

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

# **SELECCIÓN NO SUPERVISADA DE BANDAS BASADA EN SIMILARIDAD PARA EL ANÁLISIS DE IMÁGENES HIPERESPECTRALES**

Ricardo Franco Ceballos

Ingeniería de Sistemas

Directoras:

María Constanza Torres Madroñero

July Galeano Zea

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO**

**Abril de 2018**

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RESUMEN

---

Las imágenes hiperespectrales y multiespectrales proveen una gran cantidad de información, mediante la medición de la radianza reflejada, que permite la detección y clasificación de los elementos que componen una superficie. Este trabajo de grado hace parte de un proyecto que busca el “Desarrollo y evaluación de un sistema portátil no invasivo basado en imágenes multiespectrales para el diagnóstico y seguimiento de tratamientos de úlceras cutáneas causadas por Leishmaniasis”. Para el análisis de las imágenes hiperespectrales debe hacerse un procesamiento arduo de la información que estas proveen, pero este procesamiento tiene un alto costo computacional, al ser información de gran dimensionalidad. Para ello se propone la evaluación y aplicación de un algoritmo, programado en MATLAB, de selección no supervisada de bandas basada en similaridad para el análisis de imágenes hiperespectrales, creado por Qian Du y He Yang, que genera una reducción dimensional de las imágenes a tratar sin pérdida de calidad para la clasificación. Inicialmente se programa y evalúa el algoritmo propuesto aplicado a imágenes hiperespectrales, *Indian Pines* y *Ap. Hill*, cuya clasificación ya es conocida y por ende permiten una comparativa entre la clasificación conocida y la clasificación obtenida, de las imágenes procesadas por el algoritmo de selección de bandas, a partir del uso de máquinas de soporte vectorial. Una vez evaluada la eficacia del algoritmo, se aplica el algoritmo propuesto al procesamiento de imágenes multiespectrales tomadas a úlceras cutáneas. Al final se obtienen las bandas seleccionadas para cada imagen de úlceras y se concluye que el algoritmo es apropiado para la selección de bandas y reducción de dimensionalidad de las imágenes hiperespectrales.

*Palabras clave:* imágenes hiperespectrales, máquinas de soporte vectorial, selección de bandas, similaridad.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RECONOCIMIENTOS

---

Un agradecimiento especial a la docente Maria Constanza Torres Madroñero por su excelente gestión, liderazgo y acompañamiento durante la totalidad del desarrollo de este trabajo de grado.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## ACRÓNIMOS

---

*SVM* Máquinas de soporte vectorial

*LP* Predicción Lineal

*OSP* Proyección en el Subespacio ortonormal

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN .....	6
2.	MARCO TEÓRICO .....	8
3.	METODOLOGÍA.....	12
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	16
4.1	ANÁLISIS DE EFECTIVIDAD DEL ALGORITMO .....	16
4.1.1	Resultados Indian Pines .....	16
4.1.2	Resultados Ap Hill.....	26
4.2	SELECCIÓN DE BANDAS PARA IMÁGENES DE ULCERAS.....	35
5.	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO.....	40
	REFERENCIAS .....	41
	APÉNDICE .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

# 1. INTRODUCCIÓN

---

Las imágenes hiperespectrales y multiespectrales miden la radianza reflejada y emitida por una superficie en cientos o decenas de bandas espectrales a lo largo del espectro electromagnético. La forma de la firma espectral permite determinar los materiales presentes en una escena. Las aplicaciones de este tipo de imágenes son muchas, y van desde la agricultura de precisión, minería, estudio del clima, estudios ambientales, defensa y salud. En esta última área, actualmente el Laboratorio de Máquinas Inteligentes y Reconocimiento de Patrones del ITM está participando en un proyecto de investigación financiado por Colciencias, para el desarrollo de un dispositivo portátil para apoyar el diagnóstico y monitoreo de úlceras cutáneas causadas por Leishmaniasis. El dispositivo por desarrollar se basa en imágenes multiespectrales. Para llegar al desarrollo del dispositivo se requiere de un estudio detallado de la firma espectral que caracteriza la piel sana, la ulcera y su borde. Este estudio incluye la identificación de bandas espectrales discriminantes que permitan discriminar la piel sana de la ulcera, y también reconocer el efecto de diferentes tratamientos médicos sobre la ulcera. Para llegar a este desarrollo, se realiza un estudio comparativo de técnicas de reducción de dimensiones, las cuales incluye técnicas no supervisadas para la selección de bandas espectrales.

El objetivo de este trabajo de grado en el laboratorio es explorar métodos de selección de bandas no supervisados basados en medidas de similitud. Para esto se desarrollaron actividades claves, que incluyen: Lectura y revisión del artículo “Similarity-based unsupervised band selection for hyperspectral image analysis”(Du & Yang, 2008), la implementación en Matlab del algoritmo Similarity-based band selection, evaluación del algoritmo implementado usando imágenes hiperespectrales reales (AP Hill e Indian Pines) usando clasificadores SVM. Como objetivos específicos se plantea explorar métodos de

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

selección de bandas no supervisados basados en medidas de similaridad y evaluar el desempeño del método de selección de bandas usando clasificadores SVM.

Este trabajo de grado hace parte de los productos comprometidos en el Proyecto 115077757186 “Desarrollo y evaluación de un sistema portátil no invasivo basado en imágenes multiespectrales para el diagnóstico y seguimiento de tratamientos de úlceras cutáneas causadas por Leishmaniasis”. Al finalizar el producto se realizará la entrega de un informe técnico que describa el método de selección de bandas no supervisado basado en medidas de similaridad acompañado de programas en Matlab con el algoritmo implementado.

Después de esta introducción este informe está organizado como sigue: en la Sección 2 se presenta el marco teórico que explica el algoritmo acompañado del pseudocódigo que puntualiza el paso a paso para alcanzar el objetivo planteado. En la Sección 3 se desarrolla la metodología en donde se presenta la descripción e implementación de las funciones aplicadas sobre las imágenes Ap. Hill e Indian Pines. Posteriormente, en la Sección 4 se muestran y analizan los resultados, exponiendo las matrices de confusión y los porcentajes de precisión para entradas diferentes. Por último, en la Sección 5, y con base en los resultados obtenidos en las secciones anteriores, se detallan las conclusiones, recomendaciones y trabajo a futuro.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 2. MARCO TEÓRICO

---

Una imagen hiperespectral contiene cientos de bandas espectrales de gran resolución. Esta gran cantidad de información permite la identificación precisa de objetos. Lo que sucede con este volumen de datos es que trae consigo algunos problemas en la transmisión y almacenamiento; y esto presenta un desafío para los algoritmos tradicionales de análisis de imágenes. Para solventar esta problemática se han diseñado varios métodos de selección de bandas que buscan reducir la dimensionalidad de los datos, reduciendo la complejidad computacional, pero sin perder precisión de clasificación. Estas técnicas de selección de bandas se dividen en dos: supervisadas y no supervisadas. *“Supervised methods are to preserve the desired object information, which is known a priori, whereas unsupervised methods do not assume any object information.”*(Du & Yang, 2008)

Qian Du y He Yang en su artículo *“Similarity-Based Unsupervised Band Selection for Hyperspectral Image Analysis”* proponen dos métodos no supervisados, cuya idea básica es buscar las bandas más distintivas e informativas, los cuales son: *Linear Prediction (LP)* y *Orthogonal Subspace Projection (OSP)*. Estos métodos aseguran que las bandas seleccionadas no son únicamente las más distintivas si no también las más informativas.

Para este informe tomaremos como punto de referencia el algoritmo LP, planteado por Qian Du y He Yang, ya que ambos algoritmos, LP y OSP, ofrecen los mismos resultados, pero el LP ofrece una aproximación computacionalmente más eficiente, al operar matrices relativamente más pequeñas. Tanto para el LP como para el OSP la imagen hiperespectral debe pasar por un preprocesamiento de datos que consiste en la eliminación de las *“water absorption and low SNR bands”* (Du & Yang, 2008). Una vez removidas estas bandas se aplica un blanqueamiento de ruido. Este blanqueamiento se logra fácilmente gracias a la auto-descomposición de la matriz de covarianza, usando el método de (Ren & Chen, 2017).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Al final, las bandas seleccionadas no son las que se les aplicó el blanqueamiento sino las originales.

Para seleccionar las bandas más distintivas se usan métricas que incluyen distancia, correlación, etc. Estas medidas son tomadas por pares de bandas.

El algoritmo comienza con la combinación de las dos mejores bandas, y esta combinación aumenta consecutivamente hasta que el número deseado de bandas es seleccionado. Los autores sugieren que la selección de las primeras dos bandas se realice en dos pasos: selección aleatoria de la primera banda y proyección, de las bandas adicionales, en el subespacio ortogonal de la primera banda, esto, para seleccionar las bandas más disimilares entre sí. Omitiendo las recomendaciones en la selección inicial de bandas, se optó por una selección diferente, la selección de la primera banda se realizará mediante la escogencia de la banda con mayor varianza. Una vez escogida esta banda se seleccionará la banda que sea vectorialmente más distante a esta, esto con el fin de seleccionar la banda más distintiva como primera banda y, consigo, la más disimilar a esta. (Du & Yang, 2008)

Una vez seleccionadas las primeras dos bandas los autores plantean los dos algoritmos posibles, estipulados anteriormente. Para el algoritmo LP, el cual desarrollaremos, se asumen dos bandas  $B_1$  y  $B_2$  pertenecientes al subconjunto  $\phi$ , que contiene las bandas seleccionadas, con N pixeles cada una. Para encontrar una banda la cual es la más disimilar a  $B_1$  y  $B_2$ , se utilizan  $B_1$  y  $B_2$  para estimar una tercera banda B de la siguiente manera:

$$a_0 + a_1 B_1 + a_2 B_2 = B' \quad (1)$$

Donde  $B'$  es la estimación o predicción lineal de la banda B usando  $B_1$  y  $B_2$ , y  $a_0$ ,  $a_1$  y  $a_2$  son los parámetros que pueden minimizar el error de la predicción lineal:  $e = \|B - B'\|$ . El

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

vector de parámetros será  $a = (a_0, a_1, a_2)^T$ . Este puede ser determinado usando una solución de mínimos cuadrados

$$a = (X^T X)^{-1} X^T y \quad (2)$$

Donde  $X$  es una matriz  $N \times 3$  donde la primera columna es uno, la segunda incluye los  $N$  píxeles de  $B_1$  y la tercera columna incluye todos los píxeles de  $B_2$ , y ' $y$ ' es un vector de  $N \times 1$  con todos los píxeles de la banda que se está comparando. La banda  $B$  con el mínimo error  $e$  será la banda que más se aproxime a la banda  $B'$ , estimada como más disimilar, y será escogida como  $B_3$ . Este proceso se repite iterativamente hasta llegar al número deseado de bandas.

## PSEUDOCÓDIGO

*FUNCTION [new\_hsi, sb\_num] band\_selection(im\_hsi, number\_of\_bands\_desired)*

*im\_hsi = delete\_water\_absorption\_bands(im\_hsi)*

*im\_hsi = delete\_low\_SNR\_bands(im\_hsi)*

*image\_preprocess = noise\_whitening(image\_preprocess)*

*sb\_num(1) = find\_max\_std(image\_preprocess)*

*selected\_bands(1) = image\_preprocess(:, :, sb\_num(1))*

*sb\_num(2) = find\_max\_norm(image\_preprocess(selected\_bands(1)))*

*selected\_bands(2) = image\_preprocess(:, :, sb\_num(2))*

*n = number\_of\_pixels(selected\_bands(1))*

*X = [ones(number\_of\_pixels, 1) new\_hsi(1)(:) new\_hsi(2)(:)]*

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

```

FOR i = 3 TO number_of_bands_desired
    FOR k=1 TO number_of_bands(image_preprocess)
        IF k IS IN sb_num
            e(k)= INF
        ELSE
            B= image_preprocess(:,k)
            A=(XTX)-1XTB(:)
            B' = X*A
            e(k)= ||B - B'||.
        END IF
    END FOR
    sb_num(i)=find_min(e);
END FOR

FOR i = 1 TO number_of_bands_desired
    new_hsi(i)=im_hsi(sb_num(i))
END FOR

END FUNCTION

```

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 3. METODOLOGÍA

---

Una vez se tuvieron las bases teóricas, se inició la implementación de los algoritmos necesarios, tanto para la selección de bandas como para la clasificación de la imagen resultante de esta selección. Para la consecución de esto, se siguió la siguiente ruta metodológica:

- Selección de herramienta de desarrollo e imágenes a analizar.
- Programación de función de selección de bandas.
- Programación de función de clasificación de imagen procesada.
- Análisis de resultados.

#### **SELECCIÓN DE HERRAMIENTA DE DESARROLLO E IMÁGENES A ANALIZAR.**

Para este punto se tomó Matlab como herramienta principal de desarrollo. Esta nos ofrece un manejo matricial avanzado, clave para la manipulación y análisis de imágenes hiperespectrales.

Una vez seleccionada la herramienta de desarrollo se procedió a seleccionar las imágenes que se querían tratar, para este punto se tomaron como base las siguientes imágenes:

**Indian Pines:** Esta imagen, de 145x145x200 pixeles, ofrece una vista satelital en la cual se pueden clasificar 16 tipos diferentes de cultivos.

**Ap. Hill:** Esta imagen, de 512x540x224 pixeles, ofrece una vista satelital en la cual se pueden clasificar 14 tipos diferentes de materiales en el suelo.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### **PROGRAMACIÓN DE FUNCIÓN DE SELECCIÓN DE BANDAS.**

En este proceso se diseñó una función de selección de bandas, basado en el algoritmo de predicción lineal propuesto por Qian Du y He Yang. La función recibe como parámetros la imagen hiperespectral original y el número de bandas deseadas para la selección. Una vez capturados estos parámetros se procede a eliminar las denominadas bandas malas, las cuales son las “*water absorption and low SNR bands*”, estas bandas a pesar de ser muy distintivas son poco informativas y por tanto no son relevantes para la selección. Una vez eliminadas estas bandas malas se realiza un blanqueamiento de ruido esto, como su nombre lo indica, nos permite atenuar el ruido de forma tal de que algunas bandas que por su gran cantidad de ruido serían distintivas, dejen de serlo y se pueda enfocar su análisis en la información que estas puedan ofrecer. Este blanqueamiento se obtiene mediante la auto-descomposición de la matriz de covarianza.

Terminado el pre-proceso se pasa a la selección de bandas iniciales. Como se explica en la sección anterior, esta selección de la primera y segunda banda se realiza de la siguiente manera: Inicialmente se hace un barrido por toda la imagen (Pre-procesada) hallando la desviación estándar de cada banda para, al final, determinar cuál de las bandas es la de mayor varianza y por consiguiente la más distintiva. Una vez hecha esta selección de la primera banda, se recorre nuevamente la imagen, pero esta vez comparando la banda inicial con las otras  $M-1$  bandas que componen la imagen, midiendo la distancia vectorial de cada una de ellas con la banda ya seleccionada obteniendo así, la banda más disimilar a la primera banda.

En este punto lo que se tiene es la imagen pre-procesada y las primeras dos bandas seleccionadas. Aquí, se realiza un proceso iterativo que consiste en la aplicación del algoritmo LP, explicado en la sección anterior. Este proceso iterativo termina, cuando el número seleccionado de bandas alcance el valor de parámetro recibido como número deseado de bandas a seleccionar. Al finalizar, la función de selección de bandas retorna la

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

nueva imagen hiperespectral con el número de bandas deseado y un arreglo vectorial con los números correspondientes a las bandas que fueron seleccionadas como las más distintivas e informativas. Todo esto, después de haberse aplicado el proceso de reducción de dimensionalidad.

### **PROGRAMACIÓN DE FUNCIÓN DE CLASIFICACIÓN DE IMAGEN PROCESADA.**

En este apartado se busca analizar y evaluar la precisión del algoritmo de selección de bandas. Aquí, se programa una función que recibe como parámetros: la imagen obtenida después de la selección de bandas y el mapa de clasificación ya conocido para cada imagen analizada.

Inicialmente se recorre la imagen comparando con el mapa de clasificación para encontrar los pixeles que, por posición, corresponderían a una clase o a otra. Estos pixeles se llevan a un arreglo separados según su clasificación. Este arreglo es posteriormente recorrido para la creación de nuestro conjunto de entrenamiento (*Training Set*), que está compuesto por la selección aleatoria del 10% de los pixeles de cada clasificación. A su vez y según se va recorriendo el arreglo, se va creando un arreglo vectorial con las etiquetas para cada clasificación (*Label Set*). Una vez se obtienen el *Training Set* y el *Label Set* estos son utilizados para entrenamiento de una Máquina de Soporte Vectorial(SVM), la cual nos permite clasificar nuestra imagen procesada.

Al obtener la clasificación de la imagen procesada podemos calcular, comparando con el mapa de clasificación ya conocido, la matriz de confusión. Ésta nos provee información de cuantos pixeles están siendo clasificados correctamente y cuales se están confundiendo con otro tipo de clasificación. Y por último con esta matriz de confusión podemos calcular la precisión de nuestro algoritmo para la selección de bandas. Al finalizar, esta función

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

retorna: la precisión del algoritmo, el mapa de clasificación generado y la matriz de confusión.

Al finalizar esta ruta metodológica se puede observar y analizar los resultados obtenidos a través de las diferentes etapas. De esta manera podemos determinar si el algoritmo de selección de bandas basado en similitud es efectivo o no reducción de dimensionalidad.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

### 4.1 ANÁLISIS DE EFECTIVIDAD DEL ALGORITMO

En esta etapa se aplica el algoritmo de selección de bandas a las imágenes hiperespectrales Indian Pines y Ap. Hill. Posteriormente, se toma la imagen obtenida, después de la aplicación del algoritmo, y se obtiene un mapa de clasificación mediante el uso de una máquina de soporte vectorial (SVM). Seguidamente, se compara el mapa de clasificación ya conocido para estas imágenes con el mapa de clasificación obtenido por la SVM. Esta comparativa, permite calcular la precisión de la clasificación y la matriz de confusión.

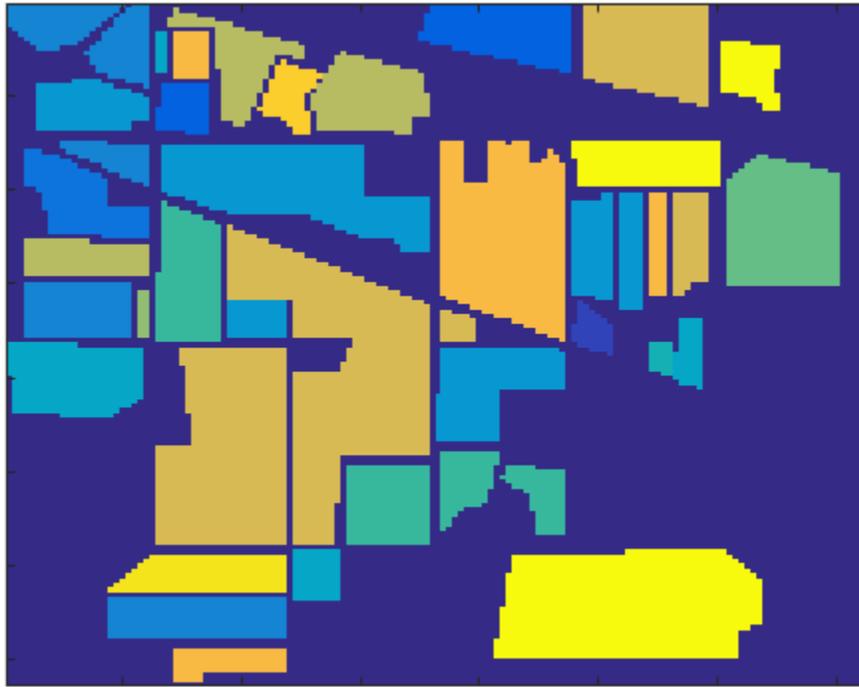
Para ambos casos, Indian Pines y Ap. Hill, se calculan los resultados de la imagen original, sin pasar por el algoritmo de selección, y posteriormente se calculan los resultados para cada imagen con una cantidad de 50, 60, 70, 80, 90 y 100 bandas seleccionadas. El cálculo de los resultados para la imagen original provee un punto de referencia para determinar si la selección de bandas ofrece resultados acertados para la clasificación.

Tanto para Indian Pines y Ap. Hill se conoce el mapa de clasificación correspondiente que, como se dijo anteriormente, será comparado con el mapa obtenido por la SVM.

#### 4.1.1 Resultados Indian Pines

Para Indian Pines se conoce el mapa de clasificación, este mapa nos provee información de los materiales que hay en el suelo y se presenta a continuación.

Imagen 1. Mapa de Clasificación Indian Pines



A continuación, se presenta una tabla resumen con la precisión de la clasificación para los diferentes casos.

Tabla 1. Resumen de Precisión de Clasificación

<b>Analizado</b>	<b>Precisión</b>
<b>Imagen Completa</b>	80.87%
<b>50 bandas</b>	79.43%
<b>60 bandas</b>	81.68%
<b>70 bandas</b>	82.21%
<b>80 bandas</b>	82.40%
<b>90 bandas</b>	82.75%
<b>100 bandas</b>	82.73%

Fuente: Elaboración Propia.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

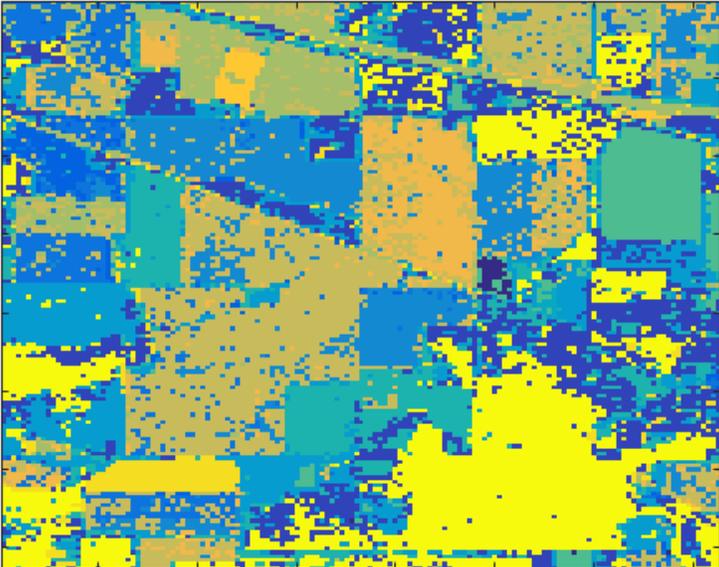
Tabla 2. Tabla resumen de precisión por clase Indian Pines

	Número de Bandas						Imagen Completa
	50	60	70	80	90	100	
<b>Clase 1</b>	61,11%	70,37%	87,04%	62,96%	27,78%	57,41%	62,96%
<b>Clase 2</b>	55,00%	62,11%	63,95%	62,11%	60,53%	69,21%	65,00%
<b>Clase 3</b>	70,94%	64,96%	69,23%	74,79%	74,36%	70,09%	64,10%
<b>Clase 4</b>	64,63%	64,39%	64,27%	59,47%	70,14%	63,55%	66,79%
<b>Clase 5</b>	73,85%	78,24%	77,20%	80,89%	79,99%	79,78%	80,82%
<b>Clase 6</b>	88,53%	93,36%	88,13%	93,36%	93,56%	93,76%	94,37%
<b>Clase 7</b>	73,08%	76,92%	80,77%	84,62%	88,46%	65,38%	53,85%
<b>Clase 8</b>	95,18%	94,65%	92,90%	94,11%	96,65%	95,05%	92,24%
<b>Clase 9</b>	97,96%	98,98%	97,75%	98,77%	98,36%	98,77%	99,39%
<b>Clase 10</b>	65,00%	40,00%	45,00%	60,00%	25,00%	80,00%	35,00%
<b>Clase 11</b>	64,17%	75,41%	78,18%	76,87%	73,62%	78,50%	79,80%
<b>Clase 12</b>	82,90%	84,97%	85,66%	84,52%	83,51%	82,94%	79,86%
<b>Clase 13</b>	61,05%	61,78%	67,15%	66,22%	69,52%	71,59%	62,40%
<b>Clase 14</b>	83,16%	89,47%	92,63%	88,42%	86,32%	90,53%	84,21%
<b>Clase 15</b>	91,98%	99,53%	97,64%	100,00%	100,00%	97,64%	100,00%
<b>Clase 16</b>	97,45%	96,21%	96,45%	97,53%	96,68%	95,60%	93,82%

Fuente Elaboración propia

En la Tabla 2. Se puede observar la precisión por clase, a partir de la matriz de confusión, de la imagen Indian Pines. Estos datos son obtenidos al calcular el porcentaje de píxeles que fueron clasificados correctamente con respecto al número de muestras que originalmente pertenecen a dicha clasificación. Se evidencia la facilidad que ofrecen algunas de las clases para la clasificación de los píxeles, como es el caso de las clases 15 y 16, al obtener, dependiendo de la muestra, precisiones del 100%. Igualmente, se puede observar como las clases 1 y 10, poseen una alta variabilidad en la precisión, esto permite concluir que tienen una alta dependencia de la muestra que se tome para una adecuada clasificación.

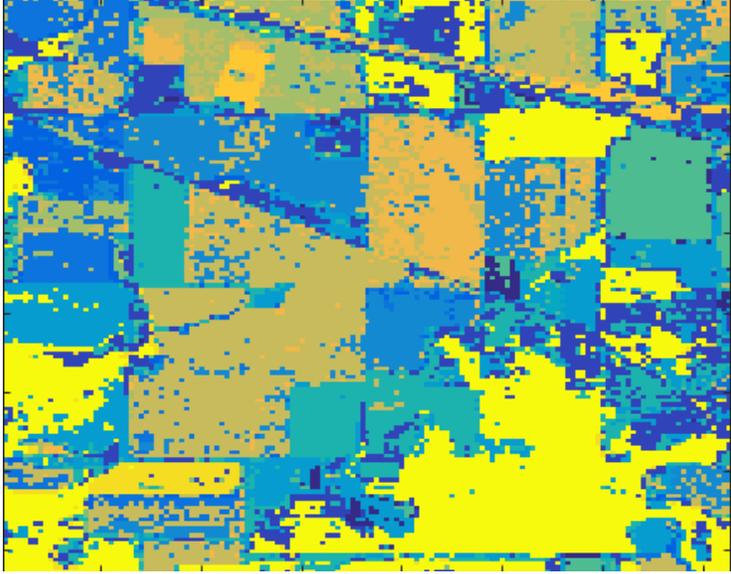
Tabla 3. Resultados Clasificación – Imagen Completa

<b>Número de Bandas:</b>	Imagen Completa	<b>Precisión</b>	80,87%													
<b>Mapa de Clasificación</b>																
																
<b>Matriz De Confusión</b>																
C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	34	0	0	0	0	2	0	0	13	0	2	3	0	0	0	0
2	0	247	0	0	0	33	0	34	0	0	3	0	0	0	11	52
3	0	0	150	39	23	4	0	4	0	0	11	3	0	0	0	0
4	0	0	29	557	63	0	0	0	0	0	54	130	0	0	1	0
5	0	0	9	32	1159	4	0	1	0	0	10	159	59	0	1	0
6	0	2	0	0	0	469	0	3	2	0	7	4	1	0	0	9
7	0	0	0	0	0	0	14	0	12	0	0	0	0	0	0	0
8	0	13	1	0	0	22	0	689	0	0	0	18	1	0	0	3
9	0	0	0	0	0	3	0	0	486	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	1	0	0	3	0	4	0	7	0	0	0	0	5	0
11	0	0	2	12	1	3	0	0	0	0	490	104	2	0	0	0
12	0	2	3	107	194	16	0	2	1	0	77	1971	95	0	0	0
13	0	0	3	2	37	8	0	2	0	0	1	311	604	0	0	0
14	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	12	1	1	80	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	212	0
16	0	73	0	0	0	6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1214

Fuente: Elaboración Propia.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

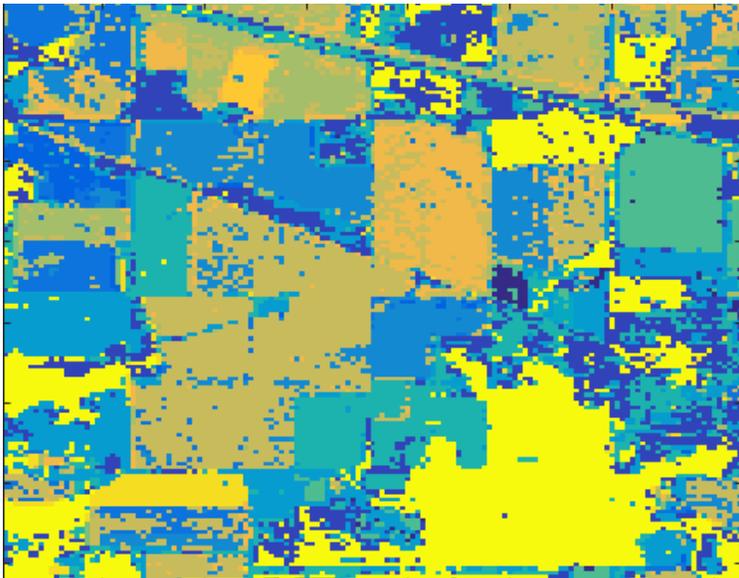
Tabla 4. Resultados Detallados Indian Pines – 50 Bandas

<b>Número de Bandas:</b>	50	<b>Precisión</b>	79,43%													
<b>Mapa de Clasificación</b>																
																
<b>Matriz De Confusión</b>																
<b>C</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>
<b>1</b>	33	0	0	0	0	4	1	1	14	0	0	1	0	0	0	0
<b>2</b>	2	209	1	0	0	14	0	37	2	0	2	0	0	1	2	110
<b>3</b>	0	0	166	30	24	2	0	1	0	0	6	4	1	0	0	0
<b>4</b>	0	0	32	539	60	0	0	0	0	1	35	163	4	0	0	0
<b>5</b>	0	1	21	29	1059	2	0	1	0	0	19	183	119	0	0	0
<b>6</b>	0	0	0	0	1	440	0	17	0	0	4	10	1	0	0	24
<b>7</b>	0	0	0	0	0	4	19	0	3	0	0	0	0	0	0	0
<b>8</b>	0	12	0	0	0	10	0	711	0	0	0	13	0	0	0	1
<b>9</b>	8	0	0	0	0	2	0	0	479	0	0	0	0	0	0	0
<b>10</b>	0	2	3	0	0	0	0	1	0	13	0	0	0	0	1	0
<b>11</b>	0	0	9	36	17	4	0	0	2	0	394	140	10	2	0	0
<b>12</b>	0	4	10	52	151	7	0	6	1	0	95	2046	96	0	0	0
<b>13</b>	0	0	3	3	49	5	0	4	0	0	8	305	591	0	0	0
<b>14</b>	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	6	0	8	79	0	0
<b>15</b>	0	5	1	0	0	0	0	4	0	6	0	0	0	0	195	1
<b>16</b>	0	18	0	0	0	11	0	4	0	0	0	0	0	0	0	1261

Fuente: Elaboración Propia.

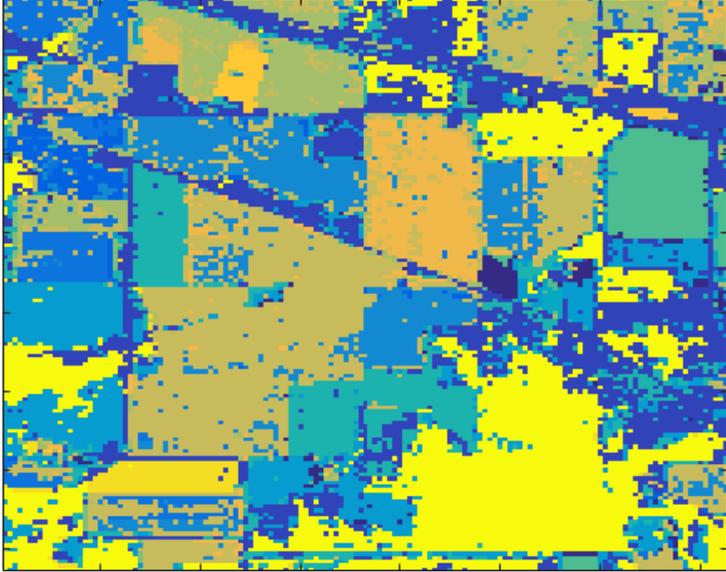
 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 5. Resultados Detallados Indian Pines – 60 Bandas

<b>Número de Bandas:</b>	60	<b>Precisión</b>	81,68%													
<b>Mapa de Clasificación</b>																
																
<b>Matriz De Confusión</b>																
C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	38	0	0	0	0	3	0	0	10	0	1	2	0	0	0	0
2	0	236	0	0	0	26	0	37	0	0	4	0	1	0	1	75
3	0	0	152	37	22	5	0	3	0	0	5	5	5	0	0	0
4	0	0	17	537	75	0	0	0	0	0	51	149	3	0	2	0
5	0	1	13	28	1122	5	0	0	0	0	10	175	80	0	0	0
6	5	0	0	0	0	464	0	4	0	0	2	12	2	0	0	8
7	0	0	0	0	0	1	20	0	5	0	0	0	0	0	0	0
8	0	8	0	0	0	14	0	707	0	0	0	11	4	0	0	3
9	2	0	0	0	0	3	0	0	484	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	1	0	0	2	0	2	0	8	0	0	0	0	7	0
11	0	0	1	7	2	3	0	0	1	0	463	116	21	0	0	0
12	0	2	0	45	160	22	0	2	0	0	83	2097	57	0	0	0
13	0	0	1	3	25	7	0	2	0	0	3	329	598	0	0	0
14	0	1	0	0	3	0	0	0	0	0	1	0	5	85	0	0
15	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	211	0
16	0	39	0	0	0	7	0	3	0	0	0	0	0	0	0	1245

Fuente: Elaboración Propia.

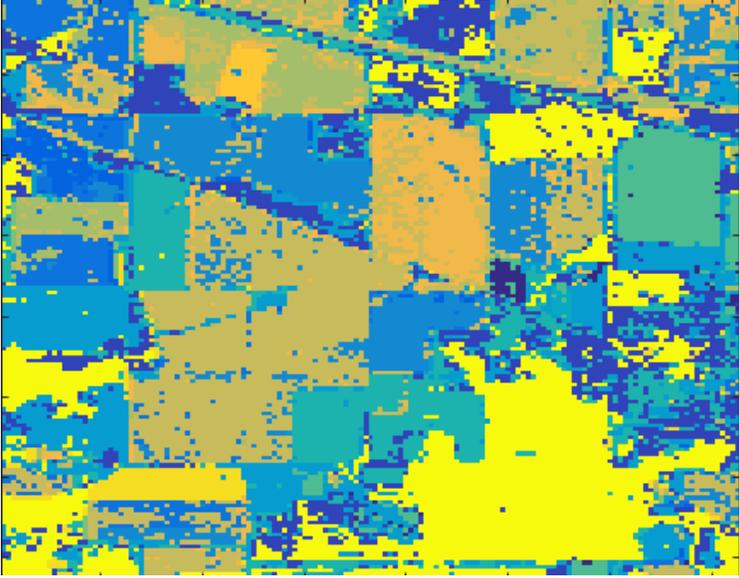
Tabla 6. Resultados Detallados Indian Pines – 70 Bandas

<b>Número de Bandas:</b>	70	<b>Precisión</b>	82,21%													
<b>Mapa de Clasificación</b>																
																
<b>Matriz De Confusión</b>																
C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	47	0	0	0	0	1	0	1	3	0	1	1	0	0	0	0
2	1	243	0	0	0	15	0	20	0	0	3	0	0	0	0	98
3	0	0	162	20	17	1	0	4	0	0	12	17	1	0	0	0
4	0	0	32	536	74	0	0	0	0	0	33	157	1	0	1	0
5	1	4	11	22	1107	3	0	2	0	0	12	196	76	0	0	0
6	15	10	0	0	0	438	0	12	0	0	7	9	2	0	0	4
7	1	0	0	0	0	0	21	0	4	0	0	0	0	0	0	0
8	0	35	0	0	0	10	0	694	0	0	0	8	0	0	0	0
9	5	0	0	0	0	6	0	0	478	0	0	0	0	0	0	0
10	0	4	0	0	0	0	0	6	0	9	0	0	0	0	1	0
11	1	1	1	23	1	0	0	2	0	0	480	98	5	2	0	0
12	0	4	0	34	145	9	0	2	0	0	104	2114	56	0	0	0
13	1	1	1	4	18	0	0	2	0	0	14	277	650	0	0	0
14	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	5	0	0	88	0	0
15	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	207	1
16	0	32	0	0	0	12	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1248

Fuente: Elaboración Propia.

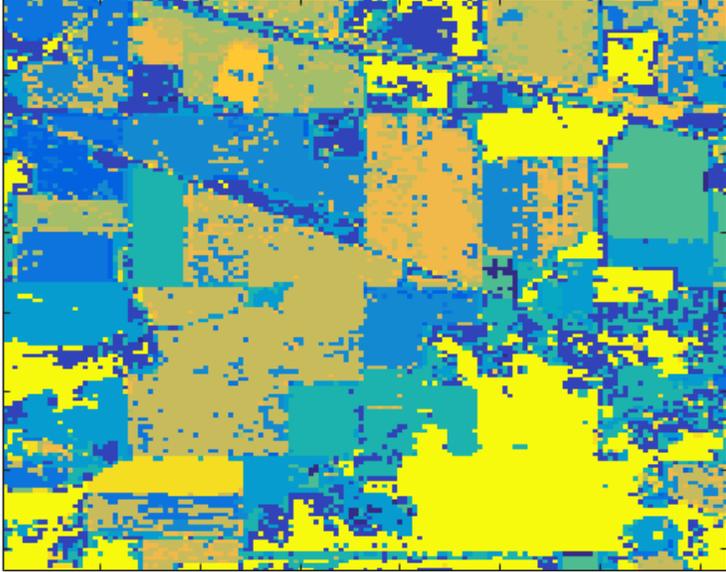
 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 7. Resultados Detallados Indian Pines – 80 Bandas

<b>Número de Bandas:</b>	80	<b>Precisión</b>	82,40%													
<b>Mapa de Clasificación</b>																
																
<b>Matriz De Confusión</b>																
C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	34	0	0	0	0	0	0	0	17	0	0	3	0	0	0	0
2	0	236	0	0	0	20	0	18	1	1	4	0	3	0	1	96
3	0	0	175	22	10	1	0	6	0	0	7	9	4	0	0	0
4	0	0	36	496	58	0	0	0	0	0	82	159	1	0	2	0
5	0	0	5	16	1160	2	0	0	0	1	12	172	63	0	3	0
6	1	2	0	0	0	464	0	4	0	0	7	5	5	0	1	8
7	0	0	0	0	0	2	22	0	2	0	0	0	0	0	0	0
8	0	19	0	0	0	8	0	703	0	0	0	8	3	0	4	2
9	3	0	0	0	0	3	0	0	483	0	0	0	0	0	0	0
10	0	3	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	5	0
11	3	0	2	8	1	1	0	0	0	0	472	114	13	0	0	0
12	1	4	0	34	164	12	0	0	0	0	69	2086	98	0	0	0
13	0	1	2	0	29	1	0	1	0	0	4	289	641	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	8	84	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	212	0
16	0	19	0	0	0	11	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1262

Fuente: Elaboración Propia.

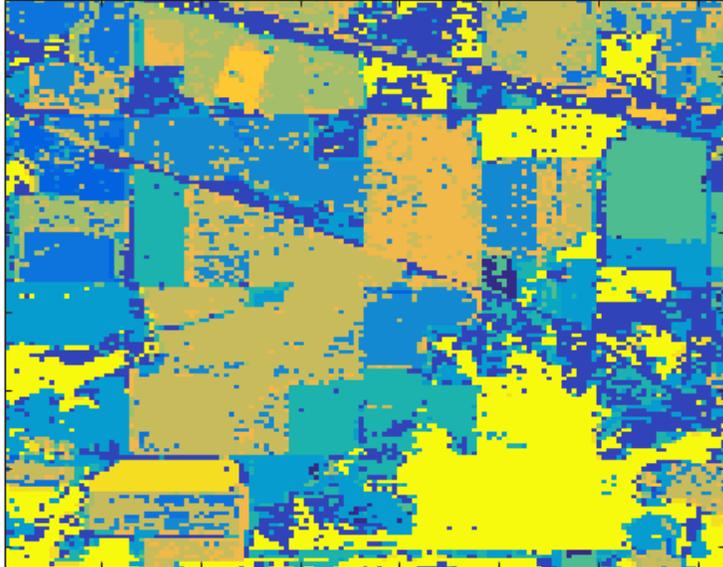
Tabla 8. Resultados Detallados Indian Pines – 90 Bandas

<b>Número de Bandas:</b>	90	<b>Precisión</b>	82,75%													
<b>Mapa de Clasificación</b>																
																
<b>Matriz De Confusión</b>																
<b>C</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>
<b>1</b>	15	0	0	0	0	1	0	1	32	0	0	2	3	0	0	0
<b>2</b>	2	230	0	0	2	20	0	22	0	0	4	1	1	0	1	97
<b>3</b>	0	0	174	31	16	2	0	3	0	1	3	1	3	0	0	0
<b>4</b>	0	0	23	585	52	0	0	0	0	0	35	131	7	0	1	0
<b>5</b>	0	0	15	29	1147	5	0	1	0	0	3	182	50	0	2	0
<b>6</b>	0	0	2	0	0	465	0	6	3	0	3	7	4	0	0	7
<b>7</b>	0	0	0	0	0	2	23	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<b>8</b>	0	9	0	0	0	5	0	722	0	0	0	6	3	0	1	1
<b>9</b>	1	0	0	0	0	3	0	0	481	0	0	0	4	0	0	0
<b>10</b>	0	0	0	0	0	9	0	4	0	5	0	0	0	0	2	0
<b>11</b>	0	0	8	7	8	3	0	0	0	0	452	124	10	2	0	0
<b>12</b>	0	3	0	49	147	18	0	0	1	0	80	2061	109	0	0	0
<b>13</b>	0	0	2	9	37	6	0	2	0	0	0	239	673	0	0	0
<b>14</b>	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	2	0	3	82	0	0
<b>15</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	212	0
<b>16</b>	0	34	0	0	0	6	0	3	0	0	0	0	0	0	0	1251

Fuente: Elaboración Propia.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 9. Resultados Detallados Indian Pines – 100 Bandas

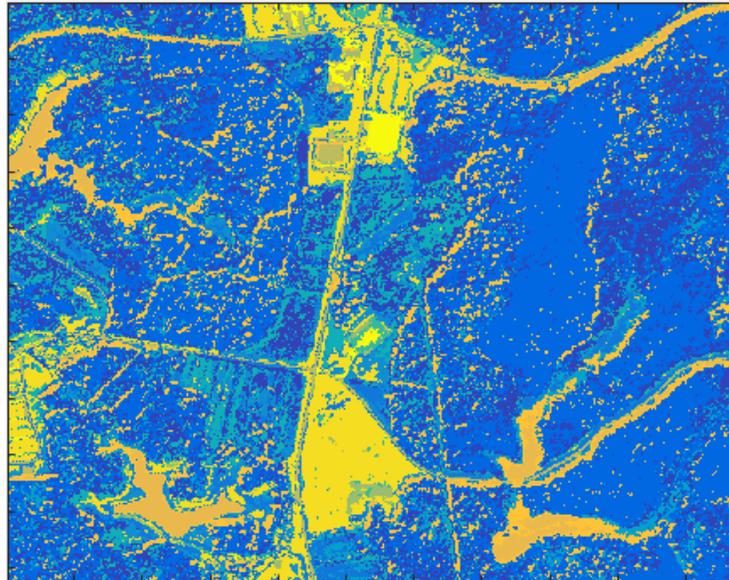
<b>Número de Bandas:</b>	100	<b>Precisión</b>	82,73%													
<b>Mapa de Clasificación</b>																
																
<b>Matriz De Confusión</b>																
C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	31	0	0	0	0	1	0	0	16	0	1	4	1	0	0	0
2	1	263	0	0	1	19	0	16	0	0	2	0	2	0	3	73
3	0	0	164	13	21	2	0	6	0	0	7	14	7	0	0	0
4	0	0	31	530	44	0	0	0	0	1	55	169	4	0	0	0
5	0	1	7	22	1144	2	0	0	0	1	7	168	82	0	0	0
6	0	4	0	0	0	466	0	9	0	0	9	1	4	0	0	4
7	0	0	0	0	0	1	17	0	8	0	0	0	0	0	0	0
8	0	24	0	0	0	5	0	710	0	0	0	3	2	0	0	3
9	3	1	0	0	0	2	0	0	483	0	0	0	0	0	0	0
10	0	2	0	0	0	1	0	1	0	16	0	0	0	0	0	0
11	0	0	1	19	4	1	0	2	1	0	482	90	12	2	0	0
12	0	4	1	47	144	12	0	5	0	0	90	2047	118	0	0	0
13	0	0	1	3	42	3	0	2	0	1	2	221	693	0	0	0
14	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4	0	4	86	0	0
15	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	207	0
16	0	45	0	0	0	10	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1237

Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.1.2 Resultados Ap. Hill

Para Ap. Hill se conoce el mapa de clasificación, este mapa provee información de los materiales que hay en el suelo y se presenta a continuación.

Imagen 2. Mapa de clasificación Ap. Hill.



A continuación, se presenta una tabla resumen con la precisión de la clasificación para los diferentes casos.

Tabla 10. Resumen de Precisión de Clasificación

<b>Analizado</b>	<b>Precisión</b>
<b>Imagen Completa</b>	72.02%
<b>50 bandas</b>	71.13%
<b>60 bandas</b>	71.47%
<b>70 bandas</b>	71.50%
<b>80 bandas</b>	71.69%
<b>90 bandas</b>	71.75%
<b>100 bandas</b>	71.94%

Fuente: Elaboración Propia.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 11. Tabla resumen de precisión por clase Ap. Hill

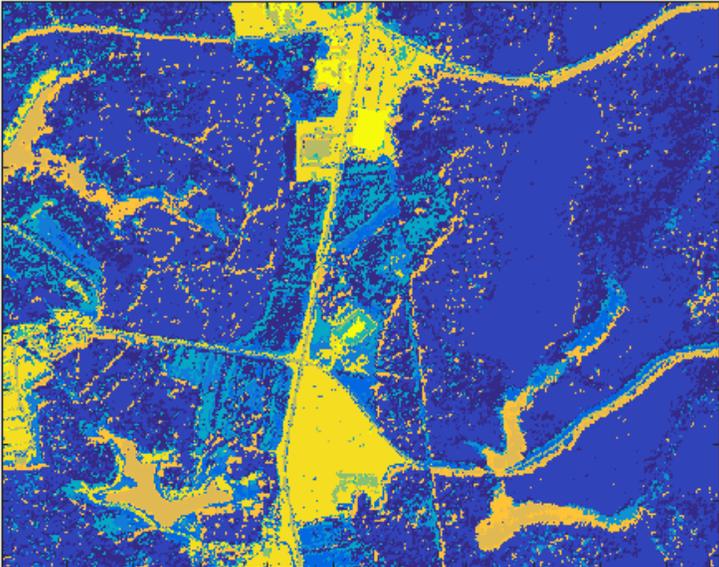
	<b>50 bandas</b>	<b>60 bandas</b>	<b>70 bandas</b>	<b>80 bandas</b>	<b>90 bandas</b>	<b>100 bandas</b>	<b>Completa</b>
<b>Clase 1</b>	63,85%	64,76%	65,12%	64,54%	64,95%	65,70%	65,70%
<b>Clase 2</b>	89,06%	89,14%	88,72%	88,74%	89,03%	88,22%	88,22%
<b>Clase 3</b>	52,58%	52,72%	51,97%	52,10%	53,06%	52,89%	52,89%
<b>Clase 4</b>	50,86%	51,77%	52,89%	53,91%	53,13%	55,57%	55,57%
<b>Clase 5</b>	26,64%	26,46%	27,78%	28,88%	27,73%	29,95%	29,95%
<b>Clase 6</b>	54,97%	54,34%	55,01%	54,87%	53,80%	54,82%	54,82%
<b>Clase 7</b>	38,91%	43,40%	41,11%	45,12%	48,77%	47,63%	47,63%
<b>Clase 8</b>	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
<b>Clase 9</b>	57,17%	63,25%	61,42%	58,99%	60,64%	66,72%	66,72%
<b>Clase 10</b>	67,78%	67,33%	68,42%	70,13%	69,04%	69,34%	69,34%
<b>Clase 11</b>	84,25%	84,15%	85,19%	86,26%	83,65%	85,94%	85,94%
<b>Clase 12</b>	49,50%	50,41%	50,59%	51,55%	52,04%	52,55%	52,55%
<b>Clase 13</b>	88,22%	88,63%	88,06%	88,86%	88,33%	88,59%	88,59%
<b>Clase 14</b>	75,31%	75,94%	77,68%	75,02%	78,55%	76,09%	76,09%

Fuente. Elaboración Propia.

En la Tabla 11. Se puede observar la precisión por clase, a partir de la matriz de confusión, de la imagen Ap. Hill. Estos datos son obtenidos al calcular el porcentaje de pixeles que fueron clasificados correctamente con respecto al número de muestras que originalmente pertenecen a dicha clasificación. Al observar los resultados obtenidos en esta tabla se evidencia como la precisión de clasificación es estable, así el porcentaje sea bajo, y no depende tanto de la muestra aleatoria escogida para la clasificación.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

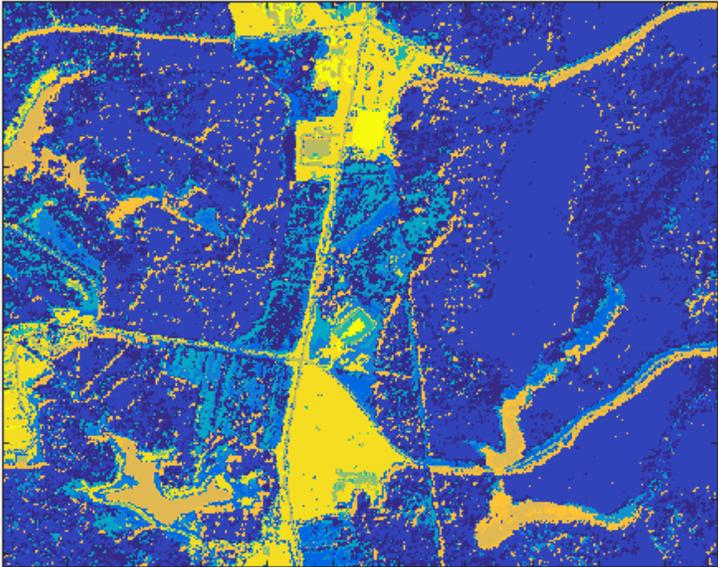
Tabla 12. Resultados Detallados Ap. Hill– Imagen Completa

<b>Número de Bandas:</b>	Imagen Completa	<b>Precisión</b>	72.02%											
<b>Mapa de Clasificación</b>														
														
<b>Matriz De Confusión</b>														
C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	30693	11845	390	547	1098	3015	1	0	0	5	0	79	36	0
2	7594	100601	61	20	1294	90	0	0	0	2	8	3262	1	0
3	922	106	6166	946	824	110	78	0	10	555	0	113	1475	26
4	733	45	1418	5171	148	880	3	0	1	26	1	17	1313	6
5	3900	5323	973	103	5004	142	2	0	0	53	7	942	44	3
6	5986	298	108	1031	73	10071	0	0	1	5	0	5	390	1
7	0	0	89	2	0	0	865	0	117	72	0	0	664	108
8	0	0	141	3	1	0	22	2	0	96	0	0	96	1
9	0	0	3	1	0	1	75	0	775	0	0	0	269	27
10	2	2	637	17	47	1	70	0	2	2842	4	134	127	159
11	1	13	2	0	5	0	0	0	0	1	4967	999	0	0
12	119	10085	209	10	764	3	4	0	0	184	717	12956	7	0
13	60	2	542	779	24	272	141	0	171	90	0	3	17034	60
14	0	0	29	0	1	0	91	0	41	227	0	1	87	1593

Fuente: Elaboración Propia.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

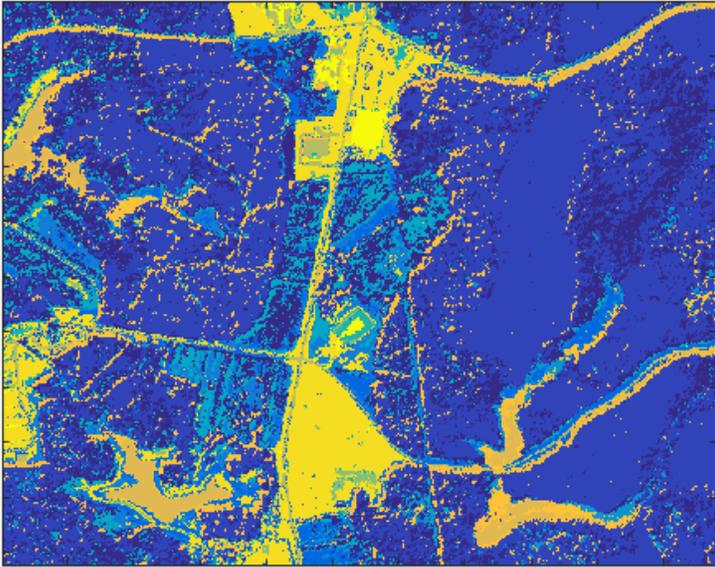
Tabla 13. Resultados Detallados Ap. Hill– 50 Bandas

<b>Número de Bandas:</b>	50	<b>Precisión</b>	71.13%											
<b>Mapa de Clasificación</b>														
														
<b>Matriz De Confusión</b>														
C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	30464	12083	418	548	982	3088	2	0	0	6	0	77	41	0
2	8265	100576	69	14	942	111	0	0	0	0	15	2939	2	0
3	903	177	5958	887	921	136	51	0	8	603	0	130	1540	17
4	761	66	1425	4965	171	983	2	0	0	27	0	20	1337	5
5	4015	5848	895	110	4395	175	1	0	0	44	8	944	57	4
6	6185	333	118	1013	71	9878	0	0	5	4	0	4	357	1
7	0	0	123	2	0	1	746	0	57	79	0	0	832	77
8	0	0	133	6	0	0	17	0	0	104	0	1	101	0
9	0	0	3	0	0	3	78	0	658	1	0	0	365	43
10	3	4	612	17	61	3	64	0	2	2741	4	200	132	201
11	0	11	4	0	2	1	0	0	0	0	5045	925	0	0
12	119	10666	203	10	715	6	1	0	0	157	767	12404	9	1
13	65	7	520	874	31	364	87	0	155	95	0	6	16918	56
14	0	0	31	0	2	0	89	0	33	246	0	1	109	1559

Fuente: Elaboración Propia.

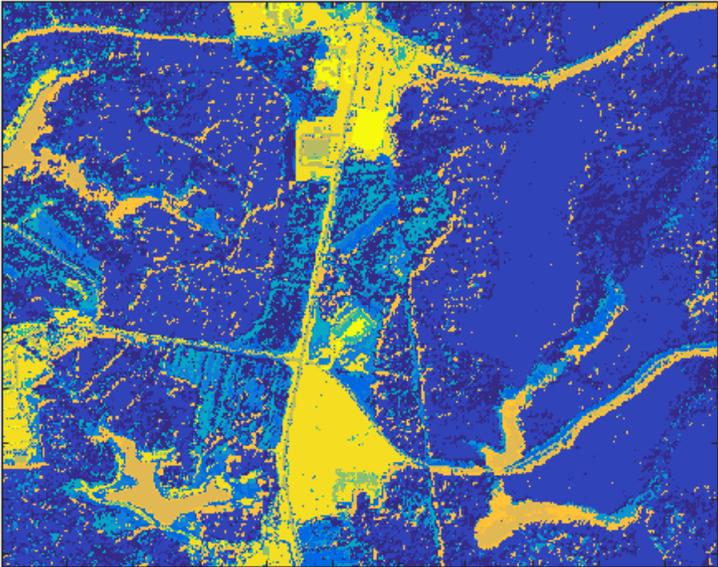
 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 14. Resultados Detallados Ap. Hill– 60 Bandas

<b>Número de Bandas:</b>	60	<b>Precisión</b>	71.47%											
<b>Mapa de Clasificación</b>														
														
<b>Matriz De Confusión</b>														
C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	30898	11975	385	527	943	2838	0	0	0	4	0	92	47	0
2	7953	100667	70	21	1018	96	0	0	0	1	11	3095	1	0
3	972	150	5974	898	840	127	81	0	9	547	0	114	1597	22
4	831	65	1350	5054	170	891	2	0	1	22	0	11	1361	4
5	4204	5627	929	113	4365	151	3	0	0	44	6	996	54	4
6	6361	301	113	974	60	9765	0	0	6	6	0	4	379	0
7	0	0	86	2	0	1	832	0	101	79	0	0	750	66
8	0	0	108	4	1	0	23	0	0	100	0	0	126	0
9	0	0	4	0	0	2	65	0	728	1	0	0	313	38
10	5	3	623	16	53	1	71	0	3	2723	4	185	162	195
11	1	14	5	0	5	0	0	0	0	1	5039	923	0	0
12	124	10379	269	10	685	5	1	0	0	161	783	12631	9	1
13	77	6	450	802	31	337	126	0	198	89	0	6	16997	59
14	0	0	33	0	1	0	100	0	27	219	0	1	117	1572

Fuente: Elaboración Propia.

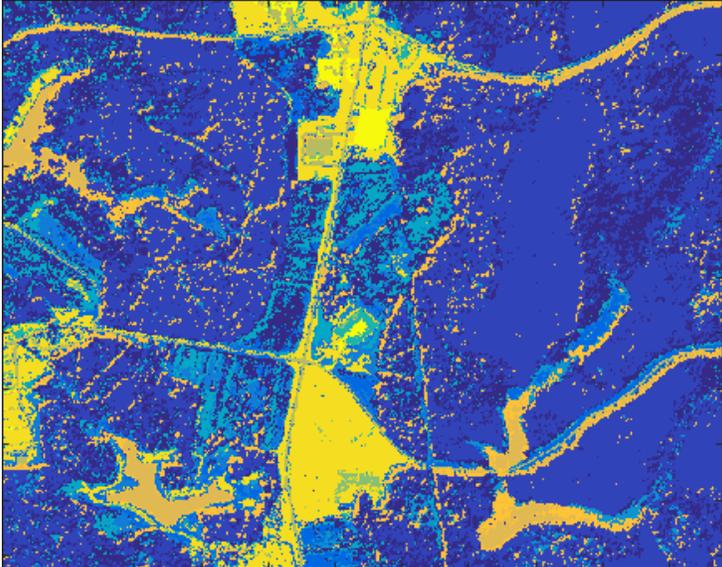
Tabla 15. Resultados Detallados Ap. Hill– 70 Bandas

<b>Número de Bandas:</b>	70	<b>Precisión</b>	71.50%											
<b>Mapa de Clasificación</b>														
														
<b>Matriz De Confusión</b>														
C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	31069	11520	377	514	1020	3072	2	0	0	5	0	88	42	0
2	8208	100196	60	25	1065	106	0	0	0	0	18	3254	1	0
3	974	140	5889	919	953	115	53	0	8	611	0	132	1519	18
4	833	58	1331	5163	196	824	2	0	1	26	0	18	1306	4
5	4087	5567	857	108	4582	162	2	0	0	46	7	1027	48	3
6	6069	294	117	1116	67	9885	0	0	5	5	0	6	405	0
7	0	0	115	0	0	1	788	0	66	82	0	0	768	97
8	0	0	133	4	0	0	15	0	0	106	0	2	102	0
9	0	0	4	0	0	1	98	0	707	1	0	0	312	28
10	4	1	590	14	59	1	40	0	2	2767	3	200	155	208
11	0	11	4	1	2	1	0	0	0	1	5101	867	0	0
12	114	10293	224	14	731	2	1	0	0	164	829	12676	9	1
13	67	7	493	918	34	300	155	0	159	102	0	7	16888	48
14	0	0	22	0	2	0	56	0	32	227	0	2	121	1608

Fuente: Elaboración Propia.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

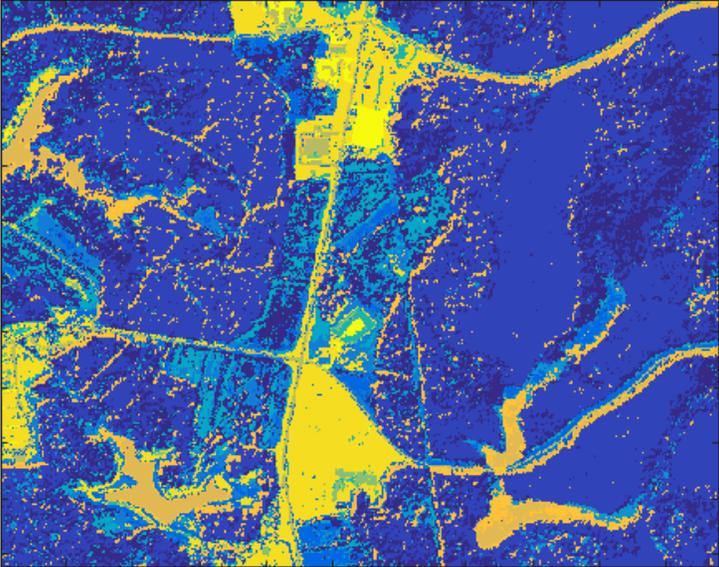
Tabla 16. Resultados Detallados Ap. Hill– 80 Bandas

<b>Número de Bandas:</b>	80	<b>Precisión</b>	71.69%											
<b>Mapa de Clasificación</b>														
														
<b>Matriz De Confusión</b>														
C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	30791	11786	365	539	1056	3051	3	0	0	2	0	77	39	0
2	7956	100213	62	27	1100	104	0	0	0	1	7	3462	1	0
3	975	137	5903	1036	880	108	71	0	5	581	0	87	1531	17
4	776	59	1293	5263	158	809	3	0	0	24	0	9	1366	2
5	3994	5553	921	110	4764	157	2	0	0	42	5	891	51	6
6	6114	303	101	1092	69	9860	0	0	5	4	0	4	416	1
7	2	0	78	0	0	0	865	0	69	92	0	0	748	63
8	0	0	137	4	1	0	17	0	0	109	0	0	94	0
9	0	0	3	0	0	0	94	0	679	1	0	0	335	39
10	3	3	586	16	51	2	52	0	3	2836	3	146	142	201
11	1	19	4	0	3	0	0	0	0	2	5165	794	0	0
12	115	9980	247	16	732	3	2	0	0	161	877	12917	8	0
13	62	6	503	827	17	288	139	0	155	104	0	2	17041	34
14	0	0	23	0	0	0	88	0	31	255	0	1	119	1553

Fuente: Elaboración Propia.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

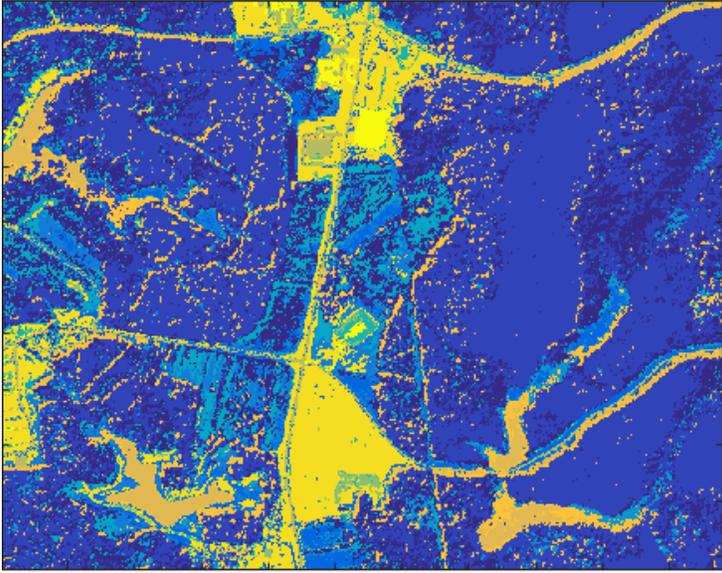
Tabla 17. Resultados Detallados Ap. Hill– 90 Bandas

<b>Número de Bandas:</b>	90	<b>Precisión</b>	71.75%											
<b>Mapa de Clasificación</b>														
														
<b>Matriz De Confusión</b>														
C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	30985	11912	405	542	1014	2722	2	0	0	6	0	89	32	0
2	7869	100541	67	21	1006	81	0	0	0	1	6	3340	1	0
3	884	122	6012	985	893	137	98	0	7	593	0	120	1461	19
4	706	55	1336	5187	168	916	4	0	0	27	0	18	1342	3
5	3973	5662	955	110	4575	149	2	0	0	42	7	968	51	2
6	6471	286	114	971	76	9668	0	0	4	4	0	7	367	1
7	0	0	75	3	0	0	935	0	60	90	0	0	650	104
8	0	0	125	6	0	0	22	0	0	109	0	0	100	0
9	0	0	3	1	0	1	119	0	698	0	0	0	294	35
10	1	4	592	16	43	2	57	0	2	2792	4	188	152	191
11	0	15	5	0	3	1	0	0	0	2	5009	953	0	0
12	114	10097	238	10	690	3	1	0	0	141	713	13041	9	1
13	54	5	517	790	22	340	169	0	174	109	0	2	16939	57
14	0	0	27	0	1	0	72	0	30	204	0	1	109	1626

Fuente: Elaboración Propia.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 18. Resultados Detallados Ap. Hill– 100 Bandas

<b>Número de Bandas:</b>	100	<b>Precisión</b>	71.94%											
<b>Mapa de Clasificación</b>														
														
<b>Matriz De Confusión</b>														
C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	31344	11189	441	596	1080	2917	2	0	0	3	0	96	40	1
2	8307	99627	69	17	1164	86	0	0	0	2	10	3650	1	0
3	838	117	5993	1151	814	107	93	0	12	578	0	99	1508	21
4	716	51	1260	5425	133	820	3	0	1	23	0	17	1306	7
5	3960	5317	980	128	4940	152	2	0	0	53	9	901	50	4
6	6136	266	97	1148	65	9851	0	0	5	3	0	6	391	1
7	0	0	69	1	0	1	913	0	125	71	0	0	675	62
8	0	0	129	5	0	0	25	0	0	105	0	1	96	1
9	0	0	1	1	0	1	75	0	768	0	0	0	276	29
10	2	2	587	24	71	3	80	0	4	2804	4	127	131	205
11	0	13	4	0	2	1	0	0	0	2	5146	820	0	0
12	114	9646	230	12	798	5	2	0	0	200	874	13169	7	1
13	57	4	473	879	22	275	155	0	166	88	0	2	16990	67
14	0	0	22	0	2	0	142	0	42	199	0	1	87	1575

Fuente: Elaboración Propia.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Si se analiza la precisión en la clasificación obtenida para la imagen completa se puede observar como ésta es similar, y en algunos casos inferior, a la imagen reducida dimensionalmente, recordemos que hacer el procesamiento de la imagen completa implica un mayor costo computacional al abarcar una mayor dimensionalidad de datos. Teniendo esto en cuenta se puede demostrar y afirmar que el algoritmo propuesto en (Du & Yang, 2008) cumple con lo propuesto y provee un método efectivo para la selección de bandas, ofreciendo la consecución de imágenes dimensionalmente más pequeñas que pueden clasificarse con la misma calidad que las imágenes originales completas.

#### 4.2 SELECCIÓN DE BANDAS PARA IMÁGENES DE ULCERAS

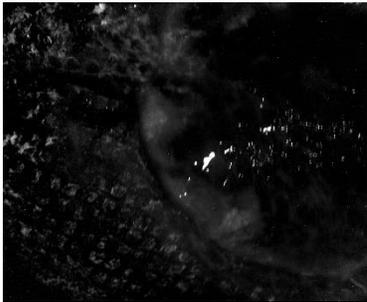
Una vez evaluada la calidad del algoritmo y a sabiendas de que cumple con lo requerido, se propone, en esta etapa, la aplicación del algoritmo a imágenes multiespectrales correspondientes a úlceras cutáneas, esto con el fin de proveer y analizar uno de los tantos métodos de selección de bandas y determinar cuál es el más apropiado. En este proceso se tienen en cuenta cuatro (4) imágenes multiespectrales de úlceras cutáneas tomadas sobre pacientes diferentes. Estas imágenes tienen una dimensionalidad de 1082x1312x34 píxeles, siendo 34 el número total de bandas de la imagen original. En este punto se redujo la dimensionalidad de los datos al seleccionar las 10 mejores bandas para cada imagen mediante la aplicación del algoritmo de selección de bandas. Los resultados se presentan a continuación.

Tabla 19. Bandas seleccionadas por paciente.

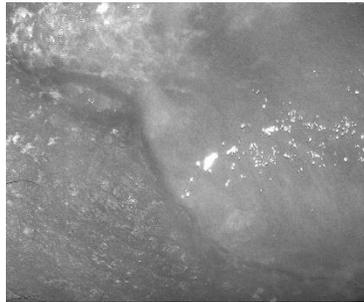
Pacientes	Bandas Seleccionadas									
	<b>Paciente 1</b>	1	7	8	15	17	18	19	20	22
<b>Paciente 2</b>	1	16	17	18	19	20	21	24	29	30
<b>Paciente 3</b>	1	5	11	14	15	16	17	20	22	34
<b>Paciente 4</b>	3	4	6	17	20	21	22	23	27	28

Fuente. Elaboración Propia.

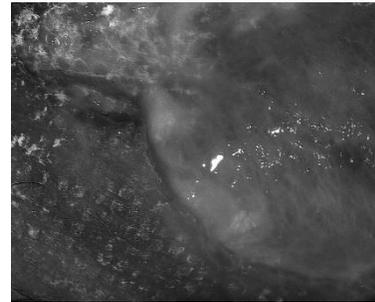
**PACIENTE 1**



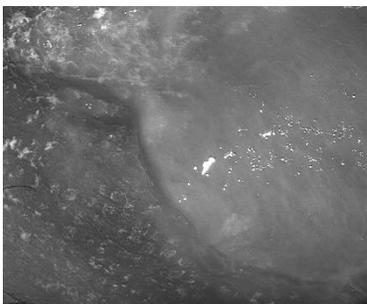
**Banda 1**



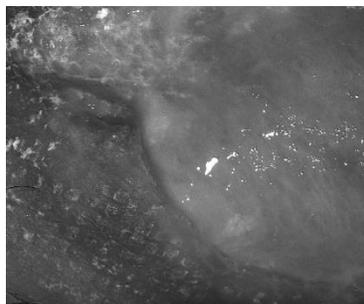
**Banda 33**



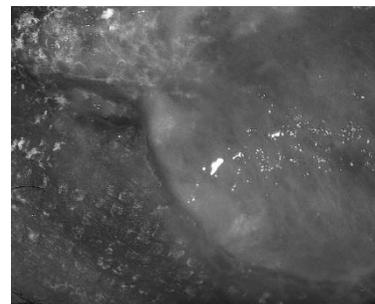
**Banda 17**



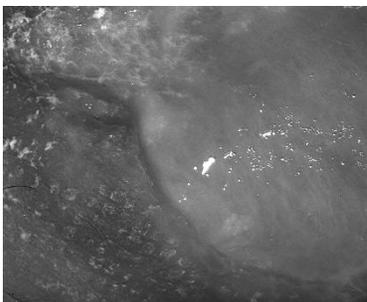
**Banda 22**



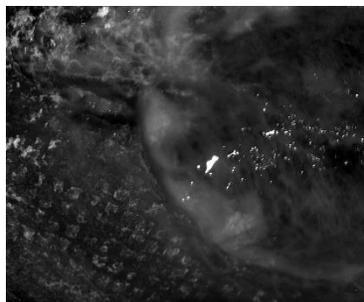
**Banda 19**



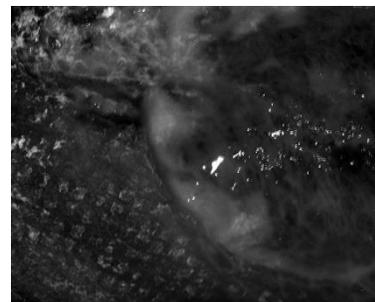
**Banda 18**



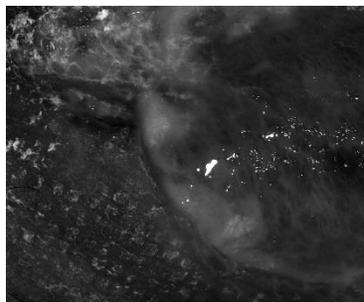
**Banda 20**



**Banda 7**

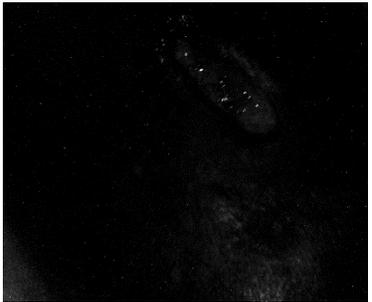


**Banda 8**

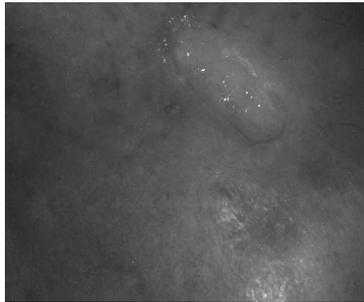


**Banda 15**

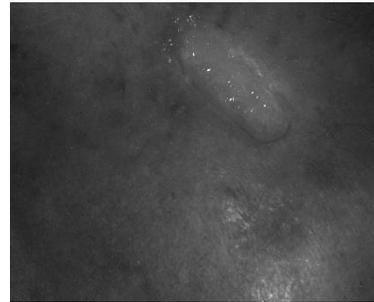
**PACIENTE 2**



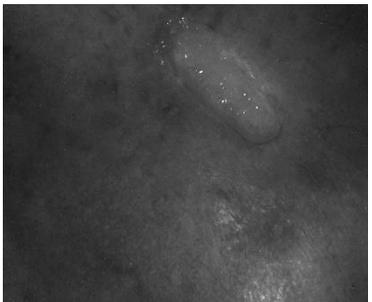
**Banda 1**



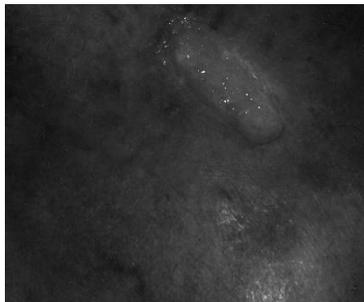
**Banda 24**



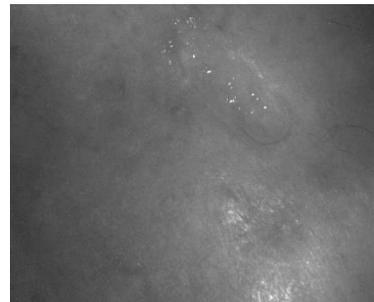
**Banda 21**



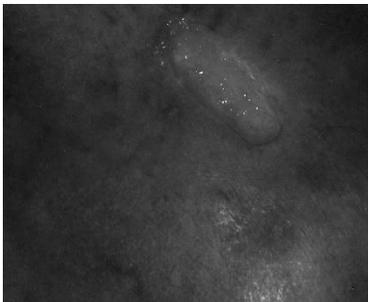
**Banda 20**



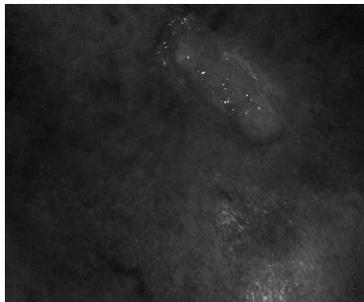
**Banda 17**



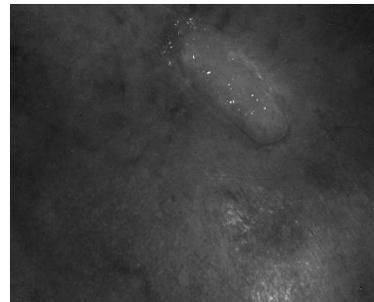
**Banda 29**



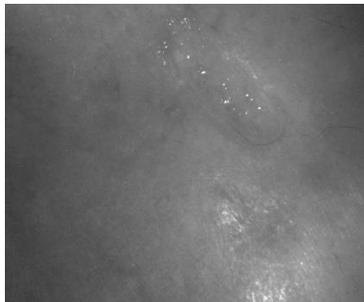
**Banda 18**



**Banda 16**

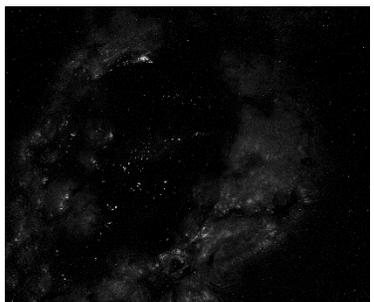


**Banda 19**

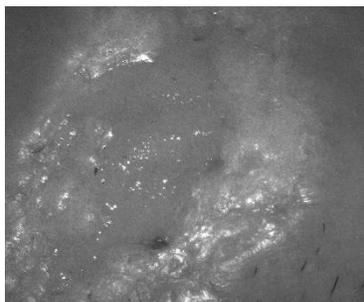


**Banda 30**

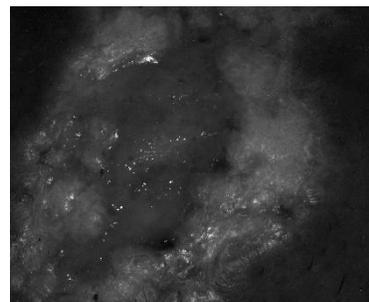
**PACIENTE 3**



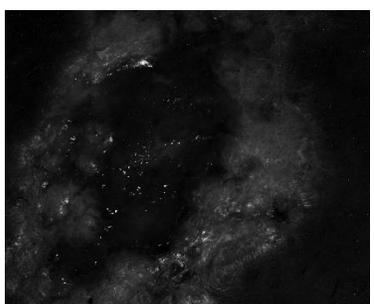
**Banda 1**



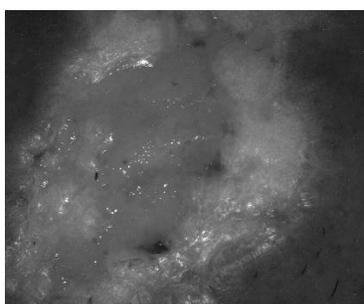
**Banda 34**



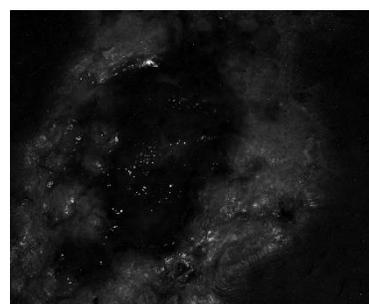
**Banda 17**



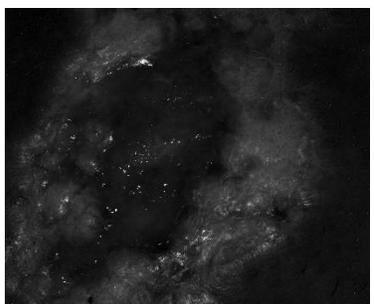
**Banda 14**



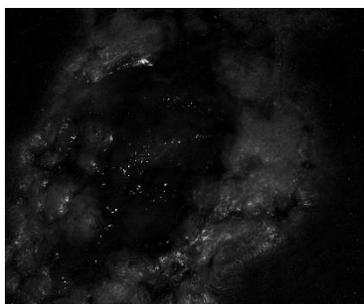
**Banda 22**



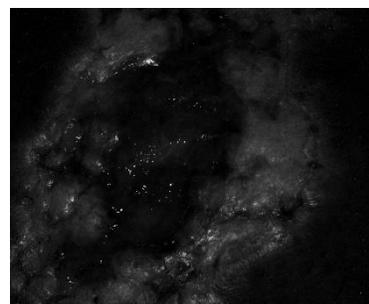
**Banda 11**



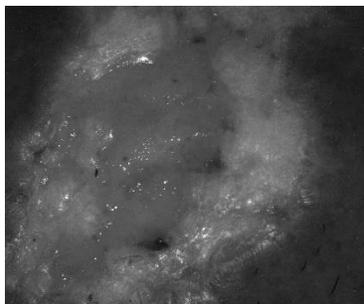
**Banda 15**



**Banda 5**

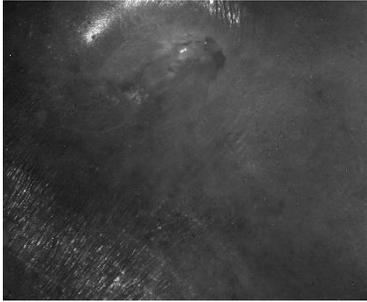


**Banda 16**



**Banda 20**

**PACIENTE 4**



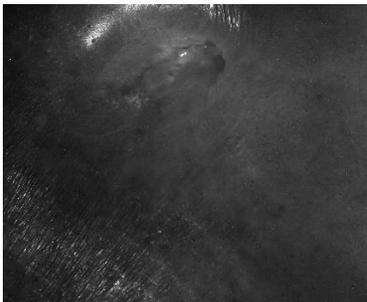
**Banda 23**



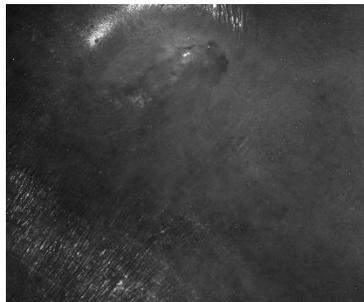
**Banda 6**



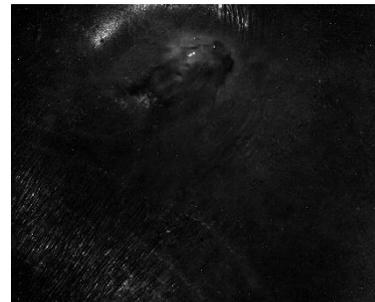
**Banda 21**



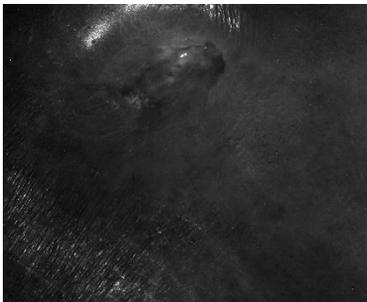
**Banda 20**



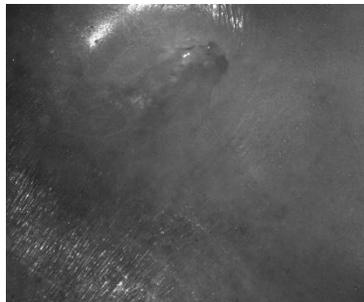
**Banda 22**



**Banda 4**



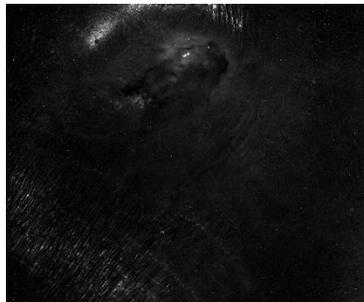
**Banda 17**



**Banda 28**



**Banda 27**



**Banda 3**

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

---

Se explora un método de selección de bandas no supervisados basados en medidas de similitud. Partiendo de la lectura y análisis del artículo de Qian Du y He Yang, programando el algoritmo propuesto en dicho artículo en MATLAB y evaluando los resultados obtenidos al aplicarse a imágenes hiperespectrales reales.

Se evalúa el algoritmo mediante el uso de máquinas de soporte vectorial y se evidencia que evidencia que este cumple a cabalidad con lo planteado y provee un método efectivo para la selección no supervisada basada en medidas de similitud.

Se propone como trabajo a futuro la realización de una comparativa entre el método descrito en este trabajo de grado y otros métodos de selección de bandas, con el fin de determinar cuál de los métodos propuestos, ofrece mejores resultados de selección y reducción de dimensionalidad.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## REFERENCIAS

---

Du, Q., & Yang, H. (2008). Similarity-Based Unsupervised Band Selection for Hyperspectral Image Analysis. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 5(4), 564–568.

<https://doi.org/10.1109/LGRS.2008.2000619>

Ren, H., & Chen, H. T. (2017). Background whitened target detection algorithm for hyperspectral imagery. *Journal of Marine Science and Technology (Taiwan)*, 25(1), 15–22.

<https://doi.org/10.6119/JMST-016-0630-1>

