

Análisis de descomposición polarimétrica de datos SAR

Ronald Rico

December 7, 2018

Abstract

Los datos SAR con polarización completa contienen más información que los correspondientes datos de polarización única. Su estudio permite una discriminación de diferentes tipos de mecanismos de dispersión debido a que las propiedades de dispersión de los reflectores terrestres pueden ser diferentes para distintas polarizaciones incidentes. El presente trabajo evaluó estos mecanismos sobre un área tropical usando la descomposición polarimétrica Cloud-Pottier. Se utilizó un conjunto de datos de polarización completa de la misión ALOS (Advanced Land Observation Satellite) PALSAR (Phased Array Type L-band Synthetic Aperture Radar). El método de descomposición usado permitió diferenciar las coberturas en base a mecanismos de dispersión, y verificar la prevalencia de dispersión volumétrica en la zona de estudio, reflejo de su alta cobertura vegetal.

1 Introducción

El mapeo de la superficie terrestre provee información indispensable para muchas aplicaciones, incluyendo la planeación del uso del suelo. Debido a las actividades de cambio del uso del suelo, la información requiere ser actualizada regularmente. La revisión frecuente del mapeo consume esfuerzos económicos sustanciales que demandan alternativas técnicas rentables para abordar esta problemática. Ante esto, el uso de la percepción remota representa una gran oportunidad. Sin embargo, en zonas con presencia persistente de nubes, los sistemas de Radar de Apertura Sintética (SAR) tienen más ventajas que los sistemas ópticos. En los inicios del desarrollo de los sistemas SAR, la polarización sencilla era la única opción. Pero su aplicación era insuficiente para describir variaciones en la cobertura terrestre como la que se presenta en las zonas tropicales. Con el desarrollo posterior de los sistemas SAR, los datos polarimétricos duales y cuatruples han sido gradualmente adoptados para la observación de la tierra mediante la percepción remota de microondas.

Los datos SAR polarimétricos pueden descomponerse para extraer información a cerca de los procesos de dispersión usando varias técnicas conocidas como descomposición de objetivo (TD por sus siglas en inglés). La información polarimétrica de un objeto terrestre bajo observación puede contener sus características geométricas y físicas (Varghese et al., 2016).

Los teoremas de TD fueron inicialmente formalizados por Huyen (1970) pero tienen sus raíces en el trabajo de Chandrasekhar (1960) sobre dispersión de luz por partículas anisotrópicas pequeñas (Lee and Pottier, 2009). El objetivo de la TD es expresar el mecanismo de dispersión promedio como la suma de elementos independientes para asociar un mecanismo físico con cada componente. Éstos desarrollos se pueden ubicar en dos categorías: uno es coherente (CTD) y el otro incoherente (ICTD). El CTD se desarrolló para caracterizar ondas dispersadas completamente polarizadas para las cuales la información polarimétrica completa está contenida en la matriz de dispersión. El CTD puede usarse solamente para estudiar objetos coherentes, también conocidos como objetivos puros o puntuales (point or pure targets). Los objetos hechos por el hombre son ejemplo de objetivos puros. Pauli, Krogager, Cameron, son tipos de descomposición coherente (Turkar and Rao, 2011).

Con la matriz de dispersión se pueden caracterizar unicamente dispersores coherentes o puros, no siendo así para dispersores distribuidos (objetivos naturales), para los cuales fue desarrollada la ICTD. Dentro de este grupo se encuentran las descomposiciones propuestas por Freeman y Durden(1998), Van Zyl (1989), Yamaguchi (2005) y Cloud et al (1995,1996). El objetivo de este trabajo es implementar una clasificación de cobertura usando la descomposición incoherente Cloud-Pottier en una zona rural del sur de Colombia.

1.1 Descomposición Cloud-Pottier (Descomposición polarimétrica H/α)

La descomposición polarimétrica Cloud-Pottier (1997) se basa en el análisis de eigenvalue/eigenvector de la matriz de coherencia de los datos SAR. Los parámetros resultantes de la descomposición son ángulo (α) alfa, entropía (H) y anisotropía (A) (Cao Fang et al., 2006):

- Ángulo alfa

$$\alpha = p_1\alpha_1 + p_2\alpha_2 + p_3\alpha_3 \quad (1)$$

- Entropía

$$H = - \sum_{i=1}^3 p_i \log_3 p_i \quad (2)$$

- Anisotropía

$$A = \frac{p_2 - p_3}{p_2 + p_3} \quad (3)$$

La entropía de un objetivo es una medición de su trastorno (disorder) estadístico, siendo $H=1$ para un objetivo completamente aleatorio, y $H=0$ para un objetivo simple (dispersor único). La entropía de un objetivo se usa para estimar la dominancia de un vector de dispersión. Si la entropía es baja, entonces el sistema se considera depolarizador debil y el componenete de dispersión de objetivo dominante es el vector propio (eigenvector)

correspondiente al valor propio mayor. Si la entropía es alta, el objetivo es depolarizador y el espectro de valores propios debería ser considerado (Cloude and Pottier, 1996). La entropía nos indica la probabilidad de encontrar diferentes estados de dispersión en los píxeles. Un valor bajo de entropía, cerca a 0, indica que hay alta probabilidad de que el mecanismo de dispersión dominante en el pixel no sea más de uno. Contrariamente, cerca de 1 indica que todos los mecanismos de dispersión tienen la misma probabilidad de ser encontrados en el pixel.

La anisotropía es un parámetro complementario a la entropía. Se utiliza para diferenciar diferentes tipos de dispersión de superficie (superficie rugosa de una dimensión, superficie lisa, acimutalmente simétrica, superficie rugosa). Mide la importancia relativa del segundo y tercer valor propio de la descomposición. Desde un punto de vista práctico, la anisotropía se puede emplear como una fuente de discriminación solamente cuando $H > 0.7$. La razón es que para entropías menores, el segundo y tercer valor propio son altamente afectados por ruido, y por consiguiente la anisotropía también (Cloude, 1992).

El parámetro α , cuyo rango es de 0 a 90 grados, es un indicador del tipo de dispersión y es llamado el mecanismo de dispersión, y se interpreta de la siguiente manera.

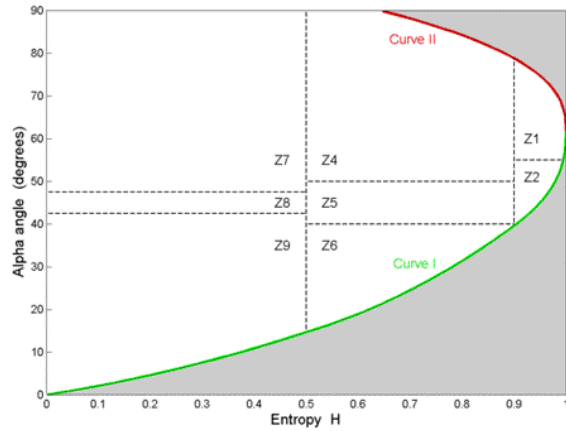
- $\alpha \rightarrow 0$: La dispersión corresponde a único rebote producido por una superficie rugosa.
- $\alpha \rightarrow \frac{\pi}{4}$: Corresponde a mecanismo de dispersión de volumen.
- $\alpha \rightarrow \frac{\pi}{2}$: Corresponde a mecanismo de dispersión de doble rebote.

1.2 Clasificación no supervisada basada en los parámetros $H/A/\alpha$

La estimación de los tres parámetros $H/A/\alpha$ permite una clasificación de la escena de acuerdo al tipo de proceso de dispersión dentro de la muestra (H, A) y el correspondiente mecanismo de dispersión físico (α). Para tal fin se puede considerar un espacio de clasificación bidimensional $H-\alpha$, como se muestra en la figura 1, donde todos los mecanismos de dispersión aleatorios pueden ser representados. Sin embargo, no todas las regiones están igualmente pobladas. Por ejemplo, cuando $H=1$ solo hay un posible valor para alfa ($\alpha=60^\circ$). Esto refleja la creciente inhabilidad para discernir entre mecanismos de dispersión a medida que aumenta la entropía subyacente. Por otra parte, cuando $H=0$ se tiene acceso al rango completo de valores alfa posibles. Se puede cuantificar la variación en esta región factible de puntos considerando las curvas I y II (Cloude and Pottier, 1997).

Para cada valor de entropía H , se puede identificar una variación posible de alfa entre las curvas I y II. Esas curvas entonces representan límites sobre los valores máximo y mínimos de alfa observables como una función de entropía (Cloude and Pottier, 1997).

Los límites mostrados en la figura 1 muestran que cuando la entropía es alta, la habilidad para clasificar diferentes mecanismos de dispersión es muy limitada. Una partición inicial de 9 clases (8 utilizables) ha sido propuesta por Cloud y Pottier. Las son escogidas en base a propiedades generales de los mecanismos de dispersión y no dependen de un conjunto de datos particular. Esto permite una clasificación no supervisada basada en propiedades físicas de la señal.



(a) Segmentación de plano H/α

- Z1: Entropía alta dispersión múltiple
- Z2: Entropía alta dispersión de vegetación
- Z3: Entropía alta dispersor de superficie
(región no posible en espacio H/α)
- Z4: Entropía media dispersión múltiple.
- Z5: Entropía media dispersión de vegetación.
- Z6: Entropía media dispersor de superficie.
- Z7: Entropía baja eventos de dispersión múltiple.
- Z8: Entropía baja dispersión dipolo.
- Z9: Entropía baja dispersor de superficie.

(b) Descripción

Figure 1: (a) Plano H/α mostrando las clases basadas en modelos y su partición; (b) descripción textual de las clases (Z1-Z9)

2 Metodología

Se utilizó PolSARpro v.5.1 como software principal para el procesamiento de los datos. Este fue desarrollado desde el 2003 por la Universidad de Rennes, El Instituto de Radar y Microondas (HR) de la Agencia Espacial Alemana (DLR), bajo el soporte de la Agencia Espacial Europea (ESA). Auxiliariamente se utilizó la herramienta MapReady 3.1.22. y QGIS 2.18

El procesamiento consistió en cuatro fases generales: preprocesamiento (calibración y multilooking) de los datos, generación de elementos de matriz de coherencia, descomposición Cloud-Pottier y, con los parámetros generados, clasificación no supervisada de la escena. El flujo de trabajo se observa en el siguiente esquema 2.

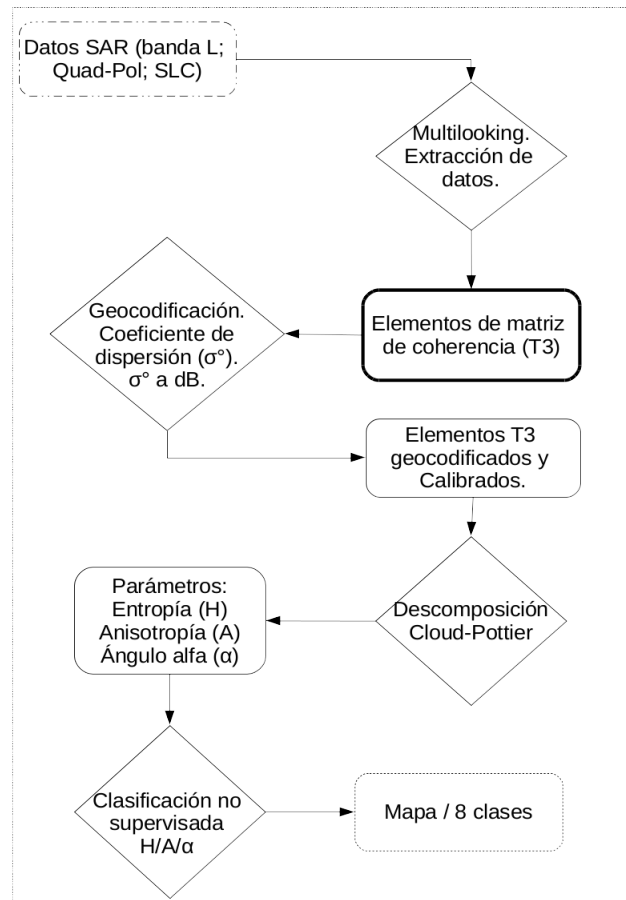


Figure 2: Flujo de trabajo

2.1 Zona de estudio

El área de estudio está localizada en el costado occidental del departamento del Caquetá. Se centra en el municipio de Florencia 3, el cual se encuentra ubicado en la zona de piedemonte entre la Cordillera Oriental y la Amazonia, en la margen derecha del río Hacha. El municipio cuenta con una extensión territorial de 2.292 km², su altitud media es de 242 msnm, su precipitación media anual es de 3840 mm y su temperatura promedio es de 25° C.

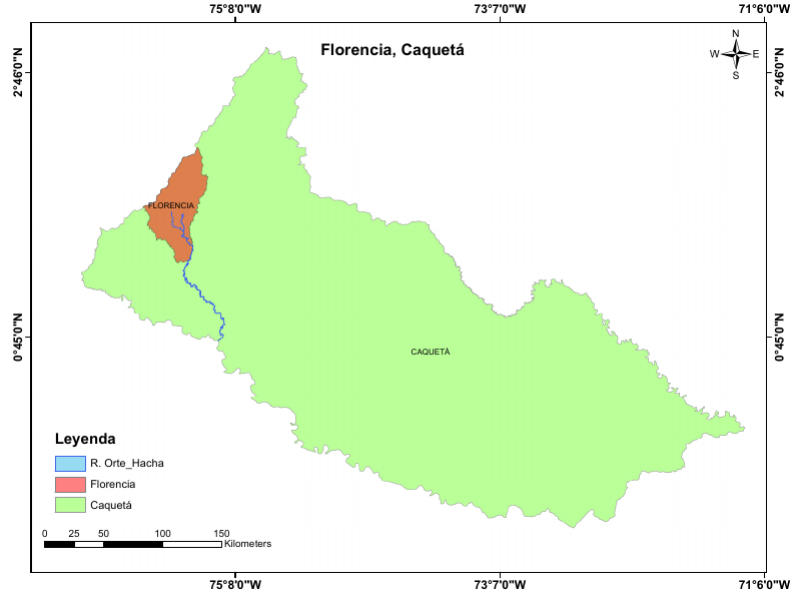


Figure 3: Zona de estudio

2.2 Datos

Se utilizó un conjunto de datos (ID ALPSRP151280020) de polarización completa (Quad-poll) con 30 m de resolución espacial del sensor PALSAR (Phased Array Type l-band Synthetic Aperture Radar) de la misión ALOS (Advanced Land Observation Satellite). PALSAR es un sensor de microondas activo que usa la frecuencia de banda L. La misión fue puesta en operación en el 2006 por la agencia espacial japonesa (JAXA). PALSAR tiene dos modos de haz fino (fine beam modes): polarización única (FBS) y polarización doble (FBD), al igual que polarización cuadruple, también conocido como modo polarimétrico (PLR).

3 Resultados

3.1 Parámetros de descomposición

Las imagenes resultantes de los parámetros obtenidos con la descomposición Cloud-Pottier se muestran en la figura 4 y la tabla 1. Los valores de H arrojan un máximo de 0.99 correspondiente a las zonas rojas de la imagen, es decir, las zonas de bosque denso, un mínimo de 0.01 y una media de 0.65. La imagen ángulo alfa presenta un valor medio de 37° , y un máximo atípico de 88° . La imagen de A se muestra homogénea con una media 0.47 y un valor máximo de 0.98, siendo la zona urbana, de pixeles color rojo claramente diferenciables, la representante de valores altos de anisotropía.

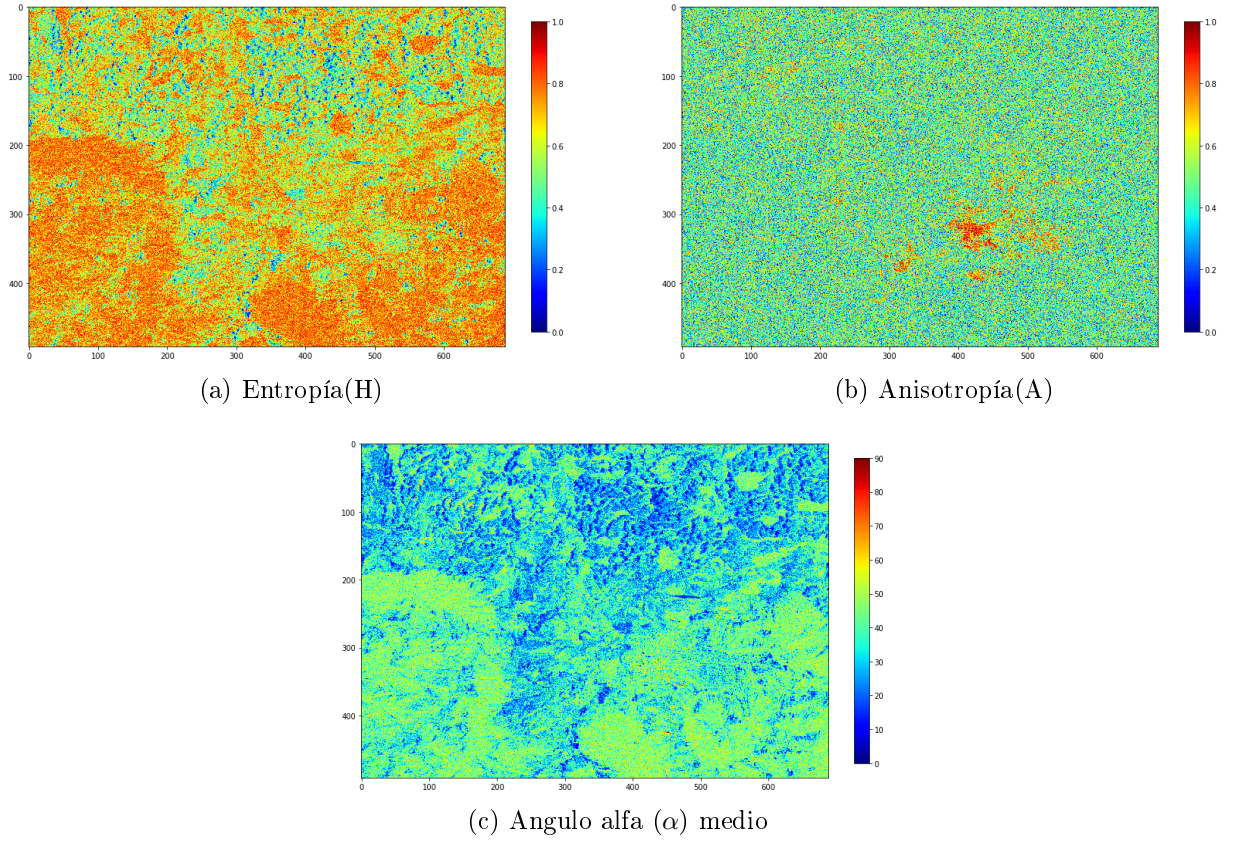


Figure 4: Imágenes de Entropía (H), Anisotropía (A) y Angulo alfa (α) medio.

Parámetro	Val min	Val max	Media
Alfa (α)	1.48	88.06	36.82
Entropía (H)	0.01	0.99	0.65
Anisotropía (A)	0.001	0.98	0.47

Table 1: Estadísticas de las imágenes de Entropía (H), Anisotropía (A) y Angulo alfa (α) medio

En la figura 5 se observan los histogramas de las tres imágenes de la figura 4. Todas corresponden a una distribución normal con un solo pico. Sin embargo, es posible ver diferencias en ellas. Los valores de Entropía forman una campana que tiende hacia valores altos, por encima de 0.6, es decir, es reflejo de objetivos aleatorios, de dispersores altamente depolarizadores.

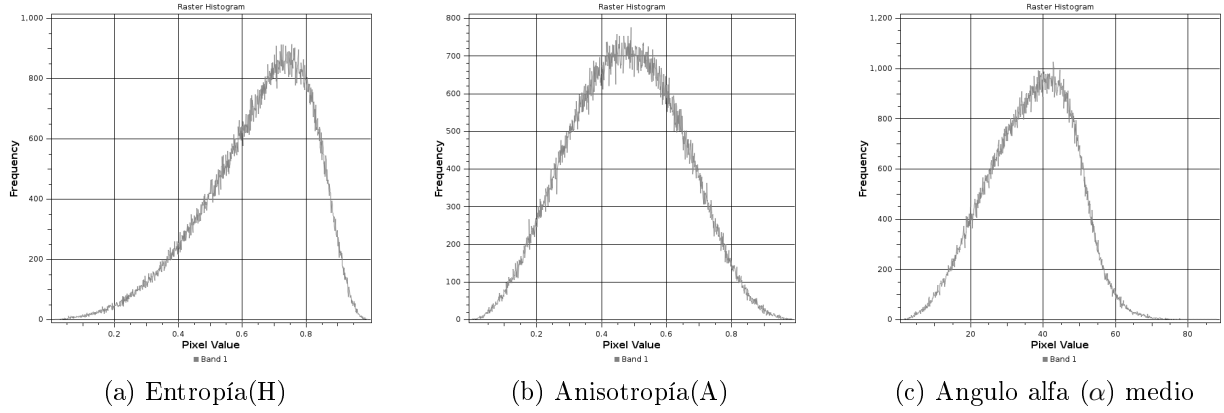


Figure 5: Histogramas de las imágenes de Entropía (H), Anisotropía (A) y Angulo alfa (α) medio.

La tabla 2 representa valores característicos de Entropía y Ángulo alfa de algunas coberturas con alta presencia en la zona de estudio. El valor del parámetro α presenta importantes variaciones. Para cuerpos de agua se halló un valor promedio de 7.2 grados, el más bajo de todos, seguido por los hallados en zonas de pastizales con 25.4, presentandose una aparente confusión del agua con zonas de escasa vegetación o tierras degradadas; el bosque denso generó un ángulo alfa promedio de 53.2 y los valores más altos se encontraron en las áreas urbanas, alcanzando 60.2 grados. La Entropía también fue particularmente baja en las zonas correspondientes a agua (0.13), y característicamente alta en las zonas de bosque denso con 0.93.

Parámetro	Agua	Urbano	Bosque denso	Pastizal
Alfa (α)	7.2	60.2	53.2	25.4
Entropía (H)	0.13	0.49	0.93	0.53

Table 2: Valores de Entropía (H) y Angulo alfa (α) medio característicos de coberturas.

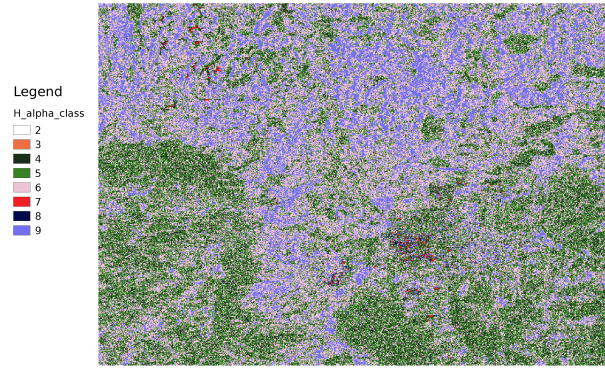
3.2 Clasisficiación $H/A/\alpha$

En la figura 6 se exponen los resultados de la clasifiación $H/A/\alpha$, que en concordancia con el plano H/α tiene 8 clases. En 6a vemos la escena en una combinación RGB de color natural; 6b es la imagen resultado de la clasificación y 6c es el plano de segmentación resultante.

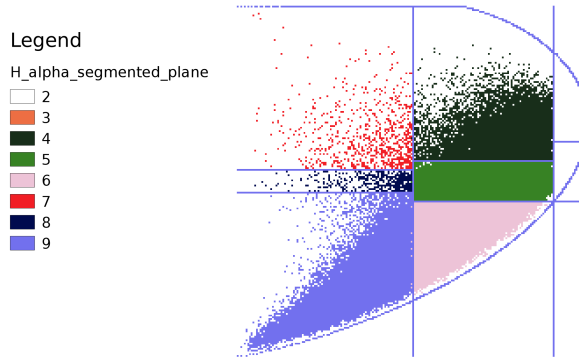
La mayor proporción de los pixeles se encuentra en las zonas 4, 5, 6 y 9 del plano, es decir, predominan valores de entropía medios a altos, indicando diversos mecanismos de dispersión en los pixeles y baja presencia de mecanismos de dispersión claramente dominantes. Esto corresponde con la importante presencia en la zona de estudio de pastizales enrastrados,



(a) Escena color natural



(b) Clasificación H/A/Alpha



(c) Plano H/α

Figure 6: Clasificación polarimétrica.

bosque fragmentado y bosques denso. En la zona 7 del plano se observa la presencia poco densa de pixeles que corresponden a zonas urbanas que aunque de presencia relativamente baja son claramente diferenciadas en la imagen clasificada, de color rojo intenso, debido a que a partir de ellas se obtienen los valores más altos de α (indicando dispersión de doble rebote) y más bajos de entropía (mecanismos de dispersión dominantes en un pixel). Debido a la resolución de la imagen y a la alta presencia de cobertura vegetal es difícil diferenciar con claridad los cuerpos de agua.

En base a lo anterior, se propone una combinación de las zonas del plano para resumir la escena en tres clases, como se muestra en la siguiente tabla 3:

Cod. de zona	Clase/descripción
Z1, Z2, Z4, Z5	Bosque denso y bosque fragmentado
Z6	Pastos enmalezados
Z7	Pastos límipios y/o agua

Table 3: Clases generales propuestas a partir de la clasificación

4 Discusión

Tomando como referencia tres coberturas de la zona de estudio claramente distintas (bosque denso, agua y centros urbanos) los parametros, y la posterior clasificación, desarrollados a partir de la descomposición CCloud-Pottier representaron una distinción confiable de las coberturas de la zona de estudio a partir de los mecanismos de dispersión allí presentes.

Los valores de entropía más altos (0.93), resultado de la baja probabilidad de un único mecanismo de dispersión dominante en los pixeles, y los valores de ángulo alfa medios, indicadores de dispersión de volumen (dipolo), correspondieron al bosque denso. Los cuerpos de agua, poco visibles en la imagen, fueron responsables de los valores más bajos de entropía, indicando la alta probabilidad de la presencia dominante de un solo mecanismo de dispersión, en este caso dispersión de superficie. Las zonas urbanas correspondieron a los mayores ángulos alfa promedio indicando la presencia de un mecanismo de dispersión de doble rebote o dihédrico.

References

- Cao Fang, Hong Wen, and Wu Yirong (2006). An Improved Cloude-Pottier Decomposition Using H/α /SPAN and Complex Wishart Classifier for Polarimetric SAR Classification. In *2006 CIE International Conference on Radar*, pages 1–4. IEEE.
- Cloude, S. and Pottier, E. (1996). A review of target decomposition theorems in radar polarimetry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 34(2):498–518.
- Cloude, S. and Pottier, E. (1997). An entropy based classification scheme for land applications of polarimetric SAR. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 35(1):68–78.
- Cloude, S. R. (1992). Uniqueness of Target Decomposition Theorems in Radar Polarimetry. In *Direct and Inverse Methods in Radar Polarimetry*, pages 267–296. Springer Netherlands, Dordrecht.
- Lee, J.-S. and Pottier, E. (2009). *Polarimetric radar imaging : from basics to applications*. CRC Press.
- Turkar, V. and Rao, Y. S. (2011). Applying Coherent and Incoherent Target Decomposition Techniques to Polarimetric SAR Data.

Varghese, A. O., Suryavanshi, A., and Joshi, A. K. (2016). Analysis of different polarimetric target decomposition methods in forest density classification using C band SAR data. *International Journal of Remote Sensing*, 37(3):694–709.