

APLICACIÓN DE LA TRANSFORMACIÓN *TASSELED CAP* EN LA GENERACIÓN DE INFORMACIÓN TEMÁTICA A PARTIR DE LAS IMÁGENES SATELITALES DEL LANDSAT 8 (OLI)

JUAN ARIEL INSAURRALDE
Instituto de Biología Subtropical (IBS)
Nodo Puerto Iguazú: Bertoni 86, Misiones, Argentina.
insaurraldejuan@conicet.gov.ar

RESUMEN

En el presente artículo se aplicaron diferentes métodos y técnicas para la generación y caracterización de información temática referida a las coberturas espaciales de un sector de la provincia de Chaco (Argentina). Mediante el cálculo de la transformación *Tasseled Cap*, se estimaron las variables de brillo, verdor y humedad y se aplicó una clasificación supervisada con el método *Support Vector Machines* (SVM). Finalmente se evaluó la exactitud de la clasificación.

En una segunda etapa se caracterizaron las coberturas del suelo identificadas según los criterios de brillo, verdor y humedad empleando métodos de superposición y resumen estadístico con Sistemas de Información Geográfica (SIG). La aplicación de esta metodología demostró potencial para identificar y explicar el comportamiento de las coberturas en las variables de brillo, verdor y humedad.

Palabras clave: *Tasseled Cap*, Landsat 8, Chaco, Argentina.

TASSELED-CAP TRANSFORMATION APPLIED TO THE GENERATION OF THEMATIC INFORMATION FROM SATELLITE IMAGES FROM LANDSAT 8 (OLI)

ABSTRACT

In the present article different methods and techniques were applied for the generation and characterization of thematic information in a sector of the province of Chaco (Argentina). Using the calculation of the *Tasseled Cap Transformation*, the variables of brightness, greenness and humidity were calculated. In addition, a supervised classification was applied through support vector machines (SVM) and then the classification accuracy was estimated.

According to the criteria of brightness, greenness and humidity, land cover classes were characterized using methods of superposition and statistical summary with Geographic

Insaurralde, J. A. (2019): "Aplicación de la transformación *Tasseled Cap* en la generación de información temática a partir de las imágenes satelitales del Landsat 8 (OLI)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p.19-35. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.587>

Information Systems (GIS). The application of this methodology presented a potential to identify and explain the behavior of the mapped land cover classes.

Keywords: *Tasseled Cap* transformation, Landsat 8, Chaco, Argentina

1. Introducción

En el presente artículo se describen los resultados obtenidos de la aplicación de la transformación *Tasseled Cap* a imágenes satelitales Landsat 8 (OLI) con el fin de estimar propiedades físicas de brillo, verdor y humedad en el sector suroeste de la provincia de Chaco. También se presentan los resultados de la clasificación supervisada de las principales coberturas existentes junto a los valores de superficie resultantes. Por otro lado, se presentan estadísticas referidas a las variables de brillo verdor y humedad para las coberturas identificadas.

Se trabajó en el sector suroeste de la provincia de Chaco dado que el mismo presentó, en los últimos veinte años, importantes variaciones en las coberturas tanto naturales como antropogénicas. Se trata de un área en donde el avance de la frontera agrícola y mediante la práctica de desmontes transformó el paisaje natural, reduciendo y fragmentando grandes superficies de bosque nativo. La posibilidad que ofrecen los sensores satelitales para el seguimiento y control de los recursos naturales es sumamente potente y por ello se decidió trabajar con la transformación *Tasseled Cap* a fin de explicar mediante variables físicas las variables de las coberturas existentes en dicha área.

2. Estado de la cuestión

La transformación *Tasseled Cap* fue presentada por Kauth y Thomas (1976) para detectar los cambios de la vegetación y la evolución de la mancha urbana mediante diferentes sensores satelitales. Su denominación fue otorgada por la forma en que los datos se plasmaban sobre una distribución gráfica conocida como "gorro de borla" (Chuvienco, 1990, 2002). Esta técnica es sumamente beneficiosa en cuanto a las potencialidades que ofrece la interpretación de la información satelital que de su cálculo deriva (Vorovencii, 2007). Las posibles aplicaciones de esta técnica se relacionan con la capacidad de reducción de información redundante presente en las diferentes bandas satelitales, mejorando el desempeño en los procesos de clasificación por diferentes métodos.

Existen trabajos aplicados a la identificación y análisis de la estructura biofísica de doseles vegetales (Cohen y Fiorella, 1995), como en la mejora en la discriminación de formaciones vegetales mediante métodos de clasificación (Dymond *et al.* 2002; Healey *et al.*, 2005) o en la discriminación de edades de plantaciones forestales específicas (González Trilla *et al.* 2007) que emplean como insumo básico la transformación *Tasseled Cap*. Otras aplicaciones de esta técnica demuestran ser de apoyatura para fines diversos como la conservación de aves en ambientes agrícolas urbanos (Buffett, 2006), en la elaboración de indicadores ambientales (Arroyo, 2012), en la generación de información de información temática en el ambiente amazónico donde esta técnica mostró ser de utilidad en la diferenciación de coberturas, en especial en variaciones de suelos desnudos (Mendoza *et al.*, 2013). Ejemplos como los mencionados anteriormente son abundantes en literatura científica, en general se observa que la participación de la técnica facilita la interpretación de las coberturas y su relación con otras variables ambientales.

Insaurralde, J. A. (2019): "Aplicación de la transformación *Tasseled Cap* en la generación de información temática a partir de las imágenes satelitales del Landsat 8 (OLI)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p.19-35. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.587>

La mayor difusión que alcanza esta técnica se debe a su gran aplicación a los productos satelitales Landsat 4 (MSS), 5 (TM), 7 (ETM) y recientemente 8 (OLI) en donde autores como Khauth y Thomas (1976), Crist (1985), Huang *et al.* (2002), Ali Baig *et al.* (2015) desarrollaron teóricamente la aplicación de la transformación a los sensores mencionados. Los alcances de esta técnica presentan tal importancia en el ámbito de la Teledetección que han sido trabajados para otros sensores satelitales conocidos. Tal es el caso del sensor MODIS de los satélites Aqua y Terra (Lobser, 2009), sensor ASTER a bordo del satélite Terra (Yarborough *et al.*, 2005), sensor CDD del satélite brasileiro CBERS-2B (Sheng *et al.*, 2011), sensor QUICKBIRD 2 (Yarborough *et al.*, 2005), entre otros.

3. Materiales, datos y métodos

La transformación *Tasseled Cap* resulta de la combinación lineal de todas las bandas espectrales del satélite Landsat y se trata de un método que permite la reducción de la información espectral en menores números de bandas, las cuales representan variables físicas (Chivieco, 1990, 2002). El objetivo es aumentar la varianza entre los valores de cada banda y minimizar la pérdida de información (Ali Baig *et al.*, 2015). Su finalidad es identificar las coberturas a través de las variables más representativas (brillo, verdor y humedad) con carácter físico. Es por ello que, por un lado, como insumo de entrada se cuentan con imágenes satelitales Landsat 8 (OLI) la cual presenta una resolución espacial acorde a su aplicación regional. Por otro lado, se parte de la bibliografía existente para la estimación de las variables de la transformación *Tasseled Cap*, tomadas de Ali Baig *et al.* (2015), las cuales fueron implementadas en un entorno SIG para su cálculo.

Metodológicamente (*Figura 1*) el flujo de trabajo inició con la selección y obtención de la información satelital desde del servidor del Servicio Geológico Minero de Estados Unidos (USGS) a través del sitio *Earth Explorer*, como así también de información cartográfica accesoria obtenida del Instituto Geográfico Nacional (IGN), posteriormente se realizó la corrección radiométrica de la imagen, transformación de los niveles digitales (ND) a valores de reflectancia en el techo de la atmósfera (TOA) con corrección del ángulo solar (USGS, 2016), generación el mosaico y posterior recorte del área de interés. La etapa posterior fue la de la aplicación de las fórmulas de cálculo de la transformación *Tasseled Cap* y obtención de variables de brillo verdor y humedad. El proceso de análisis incluyó la generación de estadísticas para cada cobertura según las variables estimada. Posteriormente, con la información obtenida se realizaron cartografías temáticas de la clasificación supervisada y composiciones en falso color y se graficaron los valores resultantes de las superposiciones para la estimación de superficies de cobertura según variables de brillo verdor y humedad.

Paralelamente se realizó una clasificación supervisada por el método de *Support Vector Machines* (SVM) de la imagen satelital empleando la totalidad de las bandas para contrastar su efecto en la discriminación de las coberturas en comparación con la clasificación de las variables de brillo, verdor y humedad bajo el mismo método de clasificación. Para ambos resultados de la clasificación se aplicaron métodos de evaluación de la exactitud de la clasificación siguiendo la metodología planteada por Olofson *et al.* (2013)

Finalmente, los resultados, el análisis y la discusión sobre los mismos fueron volcados en el presente manuscrito, como síntesis final del trabajo.

Insaurralde, J. A. (2019): "Aplicación de la transformación *Tasseled Cap* en la generación de información temática a partir de las imágenes satelitales del Landsat 8 (OLI)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p.19-35. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.587>

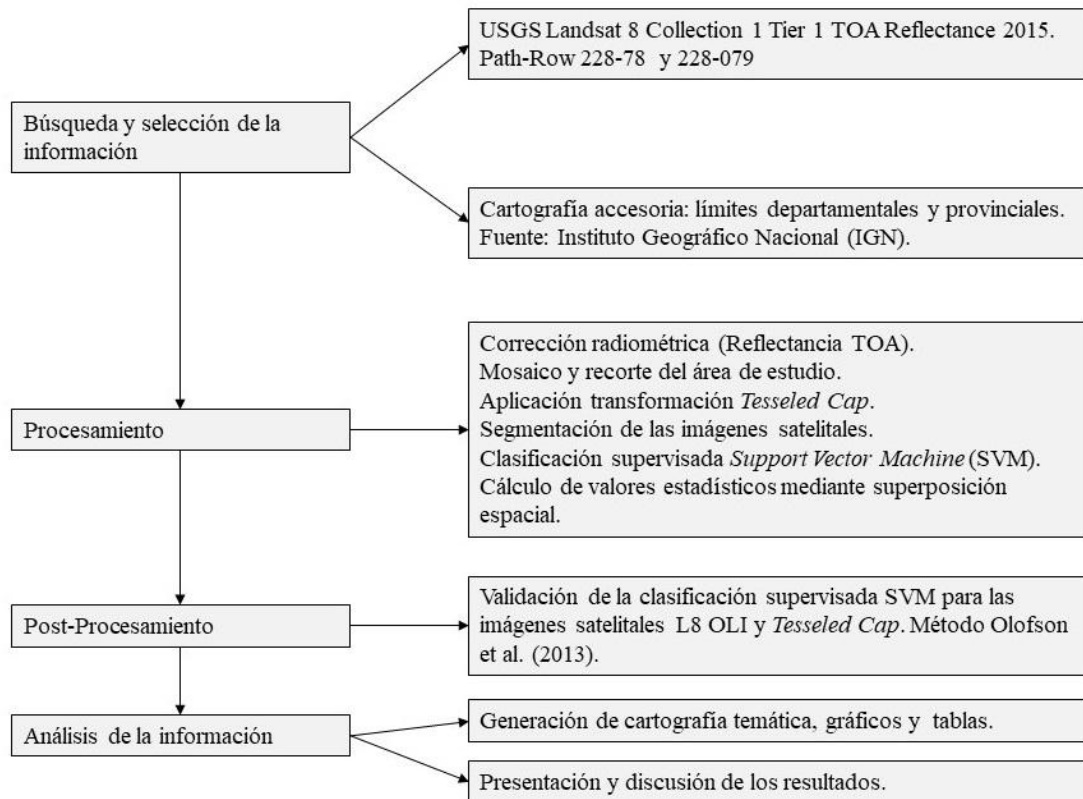


Figura 1. Diagrama de flujo de trabajo.

3.1. El caso de estudio

El área de estudio, ubicada en el suroeste de la provincia del Chaco, comprende una región caracterizada por un reciente proceso de expansión y consolidación agrícola (Adámoli, et al, 2008). La diversidad de coberturas, con relictos de bosques nativos, pastizales y un predominio de ambientes agrícolas, tanto suelos desnudos -labrados- como cultivados, favorece la aplicación de estas técnicas de generación de información y permiten realizar ensayos de caracterización y discriminación de coberturas con vistas a un monitoreo del área transformada. Estas características del área la posicionan como candidata a la aplicación de la transformación *Tasseled Cap* y posterior clasificación.

3.1.1. Delimitación espacial

La provincia de Chaco se localiza en el sector noreste del territorio nacional. Dentro del mismo el área de estudio comprende la porción suroeste de esta provincia. Se encuentra dentro del Distrito Chaqueño Occidental de la Provincia Fitogeográfica Chaqueña (Cabrera, 1976), en donde Ragonesse y Castiglioni (1970) distinguen distritos y subdistritos de vegetación tales como Distrito Campesino, Distrito de Bosque Mixto y Sabanas, Distrito de Bosque Chaqueño y Subdistrito de Parque Santiagueño. Bruniard y Rey (1976: 23) sostienen que en esta área "...domina el bosque xerófilo de porte mediano organizado en isletas diseminadas en amplios claros esteparios (abras o pampas)." Esta característica da cuenta de un ambiente con déficit hídrico en donde la agricultura posible es la de secano.

Insaurralde, J. A. (2019): "Aplicación de la transformación Tasseled Cap en la generación de información temática a partir de las imágenes satelitales del Landsat 8 (OLI)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p.19-35. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.587>

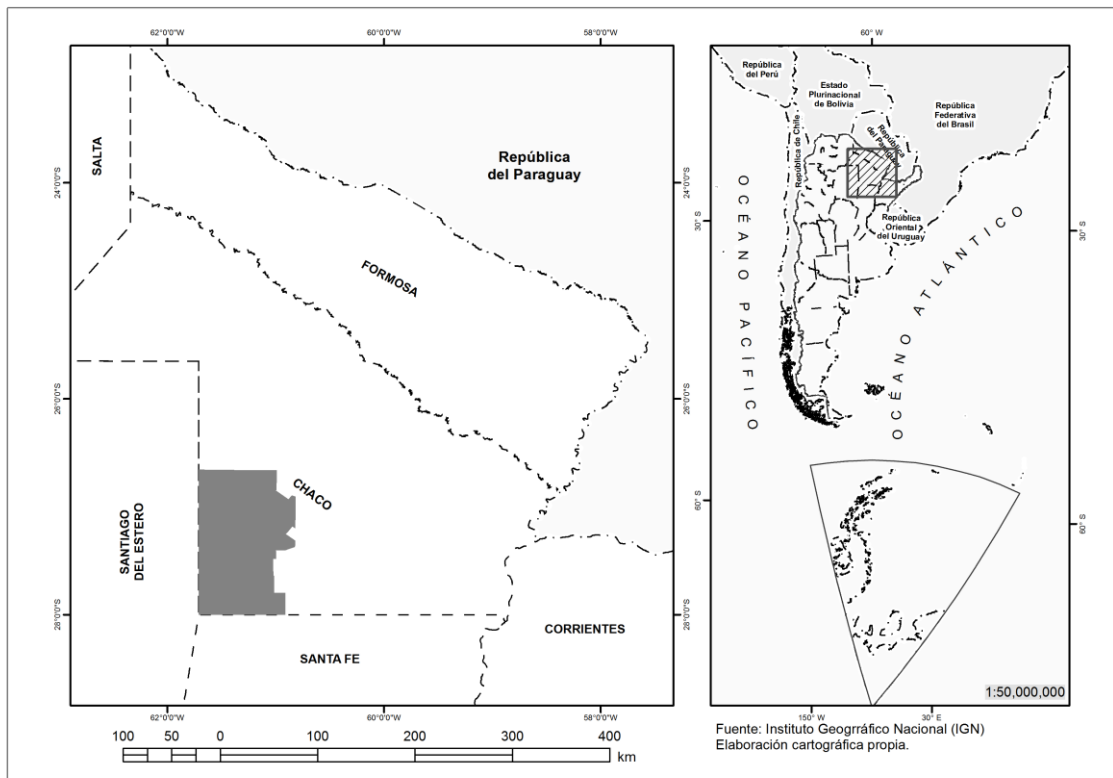


Figura 2. Localización geográfica del área de estudio.

3.1.2. Delimitación temporal

Se han empleado imágenes satelitales Landsat 8 (OLI) correspondientes al período de verano del año 2015, a partir de las cuales se recortó y extrajo el sector suroeste de la provincia de Chaco. La temporalidad seleccionada permite identificar la presencia de coberturas de cultivo, suelo desnudo y otras coberturas presentes en la escena. Por otra parte, se han utilizado imágenes libres de nubosidad tal que no comprometan el análisis posterior.

3.2. Los datos

Las imágenes satelitales fueron obtenidas a partir de la plataforma *Earth Explorer*, de la colección de imágenes USGS Landsat 8. Se utilizaron las imágenes correspondientes al path y row: 228-079 y 228-078.

3.3. Técnicas de análisis

Los datos fueron obtenidos y procesados a partir de la Plataforma *Earth Explorer*, el software Quantum GIS y el complemento *Semi-Automatic Classification Plugin*.

Los datos seleccionados contaban fueron corregidos y expresados en valores de reflectancia al techo de la atmósfera (TOA), a los mismos se aplicaron las fórmulas correspondientes para la obtención de las variables de brillo, verdor y humedad, luego se combinaron las variables resultantes en el canal RGB, se segmentó la imagen y se realizó una clasificación supervisada basada en el método *Support Vector Machines* (SVM). De la

Insaurralde, J. A. (2019): "Aplicación de la transformación Tasseled Cap en la generación de información temática a partir de las imágenes satelitales del Landsat 8 (OLI)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p.19-35. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.587>

clasificación se obtuvieron coberturas de agua, suelo desnudo, suelo desnudo húmedo, bosque, pastizales, cultivo y áreas urbanas. Del mismo modo, se realizó la segmentación y clasificación supervisada SVM para las imágenes Landsat 8 OLI y se generaron las mismas coberturas espaciales. Ambas clasificaciones supervisadas fueron sometida a un proceso de evaluación de la precisión mediante el método empleado por Olofson *et al.* (2013). Las verdades de campo fueron generadas a partir del proceso de segmentación, muestreo y entrenamiento de las clases informacionales.

Para el análisis estadístico de las variables calculadas por coberturas se transformaron las categorías clasificadas a vectores y se aplicaron métodos estadísticos para recoger datos por pixel (estadística zonal) y luego estimar los valores mínimos, medios y máximos de brillo, verdor y humedad por cobertura.

Los factores correspondientes a cada banda satelital del sensor OLI fueron obtenidas de Ali Baig *et al.* (2015) quienes establecieron para cada banda un coeficiente de transformación (**Figura 3**). En base a los valores estimados por Ali Baig *et al.* (2015) se diseñaron las fórmulas que fueron aplicadas al análisis *Tasseled Cap* (**Tabla 1**).

Landsat 8	(Blue) Band 2	(Green) Band 3	(Red) Band 4	(NIR) Band 5	(SWIR1) Band 6	(SWIR2) Band 7
Brightness	0.3029	0.2786	0.4733	0.5599	0.508	0.1872
Greenness	-0.2941	-0.243	-0.5424	0.7276	0.0713	-0.1608
Wetness	0.1511	0.1973	0.3283	0.3407	-0.7117	-0.4559
TCT4	-0.8239	0.0849	0.4396	-0.058	0.2013	-0.2773
TCT5	-0.3294	0.0557	0.1056	0.1855	-0.4349	0.8085
TCT6	0.1079	-0.9023	0.4119	0.0575	-0.0259	0.0252

Figura 3. Coeficientes de transformación Tasseled Cap aplicados al satélite Landsat 8 (OLI). Fuente Ali Baig *et al.* (2015). Derivation of a tasseled cap transformation based on Landsat 8 at satellite reflectance.

Tabla 1. Fórmulas estimadas para el cálculo de las variables Brillo, Verdor y Humedad.

Brillo	$(B2*0.3029)+(B3*0.2786)+(B4*0.4733)+(B5*0.5599)+(B6*0.508)+(B7*0.1872)$
Verdor	$(B2*-0.2941)+(B3*-0.243)+(B4*-0.5424)+(B5*0.7276)+(B6*0.0713)+(B7*-0.1608)$
Humedad	$(B2*0.1511)+(B3*0.1973)+(B4*0.3283)+(B5*0.3407)+(B6*-0.7117)+(B7*-0.4559)$

Fuente: Ali Baig *et al.* (2015). Derivation of a tasseled cap transformation based on Landsat 8 at satellite reflectance.

3.4. Validación de la clasificación

Durante la etapa de validación, se pusieron a prueba diferentes métodos de clasificación, en primer lugar, se realizó la clasificación supervisada, con el método *Support Vector Machines* (SVM), de las imágenes satelitales correspondientes al sensor Landsat 8 OLI. Posteriormente se realizó el mismo procedimiento para la combinación de las tres bandas calculadas a partir de la aplicación de la transformación *Tasseled Cap*. Los resultados obtenidos por ambos métodos fueron satisfactorios, no obstante, dado el objetivo de caracterización de coberturas a partir de la técnica mencionada es que se seleccionó a la clasificación supervisada que emplea las imágenes del cálculo *Tasseled Cap* para los posteriores análisis.

Cabe mencionar que, a partir del método propuesto por Olofson (2013) se generó un reporte de la validación de la clasificación (**Figura 4**) en donde se puede observar que, para la

Insaurralde, J. A. (2019): "Aplicación de la transformación Tasseled Cap en la generación de información temática a partir de las imágenes satelitales del Landsat 8 (OLI)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p.19-35. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.587>

clasificación resultante, la precisión fue estimada en un 85,3 %, con lo cual se puede considerar aceptable. Las mismas, calculadas en porcentaje, se describen en la **Tabla 2**.

Las áreas de muestreo fueron seleccionadas a partir de la técnica de segmentación y posteriormente se calcularon puntos aleatorios estratificados por categorías con el fin de comparar las verdades de campo con la imagen clasificada, ver Figura 8.

Tabla 2. Validación de la clasificación: resumen estadístico de la evaluación de la clasificación insesgada.

Clases	Superficie (hectáreas)	± 95 % CI	Errores de comisión (%)	Errores de omisión (%)	Precisión global de la clasificación (%)
Agua	2568	88	99,8	97,7	85,27
Suelo desnudo seco	43912	1756	89,1	48,5	
Suelo desnudo húmedo	357567	3192	82,8	96,8	
Bosque	264537	3004	96,3	74,7	
Pastizal	217160	2505	93,9	81,5	
Cultivo	368358	3815	77,9	92,2	
Urbano	49494	1764	92,7	55,5	

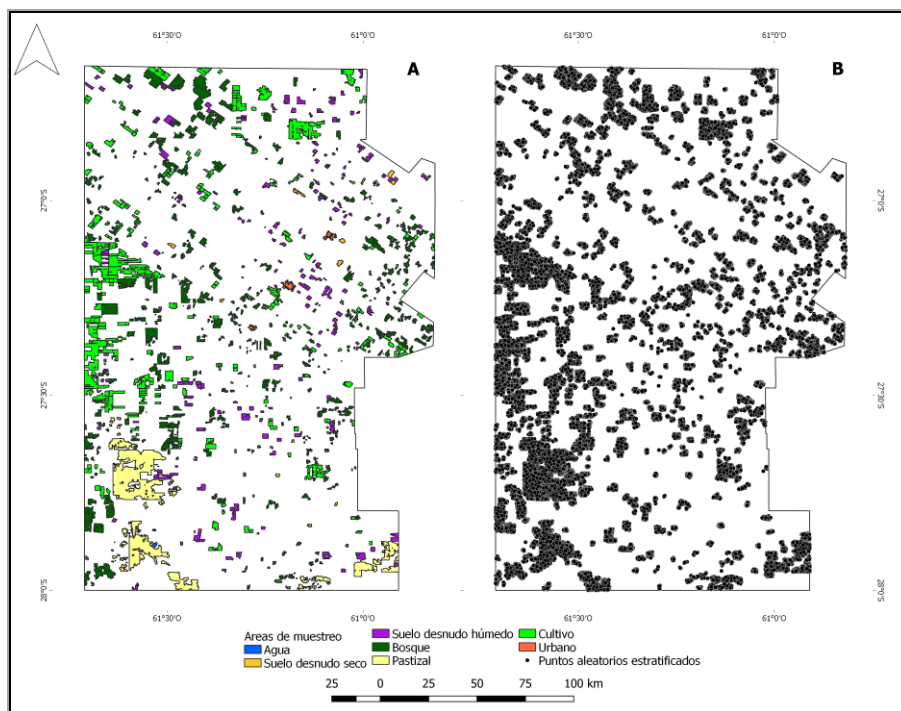


Figura 4. Áreas muestreadas y verdades de campo utilizadas en la validación de la exactitud.

Insaurralde, J. A. (2019): "Aplicación de la transformación *Tasseled Cap* en la generación de información temática a partir de las imágenes satelitales del Landsat 8 (OLI)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p.19-35. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.587>

4. Descripción y análisis de resultados

El cálculo de la transformación *Tasseled Cap* generó tres capas de información que representaron a las variables de brillo, verdor y humedad. Éstas proveyeron información de utilidad para caracterizar las coberturas y, a partir de su clasificación, permitieron realizar una delimitación de las coberturas, además de determinar el comportamiento de las clases en las mencionadas variables calculadas.

4.1. Patrones de distribución de la variable brillo

La variable de brillo presentó una distribución heterogénea en el área de estudio, según se puede observar en los mapas de cuartiles, como así también en el mapa del 4° cuartil (Figura 4 A y B). Mientras que, en el sector oeste, se observaron superficies con valores bajos de brillo en coincidencia con áreas boscosas o, en general, con cobertura vegetal o cuerpos de agua, en sector este y en particular, noreste, se observaron valores altos de esta variable. Cabe destacar que se observaron superficies con valores de brillo alto en áreas que se infiere, forman parte de las parcelas de cultivos en el área de estudio, tal como se puede apreciar en la composición en falso color RGB-753 de la imagen satelital (ver Figura 6).

4.2. Patrones de distribución de la variable verdor

Se observó que la variable verdor se encontró relacionada con las masas vegetales y los cuerpos de agua es por ello que en los mapas correspondientes a los cuartiles y al 4° cuartil (**Figura 5 B y C**) el verdor se distribuye de forma heterogénea en el área de estudio. Los valores altos se acentuaron en el sector este de la escena tal como se puede observar mediante los cuartiles 3 y 4. Si sólo se considera al 4° cuartil, se puede observar una distribución que tiende a concentrar los valores altos en el sector norte y sur del área de estudio, aunque se observaron una abundancia de fragmentos de menor tamaño, distribuidos en el área central.

4.3. Patrones de distribución de la variable humedad

La variable humedad, relacionada, principalmente con los cuerpos de agua, aunque también con el contenido de humedad de la vegetación y de los suelos, se encuentra representada por los mapas de cuartiles y del 4° cuartil (**Figura 5 E y F**). En los mismos se observó que la variable de humedad presentó valores bajos en el área central y en porciones aisladas al noreste. Los valores elevados de humedad se localizaron de forma heterogénea no agrupada por en el centro, noreste y suroeste de la escena tal como se puede apreciar en los cuartiles 1 y 4. Al considerar solamente al 4° cuartil (Figura 4 F), se observó que los valores altos se encontraron distribuidos de forma similar que los valores altos de verdor, concentrados en el área norte y sur y con una distribución más fragmentada al centro del área de estudio.

Insaurralde, J. A. (2019): "Aplicación de la transformación Tasseled Cap en la generación de información temática a partir de las imágenes satelitales del Landsat 8 (OLI)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p.19-35. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.587>

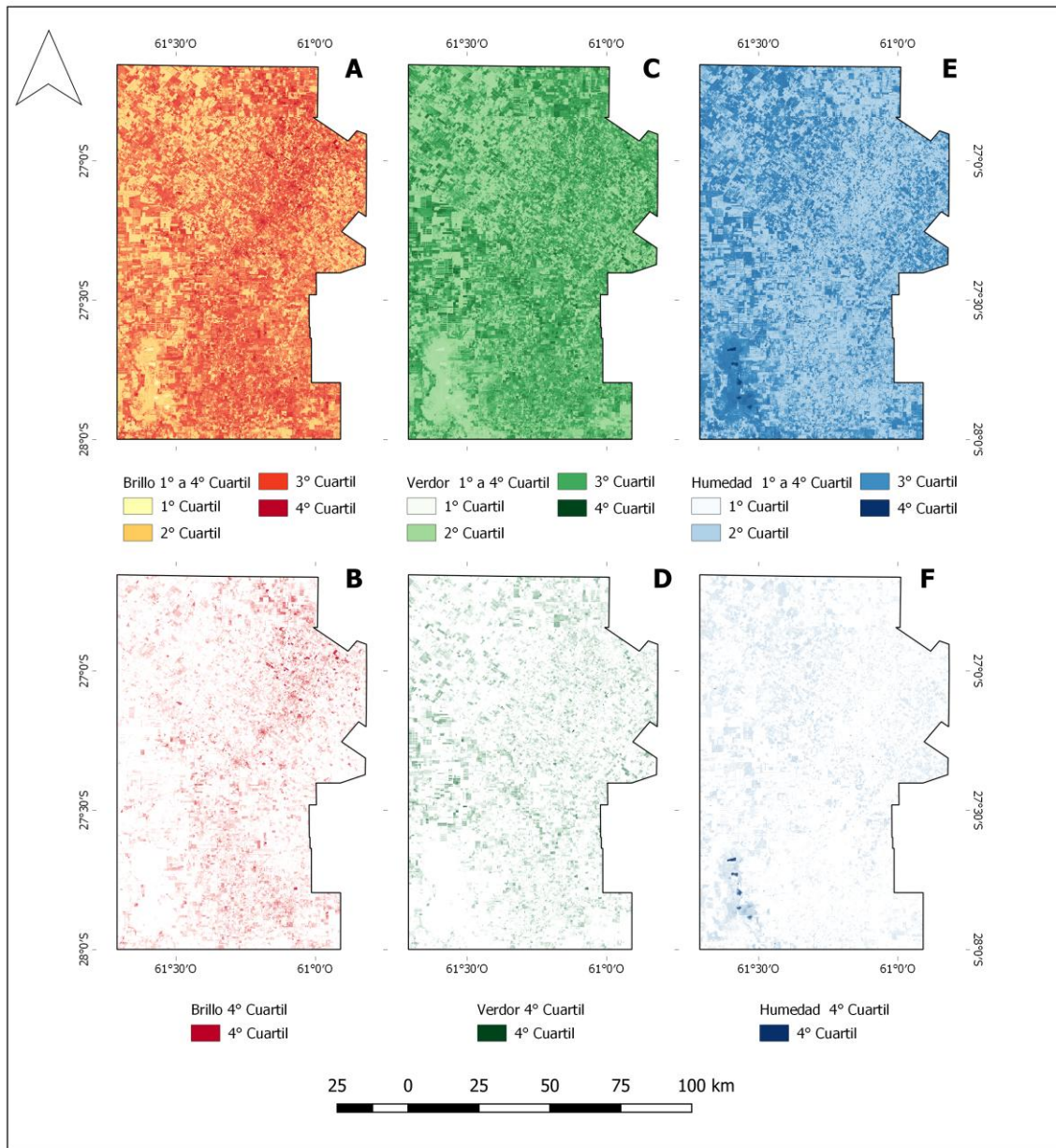


Figura 5. Resultados de la transformación Tasseled Cap: Brillo (derecha: valores en cuartiles, izquierda: valores del 4° cuartil).

4.4. Composición RGB - Tasseled Cap

A partir de las variables calculadas se realizó una composición en falso color RGB-753 y RGB-brillo, verdor y humedad (Figura 6). En las mismas se observaron áreas correspondientes a suelos desnudos o con poca cobertura vegetal con tonos blanquecinos en la composición RGB-753 y representados por valores elevados de brillo y bajos en verdor y humedad. También se identificaron suelos húmedos caracterizados por tonos rojos oscuros y valores más elevados de humedad. La vegetación se reflejó por sus altos valores en las variables de verdor, seguida por humedad, éstas se distinguieron por su coloración verde intensa en la composición RGB-753. Por otra parte, se logró identificar áreas con vegetación de tipo bosque

Insaurralde, J. A. (2019): "Aplicación de la transformación *Tasseled Cap* en la generación de información temática a partir de las imágenes satelitales del Landsat 8 (OLI)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p.19-35. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.587>

y pastizales con sus respectivas variaciones húmedas, esta situación es evidente en el sector suroeste de la escena en donde se aprecian tonos marrones oscuros y los tonos azulados. Los cuerpos de agua fueron identificados por su tono azul oscuro y se los puede apreciar de forma clara en el sector suroeste junto a la vegetación húmeda señalada anteriormente. También fue factible identificar superficie cubierta de cultivos definida por su tono verde claro y su estructura lisa u homogénea.

Para facilitar la identificación de tales coberturas se trabajó paralelamente con su composición en falso color natural RGB 543 y RGB 753. Cabe aclarar que la composición en falso color lograda para las variables de brillo, verdor y humedad fue realizada mediante un estiramiento del histograma de 1,5 desvíos de la media.

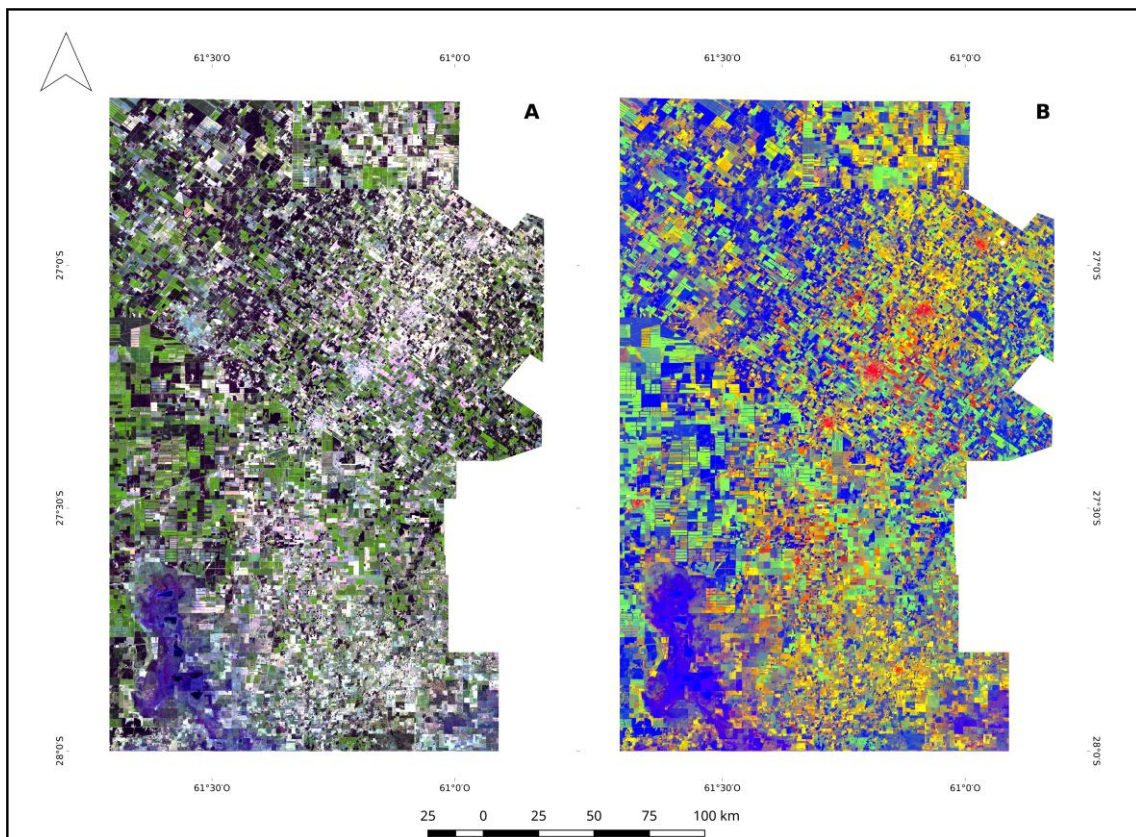


Figura 6. A: combinación RGB 753 Landsat 8. B: resultados de la transformación *Tasseled Cap*: combinación Brillo Verdor Humedad – RGB.

4.5. Clasificación supervisada de las coberturas espaciales

A partir de la imagen compuesta en falso color RGB brillo, verdor y humedad se realizó una clasificación supervisada por el método *Support Vector Machines -SVM* (Figura 7). El resultado de la clasificación de las coberturas devolvió las categorías de cuerpos de agua, bosque, pastizal, cultivos y suelo desnudo con alta reflectividad y con baja reflectividad. Esta diferenciación en las coberturas de suelo desnudo se realiza para diferenciar aquellas coberturas de suelo que, al momento de captura de información por parte del sensor, presentaron altos valores de reflectividad en las diferentes bandas satelitales, indicando escasa cobertura vegetal. Cabe aclarar que esta clasificación dependió del momento de captura de la imagen. En este caso

Insaurralde, J. A. (2019): "Aplicación de la transformación Tasseled Cap en la generación de información temática a partir de las imágenes satelitales del Landsat 8 (OLI)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p.19-35. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.587>

predominó la cobertura de cultivos que es atribuida al uso agrícola al igual que el suelo desnudo. Debemos tener en cuenta que una clasificación satelital no considera los usos del suelo sino las coberturas, siendo que los usos solo pueden ser inferidos a partir de imágenes satelitales y que su definición precisa se logra mediante censos agrícolas y otras fuentes de información que aporten a su clasificación.

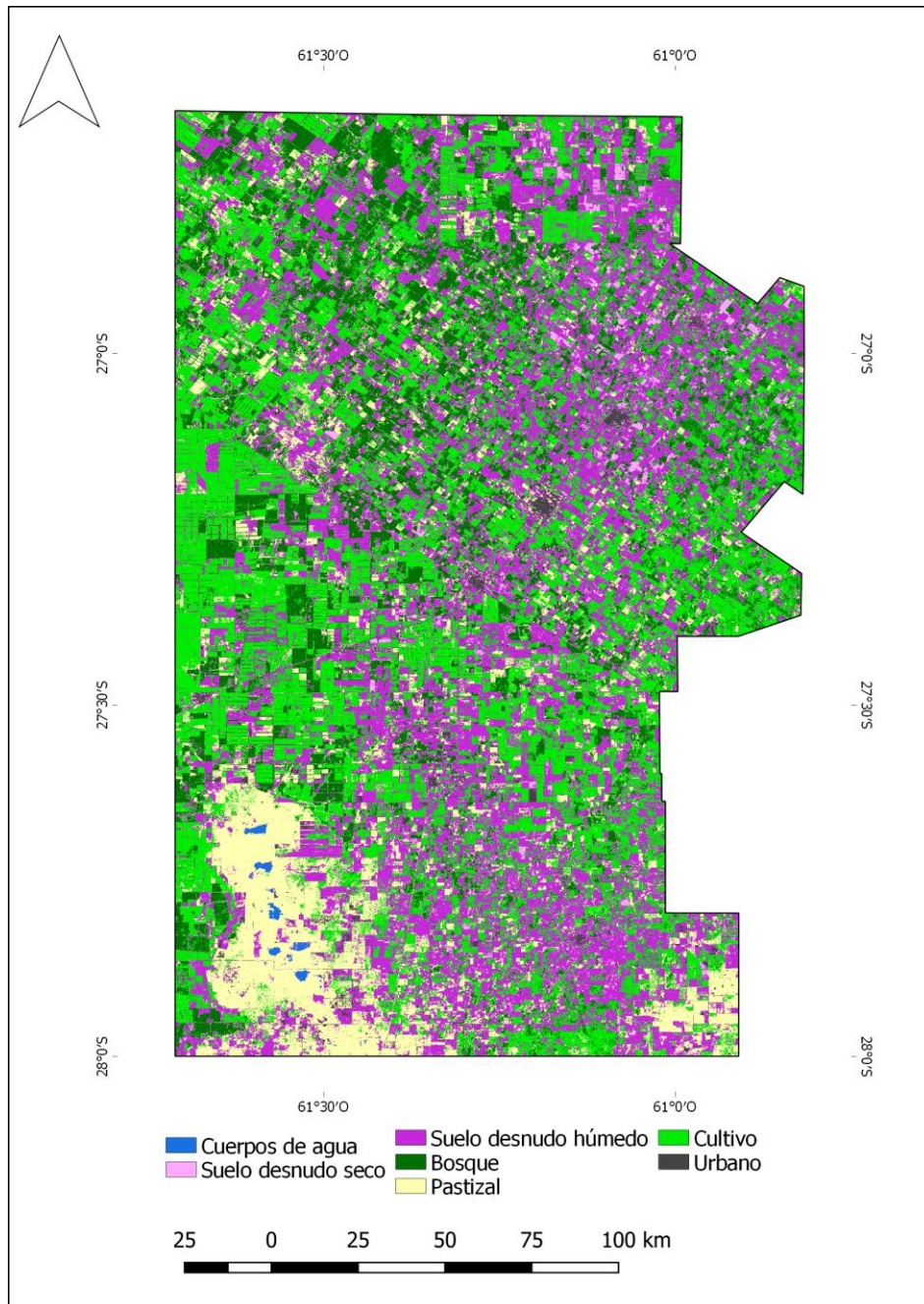


Figura 7. Clasificación supervisada (Support Vector Machines - SVM).

De la clasificación se estimaron los totales cubiertos por cada cobertura (**Figura 8**), en este sentido, los cultivos presentaron las mayores superficies ocupadas, con un total de 435.849 ha, luego la cobertura de Suelo desnudo húmedo presentó un total de 417.916 ha,

Insaurralde, J. A. (2019): "Aplicación de la transformación Tasseled Cap en la generación de información temática a partir de las imágenes satelitales del Landsat 8 (OLI)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p.19-35. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.587>

seguido por la cobertura de Bosques, con un total de 205.177 ha. Los pastizales presentaron un total de 188.579 ha, el área urbana presentó un total de 29.632 ha, la cobertura de suelo desnudo presentó un total de 23.929 ha y finalmente los cuerpos de agua totalizaron 2.513 ha.

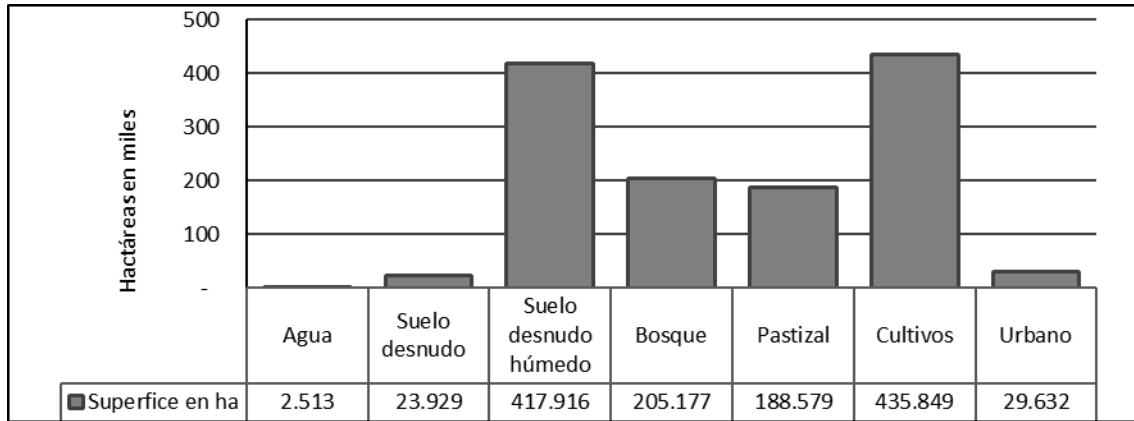


Figura 8. Coberturas clasificadas según superficie.

4.6. Comportamiento de las coberturas en función al brillo, verdor y humedad

A partir de una comparación entre las coberturas y el brillo, verdor y humedad se generó un gráfico de puntos para caracterizar el comportamiento de las mismas (*Figura 9*). Tal como se puede observar, la cobertura de agua presentó bajos valores de brillo con respecto al resto de las coberturas, con un valor medio de 0,07 mientras que para el verdor fue de -0,05 y para humedad de 0,03. La cobertura de suelo desnudo seco presentó el valor medio más elevado de brillo en comparación con el resto de las coberturas, siendo de 0,53 mientras que para el verdor fue de 0,07 y para la humedad de -0,09. La cobertura de suelo desnudo húmedo presentó un patrón similar al del suelo desnudo seco, aunque los valores de brillo fueron menores en comparación, con valores de 0,38, mientras que para el verdor fueron similares, con un valor de 0,02 y para la humedad presentó un valor de -0,09. La cobertura bosque presentó el valor medio de brillo de 0,21, valor medio de verdor de 0,02 y valor medio de humedad de -0,04. La cobertura de pastizal presentó el valor medio de brillo de 0,26, valor medio de verdor de 0,02 y valor medio de -0,04 para humedad. El cultivo presentó el valor medio de brillo de 0,28, mientras que para el verdor fue de 0,09 y para la humedad -0,07. Finalmente, la cobertura urbana presentó valores de brillo de 0,46, mientras que para el verdor fue de 0,02 y para la humedad de -0,08.

Los valores previamente mencionados corresponden a promedios obtenidos a partir de una superposición entre las muestras de coberturas y las variables de brillo verdor y humedad. Además de promedios se estimaron los mínimos y máximos registrados en la escena para el período analizado. La *Figura 10* muestra el rango entre el mínimo y máximo recogido sobre las variables analizadas. Para el caso de la cobertura de suelo desnudo seco se apreció rango amplio entre los valores mínimos y máximos, al igual que la cobertura urbana. Por otra parte, para la cobertura de suelo desnudo seco se observó un rango amplio entre el mínimo y el máximo para la humedad. El resto de las variables, para las diferentes coberturas, presentaron valores bajos de rango.

Insaurralde, J. A. (2019): "Aplicación de la transformación Tasseled Cap en la generación de información temática a partir de las imágenes satelitales del Landsat 8 (OLI)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p.19-35. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.587>

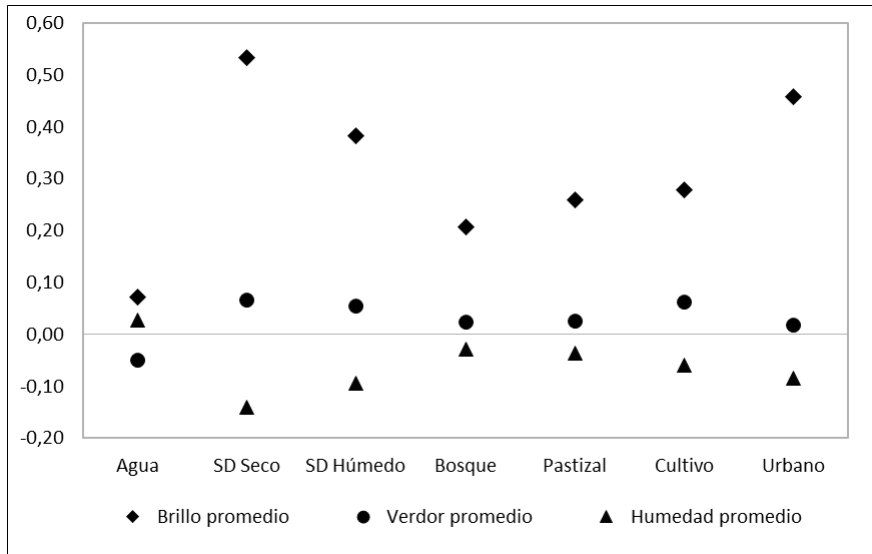


Figura 9. Valores medios de las variables de brillo verdor y humedad según cobertura.

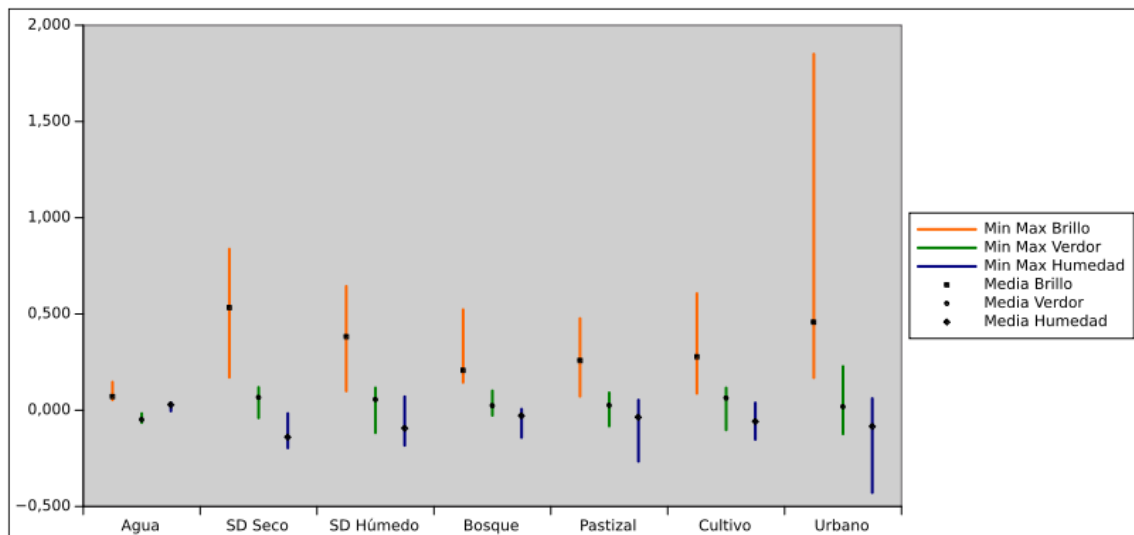


Figura 10. Valores mínimos, máximos y medios de las coberturas con respecto a las variables de brillo, verdor y humedad.

5. Discusión y valoración de hallazgos

La transformación de la imagen Landsat 8 OLI a valores de brillo, verdor y humedad con base en los cálculos propuestos por Ali Baig *et al.* (2015) permitieron la reducción de información y ahorros en los tiempos de procesamiento a la vez que, la interpretación y caracterización de la escena a través de estas variables, permitió diferenciar las coberturas de agua, suelo desnudo seco, suelo desnudo húmedo, bosques, pastizal, cultivos y urbano. La clasificación de las imágenes satelitales sin transformación y transformadas permitió establecer una comparación de los resultados, pudiendo afirmar que ambas clasificaciones, con métodos supervisados (*Support Vector Machines*) ofrecen buenos resultados, según metodología de

Insaurralde, J. A. (2019): "Aplicación de la transformación *Tasseled Cap* en la generación de información temática a partir de las imágenes satelitales del Landsat 8 (OLI)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p.19-35. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.587>

Olofson (2013). Aunque la posibilidad de trabajar con tres variables que representen magnitudes físicas, comprende una alternativa para la caracterización de las coberturas con potencialidad.

La variable de brillo se la asoció, particularmente, a la presencia de la cobertura de suelo desnudo y urbano al presentar altos valores y amplios rangos entre el mínimo y máximo registrado, en esta variable, con una superficie total entre ambas de 447.548 ha, aproximadamente un tercio de la escena, mientras que para el resto de las variables (verdor y humedad) sus valores fueron bajos y con un amplio rango sólo para la humedad en la cobertura de suelo desnudo húmedo.

El verdor se asoció, principalmente, a las coberturas vegetales de cultivo, bosque y pastizales en combinación con altos valores de humedad y bajos valores de brillo, tal como se pudo apreciar en la comparación entre las variables y las coberturas. Estas coberturas cubrieron una superficie total de 829.605 ha.

La humedad fue representada, principalmente por la cobertura de agua, con el valor más alto con respecto al resto de las coberturas, además las características de brillo y verdor presentaron valores más bajos en comparación con las demás coberturas.

Para la región analizada este trabajo comprende un aporte metodológico aplicado a un área agrícola de reciente expansión en la Provincia del Chaco. Cabe destacar que esta técnica resultó ser muy útil en la identificación de coberturas debido a la reducción de información redundante de las bandas satelitales. Esto permitió la generación de cartografía temática y la extracción de información cuantitativa sobre el comportamiento de estas coberturas.

6. Conclusiones

Con la puesta en marcha del Landsat 8 (OLI) se generaron nuevas investigaciones que derivaron en los coeficientes propuestos por Ali Baig *et al.* (2015) y que en este trabajo de aplicación se utilizó para demostrar el potencial de esta técnica aplicada a las nuevas imágenes que provee dicho sensor.

La aplicación de la transformación *Tasseled Cap* se mostró ventajas para la interpretación de la información permitiendo la reducción de información de seis bandas satelitales, correspondientes al sensor OLI del satélite Landsat 8, a tres imágenes correspondientes a brillo, verdor y humedad. Por otra parte, la combinación y clasificación de la imagen resultante de las variables de brillo verdor y humedad permitieron la discriminación de coberturas y posterior caracterización. Cabe destacar que no variaciones importantes en los resultados de la clasificación al momento de emplear todas las bandas satelitales con respecto a utilizar las bandas de brillo verdor y humedad.

En el sector suroeste se identificaron coberturas de cultivos, vegetación natural (bosques y pastizales), cuerpos de agua y suelos desnudos húmedos y secos. Estas dos últimas coberturas presentaron las mayores superficies. A su vez cada cobertura presentó variaciones características en las mencionadas variables, con lo cual resultó sencillo interpretar las condiciones ambientales por las que se encontraban las mismas.

Las coberturas de suelo desnudo seco, húmedo y urbano se asociaron con la variable brillo, mientras que las coberturas de bosque, pastizales y cultivos se asociaron a una combinación entre valores de brillo, verdor y humedad. Por su parte, la cobertura de agua se asoció claramente a la humedad.

Insaurralde, J. A. (2019): "Aplicación de la transformación Tasseled Cap en la generación de información temática a partir de las imágenes satelitales del Landsat 8 (OLI)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p.19-35. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.587>

La posibilidad de caracterizar el estado medio de cada cobertura, según el brillo, verdor y la humedad, además de considerar su comportamiento en los valores mínimos y máximos de cada variable, permitió generar mayor información sobre estas coberturas en esta área de estudio.

Referencias bibliográficas

Adámoli, Jorge.; Torrella, Sebastián. A.; y Rubén, Ginzburg; (2008). "La Expansión de la Frontera Agrícola en la Región Chaqueña: Perspectivas y Riesgos Ambientales". En Otto. T. Solbrig y Jorge Adámoli, *Agro y Ambiente: una agenda compartida para el desarrollo sustentable* (pp. 1-29). Foro de la cadena agroindustrial argentina. [Consulta: 11-04-2016]. Disponible en <http://www.foroagroindustrial.org.ar/medio.php>

Ali Baig, Muhammad Hasan; Zhang, Lifu; Shuai, Tong y Tong, Qingxi, (2014). "Derivation of a tasseled cap transformation based on Landsat 8 at-satellite reflectance", *Remote Sensing Letters*, 423, 431, pp.

Arroyo Palomo, Marcos; (2012). *Modelización del cálculo de Indicadores Ambientales, a partir de sensores ópticos de alta resolución temporal a bordo de satélites*. (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingeniería en Topografía, Geodésia y Cartografía. Madrid, España. [Consulta: 11-04-2016] Disponible en: http://redgeomática.rediris.es/redlatingeo/2012/MARCOS_PALOMO_ARROYO.pdf

Bruniard, E. D., y Rey, W.; (1976). "Rasgos geográficos de las provincias del Nordeste Argentino". *Revista de Estudios Regionales*. Programa de Estudios Regionales. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) (1), 9, 38, pp.

Buffett Daniel; (2006). *Classifying agricultural land in an urban landscape with application to waterfowl conservation*. (Reporte técnico). Universidad Simon Fraser. [Consulta: 11-04-2016] Disponible en: http://rem-main.rem.sfu.ca/theses/BufettDaniel_2006_MRM416.pdf

Cabrera, Á. L.; (1976). Regiones Fitogeográficas Argentinas. *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería*. Tomo II (fascículo 1), Segunda edición, 1-85. Buenos Aires, Argentina: ACME S.A.C.I.

Chuvieco Salinero, Emilio; (1990). *Fundamentos de teledetección espacial*. Madrid (España). Rialp.

Chuvieco Salinero, Emilio; (2002). *Teledetección ambiental: la observación de la Tierra desde el espacio*. Barcelona (España). Ariel.

Cohen, W. B.; Spies, T. A.; y 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. [Consulta: 11-04-2016]. Disponible en: https://larse.forestry.oregonstate.edu/sites/larse/files/pub_pdfs/Cohen_Spies_Fiorella_1995_2.pdf

Crist, Eric C.; (1985). "A TM Tasseled Cap Equivalent Transformation for Reflectance Factor Data." *Remote Sensing of Environment* 17:301-306. [Consulta: 11-04-2016]. Disponible en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.454.3145&rep=rep1&type=pdf>

Dymond, Caren C.; Mladenoff David J. y Radeloff Volker C.; (2002). Phenological differences in Tasseled Cap indices improve deciduous forest classification. *Remote Sensing of Environment* 80, 460– 472.

Insaurralde, J. A. (2019): "Aplicación de la transformación Tasseled Cap en la generación de información temática a partir de las imágenes satelitales del Landsat 8 (OLI)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p.19-35. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.587>

Espinoza Mendoza, Victoria y Gonzáles, Christian V.; 2013. Generación de información temática de cobertura vegetal amazónica a partir del sensor Landast-TM. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, INPE. [Consulta: 11-04-2016]. Disponible en: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p1666.pdf>

Gonzáles Trilla, Gabriela; Vicari, Ricardo; Karszenbaum, Haydee; Kandus, Patricia y Pralongo, Paula.; (2007). *Uso del Tasseled Cap para discriminar plantaciones de sauce (Salix babylonica) de distintas edades en el Delta del Río Paraná, Argentina*. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil (INPE). [Consulta: 11-04-2016]. Disponible en: <http://mar.tecn.br/rep/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.20.29?mirror=ltid.inpe.br/sbsr/2004/09.22.16.44&metadatasrepository=dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.20.29.33>

Healey, Sean P.; Cohen, Warren, B.; Zhiquiang, Yang y Krankina, Olga N.; (2005) Tasseled Cap-based Landsat data structures for use in forest disturbance detection. *Remote Sensing of Environment* 97 301, 310 pp.

Huang, C.; Yang, Wylie L.; Homer, Collin y Zylstra, G.; (2002). Derivation of a tasseled cap transformation based on Landsat 7 at-satellite reflectance. *Remote Sensing*. vol. 23, no. 8, 1741–1748 pp.

Kauth, R. J. y Thomas, G. S.; (1976). The Tasseled Cap—A Graphic Description of the Spectral-Temporal Development of Agricultural Crops as Seen by LANDSAT. *LARS Symposia*, 41,51 pp.

L. D. Yarbrough, G. Easson and J. S. Kuzmaul, "Using at-sensor radiance and reflectance tasseled cap transforms applied to change detection for the ASTER sensor," *International Workshop on the Analysis of Multi-Temporal Remote Sensing Images, 2005.*, 2005, pp. 141-145.

Lobser, Sarah E.; (2009). *Vegetation characteristics expressed through transformed MODIS data: a MODIS tasseled cap*. [Consulta: 11-04-2016]. Disponible en <http://www.biomedsearch.com/sci/Vegetation-characteristics-expressed-through-transformed/0036387850.html>

Olofsson, P., Foody, G.M., Stehman, S.V., & Woodcock, C.E. (2013). Making better use of accuracy data in land change studies: Estimating accuracy and area and quantifying uncertainty using stratified estimation. *Remote Sensing of Environment*, 129, 122 – 131.

Ragonese, A. E. y J. C. Castiglioni; (1970). La vegetación del parque chaqueño. *Bol. Soc. Arg. Bot.* 11 (Supl.): 133, 160 pp.

Sheng, Li; Huang, Jing-feng y Tang, Xiao-lu.; 2011. A tasseled cap transformation for CBERS-02B CDD data. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE B (Biomedicine & Biotechnology)*. [Consulta: 11-04-2016]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3167912/>

U.S. Geological Survey (USGS)., (2016). *Landsat 8 (L8) Data Users Handbook*. Department of the Interior U.S. Geological Survey. [Consulta: 11-04-2016]. Disponible en: <https://landsat.usgs.gov/sites/default/files/documents/Landsat8DataUsersHandbook.pdf>

Vorovencij, Iosif; (2007). Use of the "Tasseled Cap" Transformation for the Interpretation of Satellite Image. *Cadastre Journal RevCAD*. [Consulta: 11-04-2016]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/259479299_Use_of_the_Tasseled_Cap_Transformation_for_the_Interpretation_of_Satellite_Images

Insaurralde, J. A. (2019): "Aplicación de la transformación Tasseled Cap en la generación de información temática a partir de las imágenes satelitales del Landsat 8 (OLI)", GeoFocus (Artículos), n° 24, p.19-35. ISSN: 1578-5157
<http://dx.doi.org/10.21138/GF.587>

Yarbrough, Lance D.; Easson, Greg y Kuzmaul, Joel S. (2011). QUICKBIRD 2 TASSELED CAP TRANSFORM COEFFICIENTS: A COMPARISON OF DERIVATION METHODS. *Pecora 16 "Global Priorities in Land Remote Sensing"*. [Consulta: 11-04-2016]. Disponible en http://www.asprs.org/a/publications/proceedings/pecora16/Yarbrough_L.pdf

