



ELAFIS 2009

X Escuela Latinoamericana de Física de Suelos

“Física de Suelos clave para el manejo sostenible de los recursos agua y suelos”

Compendio de los trabajos presentados en la
X Escuela Latinoamericana de Física de Suelos, (ELAFIS 2009)
realizada en la Universidad de Lavras, Lavras, Brasil.
del 28 septiembre al 06 Octubre de 2009

Editores:

**Deyanira Lobo L., Donald Gabriels y
Moacir de Souza Dias Junior.**

Ghent, Bélgica, Septiembre, 2011



Publicado por: International Centre for Eremology (ICE) con la UNESCO Chair of Eremology, Ghent University, Coupure Links 653, B9000 Ghent, Belgium

I.C.E. Special Report N° 7, 2011

ISBN 978-90-5989-198-2

Se autoriza la reproducción, a condición de que sea mencionada la fuente de manera apropiada. Este documento debe citarse como:

Autor, año, título, En: **Física de Suelos clave para el manejo sostenible de los recursos agua y suelos**. Compendio de los trabajos presentados en la IX Escuela Latinoamericana de Física de Suelos, Universidad de Lavras, Brasil. 01 – 10 Octubre de 2009. **Lobo D. Gabriels D. y Dias M. (Eds.)**

Prefácio

A Escuela Latinoamericana de Física de Suelos (ELAFIS) é realizada desde 1986 em diferentes países da América Latina, como Perú, 1986; Brasil, 1988; Argentina, 1992; Colômbia, 1999; Venezuela, 2000; Cuba, 2002; Chile, 2003; México, 2005 e Equador, 2007. Essa Escola é uma extensão do College on Soil Physics que ocorre no ICTP (International Center for Theoretical Physics - Trieste - Itália) a cada dois anos.

Em 2009 a Escuela Latinoamericana de Física de Suelos foi realizada no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras sob a coordenação dos professores Donald Gabriels (Ghent University, Bélgica), Deyanira Lobo Luján (Universidad Central de Venezuela, Venezuela) e Moacir de Souza Dias Junior (Universidade Federal de Lavras, Brasil) e dos estudantes de Pós-Graduação Paula Cristina Caruana Martins, Cezar Francisco Araujo Junior e Bruno Silva Pires (Universidade Federal de Lavras, Brasil). Este evento contou com a participação de 17 professores sendo 3 do exterior e com 41 participantes de 10 países.

A X ELAFIS obteve apoio das seguintes instituições: Universidade Federal de Lavras, Universidad Central de Venezuela, Ghent University, CNPq, CAPES, FAPEMIG, ICTP, UNESCO, CAZALAC, às quais agradecemos pelo apoio recebido e sem o que não teria sido possível a realização desse curso.

A publicação dos Proceedings da X ELAFIS constitui em um documento que registra para as gerações futuras, os assuntos que foram tratados nas aulas e nas apresentações dos participantes desse curso.

Agradeço a participação e a dedicação de todos que contribuíram para a realização da X ELAFIS e considero uma honra e privilégio prefaciá-lo. Obrigado a todos.

Moacir de Souza Dias Junior

Presentación

A partir del año 1986, cuando se realizaba una reunión de Multiciencias en Cusco, Perú, con la participación de investigadores en Física de Suelos, surgió la idea de realizar un evento científico que fuera como una prolongación del *College on Soil Physics* que se realiza en *The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP)*, desde 1983.

La Escuela Latinoamericana de Física de Suelos (ELAFIS) se ha realizado en diferentes países: Brasil (Sao Carlos, 1988), Argentina (Buenos Aires, 1992), Colombia (Palmira, 1998), Venezuela (Mérida, 2000), Cuba (San José de las Lajas, 2002), Chile (La Serena, 2003), México (Texcoco, 2005), Ecuador (Cuenca, 2007) y Brasil (Lavras, 2009).

La **X Escuela Latinoamericana de Física de Suelos**, bajo el tema: ***“Física de Suelos clave para el manejo sostenible de los recursos agua y suelos”*** tuvo como propósito principal la actualización y profundización de los conocimientos sobre los recursos suelo y agua de los profesionales latinoamericanos, haciendo énfasis en las características, propiedades y procesos físicos del suelo y su interacción con el clima. Asimismo, se puso mayor interés al tema de suelos y aguas y su relación con los procesos de degradación de suelos y tierras, la desertificación y técnicas y programas para prevenir y revertir tales procesos.

Desde 2003, se han editado las Memorias de la ELAFIS, las cuales recogen las ponencias de los participantes. El primer Compendio (ELAFIS 2003) fue publicado por el Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). Los Compendios de las ELAFIS 2005, 2007 y el presente han sido publicados por el *International Centre for Eremology (ICE)* con la UNESCO Chair of Eremology, de la Universidad de Gante, Bélgica.

El presente compendio contiene 28 artículos, de los cuales algunos tienen que ver con equipos, métodos y software para la determinación de propiedades físicas, o con la evaluación de los efectos de prácticas de manejo sobre las

Relación entre el Índice Normalizado Diferencial de Vegetación (NDVI) e índices de aridez en la Región del Alto Patía, Colombia

Fredy Neira¹, Koen Verbist², Donald Gabriels^{2,3}, Deyanira Lobo⁴, Ines Toro⁵, Yesid Carvajal⁶

¹*Ghent University, Faculty of Bioscience Engineering, Ghent, Belgium, e-mail: fredyhn@gmail.com*

²*Ghent University, Department of Soil Management and Soil Care, ³UNESCO Chairman on Eremology. Ghent University, Belgium. ⁴Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía. ⁵Colombian Corporation for Agricultural Research - CORPOICA, Colombia. ⁶Universidad del Valle. Cali, Colombia*

INTRODUCCION

Colombia posee varias zonas con serios problemas de erosión de suelos, sequías temporales y déficit de agua, por lo que la determinación de áreas secas es imprescindible para identificar las zonas susceptibles a desertización (IDEAM, 2001). El valle del Alto Patía es una de las zonas más afectadas por degradación de suelos convirtiéndose en una de las prioridades nacionales debido a los conflictos sociales desencadenados por la falta de recursos naturales y principalmente por la seguridad alimentaria (Toro et al, 2008).

Varios índices climáticos pueden ser usados para determinar zonas secas, sin embargo los resultados varían debido a que difieren los rangos, límites y clases definidas. En el presente trabajo se adoptaron los índices de Lang (1915), Thornthwaite (1948), De Martonne (1926) y UNEP (1997).

Previos resultados indican diferencias en la estimación de zonas secas entre los diferentes índices, usando el método de interpolación ponderado constante, para siete zonas con problemas de erosión y déficit temporal de agua en Colombia (Neira, 2006). Sin embargo, debido a que la interpolación de los datos es un resultado que no considera factores naturales que definen las zonas secas, se propone analizar la correlación entre el Índice Normalizado Diferencial de Vegetación "NDVI" y los resultados obtenidos con cada uno de los índices climáticos, con el objeto de seleccionar el índice que mejor se ajusta a las condiciones de vegetación. Para el NDVI se utilizaron imágenes LandDAAC – MODIS (USGS, 2005).

MATERIALES Y MÉTODOS

La región de Alto Patía se ubica al sur occidente de Colombia, en la región de los Andes, conformando un valle entre las ramificaciones de las cordilleras Central y Occidental, con una extensión aproximada de 850000 hectáreas. Se evaluaron 47 estaciones meteorológicas con datos más de 30 años de registro. La región presenta clima ecuatorial, sin estaciones, con altitudes de 200 a 3500 msnm lo cual le confiere un rango similar de temperaturas medias anuales de acuerdo con la altitud de más de 26°C en las partes bajas a menos de 11°C en las zonas altas. Las precipitaciones medias anuales varían de 600 a 3000 mm.

La metodología general se basa en calcular para cada estación las clases climáticas de acuerdo con los índices climáticos de Lang (1915), De Martonne (1926), Thornthwaite (1948) y UNEP (1997). Los resultados fueron interpolados dentro de la región utilizando un método constante (Inverse Weight Distance "IWD") en el software Arc View. Posteriormente, los resultados de cada índice son relacionados con los valores del NDVI promediados en un rango de 100 metros alrededor de cada estación. Se evaluaron inicialmente dos tipos de correlación: lineal y exponencial.

Lang climate clasificación (1915)

Richard Lang (1915) estableció una clasificación climática basada en la relación precipitación y temperatura, proponiendo seis tipos de clima (Cuadro 1). El factor Lang (L) se obtiene con la relación entre la precipitación media anual (P) en mm y la temperatura media anual (T) en °C, usando la

formula: $LF = P/T$, donde, LF = Factor Lang, P = Precipitación media anual y T = Temperatura media anual.

Cuadro 1. Clasificación de tipos climáticos según Lang (1915)

Factor Lang P/T	Clases Climáticas	Símbolo
0 – 20	Desierto	D
20.1 – 40	Árido	A
40.1 – 60	Semiárido	SA
60.1 – 100	Subhúmedo	SH
100.1 – 160	Húmedo	H
> 160	Muy húmedo	VH

Índice de Thornthwaite (1948): El Índice de Thornthwaite (IT) se basa en la temperatura y precipitación. Propone cinco clases climáticas de acuerdo al índice de precipitación efectiva (Cuadro 2) defino por la fórmula:

$$IT = \sum_1^{n=12} 115 \left(\frac{P}{T - 10} \right)^{10/9}$$

Donde, P : precipitación mensual (pulgadas) y T : Temperatura (°F), n = meses = 12

Cuadro 2. Clasificación de tipos climáticos según Thornthwaite (1948)

IT	Clases Climáticas
< 16	Árido
16 – 31	Semiárido
32 – 63	Subhúmedo
64 – 127	Húmedo
> 127	Muy Húmedo

Índice de aridez de Martonne (1923)

El índice de Martonne (IM) es calculado usando la precipitación media anual (P) y la temperatura media anual (T), expresado en la fórmula:

$$IM = \frac{P}{t + 10}$$

donde P = Precipitación media anual (mm) y t : temperatura media anual (°C). Su clasificación se presenta en el cuadro 3.

Cuadro 3. Clases Climáticas propuestas por De Martonne (1923)

Índice de Martonne (IM)	Clases Climáticas
0 – 10	Árido
10 – 20	Semiárido
20 – 24	Mediterráneo
24 – 28	Semi-húmedo
28 – 35	Húmedo
35 – 55	Muy húmedo
> 55	Extremadamente húmedo

Índice de aridez UNEP (IA).

UNEP (1997) define el Índice de Aridez **IA** como la relación de la precipitación media anual (P) y la evapotranspiración potencial media anual (ETo). Las zonas secas son las áreas con valores de IA menores de 0.65 (UNEP, 1997). La principal limitante de este índice es que requiere información de parámetros que no existe en la región del Patía. Por lo tanto, para calcular la ETo se determinó según la fórmula de Thornthwaite (1948) la cual se expresa en la siguiente fórmula:

$$ETo = 16 \times Nm \times \left(\frac{10 \times Tm}{I} \right)^a$$

Donde: ETo: evapotranspiración potencial mensual (mm).

Tm : temperatura media mensual (° C).

Nm : factor de ajuste relacionado con las horas luz diarias.

I : índice de calor anual, calculado para cada mes (i):

$$I = \sum_{i=1}^{12} (Tm / 5)^{1.514}$$

a es un parámetro calculado usando la ecuación:

$$a = 0.000000675 \times I^3 - 0.000071 \times I^2 + 0.01792 \times I + 0.49239$$

Cuatro clases climáticas son definidas según la relación P/ETo (Cuadro 4).

Cuadro 4. Clasificación de tipos climáticos según el Índice de Aridez UNEP (1997)

IA = P/ETo	Clases Climáticas
< 0.05	Zona Hiperárida
0.05 – 0.2	Árida
0.2 – 0.5	Semiárida
0.5 – 0.65	Seca subhúmeda
0.65 - 1	Subhúmeda
> 1	Húmeda

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Delineación de zonas secas:

El índice de Lang indica más estaciones o mayor área en zonas secas para el Alto Patía obteniéndose las clases “*Desierto, Árido y Semiárido*” con más de 9% de la región clasificada como zona seca. Los índices UNEP y Thornthwaite indican mucho menos área en zonas secas 0.26 y 0.24% de la zona respectivamente. Según UNEP se presentan las clases “*Semiárido y Seco subhúmedo*” y según Thornthwaite la clase “*Semiárido*”. Usando el índice de De Martonne sólo el 0.06% de la región corresponde a zona seca, clasificándose sólo una estación meteorológica entre el rango de zona seca. Los resultados de las áreas en zonas secas se indican en el cuadro 5.

Correlación entre NDVI e índices climáticos:

La mejor correlación entre los índices climáticos y el NDVI fue la regresión exponencial. El cuadro 6 muestra los coeficientes de correlación (R^2) entre NDVI y los índices climáticos. En general las diferencias entre índices y su correlación con el NDVI no son relativamente significantes. El índice de Lang mostró mayor correlación R^2 con el NDVI de 0.4701, seguido de Thornthwaite con 0.4673, De Martonne con 0.4664. El índice de UNEP muestra la más baja correlación, 0.4416.

Cuadro 5. Porcentaje en zonas secas en el Alto Patía según los índices climáticos.

Zona Climática ↓	Índice Climático			
	Factor Lang (FL)	UNEP (AI)	Thornthwaite (IT)	De Martonne (IM)
Desierto/Hiperárido	0.00		*	
Árido	0.14			
Semiárido	9.12	0.05	0.24	0.01
Seco subhúmedo ó Mediterráneo	*	0.21	*	0.05
Subtotal en zonas secas	9.26	0.26	0.24	0.06
Subhúmedo/Semihúmedo	63.00	25.30	67.38	0.07
Húmedo	27.70	74.44	32.37	0.83
Muy húmedo	0	*	0	44.62
Extremadamente húmedo	*	*	*	54.42

* no se considera ésta categoría

Cuadro 6. Coeficientes de correlación entre NDVI y los índices climáticos evaluados para las estaciones meteorológicas del Alto Patía.

Índice climático	R^2
Lang factor (LF)	0.4701
Thornthwaite (TI)	0.4673
De Martonne (MI)	0.4664
UNEP (UI)	0.4416

La figura 1 muestra la correlación entre el factor Lang (LF) y el NDVI. Los rangos de NDVI son muy estrechos, desde 0.6 a menos de 0.9. La figura 2 muestra los rangos de NDVI estimados para el Alto Patía, obtenidos de USGS LandDAAC MODIS 2005.

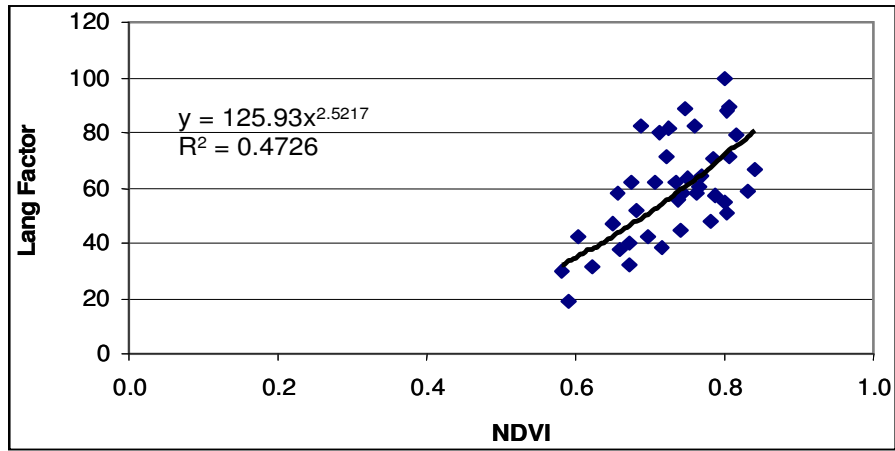


Figure 1. Relación entre el Índice Diferencial Normalizado de Vegetación y el Factor Lang para el Alto Patía.

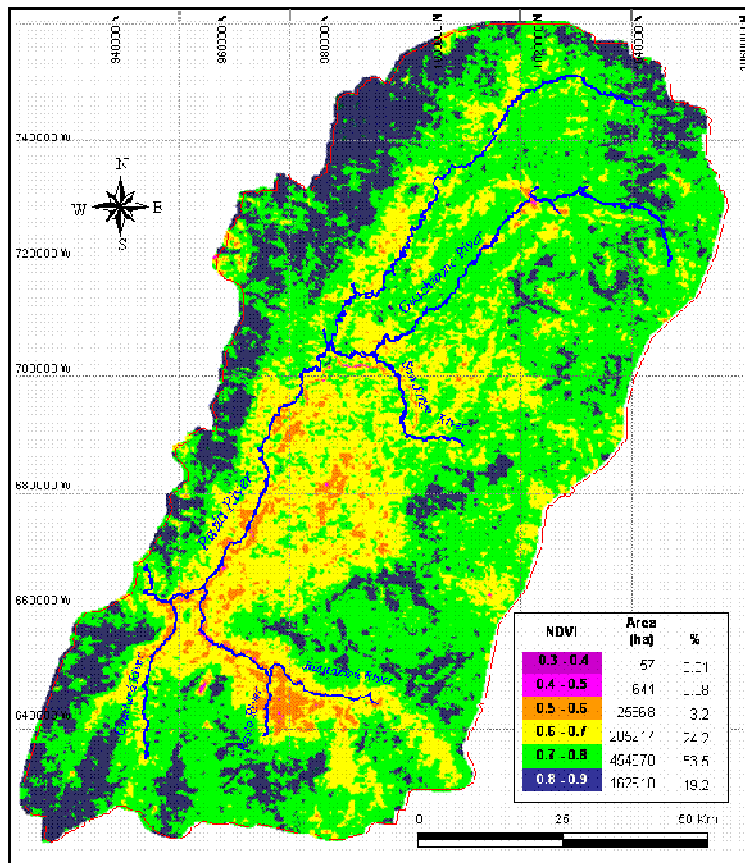


Figure 2. Índice Normalizado de Vegetación Diferencial de el Alto Patía.

La figura 2 muestra los promedios multianuales de valores NDVI, con una resolución de aproximadamente 50 m² de área por pixel. Los valores de las celdas o pixels que para el Alto Patía se relacionen con el estado actual de la erosión de suelos alcanzan valores de NDVI hasta 0.7, los cuales se muestran en colores amarillo y naranja.

CONCLUSIONES

Usando el índice de Lang se consideran mayor número de estaciones y mayor área como zona seca (clases "Desierto, Árido y Semiárido") y usando los índices UNEP, Thornthwaite y De Martonne se considera menor número de estaciones y menor área como zona seca.

La delimitación de zonas secas usando directamente cualquier método de interpolación es solo una aproximación debido a que no se consideran otros factores naturales. Usando un indicador natural de vegetación es una alternativa. La baja correlación obtenida entre los índices climáticos y el NDVI puede deberse a que la resolución espacial de las imágenes usadas para obtener el NDVI no es adecuada para uso local (50 m² por pixel). Para análisis futuros deben considerarse imágenes con mayor resolución.

En general las diferencias entre índices y su correlación con el NDVI no son relativamente significantes, por lo que se propone realizar este método con mayor precisión de imágenes de satélite, y con verificación de estaciones que representen condiciones naturales de vegetación que pueden ser los factores que afectan la baja correlación entre los índices climáticos y el NDVI.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Fournier, F. 1960. Climat et érosion: la relation entre l'érosion des sols par l'eau et les précipitations atmosphériques, Presses universitaires de France, Paris.
- Gabriels, D., Cornelis W. 2008. Soil Erosion Processes y Control (lecture notes) Department of Soil Management y Soil Care. Faculty de Bioscience Engineering. International Centre for Eremology. Universiteit Gent. Belgium.
- IDEAM. 2001. Degradación de suelos y tierras en Colombia y estado de la Desertificación. Ministerio Del Medio Ambiente. Bogotá, Colombia.
- Lillesand T.M. , Kiefer R.W., 1994. Remote Sensing and Image Interpretation, Third Edition, Wiley y Sons.
- Lobo D. L., Gabriels, D., Ovalles F.V., Santibañez, F. Moyano, M.C., Aguilera, R., Pizarro, R., Sangüesa, C. y Urra, N. 2005. Guía metodológica para la elaboración del mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de América Latina y el Caribe. CAZALAC, Chile, 59 p.
- MinAmbiente 2000 Primer Informe nacional de Implementación de la Convención de las Naciones Unidas de lucha contra la Desertificación y la Sequía. Ministerio del Medio Ambiente.
- Neira, F. 2006. Assessment of climate indices in dry lands of Colombia. Ghent University. Physical Land Resources MSc thesis. Department de Soil Management. Ghent, Belgium
- Oliver, J.E. 1980. Monthly precipitation distribution: a comparative index. *Professional Geographer*, 32, 300 – 309.
- Toro, I., Carrillo H et al. 2008. Zonificación ambiental de la región del Alto Patía. CORPOICA – ASOPATIA.
- UNEP. 1997. United Nations Environment Programme. World Atlas de Desertification, 2nd edition. Edited by N. Middleton and D. Thomas. London: UNEP. 182pp.