DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE CUBRIMIENTO DE SUELO DEBIDO AL ESTRATO VERDE, EMPLEANDO IMÁGENES MULTIESPECTRALES, ASISTIDO POR SIG

Fabián Mardones (1) y Jorge Green (2)

RESUMEN.

La determinación del nivel de cobertura vegetal reviste especial interés en aplicaciones de modelos de erosión hídrica y eólica, debido a su alta variabilidad espacial y temporal, y su gran influencia en las estimaciones. Con la adaptación del concepto de línea de suelo, la cual relaciona gráficamente, para un mismo píxel, la reflectancia de la banda infrarrojo cercano (IC) con la reflectancia en el rojo (R) como un cuociente entre ambos, permitió generar tres sectores de cobertura de suelo dentro de la gráfica de valores IC/R denominado *scattergram* separándolas por medio de ecuaciones lineales para permitir posteriormente, por medio de algoritmos de clasificación, generar planos de cada categoría de cobertura, permitiendo ello incorporarlo como una base de datos más en los modelos de predicción de erosividad y/o erosión según sea este. Imágenes de IC y R fueron generadas a partir de imagen MODIS 250m, utilizándose un sistema multiescalar para ligar la posición de cada área de interés, yendo desde fotografías aéreas georeferenciadas escala 1:20.000 y 1:115.000, hasta imagen Landsat TM 30m e imagen MODIS 250m de resolución espacial. El procedimiento fue validado sobre áreas seleccionadas para ello y sus resultados representan el nivel de cobertura de suelo sobre el terreno.

SUMMARY

The accurate determination of the soil canopy cover becomes useful data in several erosion models due to its high spatial and temporal variability. The adaptation of soil line concept, that relates, the reflection of the near infrared response (NIR) and red response (R) as a ratio between them, allowed the creation of three sections on the soil canopy cover surface scattergram graphics, producing three geometric areas divided each other by computed lined equation to allow later on through classification algorithms, the estimation of soil canopy cover index that would be used in an erosion model. MODIS red and NIR product, 250 m. data were used as a source of scattergram data. Aerial photo, Landsat TM imagery were used at the beginning to locate the research pilot areas in more accurate way allowing to take the geographic coordinates to reach the MODIS coordinates using Modland tool.The procedure was validated to estimate soil canopy cover over several places, showing good result.

INTRODUCCION.

La erosión es un fenómeno irreversible que día a día afecta a los suelos proclives a ella en todas las latitudes del planeta, transformándose en un problema ecológico, comercial y social de gran efecto sobre la sociedad. Es de especial importancia determinar la magnitud real de daño que esta produce, para poder aplicar las medidas necesarias orientadas a minimizar el efecto de la degradación. Los métodos convencionales para estratificación de coberturas de suelo generalmente se construyen a base de la fotointerpretación, realizada sobre fotografías aéreas, las que conllevan un costo monetario muchas veces elevado, esto sumado a que la superficie que cubren es reducida a gran escala de detalle, dependiente de condiciones climáticas y disponibilidad de equipamiento y avión, convirtiéndose en un proceso lento cuando el área que se quiere abarcar es extensa, pero posee la ventaja de obtener estimaciones bastante precisas y un mayor grado de detalle acerca de las condiciones del terreno. El uso de teledetección espacial proporciona un apoyo conveniente para reducir costos y el tiempo invertido en obtener y procesar información. Esto se debe principalmente a que una sola imagen permite abarcar una superficie mayor que si se usara una fotografía aérea, reduciendo los costos considerablemente si es que el área de estudio es amplia. Además, el trabajo con imágenes, realizados con equipos y herramientas adecuadas, reduce el tiempo de obtención de resultados (Chuvieco, 1990). Además se puede obtener

(1) y (2): Estudiantes de Ingeniería Forestal, Laboratorio de Ecosistemas Forestales. Grupo de Sensoramiento Remoto y Biofísica. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción, Victoria 631 Barrio Universitario, Concepción, Chile.
Correos: fabianmardones@udec.cl y jgreen@udec.cl

una vista panorámica amplia, con la desventaja que la imagen MODIS es de una resolución relativamente más gruesa, lo que no permite discriminar lo que hay dentro de un área pequeña, donde la fotografía entrega un mayor detalle, complementándose ambas fuentes de información.

OBJETIVO.

Con esta investigación se persigue modelar protocolos para la detección de distintos niveles de cobertura de suelos orientado a ser usados en modelos de erosión hídrica, enfocando esto a una automatización de procesos. El procedimiento demuestra la eficacia y las ventajas del uso de la teledetección espacial, en base al concepto de fotointerpretación, para cumplir con el fin antes señalado, logrando así, materializar un sistema que aún no se ha desarrollado operacionalmente en el país y que ya posee numerosos usuarios en otros países.

ANTECEDENTES GENERALES

AREA DE ESTUDIO

Esta se encuentra ubicada en el secano interior de la VIII región de Chile (figura 1). Esta comprende una superficie de 625 Km^2, correspondientes a una matriz de 100 x 100 píxeles de una imagen MODIS de 250m de resolución espacial. Es una zona de topografía variable, yendo desde pendientes pronunciadas a suaves, altamente deteriorada con evidentes signos de erosión hídrica, generada durante décadas de prácticas agrícolas, en la que se ha favorecido la acción corrosiva del agua y se ha sobre exigido la capacidad productiva del sitio. Las principales actividades del sector son la agricultura de subsistencia y algunas plantaciones forestales.

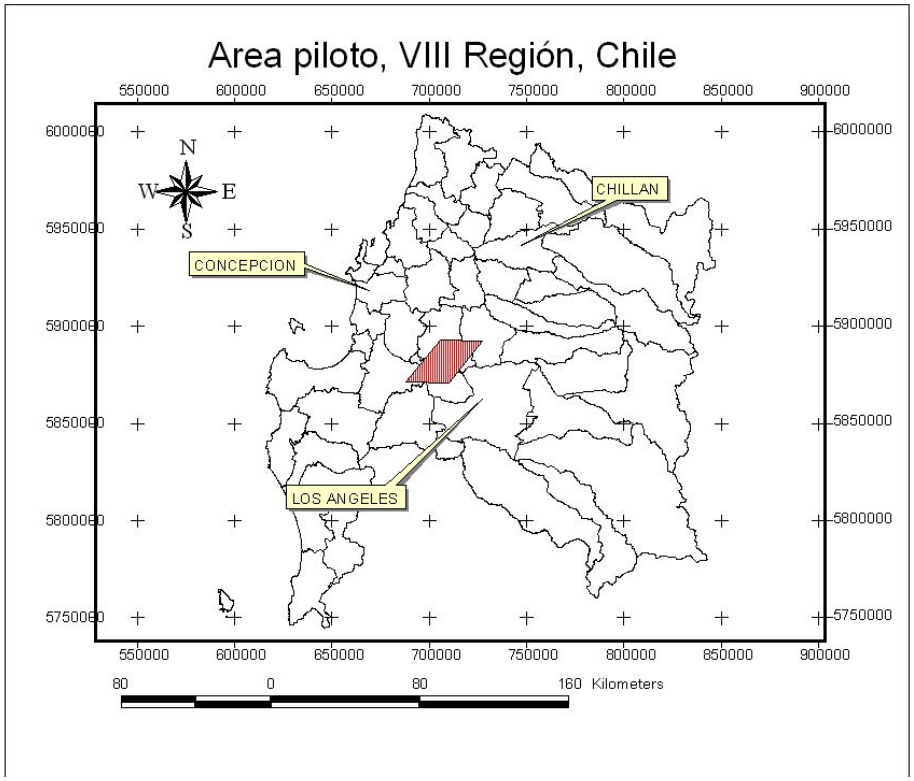


Figura 1: Ubicación geográfica del área piloto .VIII Región (Región del Bio-Bío), Chile.

(1) y (2): Estudiantes de Ingeniería Forestal, Laboratorio de Ecosistemas Forestales. Grupo de Sensoramiento Remoto y Biofísica. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción, Victoria 631 Barrio Universitario, Concepción, Chile.
Correos: fabianmardones@udec.cl y jgreen@udec.cl

La selección del área piloto se realizó mediante la recolección de antecedentes acerca de las zonas con presencia de distintos niveles de erosión en la Región, seguido de la revisión de fotografías aéreas ortorectificadas escala 1:115.000 del lugar, llegando finalmente a su elección, tomando en cuenta las vías de acceso, lo que permitió una visita de inspección al terreno.

CONCEPTOS PREVIOS.

La línea del suelo está representada como una relación lineal entre reflección del suelo observada en dos bandas del espectro electromagnético (Baret et *al.*, 1993), en este caso estas bandas son proyectadas sobre un grafico scattergram con la banda Roja en un eje de coordenadas artificiales versus los datos de reflectancia en el Infrarrojo Cercano. La reflectancia espectral en el rojo e infrarrojo cercano de una planta varia durante su ciclo de crecimiento. La reflectancia del follaje en estas bandas depende de su profundidad, densidad, edad y diversidad (González et al, 2005; González, 2005). La banda del Infrarrojo Cercano es altamente sensible a la composición de la estructura y filotáxis de la hoja, y la disposición de las células del parénquima y diferencias especificas que distinguen la reflectancia de las plantas entre si, y de estas con el suelo descubierto (A. de Boer, 1990; Minen, R. B. and Williams, D. L., 1993), además de la propia vigorosidad de la misma.

MATERIAL Y MÉTODOS

DEFINICION DE OPORTUNIDAD DE IMAGEN MODIS.

En esta etapa se utilizaron las escenas MODIS de todo el año 2003, buscando la época del año en que dentro del área piloto existiera una gran diferenciación de coberturas y se presentara una situación con gran cantidad de suelo al descubierto. Para ello se elaboró un índice en base a la reflectancia en la banda del Infrarrojo Cercano (*IC*) y el Rojo (*R*), relacionado con el índice de vegetación de Razón Simple (*SR*) que posee alta sensibilidad a la presencia y diferenciación de vegetación y suelos descubiertos. A este se le llamó Índice de Variabilidad Espacial de la Cobertura del suelo (ecuación 1).

$$IVEC = \frac{\left[\frac{(\sigma IC - \sigma R)}{\sigma\, fr\, SR} \cdot \sigma IC\right]}{10000}$$; *Ecuación 1.*

Donde:

$IVEC$ es el Índice de Variabilidad Espacial de la Cobertura del suelo.
$\sigma\, IC$ es la desviación estándar de la banda Infrarrojo Cercano.
$\sigma\, R$ es la desviación estándar de la banda Roja.
$\sigma\, fr\, SR$ es la desviación estándar de la frecuencia del índice de vegetación de Razón Simple (ecuación 2).

$$SR = \frac{IC}{R}$$; *Ecuación 2.*

Donde:

SR es el Índice de Vegetación de Razón Simple (*Simple Ratio*)
IC es el valor en la banda Infrarroja del espectro.
R es el valor en la banda Roja del espectro.

En lugares con alta variabilidad espacial y vegetación vigorosa, implica una gran oscilación del *IC*, banda muy sensible a la vegetación, pero en estos mismos lugares cuando decae la vegetación, la variabilidad

(1) y (2): Estudiantes de Ingeniería Forestal, Laboratorio de Ecosistemas Forestales. Grupo de Sensoramiento Remoto y Biofísica. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción, Victoria 631 Barrio Universitario, Concepción, Chile.
Correos: fabianmardones@udec.cl y jgreen@udec.cl

del *IC* decae y se hace más cercana a la correspondiente al *R.* Los datos de *SR,* agrupados en tabla de frecuencia, deben tener una gran variabilidad, la mayoría de los datos concentrados principalmente en los valores más bajos de *SR* y los otros muy esparcidos en los valores más altos; esto permitirá una mejor calibración del método. Debido a esto el índice indica grado de cobertura del suelo por parte de la vegetación.

PROCESAMIENTO DE IMAGEN MODIS Y CALCULO DE INDICES DE VEGETACIÓN.

De la escena de MODIS seleccionada se cortó la subescena correspondiente al área piloto. Luego se generaron los valores de *IC* y *R* correspondientes a 625 píxeles muestreados en forma sistemática dentro de la imagen, cuyos valores se relacionan a partir de una gráfica que entrega información de la distribución de los píxeles con respecto a la línea de suelo (Figura 2).

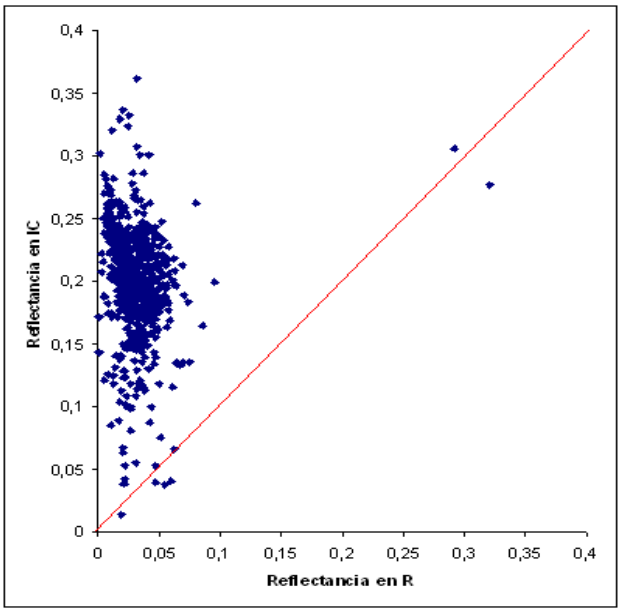


Figura 2: Scattergram del muestreo de píxeles realizado en el área de estudio, indicando la distribución con respecto a la línea de suelo, representado con línea roja 1:1.

Sobre estos píxeles se aplican los índices de vegetación *SR* y *NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index) (Ecuación 3), los cuales están relacionados con la línea de suelo.

$$NDVI = \frac{(IC - R)}{(IC + R)}; Ecuación\, 3.$$

(1) y (2): Estudiantes de Ingeniería Forestal, Laboratorio de Ecosistemas Forestales. Grupo de Sensoramiento Remoto y Biofísica. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción, Victoria 631 Barrio Universitario, Concepción, Chile.
Correos: fabianmardones@udec.cl y jgreen@udec.cl

GEORREFERENCIACIÓN DE LA INFORMACIÓN MODIS.

Se le asigna coordenadas geográficas a la información obtenida de la imagen MODIS empleando herramienta MODLAND, y se asociaron a la base de datos.

CALIBRACIÓN.

Este proceso se realizó comparando la distribución de frecuencias de SR (figura 3) con la muestra obtenida en el scattergram, los que a su vez son asociados al valor de NDVI correspondiente al píxel. De esta relación se obtendrá una primera impresión del tipo de cobertura presente en el píxel.

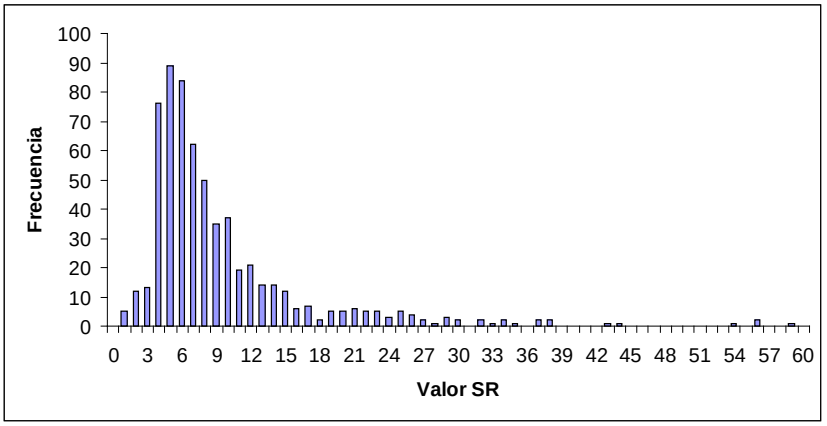


Figura 3: Distribución de frecuencias de SR para la muestra del área de estudio.

La información proveniente del método anterior es seguida mediante un sistema multiescalar que liga geográficamente los resultados arrojados por los protocolos de procesamiento a imágenes Landsat TM, obteniendo una primera aproximación, seguido de fotografías aéreas ortorectificadas escala 1:115.000, y de ellas, se continuo en un proceso multiescalonado, a fotos georeferenciadas escala 1:20.000, con las que se generó mayor detalle, obteniendo la calibración del sistema. Después se definieron las amplitudes de los rangos de tres tipos de cobertura de suelo.

CARACTERIZACIÓN GRÁFICA DE LA ESTRATIFICACIÓN

Se elaboró una imagen que muestra visualmente la disposición de los distintos estratos sobre el terreno. Para ello se empleó el software ENVI 4.0 ingresando las amplitudes de los rangos (ecuaciones lineales) calculadas a partir del proceso.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

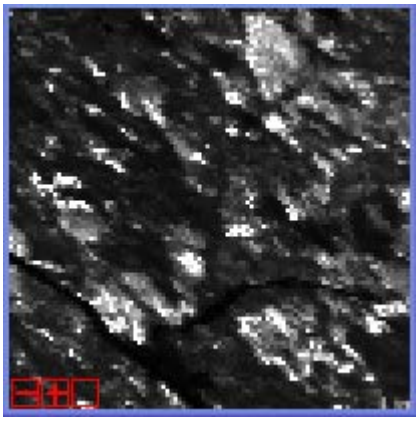
En la determinación de la oportunidad de imagen MODIS, el valor de *IVEC* es de un valor de 0,84, el cual da como resultado la fecha 2003193 que corresponde al 12 de Julio, por lo cual, la imagen MODIS a usar es MOD13Q1.A2003193.h12v12.004.2003227043055. Claramente la fecha elegida muestra una amplia variabilidad espacial, además que la relación proporcional de IC y R evidencian una alta cantidad de

(1) y (2): Estudiantes de Ingeniería Forestal, Laboratorio de Ecosistemas Forestales. Grupo de Sensoramiento Remoto y Biofísica. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción, Victoria 631 Barrio Universitario, Concepción, Chile.
Correos: fabianmardones@udec.cl y jgreen@udec.cl

suelo descubierto. Cabe destacar que la subescena seleccionada cae justamente dentro de la época de mayor lluvia en la región, conllevando consigo una alta probabilidad de erosión.

El análisis de SR, permitió la generación de de tres niveles de cobertura de suelo, los cuales reflejan las características que tiene la cobertura en un lugar determinado dentro del área de estudio (figura 4). Se usaron los valores de SR asociados al NDVI, los que mostraban una alta correlación reflejando cambios marcados en el cubrimiento del suelo. Sin embargo existieron en el proceso de calibración, signos y diferencias en el comportamiento de la vegetación que llevan a creer en la necesidad de crear nuevos rangos de cobertura, en el caso de que las necesidades y enfoque del proyecto así lo requiera, dando gran flexibilidad según sean las aplicaciones deseadas.

a)



b)

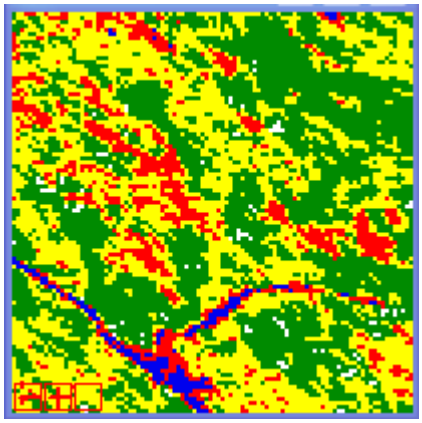


Figura 4: a) Imagen SR de MODIS del área de estudio. b) Estratificación mediante software ENVI 4.0 en la que cada color representa un rango de valores de SR: a) 0 - 2,0000 (azul) agua; 2,0001 - 4,0000 (rojo) una menor cobertura vegetal; 4,0001 - 7,5000 (amarillo) mezcla de cubierta y suelo pelado; sobre 7,5001 (verde) , que representa la mayor cobertura vegetal.

Este estudio arrojó como resultado, que los rangos SR para discriminar coberturas distintas, se mueven entre 2,0001 y 4,0000 para identificar suelo descubierto, erosionado y/o potencialmente erosionable, existiendo la presencia de pastos anuales, los que no son una barrera confiable ante el deterioro causado por la lluvia. Entre 4,0001 y 7,5000 existe una mezcla de suelo carente de vegetación permanente y vegetación arbórea, que por su baja densidad con respecto al píxel, representa una efectividad en la

(1) y (2): Estudiantes de Ingeniería Forestal, Laboratorio de Ecosistemas Forestales. Grupo de Sensoramiento Remoto y Biofísica. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción, Victoria 631 Barrio Universitario, Concepción, Chile.
Correos: fabianmardones@udec.cl y jgreen@udec.cl

protección del suelo mayor a la que ofrece el primer rango de SR, pero más baja a la que ofrecería un suelo totalmente cubierto de árboles con hojas permanentes que está representado por el rango 7,5000 a 70,0000. Los valores más altos fueron considerados “raros”, y por tal motivo sacados del proceso.

También se ha elaborado una categoría para discriminar el efecto del agua en el análisis de cobertura, cuyo rango de SR varía de 0 a 2,0000, este rango es muy amplio para el agua y se obtuvo sacando un promedio de la reflectancia existente sobre parte del río Bío-Bío (que forma parte del área de estudio). Este efecto debiera encontrarse generalmente en un rango de 0 a 1 de valores de SR, pero evidentemente la cantidad de sedimento presente en el río aumenta su reflectancia en IC, y por ende lleva a que el valor promedio de SR no sea tan bajo.

CONCLUSIONES

El estudio ha logrado demostrar que la metodología empleada discrimina de manera efectiva distintos niveles de cubrimiento del suelo. El procedimiento logra discernir con éxito entre distintas coberturas de suelo.

Línea de suelo asociada a índices de vegetación, en este caso SR y NDVI, discriminan eficientemente estratos de vegetación y suelo descubierto.

Los protocolos elaborados para este proceso sirven para ser usados en cualquier lugar, con la previa calibración y evaluación local. Luego de esto el sistema se reduce al proceso sobre la imagen satelital, y de ella se obtendrá la distribución espacial de las coberturas en breves etapas. Con ello se logra el objetivo de automatización de procesos.

Los resultados obtenidos en este proceso no son suficientes para obtener una apreciación acabada acerca del peligro de erosión en un lugar, pues sólo estima la cobertura, siendo, sin embargo variable vital, en los modelos de erosión de suelos (RUSLE, USLE).

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Dr. David González por su apoyo al desarrollo de la presente investigación. Se agradece también al Ministerio del Interior del gobierno americano y NASA por proveer de datos MODIS.

REFERENCIAS.

A.de Boer, Th, 1990, Botanical characteristics of vegetation and their influence on remote sensing. Land observation by remote sensing, Current topics in remote sensing, volume 3, page. 89-103.

Baret, F., Jacquemoud, S. and Hanocq, J. F., 1993, About the soil line concept in remote sensing. INRA Bioclimatologie, BP 91, 84143, Montfavet Cedex, FranceAdvances in Space Research Volume 13, Issue 5 Pages 281-284

Chuvieco, E., 1990. Fundamentos de Teledetección Espacial.

González, D., 2005, Apuntes Curso de Sensores Remotos y Medio Ambiente, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción, Chile.

González, D., Huete, A., Kim H. and Didan, K. 2004. Estimation of the fraction of canopy cover from multispectral data to be used in a water soil erosion prediction model. Gayana 68(2): 239 – 245.

Minen, R. B. and Williams, D. L.,1993, On the relationship between FAPAR and NDVI. Remote Sensing of Environment Volume 49, Issue 3 , September 1994, Pages 200-211

(1) y (2): Estudiantes de Ingeniería Forestal, Laboratorio de Ecosistemas Forestales. Grupo de Sensoramiento Remoto y Biofísica. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción, Victoria 631 Barrio Universitario, Concepción, Chile.
Correos: fabianmardones@udec.cl y jgreen@udec.cl