendimiento-cociente de densidad óptica. Todas las parcelas.



% de malezas a través de los años de estudio	P A R C E L A S				
	A	B	C	O	T
1978 (1er. corte)	-	-	-	1.4	-
(2o. corte)	-	-	-	-	-
(3er. corte)	2.4	-	-	-	-
1979 (1er. corte)	5.5	1	1.3	0.8	4.9
(3er. corte)	25.7	-	6.8	-	25.6
1980 (1er. corte)	82.1	5.3	84.1	-	4.4
(2o. corte)	83.7	17.4	8.9	4.6	49.9
(3er. corte)	10.0	23.8	18.7	5.6	85.7

Tabla 19. Contenido de malezas en las parcelas de cultivos puros, en cada una de las etapas de corte por año. La maleza predominante fue el "diente de león" (Taraxacum officinale Weber).

TOS DE LA CANTIDAD DE MALEZAS EN CADA UNA DE LAS PARCELAS DE CULTIVOS PUROS, DONDE ADEMÁS SE PUEDEN OBSERVAR LOS DIFERENTES GRADOS DE SUSCEPTIBILIDAD A LA INVASIÓN DE CADA UNO DE LOS CULTIVOS DE INTERÉS. SE PUEDE DECIR ENTONCES QUE LA MAYOR CANTIDAD DE MALEZAS GENERA UNA DISTRIBUCIÓN MULTIMODAL DE DENSIDAD ÓPTICA QUE NO PERMITE UNA CLARA CARACTERIZACIÓN DE LOS CULTIVOS PUROS (VER GRÁFICA 3 PARA EL CASO DE TRÉBOL).

EL MISMO TIPO DE RESULTADOS INSATISFACTORIOS EN CUANTO A LA IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE CULTIVOS FUERON OBTENIDOS POR VAN HECKE, ET AL. (1980), AÚN CUANDO EN AQUEL CASO SE EMPLEARON DIVERSAS TÉCNICAS MULTIVARIADAS. EN CONTRA POSICIÓN, GLICK (1983) OBTUVO UNA MUY BUENA DISCRIMINACIÓN DE SUS CULTIVOS. SIN EMBARGO, EN EL CASO DE LA INVESTIGACIÓN REALIZADA POR GLICK, LOS CULTIVOS INCLUÍAN TRIGO, CENTENO Y AVENA LOS CUALES SON FÁCILMENTE DIFERENCIABLES DE LOS CULTIVOS FORRAJEROS.

C O N C L U S I O N E S

1. EXISTEN RELACIONES SIGNIFICATIVAS ENTRE DATOS DE RENDIMIENTO Y DATOS DE DENSIDAD ÓPTICA FOTOGRAFICA ASÍ COMO CON COCIENTES ESPECTRALES DERIVADOS DE ÉSTOS ÚLTIMOS.
2. EN TODOS LOS CASOS, LAS CORRELACIONES ENTRE ESTAS VARIABLES SE INCREMENTAN CUANDO SE HACEN TRANSFORMACIONES LOGARÍTMICAS. LAS CORRELACIONES VARÍAN DEPENDIENDO DE LA COMPOSICIÓN DE ESPECIES EN LAS PARCELAS MUESTREADAS.
3. LA GENERACIÓN DE UN COCIENTE DE REFLEXIÓN BIDIRECCIONAL, COMO ÍNDICE DE VEGETACIÓN, A TRAVÉS DE DENSITOMETRÍA DE IMÁGENES FOTOGRAFICAS ES UN PROCESO QUE CONLLEVA EL MANEJO DE UNA GRAN CANTIDAD DE FACTORES.
4. NO HUBO UNA RELACIÓN APRECIABLE ENTRE RENDIMIENTO Y DATOS OBTENIDOS DEL FILTRO ROJO.
5. NO SE ENCONTRÓ UNA CLARA DIFERENCIACIÓN ENTRE LOS CULTIVOS PUROS QUE HICIERA POSIBLE ALGUNA CLASIFICACIÓN POR MEDIO DE VALORES DE DENSIDAD.

R E F E R E N C I A S

1. ALFALFA SCIENCE AND TECHNOLOGY, 1972. CH. HANSON ED. PUBLICADO POR AM. SOC. AGR. WISCONSIN, U.S.A. (COL. AGRONOMY NÚM. 15).
2. ALLEN, J.H. Y BROWN, K.W., 1965. AGRON. J. 57: 575.
3. ALLEN, W.A. Y RICHARDSON, A.J., 1968. INTERACTION OF LIGHT WITH A PLANT CANOPY. J. OPT. SOC. AM. 58 (8): 1023-1028.
4. BASU, P.K. ET AL., 1978. ALFALFA DECLINE AND ITS CAUSE IN MIXED HAY FIELDS DETERMINED BY AERIAL PHOTOGRAPHY AND GROUND SURVEY. CAN. J. PLANT SCI. 58: 1041-1048.
5. BASU, P.K., 1981. COLOR INFRARED AERIAL PHOTOGRAPHY TO IDENTIFY FORAGE LEGUMES IN HAY FIELDS. CAN. J. PLANT. SCI. 61: 331-336.
6. COLWELL, J.E., 1973. VEGETATION CANOPY REFLECTANCE. REMOTE SENSING ENVIRON. 4:21.
7. CROWN, P.H., 1979. CROP IDENTIFICATION IN A PARKLAND ENVIRONMENT USING AERIAL PHOTOGRAPHY. CAN. J. REMOTE SENS. 5 (2): 128-135.
8. CURRAN, P., 1980. RELATIVE REFLECTANCE DATA FROM PREPROCESSED MULTISPECTRAL PHOTOGRAPHY. INT. J. REMOTE SENSING. 1 (1): 77-83.
9. CURRAN, P.J., 1981. MULTISPECTRAL REMOTE SENSING FOR ESTIMATING BIOMASS AND PRODUCTIVITY. EN. PLANTS AND THE DAY LIGHT SPECTRUM, EDITADO POR H.SMITH. ACADEMIC PRESS, LONDRES, INGLATERRA.

10. CURRAN, P. ET AL., 1981. TECHNICAL NOTE: A COMPARISON BETWEEN TWO PHOTOGRAPHIC METHODS FOR THE DETERMINATION OF RELATIVE BIDIRECTIONAL REFLECTANCE. INT. J. REMOTE SENSING 2 (2): 185-188.
11. DEL POZO, M., 1970. LA ALFALFA: SU CULTIVO Y APROVECHAMIENTO. EDICIONES MUNDI-PRENSA, MADRID, ESPAÑA.
12. FLEMING, J.F., 1982. STANDARDIZATION TECHNIQUES FOR AERIAL COLOR INFRARED FILM, PUBLICADO POR, THE INTER-DEPARTMENTAL COMMITTEE ON AIR SURVEYS Y THE SURVEYS AND MAPPING BRANCH, DEPT. OF ENERGY MINES AND RESOURCES, OTTAWA, CANADA.
13. FRITZ, N.L., 1977. FILTERS: AN AID IN COLOR INFRARED PHOTOGRAPHY. PHOTOGRAMM. ENG. AND REMOTE SENSING, 43 (1): 61-72.
14. GATES, D.M. ET AL., 1965. SPECTRAL PROPERTIES OF PLANTS. APPL. OPT. 4 (1): 11-20.
15. GAUSMAN, H.W. ET AL., 1973. LEAF LIGHT REFLECTANCE, TRANSMITTANCE, ABSORPTANCE, AND OPTICAL AND GEOMETRICAL PARAMETERS FOR ELEVEN PLANT GENERA WITH DIFFERENT LEAF MESOPHYLL ARRANGEMENTS. TEXAS AGRICULTURAL EXP. STATION BOLETIN NÚM. 1465.
16. GLICK, H.L., 1983. THE USE OF DENSITOMETRIC DATA FROM AERIAL PHOTOGRAPHS FOR FIELD CROP CLASIFICATION AND IDENTIFICATION IN MANITOBA. PH.D. THESIS U. OF MANITOBA, DPT. PLANT SCIENCE.
17. HARALICK, R.M. ET AL., 1970. USING RADAR IMAGERY FOR CROP DISCRIMINATION: A STATISTICAL AND CONDITIONAL PROBABILITY STUDY. REMOTE SENSING ENVIRON. 1:131.

18. HARPER, D., 1983. EYE IN THE SKY: INTRODUCTION TO REMOTE SENSING, PUBLICADO POR MULTISCIENCE PUB. LIM, Y DPT. ENERGY, MINES AND RESOURCES. CANADA. 2ND. ED.
19. HORLER, D.N.H. Y BARBER, J., 1981. PRINCIPLES OF REMOTE SENSING OF PLANTS. EN, PLANTS AND THE DAY LIGHT SPECTRUM. ACADEMIC PRESS EDITADO POR H. SMITH.
20. JAQUES, D.R., 1978. INVESTIGATIONS INTO CAPABILITIES OF LANDSAT IMAGERY FOR BIOPHYSICAL RECONNAISSANCE IN THE ROCKY MOUNTAINS OF ALBERTA. KANANASKIS CENTRE FOR ENVIRONMENTAL RESEARCH, UNIVERSITY OF CALGARY.
21. JAQUES, D. Y CIHLAR, J., 1979. ESTIMATION OF VEGETATION BIOMASS IN BUNCHGRASS RANGELANDS OF ALBERTA USING LANDSAT IMAGERY. EN REMOTE SENSING OF EARTH RESOURCES. VOL. VIII, EDITADO POR SHAHROKI, F. 7TH ANNUAL REMOTE SENSING OF EARTH RESOURCES CONFERENCE, TULLAHOMA TENN. 1979. UNIVERSITY OF TENNESSEE 1980.
22. KUMAR, R., 1972. RADIATION FROM PLANTS REFLECTION AND EMISSION: A REVIEW N.S.F. GRANT No. GK-4241. SCHOOL OF AERONAUTICS, ASTRONAUTICS AND ENGINEERING SCIENCES. PURDUE UNIVERSITY. LAFAYETTE, INDIANA.
23. LILLESAND, T.M. Y KIEFER, R.W., 1979. REMOTE SENSING AND IMAGE INTERPRETATION, CAPÍTULO 6. JOHN WILEY AND SONS ED. N.Y., USA.
24. LODWICK, G.D., 1979. MEASURING ECOLOGICAL CHANGES IN MULTITEMPORAL LANDSAT DATA USING PRINCIPAL COMPONENTS. PROC. OF THE 13TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT ERIM. ANN ARBOR, MICH.

25. MACK, A.R., ET AL., 1977. GLOBAL AGRICULTURAL PRODUCTIVITY ESTIMATION FROM LANDSAT DATA. PROC. 4TH CANADIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING.
26. MACK, A.R., 1980. OPERATIONAL APPLICATIONS FOR ANALYSIS OF AGRICULTURAL CROPS AND CULTURAL PRACTICES. PROC. 6TH CANADIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING.
27. McVICKAR, M.H., 1974. APPROVED PRACTICES IN PASTURE MANAGEMENT. THE INTERSTATE PRINTERS AND PUBLISHERS, 3A. ED. DANVILLE, ILLINOIS, U.S.A.
28. PEARSON, R.L. Y MILLER, L.D., 1972. REMOTE MAPPING OF STANDING CROP BIOMASS FOR ESTIMATION OF THE PRODUCTIVITY OF THE SHORTGRASS PRAIRE. PROC. 8TH INT. SYMP. REMOTE SENSING ENVIRON. UNIVERSITY OF MICHIGAN, ANN ARBOR: 1355-1381.
29. RICHARDSON, A.J., ET AL., 1975. PLANT, SOIL AND SHADOW REFLECTANCE COMPONENTS. PHOTOGRAMM. ENG. AND REMOTE SENS. 41: 1401.
30. RYERSON, R.A., ET AL., 1979. THREE TESTS OF AGRICULTURAL REMOTE SENSING FOR CROP INVENTORY IN EASTERN CANADA; RESULTS, PROBLEMS AND PROSPECTS. CAN. J. REMOTE SENS. 5 (1): 53-66.
31. SIEVERS, J., 1977. PHOTOGRAMMETRIA. 33: 95-112.
32. SMEDES, H.W., ET AL., 1972. DIGITAL COMPUTER MAPPING OF TERRAIN BY CLUSTERING TECHNIQUES USING COLOR FILM AS A THREE BAND SENSOR. PROC. 8TH INT. SYMP. REMOTE SENSING ENVIRON. UNIVERSITY OF MICHIGAN, ANN ARBOR:

33. SMITH, J.A. y OLIVER, R.E., 1972. PLANT CANOPY MODELS FOR SIMULATING COMPOSITE SCENE SPECTRORADIANCE IN THE 0.4 TO 1.05 MICROMETER REGION. PROC. 8TH INT. SYMP. REMOTE SENSING ENVIRON. UNIVERSITY OF MICHIGAN, ANN ARBOR.
34. SWAIN, P.H., 1978. FUNDAMENTALS OF PATTERN RECOGNITION IN REMOTE SENSING. EN, REMOTE SENSING: THE QUANTITATIVE APPROACH, MCGRAW-HILL, NEW YORK, U.S.A.
35. TUCKER, C.J., 1977. APPL. OPT. 16 (5): 1151-1156.
36. TUCKER, C.J., ET AL., 1980. RELATIONSHIP OF CROP RADIANCE TO ALFALFA AGRONOMIC VALUES. INT. J. REMOTE SENSING 1 (1): 69-75.
37. VAN HECKE, P., ET AL., 1980. MULTIVARIATE ANALYSIS OF MULTISPECTRAL REMOTE SENSING DATA ON GRASSLAND FROM DIFFERENT SOIL TYPES. VEGETATIO 42: 165-170.
38. VOISIN, A., 1974. PRODUCTIVIDAD DE LA HIERBA. EDITORIAL TECNOS, MADRID, ESPAÑA.
39. WACKER, A.G. y LANDGREBE, P., 1972. MINIMUM DISTANCE CLASSIFICATION IN REMOTE SENSING. 1ST. CANADIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING.
40. WALLEN, V.R., ET AL., 1977. AN ELECTRONICALLY SCANNED AERIAL PHOTOGRAPHIC TECHNIQUE TO MEASURE WINTER INJURY IN ALFALFA. CAN. J. PLANT. SCI. 57: 641-651.
41. WALLEN, V.R. y JACKSON, H.R., 1978. ALFALFA WINTER INJURY, SURVIVAL, AND VIGOR DETERMINED FROM AERIAL PHOTOGRAPHS. AGRON. J. 70: 922-924.