

Uso del Tasseled Cap para discriminar plantaciones de sauce (*Salix babylonica*) de distintas edades en el Delta del Río Paraná, Argentina.

Gabriela González Trilla¹
Ricardo Vicari¹
Haydee Karszenbaum²
Patricia Kandus¹
Paula Pratolongo¹

(1) Universidad de Buenos Aires, FCEyN, Dpto. de Ecología Genética y Evolución, Laboratorio de Ecología Regional, Ciudad Universitaria, Pab. I, 1428 Buenos Aires, Argentina. gabrielatrilla@ege.fcen.uba.ar.

(2) Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE), Ciudad Universitaria, (1428) Buenos Aires, Argentina.

Abstract. Plantation forestry with *Salix* sp. and *Populus* sp. is the principal economic activity of the the Paraná River Delta Region, Argentina. The aim of this study is to evaluate the capability of Tasseled Cap transformation of Landsat ETM+ data to distinguish between different –aged forest stands of *Salix babylonica* var. Sacramento in this region. In order to achieve this objective, linear regression model was constructed relating tasseled cap data with age. February wetness was the band that better fitted. The highest Expected-predicted error was 3.84 years, and the average error was 1.32, showing the potencial utility of the tasseled cap to monitor different – aged forest stands of this species.

Palabras clave: remote sensing, afforestation, *Salix* sp., Tasseled Cap transformation, sensoriamento remoto, reflorestamento, espécies florestais, transformação Tasseled Cap.

1. Introducción

La explotación forestal de plantaciones de salicáceas es la principal actividad económica de la zona. El manejo forestal, se concentra en grandes plantaciones, principalmente de *Salix spp.* y *Populus spp.*, que se desarrollan dentro de endicamientos. El sauce americano, *Salix babylonica* var Sacramento es uno de los mas utilizados. Es un clon femenino introducido desde EE.UU. que posee madera blanca de muy buena densidad y largo de fibra por lo que es utilizado para la producción de pulpa para papel.

Los sensores remotos han sido ampliamente utilizados para la identificación de grupos etareos de plantaciones. Frecuentemente son utilizados transformaciones e índices que proveen un mecanismo para realce y reducción de datos. La transformación Tasseled Cap (Kauth and Thomas, 1976, Crist and Cicone, 1984 a,b y Crist and Kauth 1986) consiste en una transformación lineal usando coeficientes empíricos, que genera una imagen resultante compuesta por tres nuevas bandas relacionadas con la humedad (wetness), el brillo (brightness) y el verdor (greenness). Tiene importantes aplicaciones en el relevamiento de atributos clave de bosques, incluyendo especies, edad y estructura (Cohen et al. 1995).

En este contexto, el objetivo del presente trabajo es evaluar la utilidad del Tasseled Cap para discriminar plantaciones de *Salix babylonica* var. Sacramento de diferentes edades en forestaciones bajo dique del Bajo Delta del río Paraná.

2. Materiales y Métodos

El área de estudio corresponde a un establecimiento forestal ubicado en el Bajo Delta del Río Paraná, Argentina. Se utilizaron un total de 14 imágenes satelitales Landsat 7 ETM+ adquiridas en el período 1999-2001. Se incluyeron en la serie todas la imágenes libres de

nubes sobre el área de estudio. Las imágenes fueron registradas y rectificadas al sistema de coordenadas Gauss Kruger WGS84. Los valores de Contaje Digital fueron transformados a reflectancia considerando que la influencia de la atmósfera se limita al efecto aditivo de la dispersión molecular (dispersión Rayleigh) (Stumpf 1992). Posteriormente se realizó la transformación Tasseled Cap obteniéndose, por combinación lineal 3 nuevas bandas denominadas Brightness, Greenness y Wetness para cada fecha.

Se colectaron 203 sitios de entrenamiento por cada banda y cada fecha, con un tamaño medio de 20 píxeles cada uno y se obtuvo el valor medio para cada uno de ellos. Estos sitios corresponden a plantaciones de *Salix babylonica* var Sacramento de 12 diferentes edades (entre 3 y 16 años). Todos los sitios fueron visitados a campo. Los procesamientos de las imágenes fueron realizados con el programa ERDAS IMAGINE 8.4.

Cinco medias de cada edad fueron reservadas para la validación posterior de la recta de regresión. Con las restantes medias se calculó el valor medio por edad de plantación para cada banda y cada fecha, obteniéndose 504 medias (12 edades*3 bandas*14 fechas). Con estos valores se construyeron las respectivas rectas de regresión entre el valor de Tasseled cap en función de la edad de plantación. Para ello se utilizó el programa Biomstat. Se seleccionó la fecha-banda de mejor ajuste, y se realizó la validación de esta recta calculando la edad de la plantación a partir de la ecuación de regresión. Se calculó el error a partir de la diferencia entre la edad calculada y la edad conocida de la plantación (en base a datos aportados por los productores).

3. Resultados

Las ecuaciones de regresión lineal del valor de la banda correspondiente de Tasseled cap en función de la edad de la plantación, obtenidas para cada banda de Tasseled Cap y fecha de adquisición de la imagen Landsat 7 ETM+, se muestran en la **tabla 1**. Veintiuna ecuaciones resultaron significativas ($\alpha=0.5$) de un total de 42, de las cuales, 9 correspondieron a la banda Wetness, 4 a Greenness y 8 a Brightness; en ellas puede verse la relación negativa (pendiente

Tabla 1: Ecuaciones de regresión lineal obtenidas para cada banda de Tasseled Cap (Brightness, Greenness, Wetness) y cada fecha de adquisición de la imagen Landsat 7 ETM+ donde x es el valor de la banda correspondiente del Tasseled cap, e Y es la edad de la plantación de la especie *Salix babylonica* var. Sacramento. Los valores de p significativos al 5% se muestran en negrita.

Fecha	Banda	Ecuación	R ²	F	p	Fecha	Banda	Ecuación	R ²	F	p
28/08/99	Wet	y=0.0022x-0.0838	0.449	8.151	0.017	02/11/00	Green	y=-0.0003x+0.1861	0.003	0.025	0.877
29/09/99	Wet	y=0.003x-0.0866	0.576	13.601	0.004	18/11/00	Green	y=-7E-05x+0.193	0.000	0.001	0.971
03/01/00	Wet	y=0.002x-0.0963	0.557	12.555	0.005	20/12/00	Green	y=-0.0063x+0.2067	0.347	5.314	0.044
19/01/00	Wet	y=0.0017x-0.0864	0.655	18.980	0.001	05/01/01	Green	y=-0.0056x+0.1733	0.478	9.138	0.013
04/02/00	Wet	y=0.0019x-0.0839	0.796	38.943	9.62*10⁻⁵	06/02/01	Green	y=-0.0019x+0.1825	0.457	8.430	0.016
07/03/00	Wet	y=0.0021x-0.0883	0.722	26.027	0.001	27/04/01	Green	y=-0.0014x+0.1562	0.244	3.232	0.102
24/04/00	Wet	y=0.0022x-0.0895	0.637	17.543	0.002	13/05/01	Green	y=-0.0007x+0.1343	0.056	0.594	0.459
02/11/00	Wet	y=0.0024x-0.0756	0.744	29.121	3*10⁻⁴	28/08/99	Bright	y=-0.0007x+0.2526	0.057	0.606	0.454
18/11/00	Wet	y=0.0022x-0.0819	0.656	19.101	0.001	29/09/99	Bright	y=-0.0028x+0.3273	0.353	5.444	0.042
20/12/00	Wet	y=-0.0001x-0.0926	0.001	0.006	0.941	03/01/00	Bright	y=-0.0053x+0.3251	0.808	42.137	6.97*10⁻⁵
05/01/01	Wet	y=-0.0002x-0.081	0.002	0.024	0.880	19/01/00	Bright	y=-0.0042x+0.3311	0.677	20.910	0.001
06/02/01	Wet	y=0.0007x-0.0656	0.200	2.502	0.145	04/02/00	Bright	y=-0.0041x+0.3336	0.542	11.830	0.006
27/04/01	Wet	y=0.0005x-0.0625	0.270	3.696	0.084	07/03/00	Bright	y=-0.0036x+0.325	0.431	7.569	0.020
13/05/01	Wet	y=0.0005x-0.0658	0.259	3.503	0.091	24/04/00	Bright	y=-0.0018x+0.2763	0.200	2.496	0.145
28/08/99	Green	y=0.0007x+0.0849	0.034	0.347	0.569	02/11/00	Bright	y=-0.0031x+0.3081	0.244	3.218	0.103
29/09/99	Green	y=-0.0003x+0.1806	0.003	0.026	0.874	18/11/00	Bright	y=-0.0026x+0.3206	0.237	3.099	0.109
03/01/00	Green	y=-0.0027x+0.2053	0.311	4.521	0.059	20/12/00	Bright	y=-0.0058x+0.3428	0.657	19.148	0.001
19/01/00	Green	y=-0.0021x+0.19	0.461	8.544	0.015	05/01/01	Bright	y=-0.0051x+0.3176	0.751	30.136	0.000
04/02/00	Green	y=-0.002x+0.1938	0.268	3.669	0.084	06/02/01	Bright	y=-0.0021x+0.3121	0.491	9.627	0.011
07/03/00	Green	y=-0.0015x+0.186	0.108	1.206	0.298	27/04/01	Bright	y=-0.0018x+0.2955	0.325	4.812	0.053
24/04/00	Green	y=0.0001x+0.1159	0.001	0.009	0.928	13/05/01	Bright	y=-0.0011x+0.2918	0.120	1.359	0.271

de la recta de regresión negativa) del Brightness y Greenness con la edad y la relación positiva entre el Wetness y la edad. En cuanto a la fecha, hay una tendencia hacia el aumento de los valores de F hacia el verano (y disminución de los valores de p), que puede verse en el caso de las bandas Brightness y Greenness. En el caso del Wetness, esta tendencia no se

observa. En este caso parece haber una diferencia interanual: todas las ecuaciones correspondientes a la temporada de crecimiento 99-00 fueron significativas mientras que solo dos de la temporada 00-01 lo fueron. Estas diferencias podrían deberse a variaciones interanuales en las precipitaciones. De hecho, la temporada 99-00 correspondió a un período seco, mientras que la 00-01 a un período húmedo.

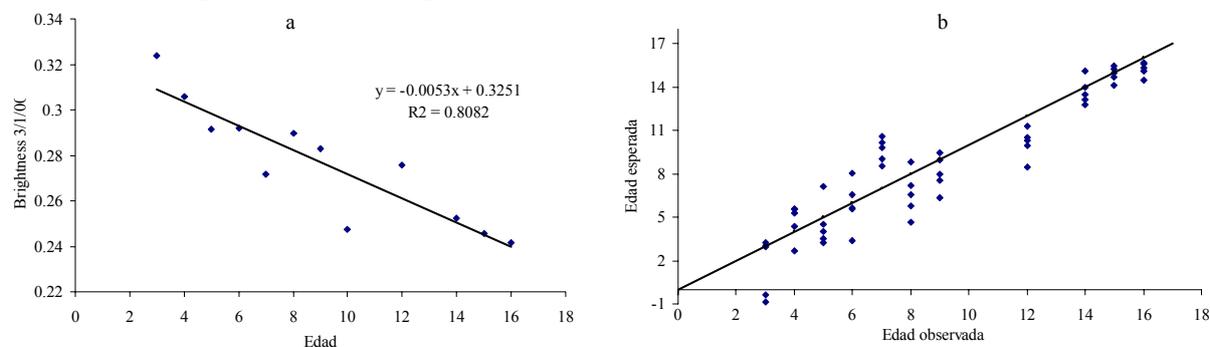


Figura 1: **a:** Valores de la banda Brightness del 3/1/00 en función de la edad de la plantación. Cada punto corresponde a un promedio de los valores medios de muestras de entrenamiento extraídas de plantaciones de *Salix bayilónica* var. Sacramento del Bajo Delta del Río Paraná, Argentina. N= 203, n=12. **b:** Edad esperada de la plantación en función de la edad observada, donde la edad esperada se calcula a partir de la ecuación de regresión $y = -0.0053x + 0.3251$, donde x es el valor de la banda Brightness del Tasseled cap de la fecha 3/1/00, e Y es la edad de la plantación, y la edad observada es la edad real. La recta corresponde a la ecuación $Y=X$.

La ecuación de mejor ajuste fue la del 3/1/00, banda Brightness ($R^2=0.8082$, $F=42.1374$, $P=6.97 \cdot 10^{-5}$), **figura 1 a**. Cuando se calculan las edades esperadas de plantaciones de acuerdo a esta ecuación, se obtienen valores muy próximos a las edades reales **figura 1 b.**, siendo el error promedio, en valor absoluto, para todas las edades de 1.32 años, mientras que el error máximo absoluto fue 3.84 años y correspondió a una de las muestras tomadas en una plantación de 3 años de edad.

Estos resultados muestran la utilidad potencial del Tasseled Cap para discriminar plantaciones de diferentes edades de *Salix babilónica* var Sacramento en el Delta del Río Paraná.

4. Agradecimientos: Los autores agradecen al establecimiento forestal Papel Prensa.

5. Bibliografía

Cohen, W. B., Spies, T. A., and Fiorella, M., 1995. Estimating the age and structure of forests in a multi-ownership landscape of western Oregon, U.S.A., **International Journal of Remote Sensing**, 16: 721-746.

Crist, E and Cicone, R. Application of the tasseled Cap Concept to Simulated Thematic Mapper Data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 1984, pp. 343-352.

Crist, E and Cicone, R. A Physically-Based Transformation of Thematic Mapper Data-The TM Tasseled Cap. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 22, n. 3, p. 256-263, May 1984.

Crist, E. and. Kauth, R.J. The tasseled Cap De-Mystified. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Vol. 52, No. 1, January 1986, pp. 81-86.

Kauth, R.J. and Thomas, G.S. The tasseled Cap -A Graphic Description of the Spectral-Temporal Development of Agricultural Crops as Seen by LANDSAT. Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data, Purdue University of West Lafayette, Indiana, 1976, p. 4B-41 a 4B-51. 1976.

Stumpf. R.P. Remote sensing of water clarity and suspended sediments in coastal waters. Proceedings of the First Thematic Conference on Remote Sensing for Marine and coastal Environments, Louisiana, USA. 1992.