

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
Departamento de Manejo de Bosques y Medio Ambiente



EFEECTO DE VARIABLES TOPOGRAFICAS Y DE RODAL SOBRE LA
REFLECTANCIA DE PLANTAS DE Pinus radiata D. Don



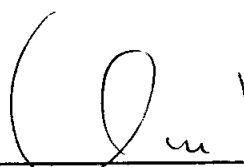
MEMORIA PARA OPTAR AL
TITULO DE INGENIERO
FORESTAL.

ALEJANDRO ARTEMIO PALACIOS CATALAN
CONCEPCION - CHILE

1998

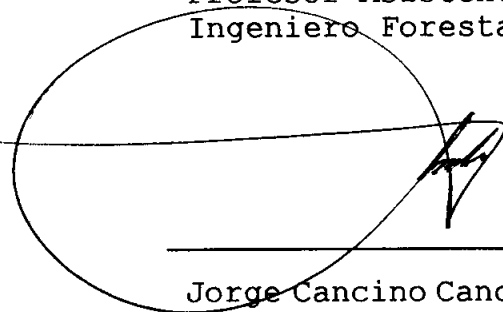
EFFECTO DE VARIABLES TOPOGRAFICAS Y DE RODAL SOBRE LA
REFLECTANCIA DE PLANTAS DE Pinus radiata D. Don

Profesor Asesor



David González Lanteri
Profesor Asistente
Ingeniero Forestal M.Sc.

Profesor Asesor



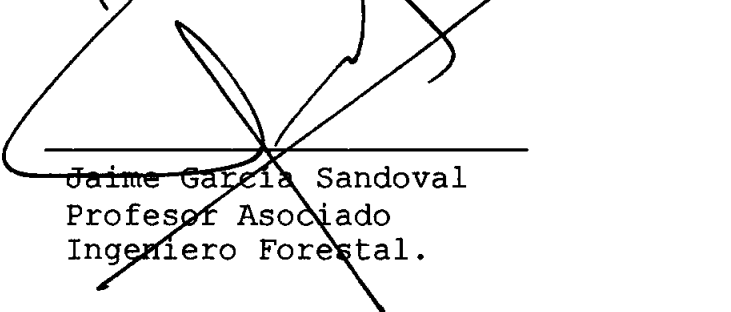
Jorge Cancino Cancino
Profesor Asistente
Ingeniero Forestal M.Sc.

Director Departamento
Manejo de Bosques y
Medio Ambiente



Pedro Real Hermosilla
Profesor Asociado
Ingeniero Forestal Ph.D.

Decano Facultad de
Ciencias Forestales



Jaime García Sandoval
Profesor Asociado
Ingeniero Forestal.

Calificación de la memoria de título:

David González Lanteri: Noventa puntos.

Jorge Cancino Cancino : Ochenta y un puntos.



A Dios

A mis Padres

AGRADECIMIENTOS

A mis profesores asesores los Señores David González Lanteri y Jorge Cancino Cancino, Ingenieros Forestales M.Sc., quienes adquirieron la responsabilidad de guiar esta investigación comprometiéndose en todo momento con su apoyo profesional para el logro de los objetivos planteados. Agradezco su dedicación y las exigencias que me fueron impuestas en pos de mi formación como profesional y en lo humano como un soporte para sortear las dificultades a lo largo de este proceso.

Al Señor Jorge Moreno, profesor de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas y miembro del Programa de Percepción Remota de la Universidad de Concepción, por su apoyo en la obtención de datos, así como también por su aporte para contribuir a dar solidez al presente estudio.

Agradezco a mis padres, hermanos y amigos que siempre me han incentivado para llegar a finalizar esta etapa y en los cuales se fundamenta mi fe para alcanzar mis metas en la vida.

INDICE DE MATERIALES

| CAPITULOS | PAGINA |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| I INTRODUCCION..... | 1 |
| II MATERIALES Y METODOS..... | 7 |
| 2.1 Materiales..... | 7 |
| 2.2 Descripción del ensayo..... | 7 |
| 2.3 Diseño experimental, mediciones y análisis..... | 9 |
| III RESULTADOS Y DISCUSION..... | 11 |
| 3.1 Efecto Topográfico (ET)..... | 14 |
| IV CONCLUSIONES..... | 18 |
| V RESUMEN..... | 19 |
| SUMMARY | 20 |
| VI BIBLIOGRAFIA..... | 21 |
| VII APENDICE..... | 23 |
| APENDICE 1. Programa SAS para el diseño experimental factorial en bloques completos al azar y comparaciones múltiples mediante Duncan..... | 24 |

INDICE DE TABLAS

| TABLA N° | | PAGINA |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1 | Regiones del espectro considerados para el diseño de sensores remotos..... | 2 |
| 2 | Tratamientos resultantes de la combinación de los factores Orientación (Ori), Pendiente (Pen) y Cobertura (Cob)..... | 7 |
| 3 | Intervalos de longitudes de onda por banda espectral..... | 10 |
| 4 | Resumen de las probabilidades ($p > F$) del análisis de varianza para la variable porcentaje de reflectancia para cada banda.. | 11 |
| 5 | Porcentajes de reflectancia para la interacción Pendiente por Orientación (Pen * Ori)..... | 12 |
| 6 | Efecto topográfico sobre la reflectancia.... | 14 |
| 7 | Porcentaje de reflectancia para la interacción cobertura por orientación (Cob*Ori)..... | 16 |

INDICE DE FIGURAS

| FIGURA N° | | PAGINA |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1 | Geometría de la reflexión..... | 3 |
| 2 | Geometría de la reflexión regular y reflexión difusa..... | 4 |
| 3 | Reflectancia para suelo desnudo, agua y vegetación entre los 0,4 y 2,4 μm | 4 |
| 4 | Esquema de la plataforma con arreglo de plantas..... | 8 |
| 5 | Variación de la reflectancia para la interacción Pendiente por Orientación (Pen* Ori)..... | 13 |
| 6 | Efecto topográfico (orientación y pendiente). | |
| 7 | Variación de la reflectancia para la interacción Cobertura por Orientación (Cob* Ori)..... | 17 |

I INTRODUCCION

Los sensores remotos, montados sobre satélites que orbitan la tierra, captan la energía reflejada por la superficie del terreno y a partir de ésta generan imágenes digitales. Estas imágenes tienen un amplio uso en geomorfología, geología, hidrología, levantamiento de suelos, evaluación de cultivos, prospección petrolera, uso actual del suelo y cartografía temática. También tienen un gran potencial en el estudio de los recursos forestales, en aplicaciones como reconocimiento de especies y estado sanitario de masas boscosas.

Los valores de reflectancia asociados a una formación vegetal son determinados por las características de rodal (especies componentes de la formación, densidad, etc.) y por las condiciones topográficas (pendiente del terreno y orientación del plano con respecto al sol). El conocimiento del efecto de esos factores sobre la reflectancia a través del espectro electromagnético es útil para identificar las causas de variaciones de reflectancia entre dos o más observaciones de una misma formación vegetal.

Los sensores remotos captan energía electromagnética de longitudes de onda entre 0,4 y 20.000 μm . Dentro de esos límites se han definido rangos de longitud de onda a los que se les denomina bandas (Tabla 1). Cada banda captura información de diferentes aspectos de un objeto; por ejemplo, el rango visible describe su color, el infrarrojo su temperatura y la microonda la aspereza de su superficie (Bird, 1991).

TABLA 1. REGIONES DEL ESPECTRO CONSIDERADOS PARA EL DISEÑO DE SENSORES REMOTOS.

| Nombre del Segmento o banda espectral | Rango de Longitud de onda (μm) |
|---------------------------------------|---------------------------------------------|
| Visible | 0,4 - 0,7 |
| Infrarrojo cercano | 0,7 - 1,3 |
| Infrarrojo onda corta | 1,5 - 2,5 |
| Infrarrojo medio | 3,0 - 5,0 |
| Infrarrojo termal | 8,0 - 14,0 |
| Microondas | 1.000 - 20.000 |

La energía electromagnética incidente ($E_i(\lambda)$) sobre cualquier cuerpo se refleja ($E_R(\lambda)$), absorbe ($E_A(\lambda)$) y/o transmite ($E_T(\lambda)$), existiendo un balance entre esos componentes [$E_i(\lambda) = E_R(\lambda) + E_A(\lambda) + E_T(\lambda)$] (Lillesand y Kiefer, 1994). La energía reflejada es la que captan los sensores remotos para generar imágenes digitales.

Las proporciones de energía reflejada, absorbida y transmitida por diferentes cuerpos, varían dependiendo de su material, tipo y condición (Lillesand y Kiefer, 1994) y de la longitud de onda que se trate.

El rayo de luz reflejada en un punto cualquiera de una superficie forma con la normal a esa superficie un ángulo (r) igual al que forma el rayo incidente (i) (Weber, 1970; Figura 1).

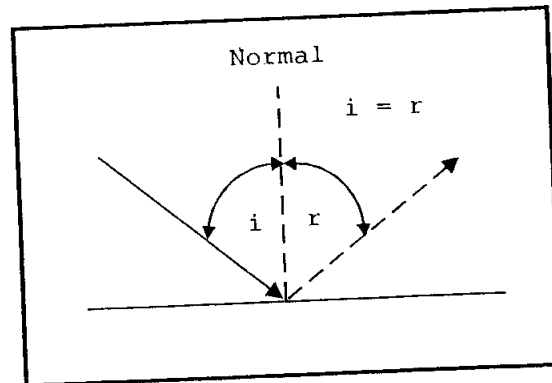


FIGURA 1. Geometría de la reflexión.

La geometría de la reflexión varía dependiendo de la rugosidad de la superficie reflectante. Cuando la superficie es plana la reflexión es regular; una superficie irregular tiene reflexión difusa, que es el tipo de reflexión que presenta la mayoría de los cuerpos que pertenecen al medio natural. En ambos tipos de reflexión el análisis puntual evidencia igualdad entre los ángulos de incidencia y reflexión (Weber, 1970).

La reflectancia espectral (ρ_λ) de un objeto es el porcentaje de la energía incidente ($E_i(\lambda)$) que es reflejada ($E_R(\lambda)$) en determinada longitud de onda (λ) [$\rho_\lambda = 100(E_R(\lambda)/E_i(\lambda))$] (Lillesand y Kiefer, 1994).

La reflectancia varía entre longitudes de onda y entre objetos. Por ejemplo, la reflectancia del agua, vegetación y suelo difieren claramente en el rango visible, siendo más marcada la diferencia entre los dos últimos, en longitudes de onda cercanas a $2,0 \mu\text{m}$. La reflectancia de la vegetación

es bastante mayor en el rango del infrarrojo que en el visible (Figura 3).

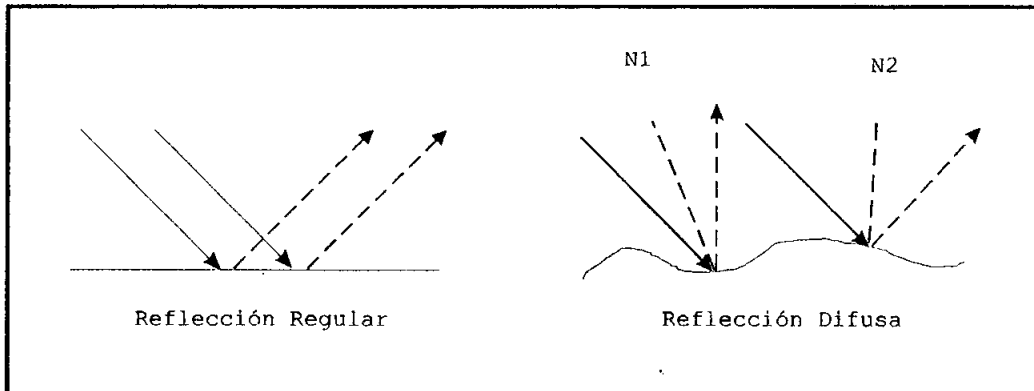


FIGURA 2. Geometría de la reflexión regular y reflexión difusa.

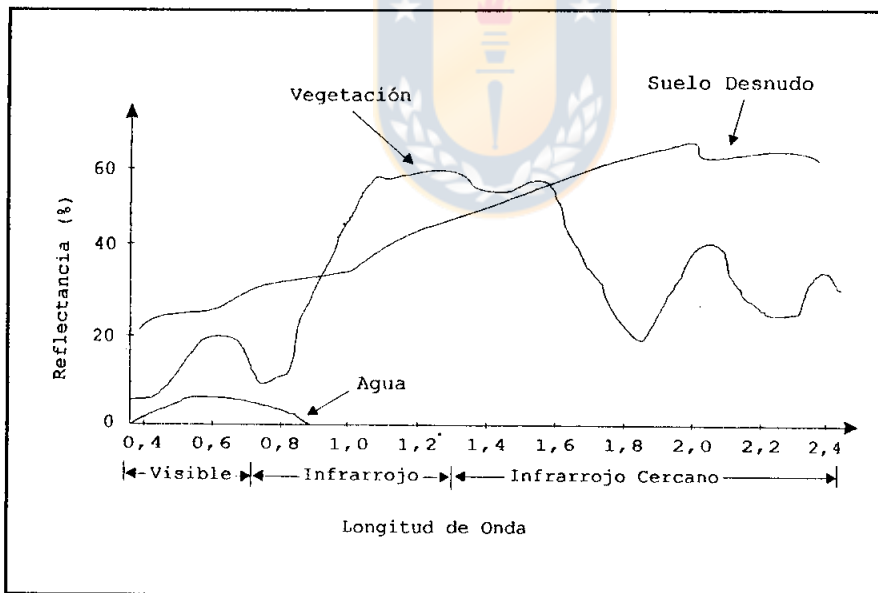


FIGURA 3. Reflectancia para suelo desnudo, agua y vegetación entre los 0,4 y 2,4 μm

La reflectancia espectral depende del objeto y de su estado. La vegetación refleja poco del azul y rojo del rango

visible, ya que la energía de esa longitud de onda es absorbida y utilizada en fotosíntesis; el verde no se usa en ese proceso y por ello se refleja más, al igual que el infrarrojo (Figura 3). Una disminución de los pigmentos fotosintetizadores en las plantas produce una disminución de la reflectancia en el rango del infrarrojo; el efecto contrario se produce cuando las hojas disminuyen su contenido de humedad y turgencia. También importa el momento de captura de la imagen; a mayor ángulo de incidencia respecto del cenit, menor es la reflectancia en todo el rango del espectro (Wooley, 1970).

La reflectancia del suelo está influenciada por su contenido de humedad, textura, rugosidad de la superficie, contenido de materia orgánica y material generador (Lillesand y Kiefer, 1994). La reflectancia aumenta a texturas más finas, pero disminuye a medida que el suelo aumenta su contenido de humedad (Belward, 1991).

El contenido de agua es un elemento determinante de la reflectancia de un objeto, debido a su gran capacidad para transmitir la energía incidente; a mayor contenido de humedad, menor es la reflectancia (Margenau, 1960)

Las condiciones topográficas del terreno en que se ubican los objetos afectan la reflectancia de éstos. Este efecto topográfico es función de la orientación relativa del objeto, la fuente de iluminación y la posición del sensor remoto (Holben y Justice, 1981); se mide a partir de la diferencia de reflectancia entre un terreno inclinado y uno

plano con el mismo tipo de cobertura. El grado de respuesta de un sensor al efecto topográfico varía considerablemente en función del ángulo de elevación solar. Por ejemplo al utilizar imágenes Landsat, el efecto topográfico puede producir una considerable variación de la reflectancia asociada a un tipo de cobertura dada y puede entregar resultados muy pobres si se usa para la clasificación de esa cobertura (Holben y Justice, 1981).

El presente estudio tiene por objeto evaluar el efecto de la pendiente del terreno, su orientación con respecto al sol y el porcentaje de cobertura de copas sobre la reflectancia de plantas de Pinus radiata D. Don. en condiciones de laboratorio.



II. MATERIALES Y METODOS

2.1 Materiales

En el ensayo se utilizaron plántulas de Pinus radiata D. Don de un año de edad, cultivadas en macetas y suelo pardo arcilloso de origen granítico. La experiencia se realizó en un sector adyacente a la Facultad de Cs. Forestales, en el Campus Universitario en Concepción, VIII Región, Chile.

2.2 Descripción del ensayo

El ensayo consistió en simular diferentes condiciones de pendiente del terreno (0, 30 y 60°), orientación del terreno con respecto al sol (0, 90 y 180°) y cobertura de copas (40, 70 y 100%) (Tabla 2).

TABLA 2. TRATAMIENTOS (✓) RESULTANTES DE LA COMBINACION DE LOS FACTORES ORIENTACION (Ori), PENDIENTE (Pen) Y COBERTURA (Cob).

| | | Ori | | | | | | | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|----|-----|-----|
| | | 0° | | | 90° | | | 180° | | | SO | | |
| Pen | | 0° | 30° | 60° | 0° | 30° | 60° | 0° | 30° | 60° | 0° | 30° | 60° |
| Cob | 40% | -- | ✓ | ✓ | -- | ✓ | ✓ | -- | ✓ | ✓ | ✓ | -- | -- |
| | 70% | -- | ✓ | ✓ | -- | ✓ | ✓ | -- | ✓ | ✓ | ✓ | -- | -- |
| | 100% | -- | ✓ | ✓ | -- | ✓ | ✓ | -- | ✓ | ✓ | ✓ | -- | -- |

Para el montaje del ensayo se construyeron plataformas de madera, una con inclinación de 30° y otra con 60° (Figura 4); sobre éstas se colocaron bandejas con suelo y sobre éste las macetas con plántulas a un distanciamiento adecuado para

lograr los niveles de cobertura deseados (Tabla 2). El nivel 0° de pendiente se montó directamente sobre el terreno plano. En todas las situaciones las plantas se mantuvieron perpendiculares al plano horizontal. Los diferentes niveles de orientación se lograron girando las plataformas.

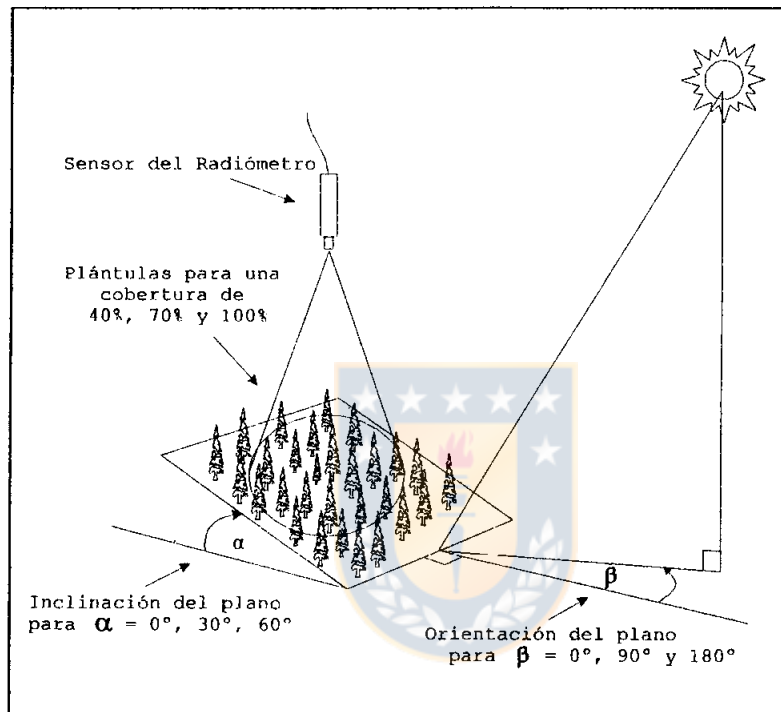


FIGURA 4. Esquema de la plataforma portaplantas del ensayo.

Las mediciones efectuaron durante los días 2, 4 y 8 de Abril de 1997 con cielos totalmente despejados concentrando la toma de datos entre las 12:00 y 14:30 hrs, registrando una variación simétrica del ángulo de elevación solar con respecto al cenit (48°) y con un mínimo ángulo de elevación de 43° para reducir la influencia de este factor sobre los resultados del ensayo.

2.3 Diseño experimental, mediciones y análisis.

El ensayo se montó con una estructura factorial incompleta (Tabla 2), en bloques completos al azar (Steel y Torrie, 1985). Dentro de cada bloque se aleatorizó la oportunidad de mediciones de la reflectancia de cada uno de los 21 tratamientos resultantes de la combinación de los tres factores en análisis. Se realizaron tres repeticiones por tratamiento, una por bloque; cada bloque corresponde a un día de mediciones. El bloqueo temporal busca reducir el error experimental asociado a variabilidad ambiental entre días de medición, en tanto que la aleatorización dentro de cada bloque busca minimizar el efecto de variación del ángulo de elevación solar.

En cada tratamiento y repetición se midió la reflectancia ($E_R(\lambda)$) y la energía incidente ($E_I(\lambda)$) a longitudes de onda (λ) variando entre 0,3 y 1,1 μm cada 0,002 μm . La energía incidente se obtuvo de mediciones realizadas sobre una lámina de teflón. Las mediciones se realizaron con un radiómetro portátil (LI-COR 1800/22), ubicándolo perpendicularmente en relación con el plano horizontal (Figura 4).

A partir de las mediciones se calculó el porcentaje de luz reflejada $[\rho_\lambda = 100(E_R(\lambda)/E_I(\lambda))]$, obteniéndose 400 valores porcentuales por cada tratamiento y por repetición. Esos valores se agruparon en seis rangos o bandas, basados en la clasificación de Lillesand y Kiefer (1994) (Tabla 3), y se promediaron para efectuar su análisis estadístico. Este

consistió en análisis de varianza y pruebas de comparación múltiple (Duncan), cuando correspondía; todos los análisis se realizaron con el software estadístico SAS (SAS Institute, 1985).

TABLA 3. INTERVALOS DE LONGITUDES DE ONDA POR BANDA ESPECTRAL

| Nombre de la Banda | Intervalo de Longitud de Onda (μm) |
|--------------------------|-------------------------------------------------|
| Ultravioleta (UV) | 0,300 – 0,400 |
| Azul | 0,402 – 0,500 |
| Verde | 0,502 – 0,600 |
| Rojo | 0,602 – 0,700 |
| Infrarrojo Cercano (IRC) | 0,702 – 1,000 |
| Infrarrojo Medio (IRM) | 1,002 – 1,100 |

III. RESULTADOS Y DISCUSION

La orientación del plano inclinado respecto del sol es el factor más determinante de la reflectancia espectral de cada banda. Este factor interactúa con la pendiente del terreno y la cobertura de copas (Tabla 4).

TABLA 4. RESUMEN DE LAS PROBABILIDADES ($p > F$) DEL ANALISIS DE VARIANZA PARA LA VARIABLE PORCENTAJE DE REFLECTANCIA PARA CADA BANDA.

| Fuente de Variación | gl | Nivel de significancia por banda | | | | | |
|---------------------|----|----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | UV | Azul | Verde | Rojo | IRC | IRM |
| PEN | 1 | 0,3746 | 0,3284 | 0,0590 | 0,2646 | 0,0001* | 0,0006* |
| ORI | 2 | 0,0001* | 0,0001* | 0,0001* | 0,0001* | 0,0001* | 0,0001* |
| PEN*ORI | 2 | 0,0109* | 0,0006* | 0,0001* | 0,0008* | 0,0001* | 0,0001* |
| COB | 2 | 0,0001* | 0,0001* | 0,0001* | 0,0001* | 0,0001* | 0,0001* |
| PEN*COB | 2 | 0,7516 | 0,2185 | 0,1883 | 0,1522 | 0,4698 | 0,6310 |
| ORI*COB | 4 | 0,0112* | 0,0001* | 0,0607 | 0,0001* | 0,0001* | 0,0001* |
| PEN*ORI*COB | 4 | 0,8449 | 0,8853 | 0,9543 | 0,8517 | 0,4458 | 0,7346 |

* : $P < 0,05$; PEN: Pendiente; ORI: Orientación y COB: Cobertura

El efecto de la pendiente varía según la orientación. Con exposición directa al sol (ángulo de orientación 0°), en todas las bandas se detecta mayor reflectancia a mayor pendiente, aunque la diferencia no es significativa a excepción de la banda verde (Tabla 5, Figura 5). Con exposición perpendicular al sol (90°) no hay diferencia significativa en ninguna de las bandas. En la exposición más alejada del sol (180°), a mayor pendiente menor es la reflectancia, siendo la diferencia significativa en todas las bandas. En la pendiente de 30° , hay diferencia

significativa entre los niveles de exposición, en todas las bandas a excepción de UV en que ocurre sólo entre los extremos; lo mismo se detecta en pendientes de 60°; a excepción de UV en que sólo difiere la orientación más alejada. La reflectancia disminuye a medida que disminuye la exposición al sol, siendo mayor la tasa de disminución a mayor pendiente.

TABLA 5. PORCENTAJES DE REFLECTANCIA PARA LA INTERACCION PENDIENTE POR ORIENTACION (Pen* Ori).

| | | PEN | |
|-----|------|-----------|-----------|
| | | 30° | 60° |
| | | UV | |
| ORI | 0° | a 1,45 a | a 1,63 a |
| | 90° | ab 1,28 a | a 1,33 a |
| | 180° | b 1,05 a | b 0,65 b |
| | | Verde | |
| ORI | 0° | a 8,18 a | a 9,22 b |
| | 90° | b 6,68 a | b 6,95 a |
| | 180° | c 4,60 a | c 1,70 b |
| | | IRC | |
| ORI | 0° | a 43,38 a | a 46,19 a |
| | 90° | b 35,74 a | b 34,11 a |
| | 180° | c 24,89 a | c 10,89 b |

| | | PEN | |
|-----|------|-----------|-----------|
| | | 30° | 60° |
| | | Azul | |
| ORI | 0° | a 2,87 a | a 3,28 a |
| | 90° | b 2,47 a | b 2,46 a |
| | 180° | c 1,57 a | c 0,69 b |
| | | Rojo | |
| ORI | 0° | a 7,41 a | a 8,47 a |
| | 90° | b 5,83 a | b 6,07 a |
| | 180° | c 3,73 a | c 1,43 b |
| | | IRM | |
| ORI | 0° | a 47,20 a | a 50,88 a |
| | 90° | b 38,99 a | b 37,49 a |
| | 180° | c 26,84 a | c 12,70 b |

Letras a la izquierda compara ORI dado PEN (Comparación vertical). Letras a la derecha compara PEN dado ORI (Comparación horizontal). Letras diferentes indican diferencia significativa ($P < 0.05$).

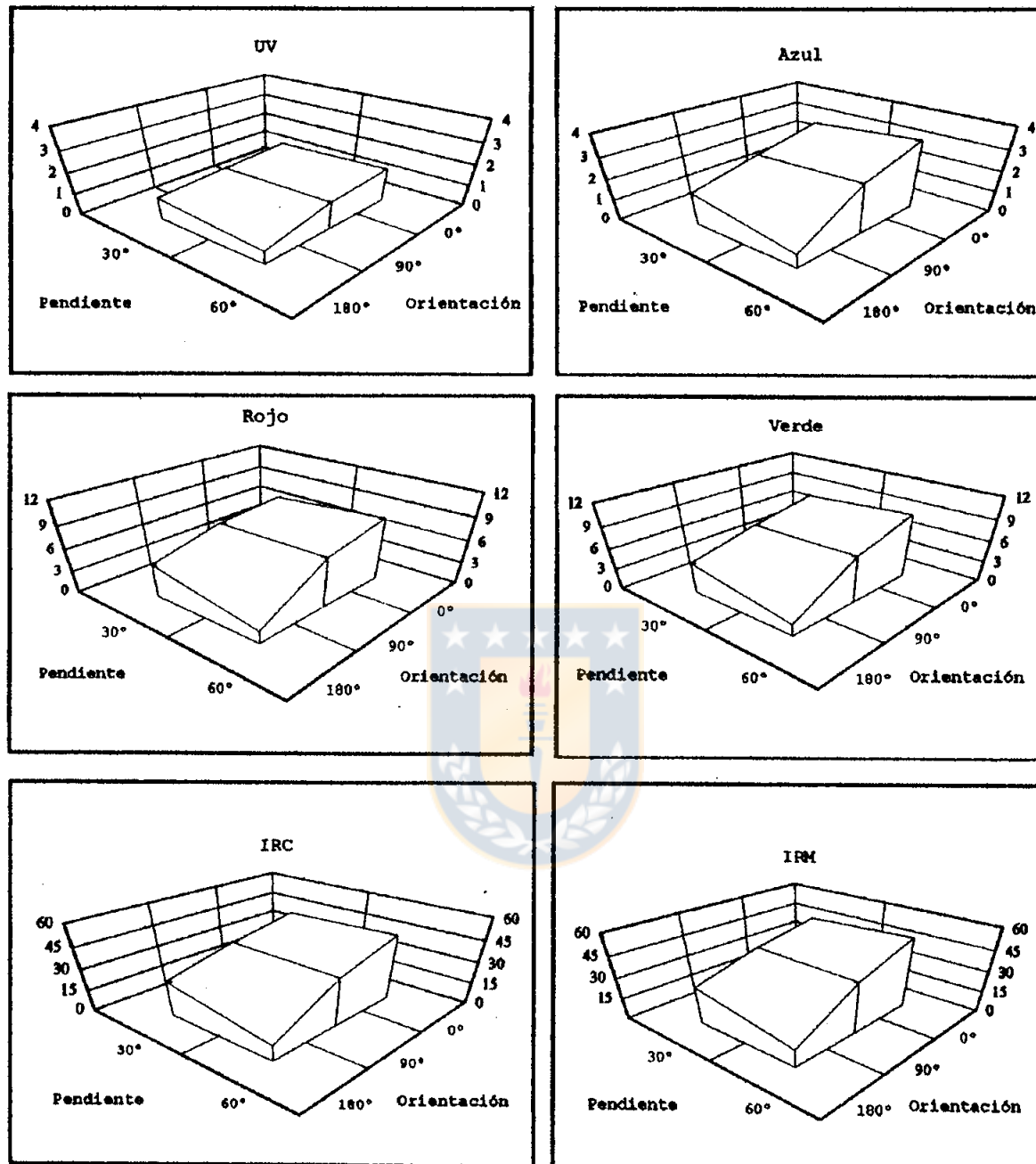


FIGURA 5. Variación de la reflectancia (ρ_λ) para la interacción Pendiente * Orientación (Pen* Ori).

3.1 Efecto Topográfico (ET)

Al efecto simultáneo de la orientación del plano respecto del sol y la pendiente del terreno (R_m), se puede expresar porcentualmente en relación al plano de referencia (R_p) horizontal ($ET = 100 \cdot (R_m - R_p) / R_p$) (Tabla 6, Figura 6). En terrenos orientados hacia el sol, la reflectancia aumenta al aumentar la pendiente (efecto topográfico positivo); lo contrario sucede en terrenos con orientación opuesta; en terrenos de orientación perpendicular al sol, el efecto de la pendiente es en general pequeño.

TABLA 6. EFECTO TOPOGRAFICO SOBRE LA REFLECTANCIA.

| | | Banda | | | | | | | | | | | |
|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | UV | | Azul | | Verde | | Rojo | | IRC | | IRM | |
| Pen | | 30° | 60° | 30° | 60° | 30° | 60° | 30° | 60° | 30° | 60° | 30° | 60° |
| Ori | 0° | 16.0 | 30.4 | 31.7 | 50.5 | 28.0 | 44.2 | 34.9 | 54.3 | 22.0 | 29.9 | 22.8 | 32.4 |
| | 90° | 2.4 | 6.4 | 13.3 | 12.8 | 4.5 | 8.7 | 6.1 | 10.5 | 0.5 | -4.1 | 1.4 | -2.5 |
| | 180° | -27.6 | -48.0 | -45.3 | -68.4 | -43.7 | -73.4 | -49.6 | -73.9 | -42.6 | -69.4 | -43.1 | -66.9 |

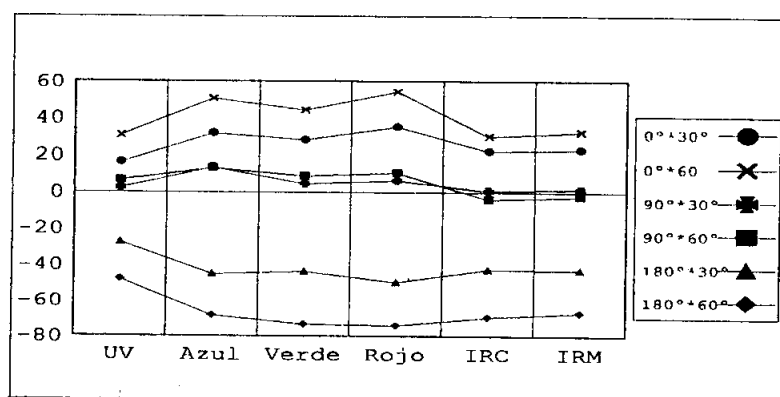


FIGURA 6. Efecto topográfico (orientación y pendiente) sobre la reflectancia.

El efecto de la cobertura de copas también varía según la orientación del terreno (Tabla 7, Figura 7). El efecto depende de la banda en que se analice, lo que se explica por la longitud de onda fotosintéticamente activa. A mayor cobertura se detecta menor reflectancia en UV, verde, azul y rojo; en esas sólo difiere la cobertura de copas de 40% en todas las orientaciones, a excepción de la orientación 0° en que difieren todos los niveles de cobertura. En las bandas IRC y IRM, a mayor cobertura mayor es la reflectancia; en éstas difieren todas las coberturas en todas las orientaciones, a excepción de la orientación 180° en que el efecto cobertura es constante. En todas las coberturas, al disminuir la exposición al sol disminuye la reflectancia en todas las bandas; el efecto específico depende de la banda. En general, hay diferencias significativas entre todos los niveles de orientación, o al menos entre los extremos de cada nivel de cobertura, a excepción de la cobertura 100% en la banda UV, en la que el efecto orientación es constante.

TABLA 7. PORCENTAJE DE REFLECTANCIA PARA LA INTERACCION COBERTURA POR ORIENTACION (Cob*Ori).

| | | COB | | |
|-----|------|-----------|-----------|-----------|
| | | 40 | 70 | 100 |
| | | UV | | |
| ORI | 0° | a 2,43 a | a 1,22 b | a 0,90 b |
| | 90 | a 2,08 a | ab 0,99 b | a 0,86 b |
| | SE | ab 1,90 a | a 1,04 b | a 0,81 b |
| | 180° | c 1,31 a | c 0,68 b | a 0,57 b |
| | | Verde | | |
| ORI | 0° | a 10,91 a | a 8,05 b | a 6,95 b |
| | 90 | a 9,05 a | b 5,79 b | b 5,60 b |
| | SE | ab 8,06 a | c 6,13 b | b 5,00 b |
| | 180° | c 4,15 a | d 2,93 b | c 2,37 b |
| | | IRC | | |
| ORI | 0° | a 33,7 a | a 44,82 b | a 55,61 c |
| | 90 | b 27,15 a | b 32,95 b | b 44,68 c |
| | SE | c 26,75 a | c 34,73 b | c 45,19 c |
| | 180° | d 15,10 a | d 17,88 a | d 20,69 a |

| | | COB | | |
|--|------|-----------|-----------|-----------|
| | | 40 | 70 | 100 |
| | | Azul | | |
| | 0° | a 4,87 a | a 2,49 b | a 1,73 c |
| | 90 | a 3,99 a | b 1,70 b | b 1,40 b |
| | SE | ab 3,45 a | b 1,90 b | b 0,62 b |
| | 180° | c 1,85 a | c 0,93 b | c 1,18 b |
| | | Rojo | | |
| | 0° | a 12,44 a | a 6,43 b | a 4,61 c |
| | 90 | a 10,11 a | b 4,17 b | b 3,56 b |
| | SE | ab 4,21 a | b 4,70 b | b 3,01 b |
| | 180° | c 8,77 a | c 2,10 b | c 1,43 b |
| | | IRM | | |
| | 0° | a 37,35 a | a 48,64 b | a 60,76 c |
| | 90 | b 29,79 a | b 35,64 b | b 49,28 c |
| | SE | b 28,72 a | b 37,77 b | b 48,82 c |
| | 180° | c 16,75 a | c 19,99 a | c 22,59 a |

Letras a la izquierda compara ORI dado COB (Comparación vertical). Letras a la derecha compara COB dado ORI (Comparación horizontal). Letras diferentes indican diferencia significativa ($P < 0.05$).



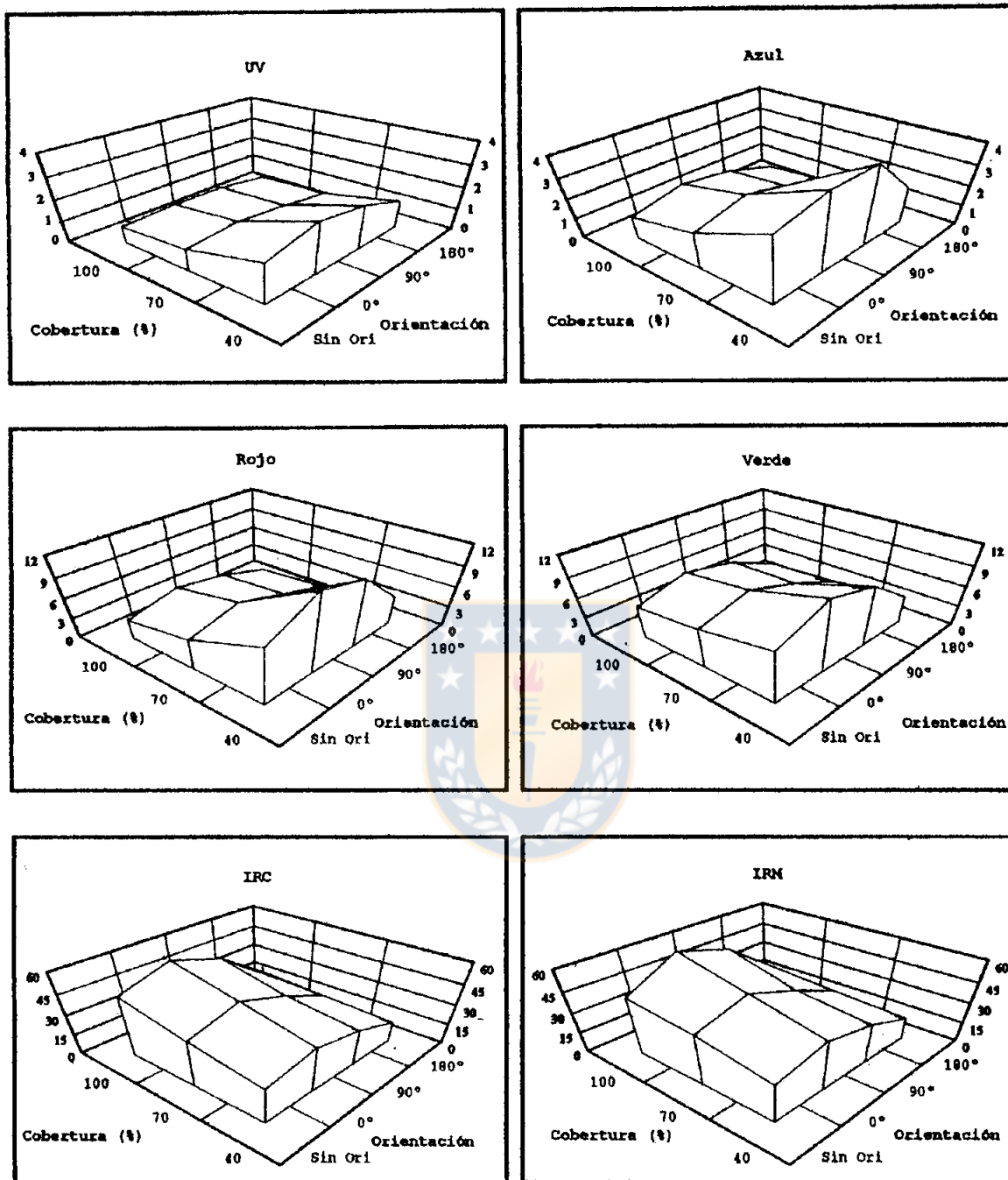


FIGURA 7. Variación de la reflectancia (ρ_λ) para la interacción Cobertura por Orientación (Cob* Ori).

IV. CONCLUSIONES

- El ángulo de orientación del plano inclinado es el factor de mayor influencia sobre la reflectancia de las plantas. La reflectancia disminuye a medida que aumenta el ángulo de 0 a 180°.

- La interacción entre los factores ángulo de orientación con pendiente del terreno y ángulo de orientación con cobertura de copas arrojaron diferencias significativas entre tratamientos para el espectro analizado.

- En la orientación de 0° con respecto al sol, la pendiente genera un efecto topográfico positivo. A mayor pendiente mayor es la reflectancia con respecto al testigo de cero pendiente.

- En la orientación de 180° respecto al sol, la pendiente genera un efecto topográfico negativo. A mayor pendiente menor es la reflectancia con respecto al plano de referencia de cero pendiente.

V. RESUMEN

En la presente investigación se analizó el efecto de la pendiente, la orientación del plano con respecto al sol y la cobertura de copas sobre la energía reflejada en una formación de Pinus radiata D. Don. Consistió en generar artificialmente diferentes condiciones fisiográficas y de cobertura; el ensayo tuvo una estructura factorial, con 3 repeticiones (pendiente: 0, 30 y 60°; orientación con respecto al sol: 0, 90 y 180°; cobertura de copas: 40, 70 y 100%).

En cada unidad muestral se obtuvo la firma espectral mediante un radiómetro de punto (Modelo LI-COR 1800/22) con espectro de 0,3- 1,1 μm y con resolución radiométrica de 0,002 μm .

El análisis estadístico de los resultados obtenidos evidencia la presencia de interacción significativa ($p < 0.05$) entre la cobertura y orientación, y entre la pendiente y orientación.

El efecto de la pendiente y de la cobertura sobre la reflectancia varía dependiendo de la orientación del terreno. El mayor efecto se detecta en orientación de 180° y el menor en 90°.

SUMMARY

This research was carried out to study the effect of slope, ground orientation and crown coverage on the reflected energy in Pinus radiata D. Don stand. The study had a factorial structure with 3 replicates (slope 0, 30 and 60°; orientation 0, 90, 180° respect to the sun, and 40, 70 and 100% of crown coverage). In each sample, the spectral reflectance curves were obtained through a radiometer (Model LI-COR 1800/22) with 0,3- 1,1 μm of spectrum and radiometric resolution of 0,002 μm . The statistical analysis of data showed an important interaction ($p < 0.05$) between coverage and orientation, and between slope and orientation. The effect of the slope and the crown coverage on the reflectance vary depending on site orientation. The biggest effect was detected at 180° orientation and the lowest at 90°.

VI. BIBLIOGRAFIA

1. Belward, A. 1991. Spectral characteristics of vegetation, soil and water in the visible and middle-infrared wavelengths. Remote Sensing and Geographical Information Systems for Resource Management in Developing Countries. Volume 1. pp 31-53. Netherland.
2. Bird, A. 1991. Principles of remote sensing. Remote Sensing and Geographical Information Systems for Resource Management in Developing Countries. Volume 1. pp 17-30. Netherland.
3. Holben, B. and C. Justice. 1981. An Examination of spectral band to reduce the topographic effect on remotely sensed data. International Journal Remote Sensing 2(2):115-133.
4. Lillesand, T. and Kiefer, R. 1994. Remote Sensing and Image Interpretation. Second Edition Wiley and Sons. New York, U.S.A. 750 pp.
5. Margenau, H. 1960. Principios y Aplicaciones de la Física. Reverte S.A. Barcelona, España. 580 pp.
6. SAS Institute, 1985. SAS User's Guide: Version 5. SAS Institute Inc, Cary, N.C.

5. Margenau, H. 1960. Principios y Aplicaciones de la Física. Reverte S.A. Barcelona, España. 580 pp.
6. SAS Institute, 1985. SAS User's Guide: Version 5. SAS Institute Inc, Cary, N.C.
7. Steel, R y J. Torrie. 1985. Bioestadística; Principios y procedimientos. (2^a Ed.) Mc Graw-Hill. Bogotá, Colombia. 622 pp.
8. Weber, R. 1970. Física. T2. Reverte S.A. Barcelona, España. 823 pp.
9. Wooley, J. 1970. Reflectance and Transmittance by Leaves. Plant Physiology. 47(59); 656-662.



VII. APENDICE



APENDICE 1. PROGRAMA SAS PARA EL DISEÑO ESTADISTICO
 FACTORIAL CON BLOQUES COMPLETOS AL AZAR Y
 COMPARACIONES MULTIPLES DE DUNCAN.

```

data reflex0;
infile 'c:\alejpal\result1\datorefl.prn';
input bloque;
do i=1 to 401;
  input lambda @;
  do trat=1 to 21;
    input pref @@;
    output;
  end;
end;
data reflex1; set reflex0; color ="nada";
if lambda <= 400 then color="uv";
if lambda > 400 and lambda <= 500 then color="azul";
if lambda > 500 and lambda <= 600 then color="verde";
if lambda > 600 and lambda <= 700 then color="rojo";
if lambda > 700 and lambda <= 1000 then color="ircerca";
if lambda > 1000 then color="irmedio";
if pref >= 0 then output;
proc sort; by bloque trat color;
proc means mean n noprint; by bloque trat color; var pref;
output out=prome mean=ppref n=numob;
proc sort; by trat;
data tratam;
infile 'c:\alejpal\result1\trat.prn';
input trat pend expos $ cober;
data reflex2; merge prome tratam; by trat;
proc sort; by color expos;
proc glm;
classes trat;
model ppref= trat; by color;
means trat/duncan;
;
proc glm;
classes pend expos cober;
model ppref= pend|expos|cober; by color;
;
proc glm;
classes pend expos cober;
model ppref= pend|expos|cober; by color;
means pend cober/duncan; by expos;
proc sort; by color pend;

```

```
proc glm;
classes pend expos cober;
model ppref= pend|expos|cober; by color;
means expos/duncan; by pend;
proc sort; by color cober;
proc glm;
classes pend expos cober;
model ppref= pend|expos|cober; by color;
means expos/duncan; by cober;
run;
```

