ISSN: 1390-6135

Ingeniería Forestal

1859

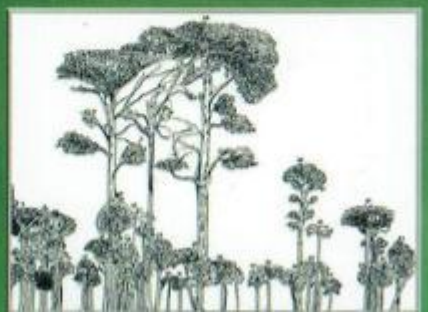
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ECOLOGÍA FORESTAL

REVISTA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

Volumen 1, No. 1, Loja, Ecuador 2010



Universidad Nacional de Loja
Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables
Carrera de Ingeniería Forestal

Dr. Gustavo Villacís Rivas
RECTOR

Dr. Ernesto González Pesantes
VICERRECTOR

Revista Ecología Forestal
Volumen 1, No. 1
2010

Comité Editorial

- Jorge García Luzuriaga, Mg. Sc.
  Coordinador de la Carrera de Ingeniería Forestal
- Nikolay Aguirre Mendoza, Ph.D.
  Profesor de la Carrera de Ingieniería Forestal

Comité de Revisión
Nikolay Aguirre Mendoza, Ph.D.
Zhofre Aguirre Mendoza, Mg.Sc.
Luis Sinche Fernández, Mg.Sc.

Portada: Ing. Deicy Lozano

La reproducción y traducción parcial o total de los trabajos publicados en la Revista "ECOLOGÍA FORESTAL" por terceros, se ajusta a las normas de la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador.

COMISIÓN EDITORIAL DE LA UNL

Dr. Ernesto González Pesantes
PRESIDENTE

Dr. Tito Muñoz
DOCENTE ÁARNR

Dr. Milton Andrade Tapia
DOCENTE ÁEAC

Dr. Noé Bravo Vivar
DOCENTE ÁEAC

Dr. Fidel Maldonado Tapia
DIRECTOR CERACYT

Lic. José Iñiguez Cartagena
DIRECTOR CUDIC

Lic. Víctor Vicente Regalado Valarezo
DIRECTOR EDITORIAL UNIVERSITARIA

CONTENIDO

EDITORIAL 5

INVESTIGACIÓN 7

Diversidad florística del ecosistema páramo del Parque Nacional Podocarpus para el Monitoreo del Cambio Climático
Paúl Eguiguren, Tatiana Ojeda y Nikolay Aguirre 7

Estudio comparativo de métodos indirectos para la estimación de índice de área foliar en áreas de pastizales abandonados
Gabriel Gaona y Jorge García Luzuriaga 19

Diversidad de anfibios y reptiles de un bosque seco en el sur occidente del Ecuador
Diego Armijos Ojeda y Katiusca Valarezo 30

Evaluación del efecto de la inoculación con hongos micorrízicos en la propagación de *alnus acuminata* y *morella pubescens*
Narcisa Urgiles Gomez, Lucía Quichimbo, Arthur Schuessler, Claudia Krueger 37

Diversidad florística y estructura del bosque nublado en el sur occidente del Parque Nacional Podocarpus
Celso Yaguana, Deicy Lozano, Zhofre Aguirre 47

Flora y endemismo del bosque húmedo tropical de la Quinta El Padmi, Zamora Chinchipe
Elsa Naranjo, Tito Ramírez y Zhofre Aguirre 61

Crecimiento inicial de *Tabebuia chrysantha* y *Cedrela montana* con fines de rehabilitación de áreas abandonadas en el trópico húmedo ecuatoriano
Darlin González Ruth Poma, Milton Ordóñez, y Nikolay Aguirre 73

Germinacion de Ficus insípida, especie protectora de vertientes de agua en el cantón Paltas
Alexandra Condoy y Clemencia Herrera 81

Evaluación de la composición florística de la regeneración natural del bosque tropical de montaña en la estación científica san francisco bajo diferentes intensidades de raleo selectivo
Johana Muñoz y Luis Muñoz. 88

Anatomía macroscópica y algunas características físicas de siete especies maderables de pie de monte de la zona alta de la Cuenca del río Puyango
Héctor Maza Chamba 100

REVISIONES .....

Trayectoria Académica de la Carrera de Ingeniería Forestal
Napoleón López Tandazo 112

Calentamiento Global y sus implicaciones en el Ecuador
Nikolay Aguirre· Zhofre Aguirre y Tatiana Ojeda 119

Las plantas vasculares como indicadores de la calidad y problemas de los ecosistemas
Zhofre Aguirre M. y Cristhian Aguirre 125

Experiencias de propagación asexual en especies forestales en la provincia de Loja
Manuel Quizhpe Córdova y Hugo Sáenz Figueroa 139

EDITORIAL

La preocupación actual por los recursos naturales, en particular los forestales, ha adquirido una importancia sin precedentes en el mundo. Los motivos son evidentes; el grave daño que se ha hecho a los ecosistemas que cobijan a los seres humanos está afectando severamente sus condiciones de vida, haciendo peligrar el futuro mismo de la tierra. El tema ya no sólo agobia a los directamente agredidos por estos problemas sino que se ha convertido en un problema de carácter global, que traspasa fronteras y amenaza a todos por igual.

La presencia e interés por la conservación de los bosques en los grandes foros nacionales e internacionales, es evidente; esta inquietud está trascendiendo la simple retórica y ya se cuestionan y replantean los actuales estilos de vida y de desarrollo, proponiéndose la búsqueda de salidas viables a estos grandes problemas, dentro de un clima de progreso y bienestar colectivos, como legado viviente para las futuras generaciones.

América Latina alberga en su territorio la cuarta parte del total de zonas forestales del mundo y la mitad de bosques y selvas tropicales que quedan en el planeta, con una biodiversidad que se aproxima a las 85 000 especies, el 31 % del total mundial. Incomprensiblemente, sus abundantes recursos naturales, bosques, selvas y biodiversidad mayor que cualquier otro continente están sujetos a procesos de destrucción acelerados que contribuyen a acrecentar los cinturones de pobreza en las zonas rurales.

Esto justifica la preocupación mundial y al mismo tiempo el creciente interés por la conservación de bosques y ecosistemas en general; sin embargo, el acentuado protagonismo, duplicación de esfuerzos, falta de coordinación entre agencias e instituciones, trabajo conjunto y poca participación local en regiones deprimidas donde las desigualdades económicas constituyen el principal factor de deforestación, ponen en riesgo las iniciativas de conservación, el mejoramiento del régimen fiscal y legal, la distribución equitativa de beneficios y el fortalecimiento de las capacidades públicas y privadas de gestión, mejoraría la situación que hoy por hoy se da en nuestro país.

La participación local y autogestión en el manejo de recursos naturales, no ha sido objetada, es hora que los futuros acuerdos y convenios la tengan presente. Sin descartar que la sostenibilidad en el manejo de los recursos naturales y especialmente de los bosques se garantizará en la medida que podamos pasar la factura de los servicios ambientales como la captación de CO_2, que sería más rentable que la misma producción maderera.

La Carrera de Ingeniería Forestal, con la grata oportunidad de celebrar los 35 años de creación, ponemos a consideración de los profesionales y de la colectividad en general el primer volumen de la revista "**Ecología Forestal**". La presente publicación contiene varios artículos científicos elaborados por profesionales egresados de esta Unidad Académica, quienes a lo largo de su práctica profesional han cosechado valiosas experiencias que hoy las hacen trascendentes como un aporte y colaboración al celebrar un año más de su creación.

La Coordinación de Carrera, quiere rendir tributo de esta manera a todos los estamentos que la conforman y desear un futuro brillante a la profesión forestal, a sus egresados y a sus estudiantes que son la razón de la carrera, así mismo dejamos constancia de nuestra gratitud al Comité Editorial.

Jorge García Luzuriaga

ESTUDIO COMPARATIVO DE MÉTODOS INDIRECTOS PARA LA ESTIMACIÓN DE ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR EN ÁREAS DE PASTIZALES ABANDONADOS

Gabriel Gaona[1] y Jorge García Luzuriaga[2]*

RESUMEN

Esta investigación se desarrolló en los meses de julio a diciembre del año 2008, con el propósito de validar dos metodologías indirectas de determinación de Índice de Área Foliar (IAF), mediante un método convencional. La primera metodología, LICOR2000, se basó en la relación existente entre la radiación incidente y la radiación transmitida, que fue medida con el equipo *LAI-2000 Plant Canopy Analyzer.* Y la segunda se basa en principios de teledetección, y se calcula el IAF a partir de imágenes del satélite Landsat. Las metodologías utilizadas han sido adecuadas a las necesidades de áreas de estudio, en las que predominan las especies de *Setaria sphacelata* y *Pteridium aquilinum.* Como resultados más relevantes se obtiene que: El valor de determinación, R^2, entre el método convencional y el método LICOR2000, es de 0.93; y, con el método indirecto (Imágenes Landsat) fue de 0.76. La aplicación del método indirecto, como comprobación, fue un análisis multitemporal del IAF en las mismas áreas estudiadas, con escenas Landsat de los años de 1986, 1999 y 2001, cuyos resultados confirman una alteración de la vegetación por actividades antrópicas. A partir de esto se concluye que mediante imágenes Landsat, se puede obtener una gran aproximación a la realidad, como la obtenida con los métodos directos en los sitios estudiados.

Palabras Claves: Teledetección, Landsat, LICOR2000, Setaria sphacelata, Pteridium aquilinum

INTRODUCCIÓN

Al considerar la importancia que la FAO ha dado al uso de la teledetección en la caracterización de

[1] Ingeniero Ambiental, Profesor de la Carrera de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de Loja.
[2] Ingeniero Forestal, Coordinador de la Carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Nacional de Loja
* Autor para correspondencia, gavg712@gmail.com

la superficie terrestre, con fines de ordenamiento y toma de decisiones, se puede fácilmente concluir que los sensores remotos marcan una nueva tendencia en la evaluación y monitoreo de la vegetación. Un ejemplo de éstos es la promoción de estas tecnologías por parte de la FAO en La Evaluación Global de los Bosques por Teledetección. Esto debido a que las mejoras tecnológicas y un mejor acceso a los datos de tele-observación permiten ampliar el acceso a la información de forma más rápida y con una alta confiabilidad (FAO 2009).

Las imágenes de satélite han constituido una herramienta fundamental en el monitoreo y análisis de la vegetación (Chuvieco 1996, Schlerf et al. 2004), permitiendo acceder a datos relevantes para la expansión del conocimiento de los lugares más remotos, a los cuales es necesario llegar (FAO 2009).

El índice de Área Foliar (IAF), es definido como la relación entre el área de las hojas de un dosel y el área de suelo (Asner Sner et al. 2003, Wilhem et al. 2000, LICOR 2000, Napolitano et al. 2001). Según Bréda (2003), es uno de los parámetros más útiles para caracterizar el estado de la vegetación. Considerando que la estimación del IAF ha resultado uno de los trabajos más delicados, debido a que es un parámetro muy importante, se ha podido detectar que en muchos estudios de validación de datos existe una subestimación del IAF en métodos indirectos con respecto a métodos directos (Bréda 2003).

El IAF está estrechamente relacionado con otros índices de vegetación, como lo demuestran los estudios de Chen et al. (2002), Asner Sner et al. (2003), Baret et al. (1991). El índice de vegetación usado en esta investigación como base para obtener el IAF fue el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, conocido por sus siglas en inglés como Normalized Difference Vegetation Index NDVI (Reifschneider 2006).

En base a estas consideraciones, se ha visto la posibilidad de acelerar el proceso de estimación del Índice de Área Foliar, mediante el uso de equipos basados en la radiación solar incidente y de imágenes de satélite. Estas metodologías han sido consideradas en numerosos estudios de la vegetación, especialmente en coníferas (Lindroth et al. 2008), como una alternativa a las complicaciones que presenta el método destructivo; pero tomando en cuenta que las mismas metodologías necesitan ser probadas y corregidas.

La mayoría de los estudios muestran claramente que la aplicación de métodos para determinar IAF, son dedicadas a plantaciones específicas, en donde la cobertura vegetal en homogénea, por ejemplo bosques de coníferas, cultivos de maíz, cultivos de patatas, cultivos de caña de azúcar, etc. (Lindroth et al. 2008, Coops, et al. 2004, De la Casa et al. 2007, Camacho, et al. 1995).

Se hace necesario realizar estudios de vegetación que permitan fácilmente analizar la variación multitemporal del estado de aquella vegetación. Para ello es necesario utilizar metodologías, que permitan obtener una información confiable, en un menor tiempo y con menos recursos. Una de estas herramientas, que está siendo estudiada para cumplir con este propósito son los métodos indirectos basados en sensores remotos.

Este artículo presenta resultados sobre la base del cumplimiento de los siguientes objetivos: a) Probar tres metodologías para obtener información sobre IAF, con el propósito de validar el uso de dos de los tres métodos en la caracterización de este índice en áreas de pastizales abandonados; b) Aplicar el método indirecto en la obtención de datos reales para un análisis multitemporal del estado de la vegetación en las mismas áreas de pastizales abandonados. La aplicación de uno o ambos métodos permitirá dotar de una herramienta nueva para investigadores y entidades de planificación del territorio en base al monitoreo de cambios en el estado de la vegetación.

METODOLOGÍA

Área de estudio

El área de estudio está ubicada en la cuenca del Río San Francisco, en el área de investigaciones de la

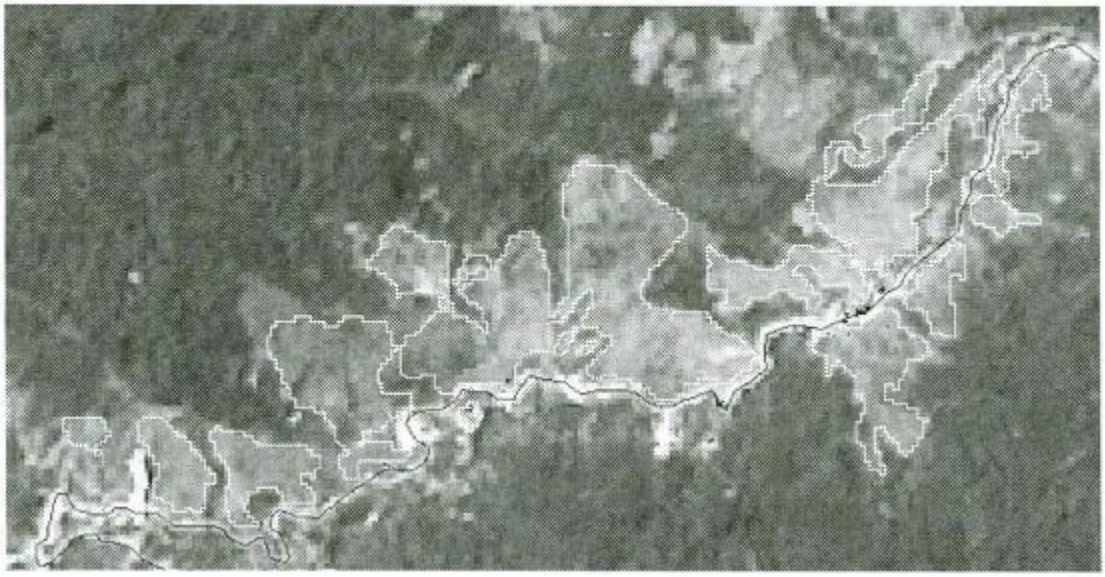


Figura 1. Área de estudio (fondo composición RGB de Landsat, 2001). Ubicación geográfica: Norte 9559983,2 - 9557225,2 m; y, Este: 715613,7 - 712676,2 m. UTM 17s. Ubicación del Norte: hacia "ARRIBA"; las líneas más claras representan los límites de las áreas incluidas en este estudio.

DFG (ver Figura 1). La cobertura vegetal en esta parte de la cuenca está caracterizada por mosaicos de usos del suelo entre los que se destaca pasturas, pastos abandonados y vegetación de sucesión secundaria. En general esta área pertenece a un ecosistema de Bosque húmedo tropical montañoso, en el cual se presentan áreas que han sido utilizadas para actividades de extractivas (madera) y agropecuarias. El clima de la localidad se caracteriza por tener precipitaciones que alcanzan los 2220 mm anuales, una temperatura media anual de 16.2 °C, Humedad relativa del 85 %. (Bendix et al., 2004, Wilcke et al., 2001)

Comparación de métodos

Los métodos utilizados fueron: i) El método destructivo, que consiste en cortar la planta, medir el área de sus hojas y relacionarlas con la superficie de terreno donde se encuentre. ii) El método indirecto LICOR2000, que se basa en la relación de mediciones de radiación incidente sobre el dosel (medición A) y transmitida bajo el dosel (medición B); e, iii) el método indirecto con sensores remotos (Imágenes Landsat ETM).

Para el método destructivo se definieron nueve parcelas de 1m^2 cubiertas por *Setaria sphacelata* y *Pteridium aquilinum*, de donde se cortó absolutamente toda cobertura vegetal. Todas las hojas fueron escaneadas para generar imágenes, las cuales fueron utilizadas para calcular el área. En Photoshop se transformaron las imágenes del RGB (real) a BW (byte, dos colores), de forma que se pueda calcular en Idrisi el área para 0 y 1 como únicos valores. Los datos correspondientes a las áreas del valor 0 corresponden a las hojas, y estos fueron exportados como archivos de texto, para finalmente ser corregidos por la inclinación de las hojas y consolidados en una base de datos. En las mismas áreas que fueron definidas para el método destructivo, se midió el IAF con el método LICOR2000, siguiendo las recomendaciones del fabricante (LICOR2000).

Para el método de sensores remotos previamente se aplicaron las debidas correcciones a la escena Landsat, incluyendo la eliminación del efecto topográfico en la irradiación de la luz, mediante una corrección de relieve de acuerdo con (Chuvieco 1996)Una vez realizadas las correcciones se calculó el NDVI con el módulo Vegindex del programa Idrisi (IDRISI 2008); se georreferenciaron los datos de IAF medido en seis parcelas de áreas aproximadas a las de un pixel de la imagen Landsat(≈30x30 m); y finalmente se construyó

una tabla de datos de los valores de IAF de las 6 parcelas y junto a cada uno de ellos los 9 valores de NDVI requeridos por la técnica "Moved Window" (esta técnica se usa para corregir el efecto de movido de una imagen). Se estableció una correlación de tipo potencial entre los datos de IAF medido y NDVI del pixel correspondiente. Y para concluir con esta parte, se aplicó el modelo matemático obtenido de esa correlación para calcular el IAF en las áreas de estudio, adaptando del procedimiento planteado por Reifschneider (2006) en bosque húmedo tropical.

El análisis de la información estuvo basado en regresiones lineales simples, donde se relacionaron los diferentes métodos con el fin de encontrar los modelos adecuados para corregir los resultados de los métodos LICOR2000 y Landsat respecto de los resultados del método destructivo.

Finalmente, una vez corregido el método Landsat, se procedió a calcular el IAF para dos escenas más, la de 1986 y la de 1999. De forma que, mediante comparaciones estadísticas con diagramas de cajas se puede observar variaciones temporales (esperadas) en los datos de IAF de las tres escenas.

RESULTADOS

Relación entre los métodos: destructivo y LICOR 2000

Esta relación fue procesada con la finalidad de obtener un modelo de regresión mediante el cual se pueda corregir los datos del LICOR2000 en base al método más conocido que es el método destructivo.

Los primeros resultados reflejados con esta investigación fueron obtenidos en parcelas de 1 m², en las cuales primero se obtuvieron los datos correspondientes al método LICOR2000, para que no se vean afectados los resultados. En el 0, se presenta un resumen de los datos obtenidos para las 9 parcelas seleccionadas.

Cuadro 1. Indice de Área Foliar, obtenido con el método LICOR2000, en parcelas 1m$^{2, en 1}$ en la ECSF. IAF= indice de área foliar, ESL=Error estándar de la medición del IAF, DIFN=Fracción de cielo interceptada, IA=Pendiente media de las Hojas, ESI=Error Estándar de la pendiente media de las hojas, NPO= Número de pares de mediciones AB; S=*Setaria sp.*, Pt=*Pteridium sp.*, S-Pt=mezcla de *Setaria sp. y Pteridium sp.*

Plot	Vegetación	Capa	IAF	ESL	DIFN	IA	ESI	NPO
1	S	90	1.55	0.08	0.32	65.50	6.50	40.00
2	S	90	1.54	0.08	0.32	61.00	2.50	38.50
3	S	90	1.57	0.08	0.28	57.50	5.50	40.00
4	Pt	90	1.45	0.07	0.29	24.00	12.50	35.00
5	S-Pt	45	3.07	0.35	0.03	42.00	5.00	8.00
6	S-Pt	90	3.29	0.11	0.08	38.00	3.50	24.00
7	Pt	90	1.53	0.05	0.27	24.50	14.00	40.00
8	Pt	90	1.64	0.08	0.24	19.50	13.00	31.50
9	S-Pt	90	2.55	0.11	0.15	59.00	5.50	30.00

Los resultados del 0 corresponden a los valores obtenidos para cada una de las parcelas de 1m², de los cuales, en las parcelas de *Setaria sp* están entre 1.54 y 1.57, ±8%; en las parcelas de *Pteridium sp* está entre el 1.55 y 1.64, ± 6%; y, en las parcelas combinadas, superan el 2,5%, ±SEM. En las mismas parcelas, para el método destructivo se obtuvieron los siguientes resultados (ver Cuadro 2).

Cuadro 2. Resultados del Método Destructivo en 9 parcelas de 1m²; en donde, SH= Superficie total de las hojas, IA= Pendiente de las hojas en grados, SP=Superficie proyectada de las Hojas, IAF= Índice de Área Foliar; S=*Setaria sp.*, Pt=*Pteridium sp.*, S-Pt=mezcla de *Setaria sp., y Pteridium sp*)

PLOT	Vegetación	SH	IA	SP	Terreno	IAF
		m2	Ángulo de Inclinacion de las Hojas	(m2)	m2	S.H/S.P
1	S	3.86	73.00	1.13	1.00	1.13
2	S	2.70	62.00	1.27	1.00	1.27
3	S	2.27	57.50	1.22	1.00	1.22
4	Pt	1.06	24.00	0.97	1.00	0.97
5	S-Pt	3.23	42.00	2.40	1.00	2.40
6	S-Pt	2.87	38.00	2.26	1.00	2.26
7	Pt	0.99	24.50	0.90	1.00	0.90
8	Pt	1.38	19.50	1.30	1.00	1.30
9	S-Pt	3.33	59.00	1.72	1.00	1.72

Las nueve parcelas de 1m² seleccionadas, fueron escogidas por su cobertura de *Setaria sp* (S) y *Pteridium sp.* (Pt) y una combinación de ambas especies en proporciones iguales (S-Pt). De esta manera, se puede apreciar que el rango de valores con el método destructivo, para estas parcelas, va desde 0.9 a 1.72, tomando en cuenta que existe una marcada diferencia entre los tres tipos de cobertura vegetal. Así: para S, se presentan los valores más elevados; para Pt, los valores más bajos; pero la combinación de ambos está ligada a la combinación 50-50 (%) de cobertura de cada especie, determinando así valores intermedios, así se puede ver en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Resumen de Resultados del método LICOR2000, en las seis parcelas de ≈30x30m; en donde: IAF= Índice de Área Foliar, S=*Setaria sp.*, Pt=*Pteridium sp.*, S-Pt=mezcla de *Setaria sp. y Pteridium sp*) .

N°	Sitio	Composición Florística	IAF
1	Pastos	50% S + 50%Pt	2.56
2	Pastos	90% S + Arbustos	3.02
3	Pastos	90% S + Arbustos	3.43
4	Pastos	80% S + 12% Pt + Arbustos	3.59
5	Pastos	90% S + Arbustos	3.21
6	Pastos	70% S + 30% Arbustos	4.22

La regresión lineal establece que para estos dos métodos el coeficiente de determinación, R^2, es de 0.9349; y, el modelo de regresión establecido para este efecto, es (***y=1.3112x+0.1034***). A partir de este modelo de regresión, se obtuvo el modelo para corrección de los datos del método LICOR2000 en áreas de pastizales abandonados que estén cubiertos con *Setaria sp* (S) y *Pteridium sp.*, es:

Metodo Destructivo= (LICOR2000-0.1034)/1.3112. Modelo (1)

Relación entre los métodos LICOR2000 y método indirecto de sondeo remoto.

Método LICOR2000 en seis parcelas de aproximadamente 30x30m

Las coberturas vegetales en este método fueron similares a las muestreadas con los dos métodos anteriores, es decir una composición florística predominante de *Setaria sp, Pteridium sp.* y en menor proporción de *arbustos* característicos de la sucesión secundaria de estas áreas. Parte de estos resultados son recopilaciones de datos de otra investigación paralela, con la cual se compartió la información de campo. El IAF de las parcelas 2 a 6, son promedios de cientos de mediciones realizadas en parcelas de 10x10m dentro de áreas más grandes de 40x40m (ver Cuadro 4).

Los resultados del LICOR2000, fueron corregidos mediante la aplicación del *Modelo 1*, cuyos valores obtenidos se presentan en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Resultados del método LICOR2000: Originales y Corregidos con el *modelo (1).*

Parcela	Original	Corregido
1	3.45	2.55
2	4.06	3.02
3	4.60	3.43
4	4.81	3.59
5	4.31	3.21
6	5.64	4.22

Resultados método indirecto (mediante imágenes Landsat) en las seis parcelas de aproximadamente 30x30 m

Una vez que las escenas de Landsat fueron debidamente corregidas y calibradas geográficamente, se usaron las bandas rojo (R; banda 3) e infrarrojo cercano (IRC; banda 4), para calcular en el NDVI, de donde se obtuvo como resultado una imagen de datos, de donde se extrajeron los valores correspondientes a las coordenadas de cada parcela en el campo. Los resultados se presentan en el cuadro 5.

Cuadro 5. Resultados de NDVI (técnica "Move Window") para cada parcela de IAF medido. C: Punto que corresponde a las coordenadas de las parcelas; N: Pixel al Norte del punto central; NE: al Noreste; E: al Este; SE: al Sureste; S: al Sur; SW: al Suroeste; W: al Oeste; NW: al Noroeste.

PLOT	IAF	C	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
1	2.550	0.267	0.447	0.381	0.249	0.308	0.235	0.328	0.365	0.261
2	3.020	0.270	0.241	0.223	0.268	0.294	0.178	0.116	0.248	0.323
3	3.430	0.493	0.498	0.478	0.472	0.398	0.447	0.469	0.443	0.367
4	3.590	0.447	0.493	0.472	0.398	0.363	0.404	0.427	0.469	0.343
5	3.210	0.221	0.159	0.365	0.407	0.295	0.267	0.319	0.268	0.331
6	4.220	0.504	0.464	0.548	0.478	0.522	0.478	0.498	0.462	0.421

Las correlaciones lineales simples entre los datos de IAF y NDVI de cada posición geográfica reflejaron que existe una correlación de tipo potencial entre el IAF y el NDVI del Noroeste (ver Cuador 6). El modelo de obtenido es el siguiente: $y=0.1157x^{0.8976}$.

Para calcular el IAF a partir de la imagen Landsat se usó el siguiente modelo:

$IAF=Inv\ ln(ln(NDVI/0.1157)/0.8976)$
Modelo (2)

Cuadro 6. Coeficientes de determinación para LICOR2000 y NDVI de Landsat, (técnica "Move Window"), obtenidos mediante Regresiones Simples.

Orientación	Lineal	Exponencial	Potencial	Logarítmica
C	0.6079	0.5642	0.5508	0.5951
N	0.1048	0.0856	0.0652	0.0840
NE	0.5184	0.4047	0.3719	0.4790
E	0.7122	0.7058	0.7412	0.7401
SE	0.7641	0.7590	0.6994	0.6985
S	0.6925	0.6343	0.6239	0.6793
SW	0.426	0.2794	0.2570	0.3987
W	0.3680	0.3203	0.2899	0.3386
NW	0.9318	0.9167	0.9361	0.9360

Los resultados de la imagen Landsat escena del 2001, se presentan en el Cuadro 7, como *IAF Calculado*. Aquí también se presentan los resultados obtenidos anteriormente con el método LICOR2000, bajo la denominación de *IAF Medido*

Cuadro 7. Resultados de IAF de Mediciones Directas (IAF Medido) y Mediciones Indirectas (Landsat).

Puntos	IAF Medido	IAF Calculado
1	2.55	2.116490
2	3.02	2.135986
3	3.43	3.673651
4	3.59	3.367109
5	3.21	2.789692
6	4.22	3.744969

Aplicación del método indirecto

Una manera de obtener una idea de la factibilidad en la aplicación del método indirecto es hacer una retrospectiva del comportamiento de la vegetación en las mimas áreas; al emplearlo en las escenas de 1986 y 1999, se obtuvieron los siguientes resultados (ver Cuadro 8)

Cuadro 8. Estadísticos descriptivos y de dispersión para los datos de LAI de cada escena Landsat.

Estadísticos		LAI Escenas		
		1986	1999	2001
N	Válidos	4463	4434	4470
	Perdidos	7	36	0
	Media	4.91	4.41	2.4
	Mediana	5.07	4.53	2.41
	Desv. típ.	0.81	0.9	0.63
	Varianza	0.66	0.82	0.39
	Asimetría	-2	-1.32	0
	Error típico de asimetría	0.04	0.04	0.04
	Curtosis	6.33	3.23	-0.12
	Error típico. de curtosis	0.07	0.07	0.07
	Mínimo	0.05	0.01	0.16
	Máximo	6.18	6.2	4.59
Percentiles	25	4.59	3.99	1.95
	50	5.07	4.52	2.41
	75	5.45	5.01	2.84

DISCUSIÓN

Del total de parcelas, ocho fueron medidos con una capa de 90° de abertura sobre el sensor. La parcela 5, fue medida con una capa de 45°, ya que no fue posible usar una de 90°, esto representó algunas variaciones en el resultado. Por esto se puede evidenciar que el error estándar del LAI (ESL) en la parcela 5 es de ±35 % (0.35), mientras que en las demás parcelas el ESL, no es mayor que el ±11 %. Es necesario rescatar que la inclinación promedia de las hojas (IA), para *Setaria sp* está en un promedio de 62.5 grados con promedios de error, menores al 6.5 %, lo que determina que la mayoría de las hojas están dispuestas verticalmente.

Las plantas de *Pteridium sp* disponen sus hojas en aproximadamente a 23 grados, ±13 %, lo que significa que predominan las hojas horizontales. Los valores intermedios que se presentan en las parcelas combinadas, representan que el 50 % de las hojas están dispuestas con una tendencia horizontal y el otro 50 % con tendencia vertical. La última columna del cuadro 1 corresponde al número de pares de observaciones sobre y bajo el dosel, las cuales en la mayoría de las parcelas fue superior a 30 pares, exceptuando a la parcela 5 que no superó los 8 pares.

Hay que considerar que el IAF para *Setaria sp.* y *Pteridium sp.* aún no ha sido determinado por ningún estudio, ya que siempre se ha aplicado el método LICOR2000 a especies cultivables o plantaciones forestales. Esto hace que los procedimientos usados en este estudio tengan una relativa incertidumbre con respecto a la base sobre la cual fue hecho el equipo, que fue para plantaciones de maíz.

Por otra parte, en correspondencia al método destructivo, las mediciones con LICOR2000, presentaron ciertas similitudes con otros estudios que respaldan el funcionamiento del equipo (De Jesús et al. 2001). La regresión lineal establece para estos dos métodos un coeficiente de determinación R^2 de 0.9349, mientras que en (De Jesús, et al. 2001) es de 0.97. El modelo de regresión establecido para este efecto, ($y=1.3112x+0.1034$), muestra que la diferencia más significativa es que en *Setaria sp.* y *Pteridium sp.*, existe una sobre estimación de aproximadamente el 30 % del método LICOR2000 frente al método destructivo.

Hay una relación entre el tipo de cobertura y el valor de IAF, cada vez que se presentan arbustos u otros factores adicionales, el IAF tiende a subir. Esto se puede apreciar en todos los métodos usados.

Cuando se ha obtenido un modelo de corrección de los datos de IAF del método LICOR2000, es fácil ampliar el área de muestreo, y con esto cubrir áreas de aproximadamente 30x30 m, de acuerdo con la resolución de las imágenes Landsat usadas en el método indirecto.

La relación entre el IAF y otros índices de vegetación espectrales, ha sido ampliamente utilizada, por lo que resultó fácil comprender la relación entre el IAF y el NDVI (índice que ha sido utilizado por un sinnúmero de estudios desde la creación de los satélites) (NASA 2009).

La correlación entre IAF y NDVI en este estudio fue de tipo potencial, de la misma manera que se presenta en el estudio de Reifschneider (2006) con las respectivas consideraciones de cada caso. En Reifschneider (2006), se estudió el IAF en bosque natural, mientras que en este estudio fue hecho para áreas de pastizales abandonados; a diferencia de Reifschneider (2006), el método directo no destructivo usado fue LICOR2000, mientras que dicho estudio se basó en fotografías hemisféricas.

La validación del método indirecto está dada por el coeficiente de determinación R2 que es de 0.76, que en términos de estadística es aceptable.

La aplicación del método indirecto estaba orientada bajo la teoría de que el IAF sirve para conocer la vigorosidad o estrés de la vegetación en el terreno (Haboudane et al. 2004) y se demostró mediante datos estadístico e imágenes de satélite que las condiciones de la cobertura vegetal en el año de 1986 estuvo en mejores condiciones que las disponibles en el 2001. Además, en los datos (ver Figura 2) se puede notar el impacto sobre la vegetación de la presión generada por la Vía a Zamora, a lo largo de toda el área de estudio.

CONCLUSIONES

Los métodos indirectos permiten la obtención de datos de LAI en menos tiempo que otros métodos tradicionales y contribuyen a la optimización de recursos, lo que puede simplificar el trabajo en monitoreo de áreas intervenidas y el estado de estrés de la cobertura vegetal.

El método indirecto puede ser de gran utilidad al momento de monitorear el cambio de uso del Suelo en función del estrés de la vegetación, con fines de planificación territorial.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de Loja, en especial a los señores: Dr. Hugo René Pérez, Dr. Nikolay Aguirre, Ing. Zhofre Aguirre; a la Fundación Alemana para la Investigación (DFG), a los Doctores Rutger Rollenbeck y Kristin Ross, al Prof. Joerg Bendix; a los colegas: Ing. Natalia Samaniego, Ing. Marlon Andrade, Ing. Diego Mejía, Ing. Carlos Villavicencio, Egda. Johana Saritama.

LITERATURA CITADA

ASNER SNER G. P., J.M. SCURLOCK, Y J. HICKE 2003. Global Synthesis pf Leaf Area Index Observations: Implications for Ecological and Remote Sensing Studies. Global Ecology an Biogeography 12. pp.195-205.

BARET F. Y G. GUYOT 1991. Potentials and Limits of vegetation indices for LAI and

APAR Assessment. Remote Sensing of Enviroment. Vol. 35. pp.161-173.

BENDIX J., ROLLENBECK R. AND W. PALACIOS 2004. Cloud Detection in the Tropics: A suitable Tool for Climate-Ecological Studies in the High Mountains of Ecuador. International Journal of Remote Sensing. Vol 25 pp.4521-4540.

BRÉDA N. J. 2003. Based Measurements of Leaf Area Index: A Review of Methods, Instruments and Current Controversies Vol.54. pp.2403-2417.

CAMACHO R. G., O. GARRIDO Y M.G. LIMA 1995. Caracterización de Nueve Tipos de Maíz (Zea mays L.) en Relación a Área Foliar y Coeficiente de Extinción de Luz. Sci. Agric. Piracicaba. Vol. 52. pp.294-298.

CHEN J. M. et al. 2002. Derivation and validation of Canada-wide coarse-resolution leaf area index maps using high-resolution satellite imagery and ground measurements. Remote Sensing of Enviroment. Vol. 80. pp.165-184.

Chuvieco E. 1996. Fundamentos de Teledetección Espacial. ed. Rialp. Madrid, España. 568p.

COOPS N. C. et al. 2004. Estimation of plant and leaf area index using three techniques in mature native eucalypt canopies. Austral Ecology. Vol. 29. pp.332-341.

DE JESÚS W. C. et al. 2001. Comparison of Two Methods for Estimating Leaf Area Index on Common Bean. Agron J. Vol. 93. pp989-991.

DE LA CASA A. [et al.] Uso del Índice de Área Foliar y del Porcentaje de Cobertura de Suelo para Estimar la Radiación Interceptada en Papa [Journal]. - Chile : [s.n.], 2007. - 1 : Vol. 67. - pp. 78-85.

FAO 2009. Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales. Disponible en: http://www.fao.org/forestry/fra/fra. Consultado, marzo, 08. 2010.

HABOUDANE D. et al. 2004. Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in thegreen LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture. Remote Sensing of Environment. Vol. 90.

IDRISI 2008. Módulo de ayuda del Programa Idrisi Andes.

LICOR LAI 2000. Plant Canopy Analyzer: For Rapid Non Destructive Leaf Area Index Measurements p.14.

LINDROTH A. et al. 2008. Leaf Area Index is the Principal Scaling Parameter for both Gross Photosynthesis and Ecosystem Respiration of Northern Deciduous and Coniferous Forests [Journal] // TELLUS. - Singapore Vol. 60B. pp129-142.

NAPOLITANO R. et al. 2001. Data Integration for Leaf Area Index Prediction in Function of Land Cover Change.

NASA 2006. The Remote Sensing Tutorial / ed. Taylor M.. – NASA. Disponible en: http://rst.gsfc.nasa.gov/. Consultado, marzo, 2010.

REIFSCHNEIDER A.L. 2006. Landbedeckungs-Klassifikation und Ableitung des LAI in einem Bergregenwald Südecuadors unter Berücksichtigung von Skalenübergängen zwischen Landsat ETM+ und MODIS. Diplomarbeit am Fachbereich Geographie. - Marburg : Philipps-Universität Marburg.

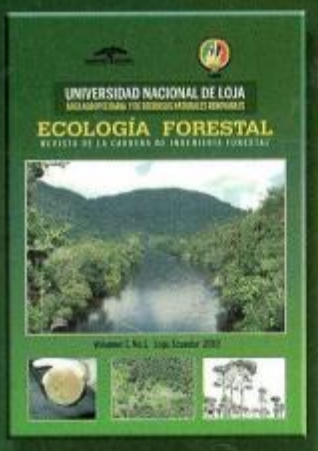
SCHLERF M. 2004. Derivation of Forest Leaf Area Index from Multi - Hyperspectral Remote Sensing Data EARSeL eProceedings. Trier, De. Vol.3. pp.405-413.

WILCKE W. 2001. Change in water quality during the passage througth a Tropical Mountain Rain Forest in Ecuador. Biogeochemistry. Kluwer Academic Publishers. Vol. 55. - pp. 45-72.

WILHEM W., K. RUWE Y M.R. SCHLEMMER 2000. Comparison of Three Leaf Area Index meters in a Corn Canopy. Crop Science. Vol. 40. pp.1179-1183.

ECOLOGÍA FORESTAL

REVISTA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL



Ingeniería Forestal

Revista de la Carrera de Ingeniería Forestal

CONTENIDO

INVESTIGACIÓN

- Diversidad florística del ecosistema páramo del Parque Nacional Podocarpus para el Monitoreo del Cambio Climático.
- Estudio comparativo de métodos para la estimación de índice de área foliar en áreas de pastizales abandonados.
- Diversidad de anfibios y reptiles de un bosque seco en el sur occidente del Ecuador.
- Evaluación del efecto de la inoculación con hongos micorrízicos en la propagación de *Alnus acuminata* y *Morella pubescens*.
- Diversidad florística y estructura del bosque nublado en el sur occidente del Parque Nacional Podocarpus.
- Flora y endemismo del bosque húmedo tropical de la Quinta El Padmi, Zamora Chinchipe.
- Crecimiento inicial de *Tabebuia chrysantha* y *Cedrela montana* con fines de rehabilitación de áreas abandonadas.
- Germinación de Ficus insípida, especie protectora de vertientes de agua en el cantón Paltas.
- Evaluación de la composición florística de la regeneración natural del bosque tropical de montaña en la ECSF.
- Anatomía macroscópica y características físicas de siete especies maderables.

REVISIONES

- Trayectoria Académica de la Carrera de Ingeniería Forestal.
- Calentamiento Global y sus implicaciones en el Ecuador.
- Las plantas vasculares como indicadores de la calidad y problemas de los ecosistemas.
- Experiencias de propagación asexual en especies forestales en la provincia de Loja.

1859

IMPRESO EN LA EDITORIAL UNIVERSITARIA
DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
TELEFAX: 072573914
EMAIL: diredit@unl.edu.ec

Universidad Nacional de Loja
RESOLUCIÓN: 003-CONEA-2010-111-DC