



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE BIOLOGÍA

*“COMPARACION DE LA CLASIFICACION DIGITAL DE LA
VEGETACION MEDIANTE IMÁGENES DE SATELITE
MULTIESPECTRALES E HIPERESPECTRALES, EN LA
REGION SUDOESTE DEL ESTADO DE MICHOACAN”*

TESIS

Que como requisito parcial para optar por el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

En Conservación y Manejo de Recursos Naturales, presenta

FIS. DANIELA PINHEIRO BITENCURTI

Director de Tesis: M.C. J. MANUEL ORTEGA RODRÍGUEZ

Asesor Externo: DR JEAN FRANÇOIS MAS CAUSSEL

Morelia, Michoacán

Octubre de 2006



Dedicatoria

A Dios y a Nossa Senhora Aparecida por me brindaren vida y salud para estudiar y realizar mis sueños.

A mi familia, Fifi, Darça, Tata y Ca que es la mejor y la más bella familia del mundo. Agradezco por todo el amor y apoyo en toda mi vida. Todo lo que hago es por Uds. y para Uds. "Os amo mais que tudo neste mundo!"

A mis angelitos Vô Chaga y Vô Santa, que estoy aquí por el apoyo de Uds. en vida y ahora desde el cielo.

A mis querido y amados sobrinos, Gui, Pepê y Gabriel por toda la demostración de cariño que tienen por la "Tia Doni".

A mis queridos cuñaditos y hermanos, Bamber y Roger, por todo el cariño y apoyo siempre.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, que me dio la oportunidad de venir a estudiar en México y principalmente a Facultad de Biología, por todo el apoyo y por la beca de maestría que me brindaron.

A todos los maestros del curso de maestría, los cuales tuvieron mucha paciencia y atención conmigo, por enseñarme no solo las gratas materias del curso, como también por enseñarme mucho sobre el bello México.

A todos los demás maestros de la Facultad de Biología, que mismo que no me dieron clases, siempre me apoyaron en todo, además de la amistad.

A mis querido asesores Jean François y Juan Manuel Ortega, por el apoyo incondicional, por todas las experiencias compartidas, por toda la paciencia, por la confianza depositada en mi trabajo y principalmente por la amistad.

A los sinodales, Dra María Luisa y Dr. Antaramián, por todos los buenos comentarios y sugerencias para el desarrollo de este trabajo.

Al Instituto de Geografía de la UNAM, por la gratitud de trabajar diario en un ambiente tan encantador. Así como todo el personal que ahí trabaja y con los cuales dividimos todas las etapas de esta tesis.

A la administración del programa de Maestría en Conservación y Manejo de Recursos Naturales de la UMSNH, desde anteriores integrantes hasta los que ocupan los cargos ahora; Martita, Lily, MC Carrilo, Ricardo, Ponce, Juan Manuel, y todos que de una forma o de otra pasaron por ahí y siempre me ayudaron.

Al maestro Javier Robles, el “San Luis” por el grande e indispensable apoyo en mis trabajos de campo, por toda su experiencia, conocimiento y amistad.

A mis hermanitas mexicanas, Reina, Tzitziki, Moniquet`s y Azu por toda la amistad, el apoyo, la comprensión, la presencia absoluta en todos los momentos buenos y difíciles que he pasado aquí.

A mi querido y amado Juan, por todo el apoyo, cariño, paciencia, amor, dedicación en prácticamente toda mi estancia en México, y por estar siempre a mi lado en las buenas y en las malas. Te quiero mucho! Gracias por dividir tu vida conmigo!

A Don Esteban y Dueña Chole, por me recibieren en su casa como una hija y todos los miembros de esta familia por todo el cariño que me han concebido.

A todos mis amigos “FuMiGaS” de Brasil, que me apoyaran en todo mismo de lejos, por todos los correos de cariño, fuerza y todas las fotos que siempre me animaban diario. Gracias Jô, Va, Prof, Rô, Mica, Jô, Vakkinho, Véio, Vento, Zóio, Zóia, Bunda, Varcão, Val, Gi, y todos los demás... que no caben todos, si no, sería páginas y páginas de amigos!!!

A mis amigos y maestros del INPE, Sávio, Felix, Cra, João Roberto, Julio, y muchos otros que también me apoyaron en este trabajo, a pesar de la distancia.

A mí querido Agres por toda la “positividade”, el apoyo, cariño y la gran y maravillosa amistad que tenemos. Te quiero mucho amore!

A mi querida Belfizinha que me ayudo a venir a México, nunca dejo de creerme y apoyarme en todo. Te quiero mucho miga!

A mis queridos amigos Bere, Neys, Agus, Chino, Rober, Manolo, Pepon, Enano y más una lista grande que no cabe aquí, que siempre estuvieron presentes y me brindaron muchas alegrías. A Azu y Jean por me recibieren en su casa en mi llegada a México y me apoyaren mucho desde entonces.

Esta tesis se realizó en el ámbito del proyecto SEMARNAT-CONACyT referencia 2002-C01-0075 apoyado por el Fondo Sectorial de Investigación Ambiental (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México).

ÍNDICE

i – RESUMEN	vii
ii – ABSTRACT	viii
I – INTRODUCCIÓN	01
II – ANTECEDENTES	04
III – OBJETIVOS	09
III.1 - General	09
III.2 – Específicos	09
IV - ÁREA DE ESTUDIO	10
V - MATERIALES Y MÉTODOS	13
V.1 - Selección de las imágenes	13
V.1.1 - Advanced Land Imager - ALI	13
V.1.2 - Imágenes Hyperion	14
V.1.3 - Ortofotos	16
V.1.4 - Google Earth	17
V.2 - Georreferenciación de las imágenes	17
V.3 - Trabajo de campo	19
V. 4 - Corrección Atmosférica	20
V.5 - Estudio de separabilidad de las clases	22
V.6 - Clasificación	29
V.7 - Evaluación de la fiabilidad de las clasificaciones	31
V.7.1 - Selección de sitios de verificación	31
V.7.2 - Verificación de los sitios	32
V.7.3 - Matriz de confusión	32

V.7.4 - Comparación de la fiabilidad de los datos hiperespectrales y multiespectrales.....	35
VI – RESULTADOS.....	37
VI.1 - Corrección Geométrica.....	37
VI.2 - Campos de entrenamiento.....	37
VI.3 - Corrección Atmosférica.....	40
VI.4 - Evaluación de la de Separabilidad.....	41
VI.5 - Clasificación.....	44
VI.5.1 - Clasificación de las imágenes Hyperion y ALI ambas con y sin corrección atmosférica.....	46
VI.5.2 - Verificación de los sitios.....	57
VI.5.3 - Matrices de Confusión Originales y Corregidas por el método de Card.....	59
VI.6 - Evaluación de la fiabilidad de las clasificaciones.....	64
VI.6.1 – Comparación de la fiabilidad de los datos hiperespectrales y multiespectrales con diferentes preprocesamientos (selección de bandas, corrección atmosférica)	66
VII – DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	69
VIII - REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	72
IX – ANEXOS.....	76
IX.1 - MATRICES DE CONFUSIÓN.....	76
IX.2 - TABLAS DE VALORES DE Z^2 PARA LA COMPARACIÓN DE LA FIABILIDAD PARA CADA PAR DE CLASIFICACIONES.....	99

INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Fig. 1 - Localización de la región de estudio e identificación de las imágenes correspondientes al área. Los rectángulos en verde son las ubicaciones de las imágenes Hyperion y ALI usadas en el trabajo.....	10
Fig. 2 - Imagen Hyperion 30/11/2003.....	11
Fig. 3 - Imagen ALI 30/11/2003.....	11
Fig. 4 – Rango altitudinal del área de estudio.....	12
Fig. 5 – Mosaico de las ortofotos que cubren el área de estudio.....	16
Fig. 6 – Parámetros de entrada para la corrección atmosférica.....	22
Fig. 7 - Diferentes grados de solapamiento entre dos funciones de densidad de probabilidades normales.....	24
Fig. 8 - <i>Feature Selection Processor</i>	27
Fig. 9 – Probabilidad de correcta clasificación por la Transformada de Divergencia.....	27
Fig. 10 – Definición del ángulo espectral del SAM.....	30
Fig. 11 – Similitud espectral entre dos espectros.....	31
Fig. 12 – Sitios aleatorios estratificados.....	32
Fig. 13 – Georreferenciación de las imágenes.....	37
Fig. 14 – Campos de entrenamiento de la vegetación selva baja.....	38
Fig. 15 – Campos de entrenamiento de la vegetación selva mediana.....	38
Fig. 16 – Campos de entrenamiento del pastizal.....	39
Fig. 17 – Campos de entrenamiento de la vegetación bosque de pino.....	39
Fig. 18 – Comparación visual y de firmas espectrales de las imágenes Hyperion con y sin corrección atmosférica.....	41
Fig. 19 – Separabilidad en función del número de bandas para la imagen hyperion sin corrección atmosférica.....	43

Fig. 20 – Separabilidad en función del número de bandas para la imagen hyperion con corrección atmosférica.....	43
Fig. 21 – Separabilidad en función del número de bandas para la imagen ALI sin corrección atmosférica.....	44
Fig. 22 – Píxeles no clasificados de la costa.....	45
Fig. 23 – Distribución de la longitud de onda con los picos de absorción atmosférica.....	46
Fig. 24 – Comparación de las 40 mejores bandas de imagen Hyperion sin corrección atmosférica con las 38 mejores bandas de la imagen Hyperion con corrección atmosférica....	47
Fig. 25 – Bandas eliminadas para la clasificación de la imagen Hyperion con corrección atmosférica.....	48
Fig. 26 - Comparación de las 15 mejores bandas y 8 mejores bandas de imagen Hyperion sin corrección atmosférica y con corrección atmosférica.....	49
Fig. 27 - Imagen Hyperion sin corrección atmosférica clasificada con 242 bandas y ángulo de 1 radian.....	51
Fig. 28 - Imagen Hyperion con corrección atmosférica, clasificada con 106 bandas y ángulo de 1 radian.....	51
Fig. 29 - Imagen ALI sin corrección atmosférica clasificada con 9 bandas y ángulo de 1 radian.....	52
Fig. 30 - Imagen ALI con corrección atmosférica clasificada con 9 bandas y ángulo de 1 radian.....	52
Fig. 31 - Imagen Hyperion sin corrección atmosférica clasificada con 198 bandas y ángulo de 1 radian.....	53
Fig. 32 - Imagen Hyperion sin corrección atmosférica clasificada con 40 bandas y ángulo de 1 radian.....	54
Fig. 33 - Imagen Hyperion con corrección atmosférica clasificada con 38 bandas y ángulo de 1 radian.....	54
Fig. 34 - Imagen Hyperion sin corrección atmosférica clasificada con 15 bandas y ángulo de 1 radian.....	55
Fig. 35 - Imagen Hyperion con corrección atmosférica clasificada con 15 bandas y ángulo de 1 radian.....	55

Fig. 36 - Imagen Hyperion sin corrección atmosférica clasificada con 8 bandas y ángulo de 1 radian.....	56
Fig. 37 - Imagen Hyperion con corrección atmosférica clasificada con 8 bandas y ángulo de 1 radian.....	56
Fig. 38 – Distribución de los 320 puntos del muestreo aleatorio estratificado.....	58
Fig. 39 – Comparación de las fiabilidades de clasificación.....	65
Tabla 1 - Cobertura Espectral del EO-1 ALI comparado con Landsat.....	14
Tabla 2 – Valor máximo de separabilidad.....	28
Tabla 3 – Numero de sitios de muestreo para cada categoría.....	33
Tabla 4 – Matriz original.....	34
Tabla 5 – Matriz corregida según el método de Card.....	34
Tabla 6 - Elementos de la matriz utilizada en la prueba de McNemar.....	35
Tabla 7 – Valores aproximados de visibilidad de la escena.....	40
Tabla 8 – Ejemplo del resultado textual del MultiSpec.....	42
Tabla 9 – Definición de los colores de salida de las clasificaciones.....	45
Tabla 10 – Matriz Original de la imagen Hyperion 198 bandas sin corrección atmosférica...	60
Tabla 11 – Matriz corregida según método de Card para la imagen Hyperion con 198 bandas.....	60
Tabla 12 – Proporción de clases correctamente clasificadas.....	61
Tabla 13 – Fiabilidad del Productor y del Usuario para la imagen Hyperion con 198 sin corrección atmosférica.....	61
Tabla 14 – Matriz Original de la imagen ALI sin corrección atmosférica.....	62
Tabla 15 – Matriz corregida según método de Card para la imagen ALI.....	62
Tabla 16 – Proporción de clases correctamente clasificadas.....	63
Tabla 17 – Fiabilidad del Productor y del Usuario para la imagen ALI con 9 bandas sin corrección atmosférica.....	63

Tabla 18 – Comparaciones de las fiabilidades por clases entre las imágenes Hyperion y ALI.....64

Tabla 19 – Comparación de las fiabilidades de las imágenes Hyperion 15 bandas sin corrección atmosférica con la imagen ALI 9 bandas con corrección atmosférica con diferencia significativa.....67

Tabla 20 – Comparación de las fiabilidades de las imágenes Hyperion 242 bandas sin corrección atmosférica con la imagen Hyperion 38 bandas con corrección atmosférica sin diferencia significativa.....67

Tabla 21 - Valores de Z^2 para la comparación de la fiabilidad de las clasificaciones obtenidas con diferentes sensores y tratamientos. Los valores destacados en verde, indican los pares de clasificaciones cuya fiabilidad presenta una **diferencia significativa (con * p = 0.05 y ** p = 0.01)**.....68

RESUMEN

La producción de mapas temáticos, como los de uso y cobertura del suelo, a través de la clasificación de imágenes es una de las aplicaciones más utilizadas en la percepción remota. Dentro de este concepto, los datos hiperespectrales son una novedad que genera muchas expectativas en su aplicación, por lo que hay que evaluar su aportación en comparación con los datos multiespectrales que están ampliamente utilizados en México.

En este trabajo, se utilizaron las imágenes hiperespectral Hyperion/EO-1 y la imagen multiespectral ALI para la comparación de las clasificaciones. Las imágenes hiperespectrales son recientes en comparación con las multiespectrales, la diferencia radica en el número de bandas, mientras que las primeras tienen 242 bandas, las segundas tienen generalmente 8. Esta gran diferencia permite obtener una mayor resolución espectral. En este trabajo se utilizó una imagen Hyperion y una ALI, para evaluar el aporte de las imágenes hiperespectrales en comparación con las multiespectrales, en la clasificación digital de la cobertura vegetal en la región sudoeste del Estado de Michoacán.

Los criterios para la elección de estas imágenes fueron: la misma fecha, mínima cobertura de nubes y misma área. Se realizó trabajo de campo para obtener puntos de control, procurando recorrer toda el área, pero dado el relieve tan acentuado y montañoso hubo áreas de las que no se logró obtener puntos. Se realizó un estudio de separabilidad, además de la corrección atmosférica de ambas imágenes. Se clasificaron las imágenes con y sin corrección atmosférica utilizando el método Spectral Angle Mapper (SAM), con las mejores combinaciones de bandas. Se generaron matrices de confusión para evaluar la confiabilidad de las clasificaciones.

A partir del estudio de separabilidad, las imágenes Hyperion llegan al valor máximo de separabilidad entre las clases, lo que no sucede con las multiespectrales ALI.

Los resultados de las clasificaciones indicaron que las imágenes Hyperion definen mejor los tipos de vegetación que las imágenes ALI. También se encontró que Hyperion alcanza una fiabilidad hasta 15% más alta que las multiespectrales, así como la fiabilidad por clase, que también mejora. Se demuestra un mejor desempeño de las imágenes hiperespectrales sobre las multiespectrales

Este trabajo propone para aplicaciones futuras, tomar en cuenta que la corrección radiométrica es un proceso complejo que aun se debe mejorar, así como el método para seleccionar las bandas.

Se encontró que faltan mapas actualizados y confiables de la cobertura de la vegetación en el país, por lo que se recomienda el uso de las imágenes Hyperion para la elaboración de estos tipos de mapas.

I – INTRODUCCIÓN

Uno de los avances más significativos ocurridos en la historia reciente de la Percepción Remota fue la aparición de datos hiperespectrales (*hyperspectral remote sensing*). Esto comprende el proceso de adquisición de imágenes en centenas de bandas registradas y contiguas, de tal forma que para cada píxel podemos derivar una curva de reflectancia espectral completa. Una de las metas de la percepción remota hiperespectral es medir, cuantitativamente, la firma espectral de los componentes de la superficie terrestre a partir de espectros calibrados, adquiridos en forma de imágenes (Carvalho Júnior *et al.*, 2003). Hasta hace poco tiempo, un número reducido de especialistas en percepción remota tenía acceso a imágenes hiperespectrales. Al mismo tiempo, las herramientas computacionales necesarias para la generación de información y conocimiento a partir de esas imágenes eran limitadas y complejas. Recientemente, el análisis de este tipo de imágenes ha alcanzado la madurez. Los progresos en esa área no se restringen solamente a los sensores capaces de generar ese tipo de datos, sino también a los programas computacionales para su procesamiento y análisis de forma semi-automatizada. Existen numerosas aplicaciones exitosas de esta tecnología en campos como geología y explotación minera, hidrología, agricultura, monitoreo del medio urbano, bosques y ambiente costero y análisis de riesgos, entre otras (<http://www.mundogeo.com.br/resumos/10-GEOBrasil%20BETO%20Palestra.htm>).

Los sensores hiperespectrales ofrecen información en un espectro prácticamente continuo, lo que permite discriminar parámetros críticos de la vegetación y los suelos que no serían perceptibles con sensores convencionales. De esta manera se llega a discriminar diversos aspectos muy específicos relacionados con la vegetación, como por ejemplo el estado fenológico, la estructura, el contenido de agua o la cantidad de clorofila (<http://www.geogra.uah.es/~espectra/index.html>).

Hasta hace poco tiempo las imágenes hiperespectrales eran obtenidas por sensores aerotransportados, pero con la puesta en órbita de sensores hiperespectrales como Hyperion (<http://eo1.usgs.gov/sensors.php>), se han abierto nuevas posibilidades a la investigación, permitiéndose una cobertura sistemática de la Tierra y una reducción en el costo de

adquisición de este tipo de datos. Estas nuevas oportunidades para obtener información espacial, han puesto de manifiesto la necesidad de dirigir nuestros esfuerzos a una mejor comprensión de los datos facilitados por estas plataformas. Para ello una de las herramientas que complementan a los sensores aerotransportados es la radiometría de laboratorio y de campo.

Los conocimientos de la distribución de los tipos de cobertura vegetal y sus variaciones fenológicas son hoy en día un aspecto indispensable para la planeación de una política coherente y eficiente del desarrollo sustentable, así como para la comprensión y evaluación objetiva de la convivencia de diferentes ecosistemas (Shimabukuro *et al.*, 2003).

La producción de mapas temáticos, como los de uso y cobertura de suelo, a través de clasificación de imágenes es una de las aplicaciones más utilizadas de la percepción remota (Tisot *et al.*, 2005). El aumento de la precisión de clasificación es uno de los principales enfoques del estudio.

Hyperion es el primer sensor hiperespectral lanzado por la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), a bordo de la plataforma Earth Observing-1 (EO-1), que colecta datos continuos en 242 bandas espectrales, posicionadas entre 350 y 2500 nm, con resolución espacial de 30m y en 16 bits. El volumen de datos colectados por el sensor Hyperion es aproximadamente 75 veces mayor que el de las siete bandas ópticas del sensor ETM+ (Tisot *et al.*, 2005).

Las imágenes del Hyperion están proporcionando más detalles de la superficie de la Tierra de los que actualmente están disponibles a través de instrumentos multispectrales, como el instrumento ETM+ a bordo del Landsat. La clasificación detallada de ecosistemas complejos con el sensor hiperespectral proporciona mayor precisión para los datos de percepción remota.

Minerales en la superficie de la Tierra pueden ser identificados y nuevos mapas temáticos de minerales pueden ser creados para seleccionar sitios para explotación; inventarios forestales pueden ser desarrollados para regiones remotas para llevar a cabo una mejor organización y planeación ecológica.

En este trabajo se pretende, a partir de la clasificación de las imágenes del sensor Hyperion, separar con una fiabilidad satisfactoria los tipos de vegetación del área seleccionada, por lo que a partir de esta metodología se podrá generar un modelo que quizás podamos extrapolar y aplicar para todo el país. Con los resultados obtenidos de este trabajo se pretende generar combinación de bandas espectrales específicas correspondientes a los tipos de cobertura encontradas en el área, que sirvan como base para trabajos futuros, donde se pueda minimizar el tiempo en campo, disminuyendo así los costos de las investigaciones.

HIPÓTESIS – Se pueden obtener mapas de coberturas del suelo más fiables con base en la clasificación de datos hiperespectrales que con datos multiespectrales.

II - ANTECEDENTES

Todavía no existen muchos trabajos sobre el uso de imágenes hiperespectrales, si se compara con la cantidad de información existente sobre las imágenes multiespectrales. Esto se debe a que estas imágenes son recientes y todavía las metodologías están siendo desarrolladas y probadas.

Galvão *et al.* (2005), hizo un trabajo sobre la discriminación de cinco variedades de caña de azúcar con datos hiperespectrales del sensor Hyperion. El objetivo del trabajo fue evaluar el uso potencial de datos hiperespectrales colectados por el sensor, en un área de estudio localizada en el Estado de São Paulo, Brasil, para la discriminación de cinco variedades de caña de azúcar (RB72-454, SP80-1816, SP80-1842, SP81-3250 y SP87-365).

Las diferencias observadas entre las variedades de caña, pueden explicarse por el cambio en la arquitectura del dosel, que tiende a ser más erectófilo para una especie que para otra. Doseles más erectófilos favorecen los efectos de sombreamiento mutuo de los componentes del dosel, además de una mayor absorción interna de la radiación incidente. Además, otra característica que diferenció las variedades, fue la cantidad mayor de vegetación no-fotosintéticamente activa detectada en los doseles de una de las especies.

Shimabukuro *et al.* (2003), realizó un análisis de los datos hiperespectrales obtenidos sobre el Bosque Nacional de Tapajós, en el Estado de Pará, Brasil. El objetivo del trabajo fue analizar los datos proporcionados por el sensor hiperespectral Hyperion, para el estudio de la cobertura vegetal del bosque, localizado en la región Amazónica. Las imágenes RGB y fracción vegetación, suelo y sombra fueron generadas a partir de los datos Hyperion para el área limitada por el sensor, mientras que las imágenes Landsat-7 ETM+ y el trabajo de campo sirvieron como soporte para la evaluación y validación de los resultados derivados de los datos de este nuevo sensor.

Se realizó un análisis de las bandas de Hyperion, con el objetivo de representar el comportamiento espectral de los objetos de interés identificados en la escena. Los objetos

registrados fueron: bosque primario, regeneración (capoeira - vegetación secundaria o bosques en regeneración, derivadas de la remoción de los bosques tropicales naturales), suelo expuesto, agua, etc.

Los resultados preliminares indicaron que hubo una confusión entre bosque primario y regeneración, indicando que el polígono seleccionado para regeneración correspondió a una regeneración avanzada, generando un comportamiento espectral similar al del bosque primario.

Otro resultado observado fue el comportamiento espectral similar entre la muestra de agua y el de la vegetación. Esto se debió a que la muestra seleccionada en el área del igarapé (brazo de río donde la vegetación nativa almacena nutrientes para el desarrollo de la vida marina) estaba cubierta por vegetación acuática. Los resultados obtenidos de las imágenes fracción, mostraron que las imágenes generadas fueron muy semejantes visualmente, a pesar de que los datos originales hayan sido adquiridos por sensores con resoluciones espectrales diferentes. Por lo tanto, las imágenes fracción derivadas de los datos del Hyperion pueden ser utilizadas en trabajos de análisis visual, o bien como análisis digital para fines de clasificación. A pesar de que los resultados fueron preliminares, indicaron la potencialidad de los datos hiperespectrales en el estudio de la cubierta vegetal de bosque tropical húmedo. Estos resultados serán útiles para planear las actividades de análisis de los datos AVIRIS, que serán adquiridos en varias regiones de la Amazonía, dentro del contexto del Proyecto LBA. En la continuación de este trabajo, un análisis mas detallado será realizado con el objetivo de evaluar cuantitativamente estos productos.

Otro trabajo en el que se comparan los sensores Hyperion y Landsat ETM +, fue el de Accioly *et al.* (2005), quienes realizaron una evaluación de coberturas vegetales en áreas afectadas por procesos de desertificación en la región semi-árida paraibana de Brasil. El trabajo tuvo como objetivos el estudio de curvas espectrales extraídas del sensor Hyperion en áreas con proceso de desertificación y la comparación de estas curvas con la respuesta

espectral del sensor ETM+. Las tres clases vegetales en la zona de estudio fueron: área degradada con pastizales, área con caatinga¹ densa seca y áreas con vegetación verde.

Los perfiles de absorción detallados por el sensor Hyperion son integrados dentro de los rangos espectrales del sensor ETM+ y, por lo tanto, no aparecen en las curvas espectrales de este sensor, como consecuencia resultó en la pérdida de información espectral. El nivel de detalles de la curva espectral presentada por el sensor Hyperion, proporciona la selección de bandas más adecuadas para la obtención de índices, tales como el índice de vegetación de la diferencia normalizada (IVDN). Este nivel de detalles permite una mejor distinción entre objetos, comúnmente presentes en áreas con proceso de desertificación.

Tisot *et al.* (2005), presentan un trabajo cuyo objetivo fue evaluar y comparar la capacidad que los sensores Hyperion y ETM+ en discriminar coberturas agrícolas con diferencias espectrales destacadas y con diferencias espectrales sutiles. Para ello, se estudiaron clases de uso y cobertura de suelo y de variedades de caña de azúcar, localizadas en la ciudad de Franca, São Paulo, Brasil.

Se utilizaron datos de campo, previamente colectados, para la caracterización de las clases de estudio. Se seleccionaron aleatoriamente muestras de entrenamiento y de verificación en las áreas de las clases de interés. A fin de evaluar y comparar la clasificación de los datos multiespectrales (ETM+) con la de los datos hiperespectrales (Hyperion), se consideraron dos enfoques: clasificación de clases de uso y cobertura de suelo presentes en la región, predominando diferencias espectrales importantes entre ellas; y, clasificación de subclases dentro de una misma clase, con el fin de discriminar diferencias espectrales más sutiles. En el primer caso, las clases seleccionadas fueron: caña de azúcar, café, pastizal, paja, suelo expuesto y bosque. En el segundo, solo la clase caña de azúcar fue estudiada, subdividiéndola en subclases de variedades: RB72-454, SP80-1816, SP80-1842, SP81-3250 y SP87-365.

¹la caatinga es una sabana - estépica con fisonomía de desierto, que se caracteriza por un clima semi - árido con pocas e irregulares precipitaciones, suelos bastante fértiles y una vegetación aparentemente seca, de la región nordeste de Brasil.

Los resultados comprobaron el mejor desempeño de las imágenes hiperespectrales, en relación a las imágenes multiespectrales en la discriminación de cultivos agrícolas con diferencias espectrales muy sutiles, como por ejemplo la discriminación de variedades de caña de azúcar. Esto se debió a la capacidad que los sensores hiperespectrales poseen de interceptar la energía electromagnética en intervalos muy estrechos de longitud de onda, siendo capaces de detectar pequeñas afecciones de absorción.

Otro trabajo, realizado por Thenkabail *et al.* (2003), para estimar la precisión de datos Hyperion en la discriminación de cultivos agrícolas y de coberturas de vegetación, fue llevado a cabo en 4 ecoregiones de las sabanas Africanas. El propósito de esta investigación fue determinar las longitudes de onda (bandas hiperespectrales) más idóneas para clasificar, caracterizar y modelar la vegetación y los cultivos agrícolas sobre un rango espectral de 400-2500 nanómetros. Encontraron que 22 bandas tienen alto nivel de eficacia proporcionando varias características para la discriminación de la vegetación o cultivos agrícola. Los rangos o longitudes de onda fueron: $\lambda_1 = 495$ nm, $\lambda_2 = 555$ nm, $\lambda_3 = 645-665$ nm, $\lambda_4 = 675-695$ nm, $\lambda_5 = 705$ nm, $\lambda_6 = 735$ nm, $\lambda_7 = 885$ nm, $\lambda_8 = 915-935$ nm, $\lambda_9 = 985$ nm, $\lambda_{10} = 1085$ nm, $\lambda_{11} = 1135$ nm, $\lambda_{12} = 1215$ nm, $\lambda_{13} = 1235-1255$ nm, $\lambda_{14} = 1275-1285$ nm, $\lambda_{15} = 1445-1455$ nm, $\lambda_{16} = 1675-1705$ nm, $\lambda_{17} = 1715-1735$ nm, $\lambda_{18} = 1985-2015$ nm, $\lambda_{19} = 2025-2045$ nm, $\lambda_{20} = 2235$ nm, $\lambda_{21} = 2275-2295$ nm, and $\lambda_{22} = 2315-2345$ nm.

Eckert y Kneubühler (2004) evaluaron el potencial de los datos Hyperion para la clasificación del uso de suelo y la estimación de las características de la vegetación en un típico ambiente agrícola de Suiza. La clasificación del uso del suelo fue realizada con dos métodos: orientada a píxeles y un método orientado a objetos multiescala, basados no solo en la información espectral, sino también en la textura y el contexto local.

A consecuencia de que varios cultivos se encontraban en etapas fenológicas atrasadas, el comportamiento espectral de varios tipos de cobertura del suelo fue muy similar, lo que dio lugar a escasas diferencias entre sus firmas espectrales. También se detectó la ocurrencia de píxeles mixtos los cuales disminuyeron la fiabilidad de la clasificación. Los campos de cultivos en Suiza son pequeños y las diferencias de texturas en el conjunto de datos del

Hyperion fueron bajas debido a su resolución espacial. Los autores concluyeron que se obtendrían mejores resultados de clasificación de los datos Hyperion para la agricultura, si el conjunto de datos fuera adquirido durante la época de crecimiento de los cultivos agrícolas, en junio, ya que estos fueron tomados en agosto.

En algunos proyectos, como ESPECTRA, financiado por la Dirección General de Investigación de la Comunidad de Madrid (CAM), se utilizaron datos Hyperion para extraer información espectral de la vegetación y desarrollar de bibliotecas espectrales. Se examinaron las capacidades del sensor hiperspectral Hyperion en un área piloto de la Comunidad de Madrid, en la que se recoge la variabilidad específica, utilizando como fuente de información las bibliotecas espectrales generadas. Además, se analiza la viabilidad de extrapolación de la metodología utilizada en el área piloto a toda la Comunidad de Madrid (<http://www.geogra>).

III - OBJETIVOS

III.1 - General

- √ Evaluar el aporte de las imágenes hiperespectrales Hyperion en comparación con las imágenes multiespectrales para el mapeo de las coberturas del suelo.

III.2 - Específicos

- √ Evaluar métodos de pre-procesamiento de las imágenes, como el cálculo de separabilidad de las clases y combinación de bandas.
- √ Comparar las clasificaciones del sensor hiperespectral y multiespectral.
- √ Evaluar la confiabilidad de la clasificación de las imágenes Hyperion y multiespectral.

IV - ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio es la región que abarca la escena Hyperion EO1H0290472003004110PZ, que está localizada en la parte sudoeste del Estado de Michoacán (figura 1). Esta área fue seleccionada de acuerdo a la disponibilidad de las imágenes, y al traslape entre las dos, Hyperion (figura 2) y ALI (figura 3) de la misma fecha y con cobertura mínima de nubes para hacer la comparación.

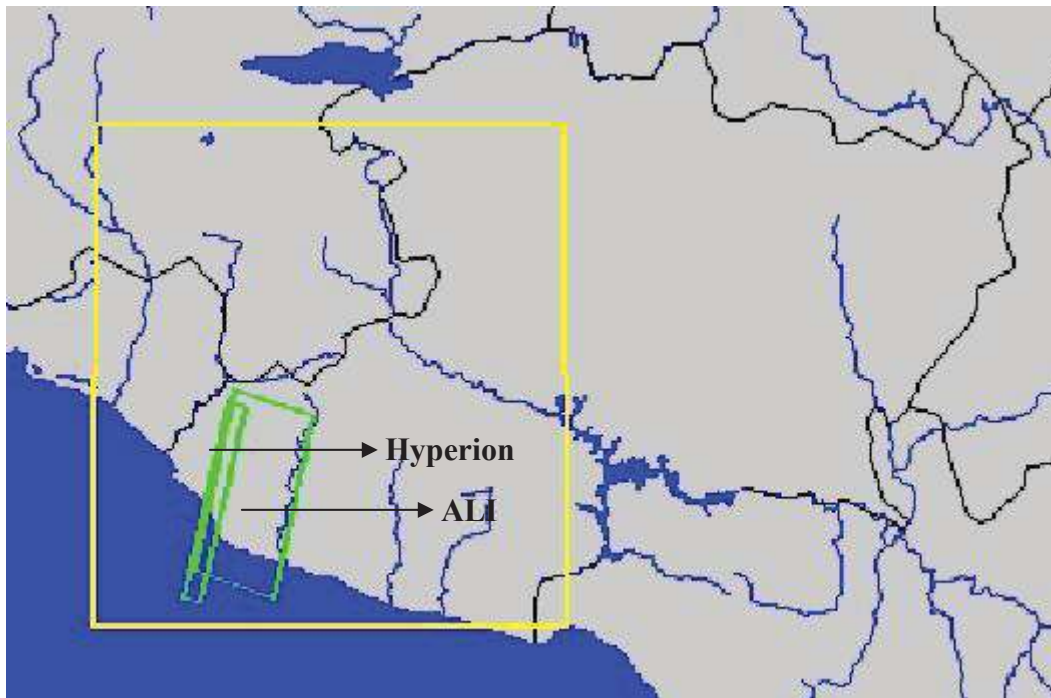


Fig. 1 - Localización de la región de estudio e identificación de las imágenes correspondientes al área. Los rectángulos en verde son las ubicaciones de las imágenes Hyperion y ALI usadas en el trabajo.



Fig. 2 - Imagen Hyperion 30/11/2003.

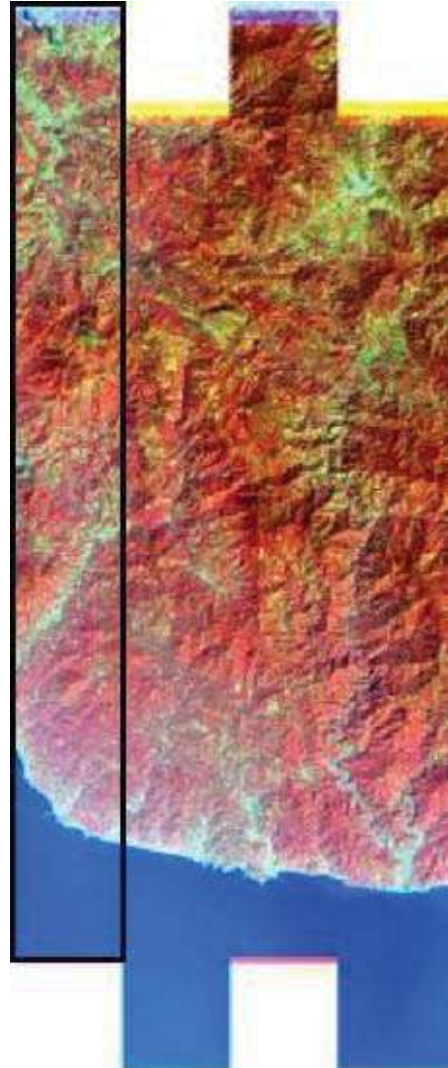


Fig. 3 - Imagen ALI 30/11/2003.

Los principales tipos de vegetación y uso del suelo que componen el área de estudio son la selva mediana, la selva baja, los pastizales, una pequeña porción de bosque de pino y áreas de regeneración avanzada. La parte superior del área, está compuesta principalmente por la selva mediana y pastizales, los manchones de selva mediana se caracterizan por estar en buen grado de conservación. Las regiones más perturbadas, se sitúan por las proximidades de la localidad de Ostula, donde los desmontes son muy acentuados. La región costera está compuesta principalmente por selva baja y parches de bosque de galería.

El área abarca parte de los municipios de Chinicuila, Aquila y una pequeña porción de Coalcomán de Vázquez Pallares. La cual se encuentra dentro de la Provincia Fisiográfica de la

Sierra Madre del Sur, que se caracteriza por elevaciones bastante labradas por los procesos geológicos y por el clima, donde las secuencias Vulcano-sedimentarias del Triásico al Cretácico y los cuerpos magmáticos del Terciario han configurado una sierra con fuertes controles estructurales de dirección NO-SE y eventuales NE-SO (Garduño-Monroy, 2005).

La región de estudio, comprende altitudes desde el nivel del mar, hasta cerca de los 2000m, lo que indica la gran diversidad de tipos de vegetación, a pesar de ser un área pequeña, como se muestra en la figura 4.

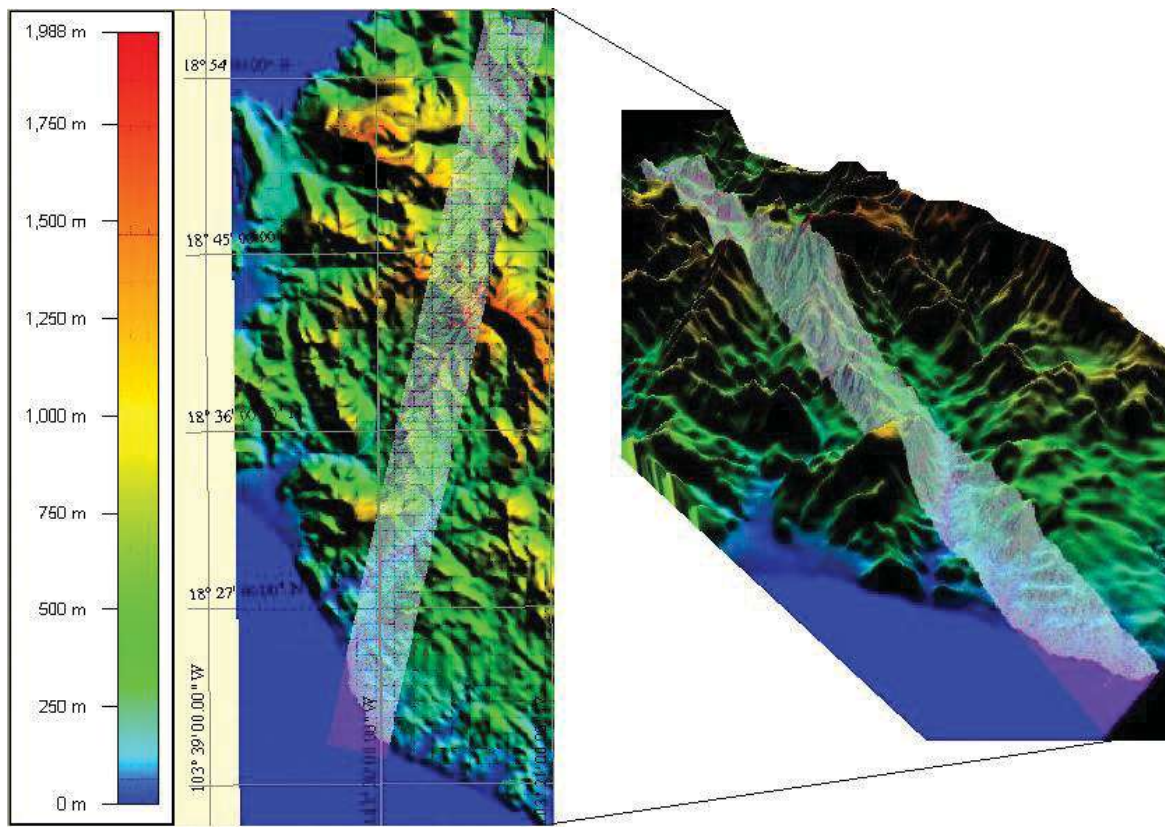


Fig. 4 – Rango altitudinal del área de estudio.

V - MATERIALES Y MÉTODOS

V.1 - Selección de las imágenes

Se utilizaron para el trabajo dos imágenes, una Hyperion y una Advanced Land Imagen (ALI), que es una imagen que proporciona bandas multiespectrales y pancromáticas del tipo Landsat. Las dos imágenes fueron clasificadas con la misma metodología, utilizando campos de entrenamiento obtenidos en campo, para al final, compararlas e identificar las diferencias en sus respuestas. Los dos sensores están a bordo del satélite Earth Observing-1 (EO-1) y las dos imágenes son tomadas de manera simultánea (Pu *et al.*, 2005).

Fueron seleccionadas dos imágenes de la misma fecha, 30/11/2003 una hiperespectral Hyperion y otra multiespectral ALI (Advanced Land Imager). Las dos con mínima cobertura de nubes para permitir un mejor manejo de las imágenes. La imagen ALI viene dividida en cuatro archivos, correspondiendo a cuatro imágenes Hyperion. Para este trabajo se utilizó la imagen del extremo izquierdo, correspondiente a la Hyperion seleccionada en el estudio, presentada en la figura 3.

V.1.1 – Advanced Land Imager - ALI

El Earth Observing-1 (EO-1) Advanced Land Imager (ALI) es un instrumento que utiliza la tecnología del Programa del Nuevo Milenio (NMP). Este instrumento cuenta con cuatro sensores (SCA) y cubre 3° por 1.625°. Operado en el llamado modo "pushbroom" en una órbita de 705 km, el ALI proporciona bandas multiespectrales y pancromáticas (<http://eo1.gsfc.nasa.gov/new/general/firsts/hyperion.html>).

Sus bandas fueron desarrolladas para imitar las seis bandas del Landsat, con tres bandas adicionales que cubren 0.433-0.453, 0.845-0.890 y 1.20-1.30 μm . El ALI también posee ángulo abierto óptico desarrollado para proveer un campo de visión continuo de 15° x 1.625°, para un plano focal completamente relleno, con resolución de 30 metros para imágenes multiespectrales y de 10 metros para imágenes pancromáticas, como se indica en la tabla 1.

Tabla 1 - Cobertura Espectral del EO-1 ALI comparado con Landsat.

ALI			Landsat ETM +	
Banda	Longitud de onda (μm)	Resolución Espacial (m)	Longitud de onda (μm)	Resolución Espacial (m)
Pan	0,48 – 0,69	10	0,52 – 0,90	15
MS-1'	0,433 – 0,453	30		
MS-1	0,45 – 0,515	30	0,45 – 0,52	30
MS-2	0,525 – 0,605	30	0,50 – 0,60	30
MS-3	0,63 – 0,69	30	0,63 – 0,69	30
MS-4	0,775 – 0,805	30	0,76– 0,90	30
MS-5	0,845 – 0,89	30	1,55 – 1,75	30
MS-6	1,2 – 1,3	30	10,4 – 12,5	60
MS-7	1,55 – 1,75	30	2,08 – 2,35	30
MS-8	2,08 – 2,35	30	0,50 – 0,90	15

Entre los principales beneficios de las tecnologías del ALI ofrecen una reducción de la complejidad y de los costos, que se pueden aplicar a futuros sistemas de sensores de la Tierra para el Programa de Ciencia de la Tierra. Un ALI completamente operacional posee el potencial de reducir en cuatro a cinco veces costos y tamaño de futuros instrumentos tipo Landsat.

V.1.2 – Imágenes Hyperion

El instrumento Hyperion proporciona una nueva clase inédita de datos de observación orbital de la Tierra, para una clasificación de la superficie muy superior a los datos convencionales. El Hyperion constituye un instrumento en el estado del arte respecto a resolución espectral, basado en la herencia del instrumento de Registro Hiperespectral LEWIS (HSI).

Los detectores del Hyperion brindan una resolución de propiedades de la superficie en centenas de bandas espectrales, en comparación a las siete bandas multispectrales de registro del Landsat. A través de este gran número de bandas espectrales, los ecosistemas terrestres complejos pueden ser registrados y clasificados con mejor precisión.

El Hyperion dispone de un registrador de alta resolución capaz de analizar 242 bandas espectrales (de 0.4 a 2.5 μm) con una resolución de 30 metros (Barry et al., 2002). El instrumento puede registrar un área del suelo de 7,5 km por 100 km a cada imagen y proporciona mapeo espectral a través de todos los 242 canales con alta precisión radiométrica.

Concebido originalmente como parte del instrumento ALI, el Hyperion ahora es un instrumento completo e independiente del EO-1. Los principales componentes de este instrumento poseen:

- Un sistema con diseño basado en la misión KOMPSAT EOC. El telescopio brinda dos espectrómetros con conversores reticulares de imágenes separados para mejorar la tasa de señal-ruido (SNR).
- Una serie de planos focales que brindan detectores de ondas cortas separadas (SWIR) y espectro visible (VNIR) basados en hardware sobresaliente del programa LEWIS HSI.
- Un sistema de refrigeración idéntico al fabricado para la misión LEWIS HSI para refrigeración del plano focal SWIR.

Después de su lanzamiento abordo del satélite EO-1 de la NASA, el registrador hiperespectral está transmitiendo imágenes de la superficie de la Tierra para estaciones terrestres dispersas por el mundo. Hyperion es el primer sensor hiperespectral de la NASA a estar operando en órbita.

Los datos del Hyperion están brindando más detalles de la superficie de la Tierra, de los que actualmente están disponibles a través de los instrumentos multiespectrales, como el instrumento Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) en el Landsat. La clasificación detallada de los ecosistemas complejos con el registrador hiperespectral proporciona mayor precisión para los datos de percepción remota.

Datos Hyperion son adquiridos del modo “pushbroom” con dos espectrómetros. Uno opera en la franja de VNIR (70 bandas entre 356 – 1058 nm con una media FWHM (mitad del ancho máximo) de 10.90 nm) y otro en la franja de SWIR (172 bandas entre 852 – 2577 nm, con una media FWHM de 10.14 nm).

Algunos de los beneficios derivados de estas imágenes pueden ser las aplicaciones en geología, que posibilitan identificar nuevos sitios para la explotación de minerales. Así como desarrollar inventarios forestales para regiones remotas, que conlleva a una mejor planeación y aprovechamiento forestal. También se puede aplicar en la agricultura, como en mejores

previsiones de buenas cosechas, en silvicultura, además de brindar una cartografía mas precisa.

V.1.3 – Ortofotos

Las ortofotos fueron adquiridas en el INEGI, correspondientes al año 1995. Son un total de 11 las cuales abarcan toda el área de estudio (figura 5):

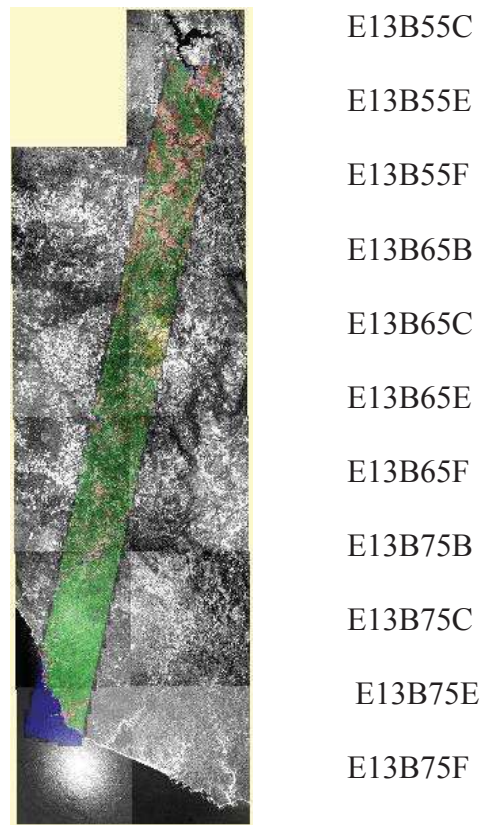


Fig. 5 – Mosaico de las ortofotos que cubren el área de estudio.

Las ortofotos están a una escala de 1:75000, con resolución espacial de 2 metros y procesadas a partir de la rectificación de fotografías aéreas, con auxilio de puntos de control geodésico y de un Modelo Digital de Elevación. Tienen proyección UTM, esferoide WGS84, datum WGS84, zona UTM 13 norte y unidad de elevación en metros. Fueron utilizadas en la

corrección geométrica de las imágenes y también para adquirir los puntos de verificación utilizados en las matrices de confusión.

V.1.4 – Google Earth

Utilizamos el paquete del internet Google Earth como ayuda para identificar y corroborar puntos dudosos ubicados en las ortofotos.. El paquete brinda una cobertura completa de toda superficie terrestre, con muy buena precisión. Algunos detalles que vale la pena resaltar del paquete, es que sus datos no son homogéneos, por lo cual utilizamos apenas como fuente de consulta. Está compuesto de un mosaico variado de imágenes de satélite del sensor Quick Bird, Landsat, ortofotos, fotografías aéreas, las cuales además no tienen las mismas fechas.

V.2 – Georeferenciación de las imágenes

La primera razón para la realización de la corrección geométrica de las imágenes es la existencia de distorsiones sistemáticas introducidas durante la obtención de las imágenes. Por lo tanto, la corrección geométrica trata, prioritariamente, de la remoción de los errores sistemáticos presentes en las imágenes.

Existen varias fuentes de distorsiones geométricas. Por ejemplo, uno de los efectos principales es causado por la rotación de la Tierra, o sea, por el movimiento relativo entre la Tierra y el satélite. En la medida en que el satélite se mueve hacia el sur, la Tierra gira de oeste a este, haciendo necesario compensar el posicionamiento de las barreduras, que deben ser movidas hacia el este. Por eso las imágenes corregidas presentan aquella forma de paralelogramo.

Otro efecto importante son las llamadas distorsiones panorámicas, originadas por la variación del IFOV (*instantaneous field of view*) dentro del campo de visada. Como el IFOV corresponde a un ángulo fijo, cubre dimensiones diferentes en el terreno en función de la inclinación. Esto hace con que la dimensión cubierta en el terreno en el nadir sea menor que aquella cubierta en los bordes de la imagen. Por eso se dice que la distorsión panorámica causa compresión de datos en las regiones distantes del nadir.

La curvatura de la Tierra genera un efecto análogo al anterior. En realidad, acentúa el efecto de la distorsión panorámica, produciendo una mayor compresión de datos en los bordes de la imagen. Por eso debe ser tratada como parte integrante de la distorsión panorámica. Otro tipo de distorsión que se corrige, es la causada por las grandes variaciones de altitudes que existen en la región de estudio.

Se suman a estos efectos aquellos originados por las variaciones de efemérides del satélite (posición y velocidad) y la del comportamiento de la plataforma (*roll*, *pitch*, *yaw*). Es importante tener en mente que no es siempre posible individualizar todos estos efectos. Una superposición entre barraduras sucesivas puede ser causada por una variación de velocidad del satélite, pero puede también ser explicada por una variación de *pitch* (giro alrededor de un eje perpendicular a la órbita del satélite) (D'Alge, 2001).

Las imágenes fueron georeferenciadas a través del software ERDAS IMAGINE 8.6, con el modo imagen x imagen, donde la imagen base, fue un mosaico de las ortofotos que abarcan la misma área que las imágenes Hyperion y ALI. Fueron seleccionados puntos de control, y la corrección fue hecha de acuerdo al sistema de proyección de las ortofotos, con proyección del tipo UTM, esferoide WGS84, datum WGS84, zona UTM 13 norte y unidad de elevación en metros.

Para el cálculo de la precisión se utiliza el error medio cuadrático, definido como:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(\phi_i - \phi_{iobs})^2}{N}}$$

Donde ϕ_i es el valor pronosticado para la celda i

ϕ_{iobs} es el valor observado para la celda i

N es el número de valores analizados

El error medio cuadrático proporciona la medida de las diferencias en promedio entre los valores pronosticados y los observados

(http://www.sli.unimelb.edu.au/gisweb/SDEModule/SDE_Theory_dig.htm#rms). Un valor bajo del RMSE, significa menos error en la señal reconstruida con respecto a la señal original (http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/meie/rosas_o_mc/capitulo_6.html#). El método polinomial para corregir todas estas distorsiones, fue el polinomio de 2º grado, que es lo más indicado para corregir estos tipos de distorsiones.

V.3 – Trabajo de campo

El trabajo de campo fue realizado en dos etapas, en el período del 5 al 8 y del 25 al 28 de noviembre del 2005. Durante estos recorridos fueron colectados puntos de control a través de GPS en regiones de interés, donde la vegetación se encontraba bien conservada. La ubicación e identificación de los tipos de vegetación se realizó con la ayuda del M.C. Javier Robles del Valle.

Se obtuvieron un total de 43 puntos correspondientes a los 4 principales tipos de vegetación de la región: *selva baja caducifolia*, *selva mediana*, *pastizal* y *bosque de pino*. Para la clase agua, los puntos se obtuvieron directamente de la imagen. Se encontraron algunos cultivos de maíz, pero no se pudo obtener puntos confiables, dado que estos sembradíos se encontraban mezclados con pastizal. Además, dado que hay una diferencia temporal entre la imagen y la toma de datos de campo, no se sabe el estado de estos cultivos en el año de adquisición de la imagen. Por lo mismo agrupamos todos estos puntos en la clase pastizal.

Incluido en los tipos de vegetación registrados en el área de estudio, se observó un pequeño parche de bosque de encino. Sin embargo, solo se logró registrar un punto en campo, dado el acentuado relieve de la zona, además de la ausencia de caminos o brechas que pudieran acceder hasta estos sitios. Por esta razón, no se pudo tener datos confiables para elaborar campos de entrenamiento.

Para hacer los recorridos, primero se buscaron las autoridades locales (encargados del orden, jefes de tenencia, comisariados ejidales, etc), con la finalidad de conseguir permisos para ingresar en sus territorios. Al mismo tiempo se contó con el apoyo de guías locales, que

fueron de gran importancia por el conocimiento del área, logrando así acceder a puntos específicos, además de garantizar mayor seguridad. Para cada punto se obtuvo un registro fotográfico, lo que permitió en gabinete, una identificación más precisa de los campos de entrenamiento. También se apoyó en un modelo digital de elevación, para cotejar las altitudes, pendientes, cañadas, etc.

Para registrar los puntos, se hicieron recorridos en camioneta, a través de caminos indicados por los guías locales. Estos fueron elegidos a partir de la vegetación, cuando el experto en botánica los identificaba como pura (manchones de vegetación bien conservados y sin mezclas). Se ingresaba unos metros adentro y se registraba sus coordenadas UTM y la altitud sobre el nivel del mar, dados por el GPS.

V. 4 – Corrección Atmosférica

La naturaleza de la Percepción Remota requiere que la radiación solar pase a través de la atmósfera antes de ser colectada por el instrumento. Por eso, las imágenes de percepción remota incluyen información de la atmósfera, así como información sobre la superficie. Ya que se busca realizar el análisis cuantitativo de la reflectancia de la superficie, se utiliza un pre-procesamiento para remover la influencia de la atmósfera. Para este proceso, se utilizó el módulo Flaash (*Fast Line-of-Sight Atmospheric Analysis of Hyperspectral cubes*), disponible en el software de procesamiento digital de imágenes ENVI 4.2. Para compensar los efectos atmosféricos, es necesario conocer propiedades tales como la cantidad de vapor de agua, la distribución de aerosoles y la visibilidad de la escena. Estas propiedades son usadas para construir modelos altamente precisos de transferencia de radiación atmosférica, para producir una estimación verdadera de la reflectancia de la superficie. Además, este tipo de correcciones atmosféricas, pueden ser aplicadas sobre una base píxel-a-píxel, debido a que cada píxel en la imagen hiperespectral contiene una medida independiente de las bandas de absorción atmosférica del vapor de agua. Para las imágenes hiperespectrales, el algoritmo necesita de la información de las longitudes de onda de cada banda, así como de la mitad del ancho máximo de la banda. Se puede estimar la columna de vapor de agua, para cada píxel, con base en el análisis de algunas bandas específicas de la absorción por el vapor de agua. En el caso de las

multiespectrales, se necesita solamente la información de la longitud de onda media de cada banda. La calibración de la radiancia se expresa en las unidades $\frac{\mu W}{cm^2 \cdot nm \cdot sr}$, por lo que es necesario aplicar un factor de escala para ajustar el número digital en unidad de radiancia (RSI, 2005).

$$L = \frac{\text{Número digital}}{\text{Factor de escala}}$$

Para las imágenes hiperespectrales el factor de escala es de 400 para las bandas del VNIR (de 1 a 70) y de 800 SWIR (de 71 a 242), y para las multiespectrales el factor es de 300 para todas las bandas.

$$\text{VNIR } L = \frac{\text{Número digital}}{400}$$

$$\text{SWIR } L = \frac{\text{Número digital}}{800}$$

Los parámetros utilizados para el procesamiento, también incluyen información tal como: tipo del sensor, hora y fecha, coordenadas del centro de la escena altura del sensor, tamaño del píxel, grado de elevación, modelo atmosférico, modelo de aerosoles, etc. (figura 6).

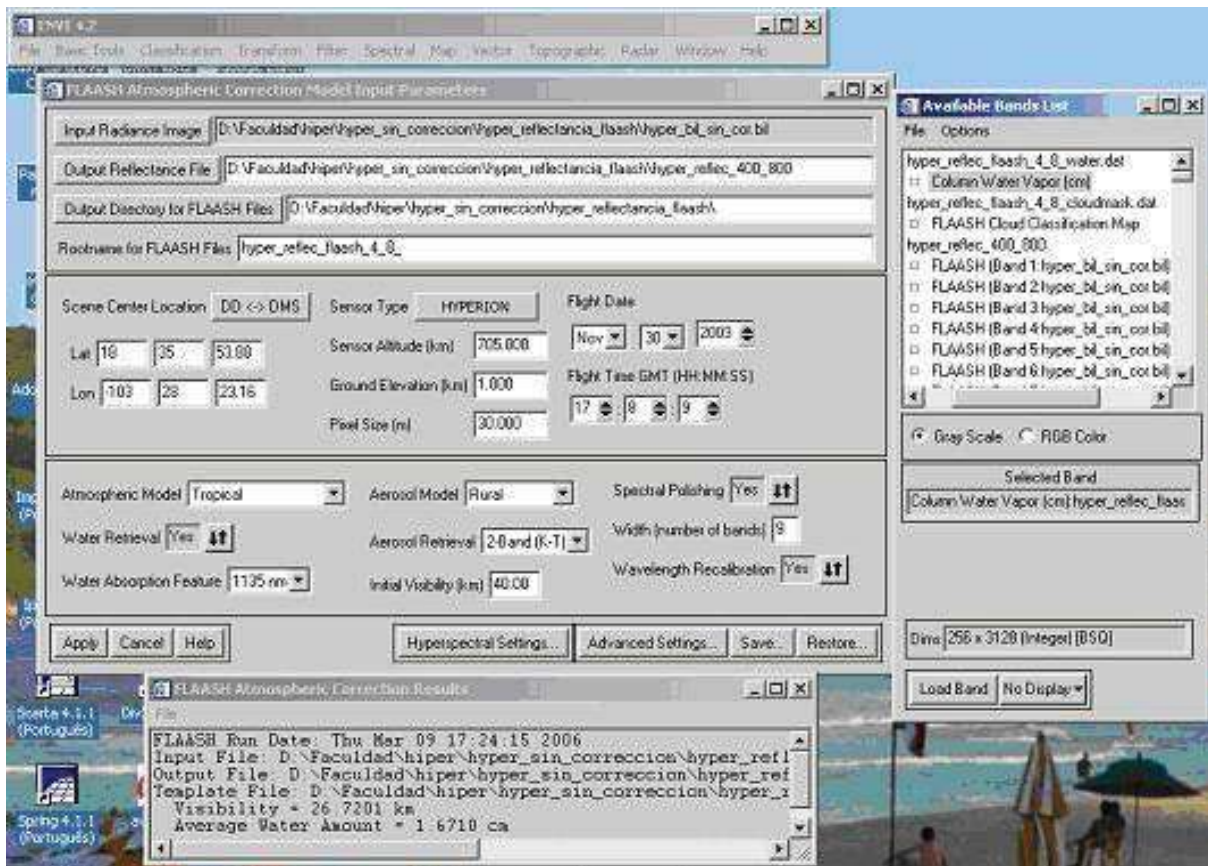


Fig. 6 – Parámetros de entrada para la corrección atmosférica.

V.5 – Estudio de separabilidad de las clases

El estudio de separabilidad de las clases, fue utilizado para resolver el problema de solapamiento entre clases y para determinar las combinaciones de bandas que separan mejor las clases de interés. La probabilidad de error está íntimamente relacionada con el área de la región de solapamiento entre clases. Así, podemos decir, que a mayor solapamiento entre los agrupamientos, mayor será la probabilidad de error.

Usualmente, las medidas de separabilidad suponen un *modelo paramétrico* para las clases, y habitualmente se suponen distribuciones normales. Con esta suposición básica, se considera los diversos factores que intervienen en el tamaño del área de solapamiento. Para ejemplificar, en la figura 7 muestra tres parejas de funciones de densidad de probabilidad normales con distintos grados de solapamiento. En los tres casos las probabilidades a priori

son iguales, por lo que la frontera de decisión está situada en el punto donde se cruzan las dos curvas.

Comparando las figuras 7.A y 7.B se observa que si las varianzas se mantienen constantes, el área de solapamiento decrece conforme aumenta la distancia entre las medias. Por otro lado, la comparación de 7. B y 7 .C demuestra que si la distancia entre medias permanece constante, el área de solapamiento se incrementa conforme lo hace la varianza (Bon, 2001).

Una medida que resume estos efectos es la *distancia normalizada entre medias*, definida como el cociente entre el valor absoluto de la diferencia entre las medias y la suma de las desviaciones típicas:

$$d_{norm} = \frac{|\mu_1 - \mu_2|}{\sigma_1 + \sigma_2}$$

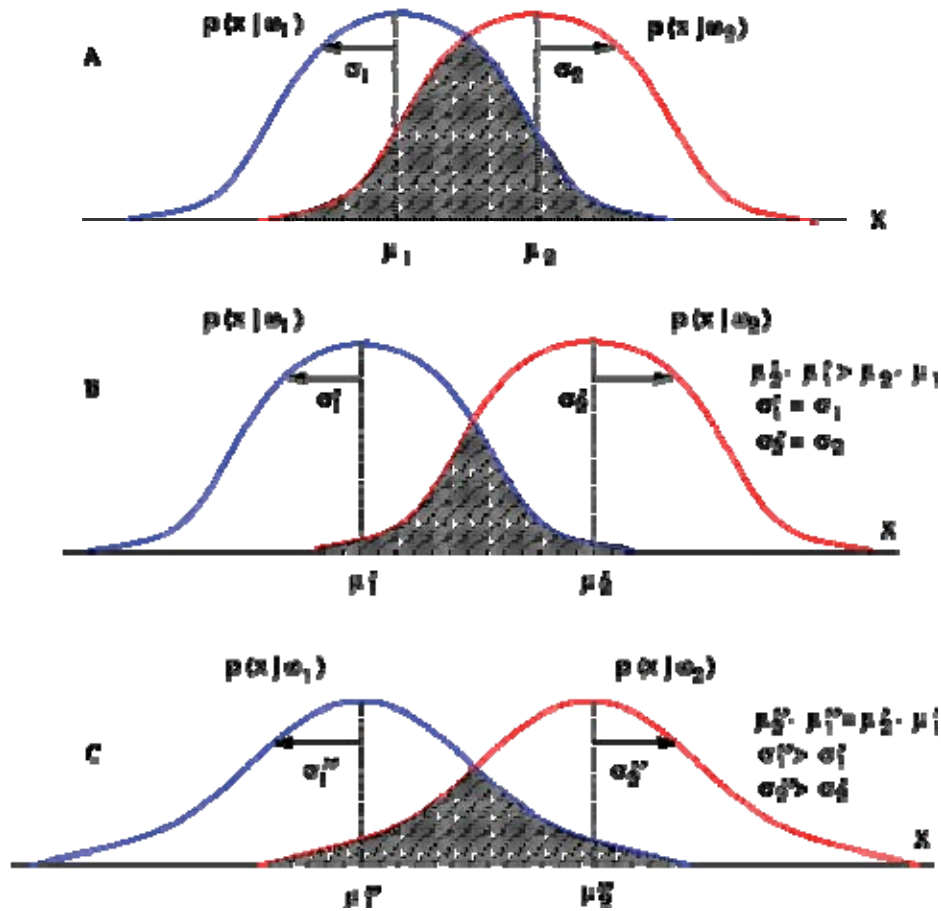


Fig. 7 - Diferentes grados de solapamiento entre dos funciones de densidad de probabilidades normales (Tomado de Bon 2001).

El estudio de la separabilidad fue realizado utilizando el Software MultiSpec, que está diseñado para el análisis de datos multispectrales, hiperespectrales y otros sistemas que contienen numerosas bandas.

El algoritmo del MultiSpec utilizado fue el *Feature Selection Processor* (figura 8), que selecciona el mejor conjunto de canales o bandas a ser usado para un conjunto de entrenamiento dado (Landgrebe y Biehl, 2001). Determina el grado relativo de separabilidad y calcula la distancia estadística entre todos los pares de clases para cada uno de los conjuntos de combinaciones de bandas escogidas.

El paso clave en el proceso de análisis de datos multispectrales es la determinación de un conjunto óptimo de bandas espectrales para usar en el análisis de un determinado conjunto de datos. La elección adecuada es dependiente de muchos factores, algunos basados en los conjuntos de datos, algunos en la información deseada.

Adicional a esto, cuando existe un gran número de bandas espectrales disponibles, como es el caso de las imágenes hiperespectrales, normalmente no se tiene un gran número de muestras de entrenamiento. Y, para un tamaño finito de muestras de un conjunto de entrenamiento, la precisión por la cual la distribución de las clases puede ser estimada, declina cuando el número de bandas aumenta. Así, se debe no solamente determinar que bandas usar, como también cuantas.

En el caso que se conozca razonablemente bien cuantas bandas serían usadas, entonces, el procesador *Feature Selection* puede ser útil para encontrar el mejor conjunto a usar. Sin embargo, este procesador ayuda a determinar el número correcto a usar, pero más considerablemente, el mejor conjunto de características para que se pueda hacer algunas combinaciones lineales de bandas.

Un estudio de características espaciales de alta dimensionalidad muestra que (a) el volumen en las características espaciales aumenta muy rápidamente con la creciente dimensionalidad, (b) como un resultado, alta dimensionalidad de características espaciales son principalmente vacías, y así, (c) la distribución estructural de la clase de interés está normalmente en un sub-espacio cuya orientación y localización son muy dependientes.

El *Feature Selection* es uno de los más importantes pasos en el reconocimiento y clasificación de imágenes de percepción remota. Es imposible clasificar una imagen precisamente y efectivamente sin seleccionar características racionales y eficientes. Esto es especialmente importante para datos de percepción remota hiperespectral. La abundancia en la información espectral y el poder en distinguir objetos son las ventajas del dato hiperespectral.

Pero, esto no significa que entre mas bandas estén usadas, mejor sea el desempeño del clasificador debido a los puntos siguientes:

- 1) Si todas las bandas son usadas en la clasificación sin selección, la precisión de clasificación disminuiría en lugar de aumentar.
- 2) Cuanto mas bandas son seleccionadas, mas muestras de entrenamiento son necesarias para clasificar correctamente. En el caso de datos hiperespectrales, es muy difícil encontrar un tamaño suficiente de muestras de entrenamiento correcto, que pueda satisfacer la exigencia del clasificador si muchas bandas son escogidas en la clasificación.
- 3) El aumento del número de bandas en la clasificación inevitablemente resultará en un incremento del tiempo de procesamiento y del costo.

Por lo tanto, es necesario seleccionar bandas antes de la clasificación. Las bandas óptimas son aquellas que pueden ser usadas para distinguir objetos fácil y correctamente. Por ejemplo, tres factores pueden ser considerados - la información de cantidad de bandas, la correlación entre bandas y las características espectrales, (ej, especialidad de absorción) de objetos clasificados en el área de estudio.

En el presente estudio, el índice de separabilidad utilizado fue la divergencia transformada (Transformed Divergente), que indica alta probabilidad de clasificación correcta (figura 9). El valor máximo de separabilidad es de 2000 (tabla 2). Los resultados de los cálculos son listados en una tabla, donde para facilitar la identificación de las mejores combinaciones, activamos la función que lista apenas las 20 primeras mejores combinaciones, para cada conjunto de combinaciones.

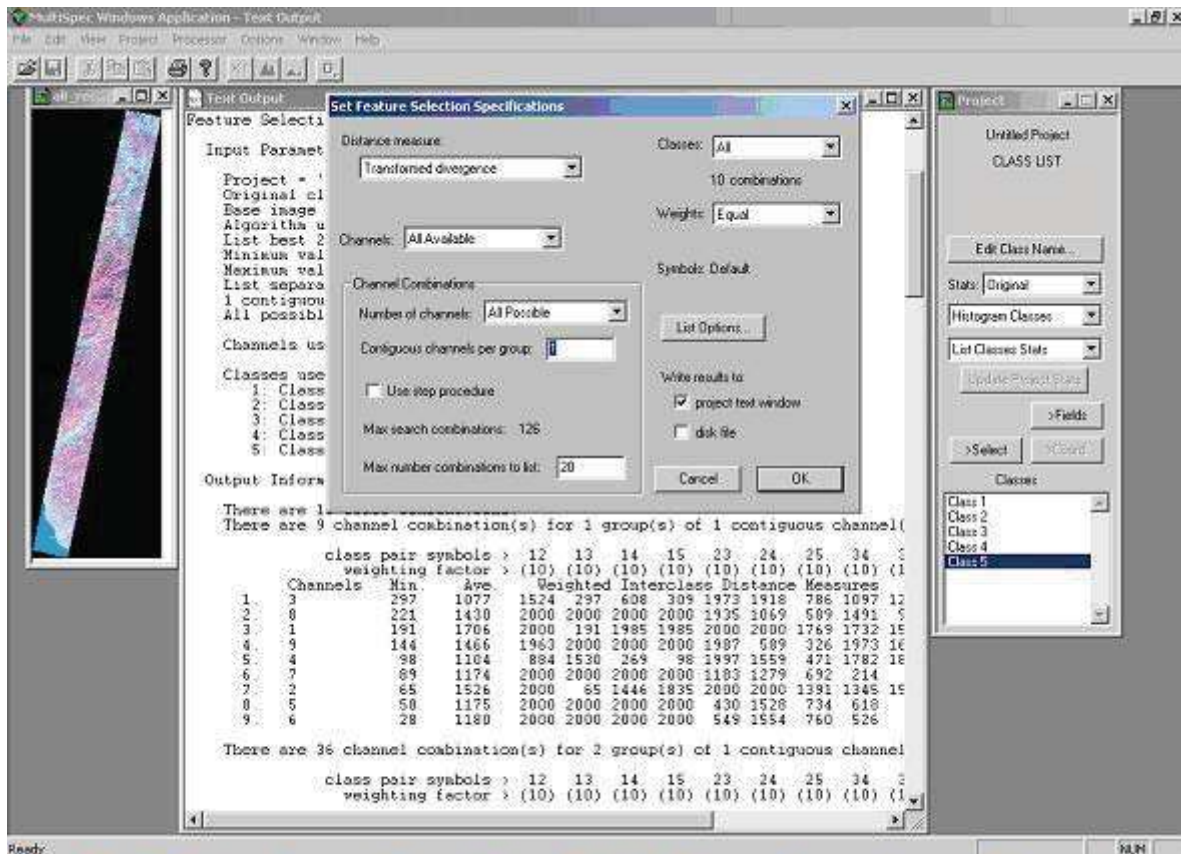


Fig. 8 - Feature Selection Processor.

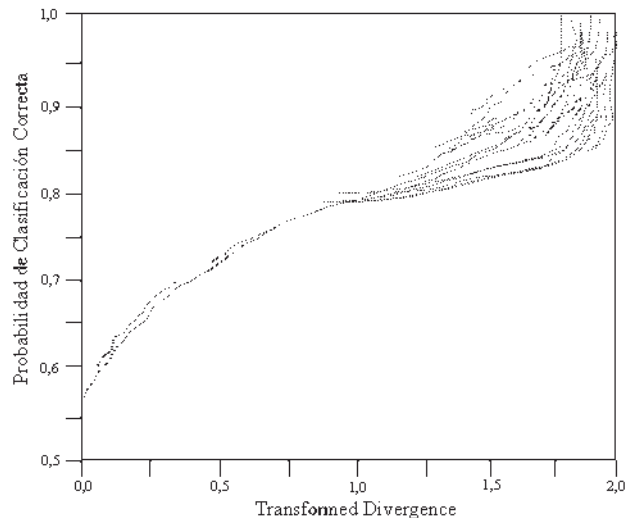


Fig. 9 – Probabilidad de correcta clasificación por la Transformada de Divergencia.

La Divergencia Transformada es definida de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$TD_{(i,j)} = 2 * \left[1 - \exp\left(\frac{-D_{(i,j)}}{8}\right) \right]$$

donde

$TD_{(i,j)}$ = Divergencia Transformada entre clases i y j

$D_{(i,j)}$ = divergencia entre clases i y j

$$D_{(i,j)} = 0.5 * T [M(i)-M(j)] * [InvS(i)+InvS(j)] * [M(i)-M(j)] \\ + 0.5 * Trace[InvS(i)*S(j) + InvS(j)*S(i) - 2*I]$$

donde

$M(i)$ = vector medio de la clase i, donde el vector tiene N elementos de canales (N canales es el numero de canales usados)

$S(i)$ = matriz de covariancia para la clase i, la cual tiene N canales por N elementos de canales

$InvS(i)$ = matriz inversa de $S(i)$

$Trace[]$ = trazado de la matriz (suma de los elementos de la diagonal)

$T[]$ = matriz transpuesta

I = identificador de la matriz

Tabla 2 – Valor máximo de separabilidad.

VALOR	SEPARABILIDAD ENTRE CLASES
2000	excelente
>1900	buena
<1700	mala

(Tomado de Landgrebe 2001)

Los datos fueron generados simultáneamente para la imagen multiespectral y la imagen hiperespectral, utilizando los mismos criterios para la obtención de los resultados. Estos datos fueron generados a partir del número de clases identificadas para el área de estudio, a través de los campos de entrenamiento y el número de bandas de cada imagen. El programa utiliza esta información para hacer combinaciones de bandas, empezando desde una hasta el total de bandas indicadas, mostrando cuales bandas son mejores para separar las clases.

Para disminuir el tiempo computacional necesario para el cálculo de la separabilidad de todas las combinaciones, dado que para las 242 bandas existen millones de combinaciones, utilizamos un procedimiento alternativo que permite encontrar las mejores combinaciones para casos en los que se cuenta con un número grande bandas por procesar. Este procedimiento se lleva a cabo por paso, consiste en buscar primero un único grupo de m ($m \geq 1$) canales contiguos. Usando este mejor grupo único, encuentra el segundo mejor grupo, después el tercer, etc, hasta al número de canales especificados por el usuario (Landgrebe y Biehl, 2001).

V. 6 – Clasificación

La clasificación es el proceso de extraer información de las imágenes para reconocer patrones y objetos homogéneos y se utiliza en Percepción Remota para la generación de mapas temáticos de porciones de la superficie terrestre que corresponden a los objetos de interés.

La información espectral de una escena puede ser representada por una imagen, en la cual cada píxel tiene coordenadas espaciales (x, y) y un espectro L , que representa la radiancia del objeto en todas las bandas espectrales. Así para una imagen de N bandas, existen K niveles de gris asociados a cada píxel, para cada banda. El conjunto de características espectrales de un píxel constituye su firma espectral.

Los métodos de clasificación digital se dividen básicamente en dos categorías: la clasificación supervisada y la no-supervisada. En esta segunda el clasificador no cuenta con ningún conocimiento previo sobre los atributos de las clases pertenecientes a la escena, mientras en la clasificación supervisada, el clasificador orienta su búsqueda de clases a partir

del conocimiento previo del área de estudio y mediante muestras denominadas campos de entrenamiento, hechas anteriormente con las clases de interés de la escena (ENVI, 2000).

En este trabajo, se utilizó la clasificación supervisada *Spectral Angle Mapper* (SAM) del software ENVI 4.2. El SAM es un clasificador espectral que usa el ángulo n-dimensional para comparar píxeles para una determinada clase (figura 10). El algoritmo determina la similitud espectral entre dos espectros y calcula el ángulo entre ellos (figura 11). Los ángulos son tratados como vectores en el espacio n-dimensional.

Esta técnica posee la gran ventaja de que los espectros ("endmembers") no son muy sensibles a los efectos de la iluminación y del albedo. Archivos en formato ASCII, curvas espectrales de la biblioteca espectral y, también, regiones de interés pueden ser usados como entrada de la clasificación. Ángulos menores representan relaciones más próximas al espectro de referencia. Píxeles fuera del ángulo máximo definido no son clasificados.

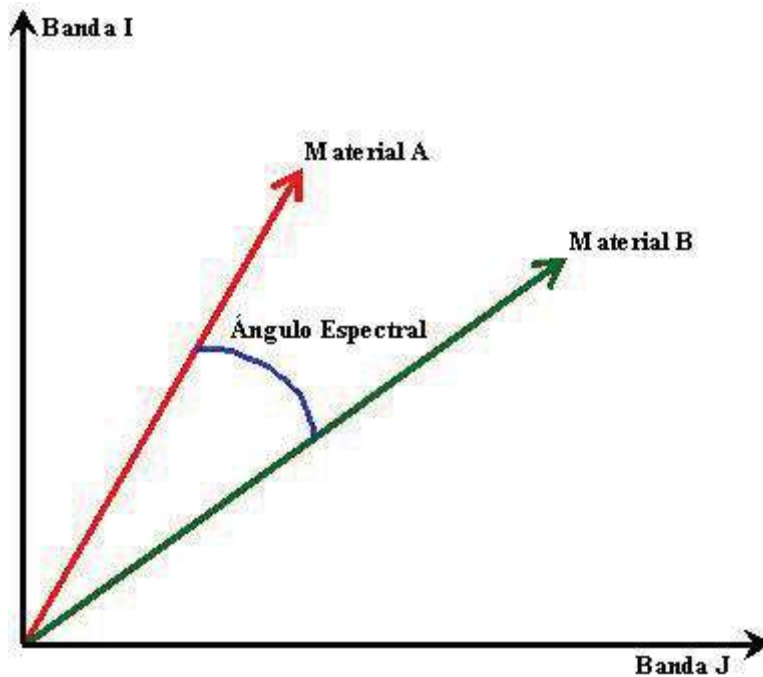


Fig. 10 – Definición del ángulo espectral del SAM.

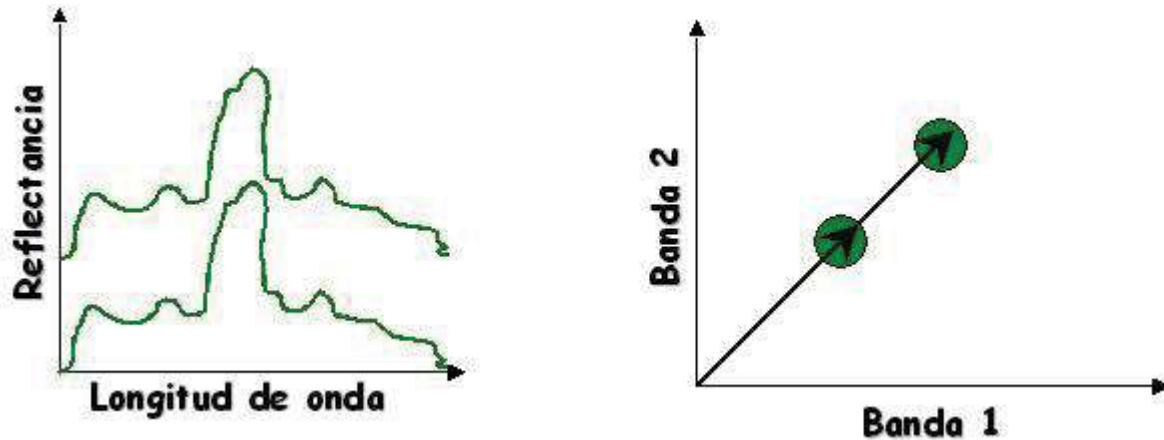


Fig. 11 – Similitud espectral entre dos espectros.

El ángulo máximo utilizado para la clasificación SAM fue de 1 radian. Los campos de entrenamientos (polígonos) fueron convertidos en regiones de interés (ROIs), para que el algoritmo utilizara la respuesta espectral de cada uno de ellos para clasificar la imagen. La utilidad de convertir cada polígono en una región de interés diferente, y no todos juntos como una única región de interés, es que dentro de una misma clase, existen respuestas espectrales diferentes. Esto debido a las características de la región de estudio, por ejemplo las variadas altitudes. Para asimilar los polígonos de la misma clase, fue creado un archivo de identificadores, que se utiliza para combinar estos polígonos en la pós-clasificación.

V.7 – Evaluación de la fiabilidad de las clasificaciones

V.7.1 - Selección de sitios de verificación

Para esta etapa, se seleccionaron de manera aleatoria, mediante un muestreo estratificado, un conjunto de puntos, utilizando el software ENVI 4.2. La estratificación se realiza dividiendo a la población en estratos, con base en una variable auxiliar (altitud, región ecológica, división administrativa, facilidad de acceso, clase en el mapa, entre otros), lo que permite tener cierto control sobre la distribución de los sitios de muestreo y obtener información sobre subconjuntos de la población (Mas *et al.*, 2003). Para este trabajo utilizamos como estrato las clases identificadas en el mapa para tener una cantidad homogénea de puntos para cada clase (figura 12).

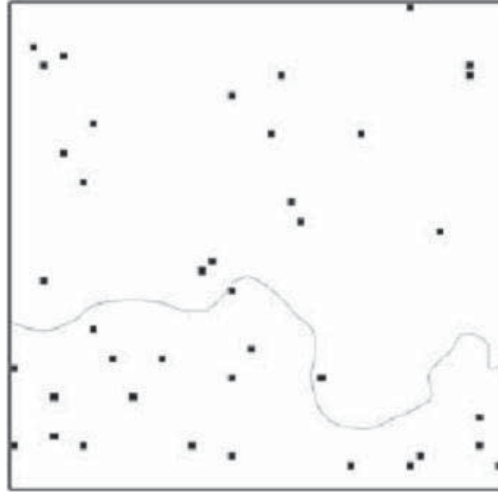


Fig. 12 – Sitios aleatorios estratificados (Tomado de Mas 2003).

V.7.2 - Verificación de los sitios

La verificación fue hecha por fotointerpretación utilizando como referencia las ortofotos digitales, el modelo digital de elevación y conocimiento experto. Los puntos verificados a través de las ortofotos, fueron catalogados como 1ª opción. También se corroboraron puntos utilizando Google Earth, dado que coincidentemente para la zona, contaba con imágenes en color de alta resolución, con la finalidad de intentar resolver problemas de confusión de clases y puntos que estuvieran en los bordes de los diferentes tipos de vegetación. Estos puntos verificados a través del Google Herat fueron catalogados como 2ª opción. Las imágenes de Google son mas recientes y tienen una fecha mas cercana a las de las imágenes ALI y Hyperion que las ortofotos.

V.7.3 - Matriz de confusión

Las matrices de confusión fueron generadas para calcular la fiabilidad global y la fiabilidad por categoría. Permite confrontar la información de los sitios de verificación con aquella de la base cartográfica que se pretende evaluar. Fueron realizadas utilizando el Software ERDAS IMAGE 8.6.

Como se utilizó el muestreo aleatorio estratificado, el número de sitios por categoría no es proporcional a la superficie cubierta por cada categoría y por lo tanto los índices de fiabilidad no pueden calcularse directamente de la matriz; por lo que se tienen que hacer correcciones con base a las probabilidades de inclusión del muestreo (Card, 1982).

Card (1982) sugiere un ajuste a la matriz de confusión, en caso que se esté utilizando un muestreo estratificado y si el número de sitios de verificación no es proporcional a la superficie de cada categoría, por lo cual en la matriz algunas categorías son sub-representadas y otras sobre-representadas.

Suponiendo que un mapa tiene tres categorías A, B y C las cuales ocupan respectivamente 70, 20 y 10% de la superficie total (Vargas, 2006). Aplicando un muestreo aleatorio estratificado, se puede escoger el número de sitios de muestreo para cada categoría (por ejemplo 10 sitios para cada categoría, tabla 3):

Tabla 3 – Numero de sitios de muestreo para cada categoría.

Referencia	A	B	C
A	5	1	2
B	4	8	0
C	1	1	8
Total	10	10	10

(Tomado de Vargas 2006)

Sin embargo, se da el mismo peso a las tres categorías sin importar la superficie de cada una. El método de Card propone elaborar una nueva matriz que restablezca un peso proporcional a la superficie de cada categoría. Suponemos una matriz con j columnas, i líneas, n_{ij} es el número de cada celda, n_{+j} es la suma de las celdas de la columna j (es decir el número de puntos de la categoría j en el mapa) y π_j es la proporción en el mapa de la categoría j (tabla 4). Card calcula cada elemento p_{ij} de la matriz corregida, empleando: $p_{ij} = \pi_j n_{ij} / n_{+j}$.

Tabla 4 – Matriz original.

Clases de Referencia	A	B	C	Total
A	5	1	2	8
B	4	8	0	12
C	1	1	8	10
Total (n_{+j})	10	10	10	
Proporción del mapa π_j	0.7	0.2	0.1	

(Tomado de Vargas 2006)

El valor corregido de la primera celda es: $0.7 \times 5 / 10 = 0.35$ (tabla 5).

Tabla 5 – Matriz corregida según el método de Card.

Clases de Referencia	A	B	C	Total (n_{+j})
A	0.35	0.02	0.02	0.39
B	0.28	0.16	0.00	0.44
C	0.07	0.02	0.08	0.17
Total (n_{+j})	0.7	0.2	0.1	
Proporción del mapa π_j	0.7	0.2	0.1	

(Tomado de Vargas 2006)

En la matriz corregida, la suma de las celdas de cada columna es igual a la proporción de cada categoría en el mapa. Con base en esta nueva matriz se calcula la fiabilidad global del mapa de cambio así como la fiabilidad del usuario.

En la matriz de confusión se evaluó, para cada categoría, los errores de *comisión* y *omisión*; el primero se refiere a un punto, que en el mapa, pertenece a una clase “X” cuando en realidad no es así, mientras que los errores de omisión se refieren a los que se clasifican a otra

categoría cuando en la realidad son miembros de la clase “X” (Vargas, 2006). Estos tipos de errores están ligados con la fiabilidad del productor y del usuario.

V.7.4 - Comparación de la fiabilidad de los datos hiperespectrales y multispectrales

Se utilizó la metodología propuesta por Foody (2004), que permite evaluar la significancia estadística de diferencias en la fiabilidad de dos clasificaciones estimada con base en los mismos datos de verificación. El método consiste en evaluar si existe una diferencia significativa entre dos proporciones con base en la prueba de McNemar (Mas, 2005). Es una prueba no paramétrica basada en una matriz de confusión de dos por dos que expresa las relaciones entre las confusiones de las dos clasificaciones en comparación (tabla 6).

Tabla 6 - Elementos de la matriz utilizada en la prueba de McNemar.

	Clasificación 2	
Clasificación 1	Correcto	Incorrecto
Correcto	f_{11}	f_{12}
Incorrecto	f_{21}	f_{22}

(Tomado de Mas 2005)

El índice de la prueba se calcula como indicado a continuación y expresa la diferencia en los errores cometidos en las dos clasificaciones. Esta variable sigue una distribución de chi cuadrado con un grado de libertad de uno y se compara con una tabla de los valores críticos de chi cuadrado para determinar si esta diferencia (en este caso la diferencia de fiabilidad) es estadísticamente significativa.

$$Z^2 = \frac{(f_{12} - f_{21})^2}{f_{12} + f_{21}}$$

El estadístico Z^2 mide la diferencia de la fiabilidad de las dos imágenes clasificadas en comparación. La prueba de Z^2 es así una prueba no dirigida (prueba de planteamiento bilateral), que nos indica si existe o no una diferencia significativa entre las fiabilidades alcanzadas por las dos clasificaciones pero no en qué sentido se produce tal diferencia (<http://www.fisterra.com/mbe/investiga/chi/chi.asp#ji>).

VI - RESULTADOS

VI.1 – Corrección Geométrica

Se utilizaron 22 puntos para la corrección de cada una de las imágenes. Se llevó a cabo una corrección polinomial de segundo grado obteniendo un error medio cuadrático (RMSE) final menor que medio píxel para todas las imágenes (figura 13).

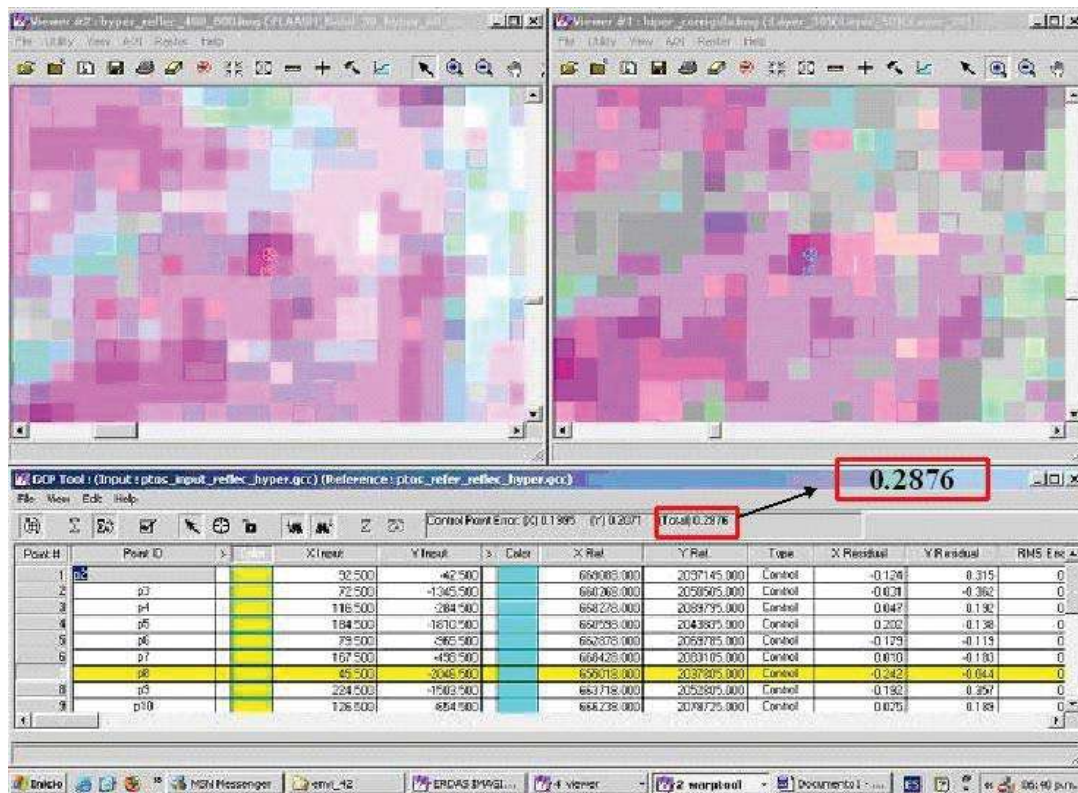


Fig. 13 – Georreferenciación de las imágenes.

VI.2 – Campos de entrenamiento

Las figuras 14, 15, 16 y 17 a continuación, muestran los campos de entrenamiento adquiridos a partir de los puntos de control obtenidos en campo y sus respectivas fotos, juntamente con el modelo digital de elevación.

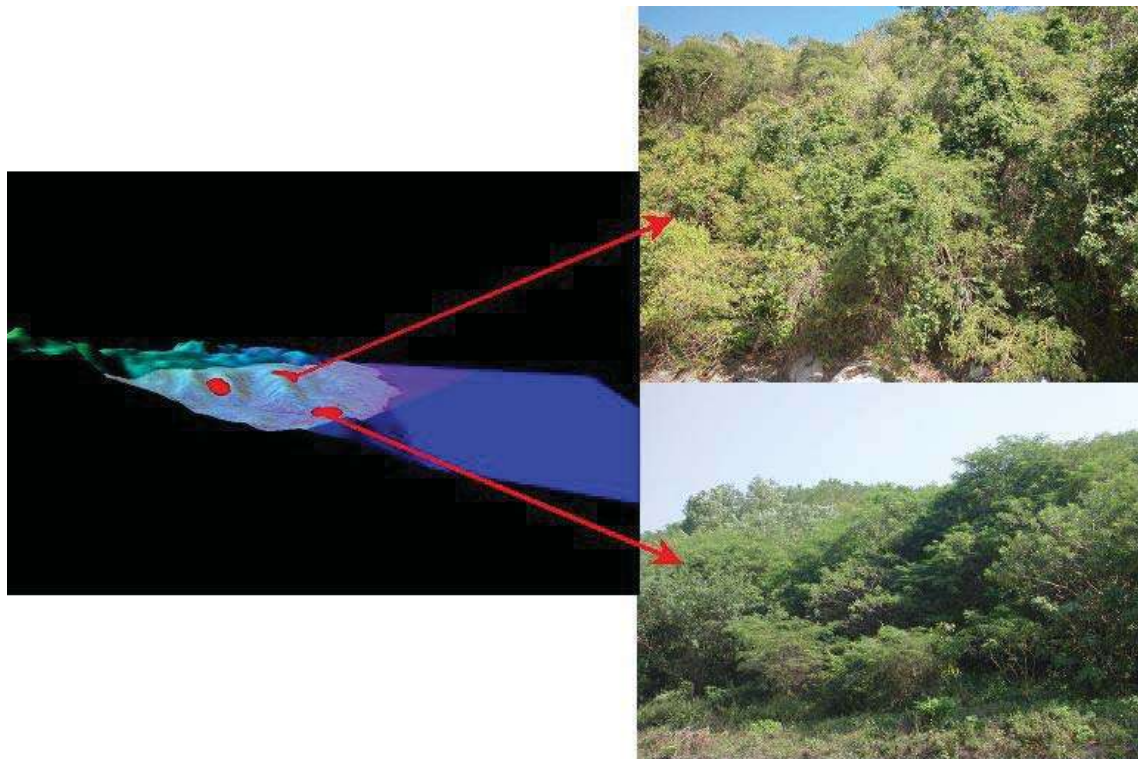


Fig. 14 – Campos de entrenamiento de la vegetación selva baja.

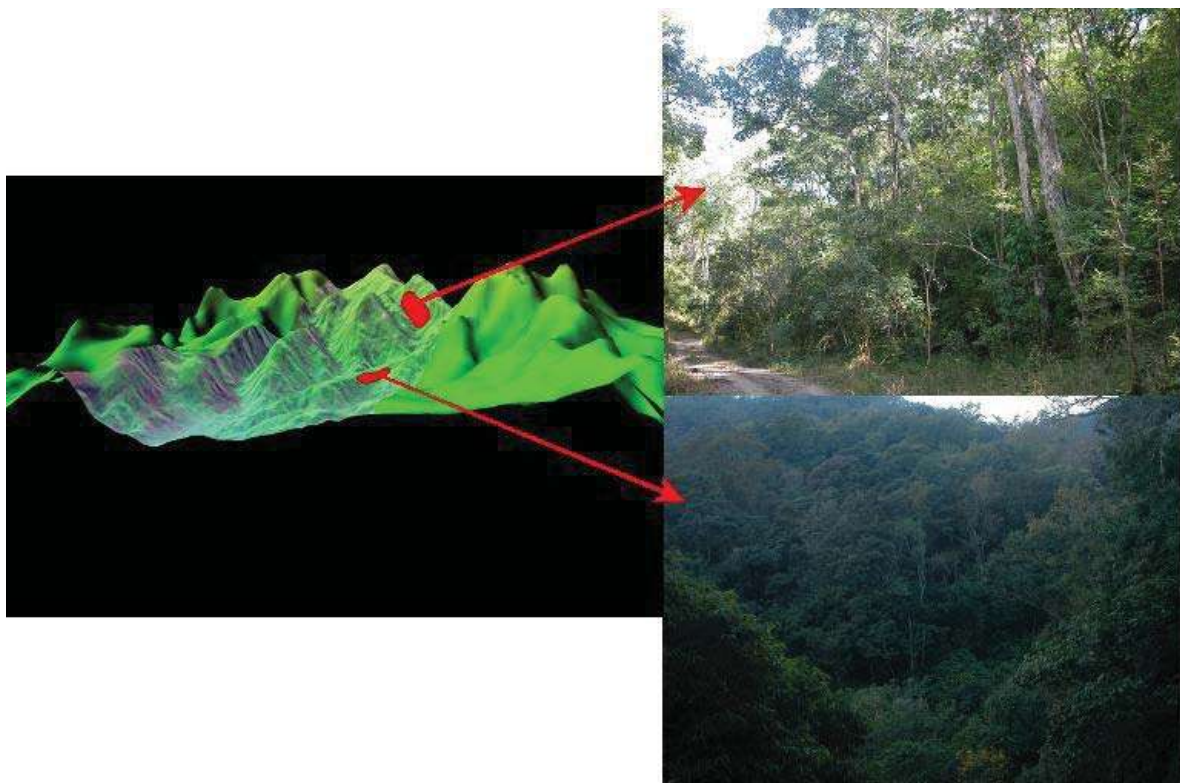


Fig. 15 – Campos de entrenamiento de la vegetación selva mediana.

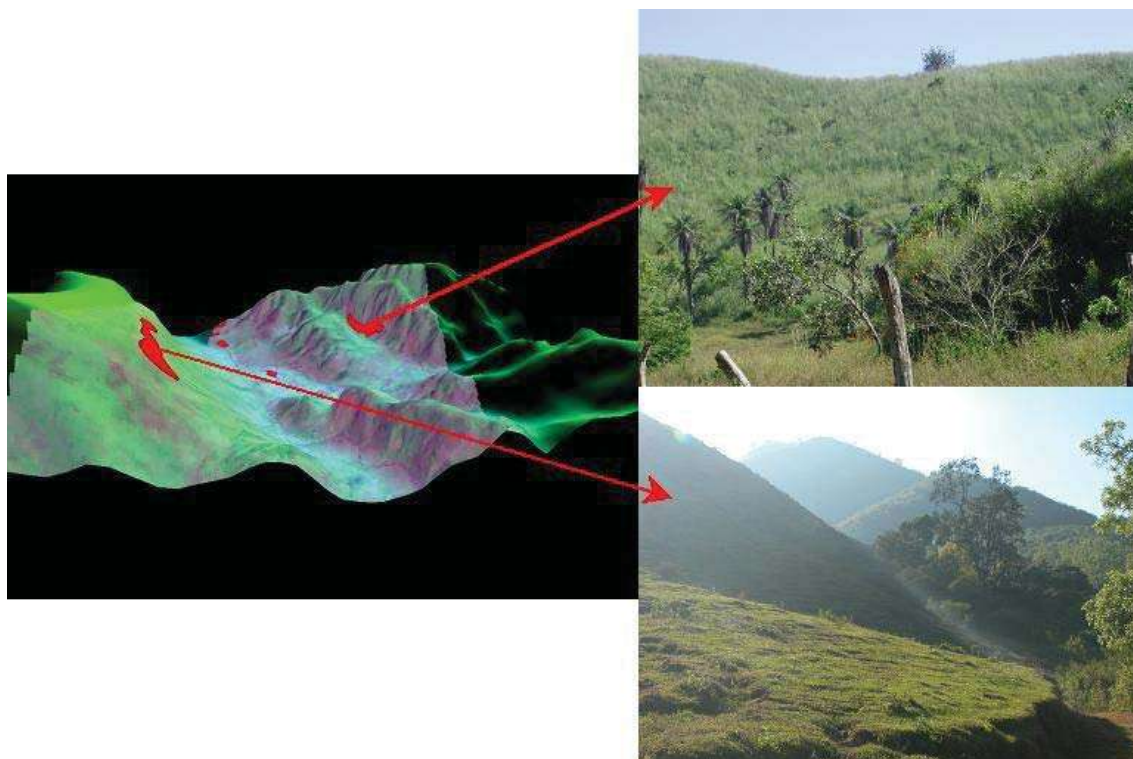


Fig. 16 – Campos de entrenamiento del pastizal.

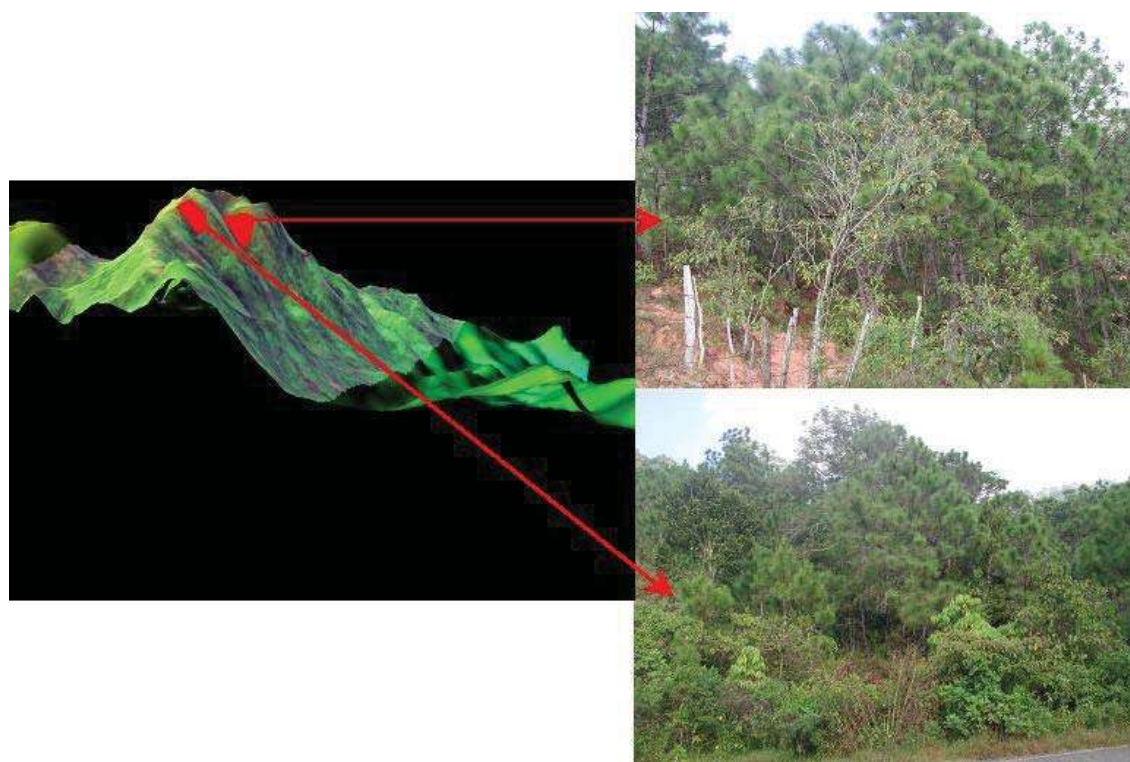


Fig. 17 – Campos de entrenamiento de la vegetación bosque de pino.

VI.3 - Corrección Atmosférica

El resultado de la corrección atmosférica para la imagen Hyperion indicó que la imagen tiene una visibilidad de 26.7 km y un cantidad media de agua de 1.67 cm. De acuerdo a la tabla 7, la imagen tiene una visibilidad moderada.

Tabla 7 – Valores aproximados de visibilidad de la escena.

CONDICIÓN DEL TIEMPO ATMOSFÉRICO	VISIBILIDAD DE LA ESCENA
Claro	40 a 100 km
Transparencia Moderada	20 a 30 km
Transparencia Baja	15 km o menos

(Tomado de RSI 2005)

En la figura 18 se observa las diferencias visuales y de las firmas espectrales para las dos imágenes Hyperion con y sin corrección atmosférica.

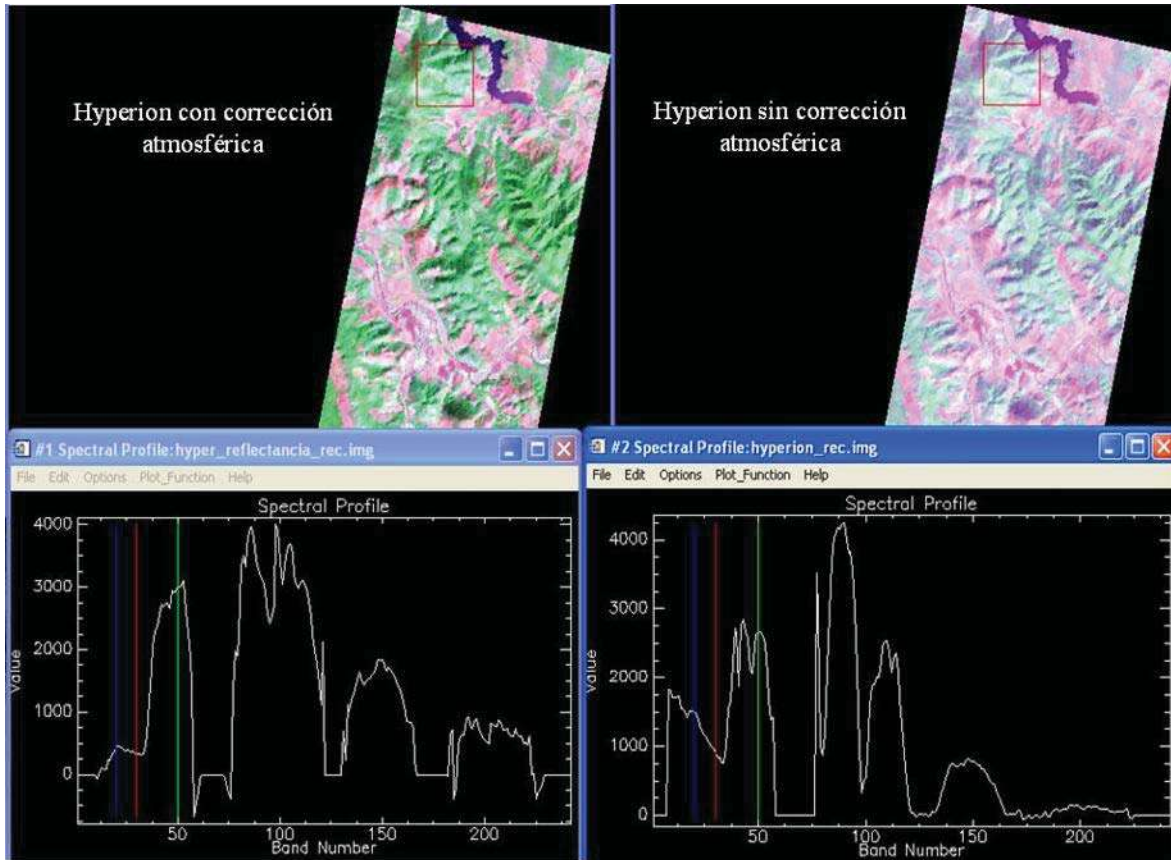


Fig. 18 – Comparación visual y de firmas espectrales de las imágenes Hyperion con y sin corrección atmosférica.

Se puede observar **visualmente**, que la imagen Hyperion con corrección atmosférica, tiene mejor calidad, destacando los tipos de vegetación con más claridad. En las firmas espectrales, se nota que en la imagen con corrección atmosférica, presenta valores negativos lo que no pasa con la imagen sin corrección atmosférica. Esto se trata de una sobrecorrección de los efectos atmosféricos.

VI.4 – Evaluación de la separabilidad

La evaluación de la separabilidad para las diferentes combinaciones de bandas para las dos imágenes Hyperion, con y sin corrección atmosférica, tardó aproximadamente 90 horas. La salida de los datos tienen la forma de la tabla abajo, en la cual se indican las 20 mejores combinaciones para las bandas en procesamiento, el valor de separabilidad entre cada par de

clases y la separabilidad promedia para todos los pares de clases de la combinación enumerada (tabla 8).

Tabla 8 – Ejemplo del resultado textual del MultiSpec.

	class pair symbols		12	13	14	15	23	24	25	34	35	45
	weighting factor		-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10
	Channels	Min.	Ave.	Weighted Interclass Distance Measures								
1	12 34 36 37 39 97 110 119	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
2	12 34 36 39 97 101 110 119	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
3	12 34 36 39 97 100 110 119	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
4	12 34 36 39 97 102 110 119	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
5	12 34 36 39 97 99 110 119	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
6	12 34 36 39 97 110 118 119	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
7	12 34 36 39 41 97 110 119	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
8	12 34 36 39 96 97 110 119	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
9	12 34 36 39 47 97 110 119	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
10	12 34 36 39 81 97 110 119	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
11	12 34 36 39 97 103 110 119	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
12	12 34 36 38 39 97 110 119	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
13	12 34 36 39 82 97 110 119	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
14	12 34 36 36 39 97 104 110 119	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
15	12 20 34 36 39 97 110 119	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
16	12 14 34 36 39 97 110 119	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
17	12 34 36 39 97 110 119 127	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
18	12 34 36 39 97 110 119 128	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
19	12 34 36 39 80 97 110 119	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
20	12 34 36 39 97 110 117 119	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000

Los resultados obtenidos para la Hyperion sin corrección atmosférica, fue que, a partir de la combinación de 6 bandas, el promedio de separabilidad alcanzó el valor máximo de 2000 (figura 19). Para la Hyperion con corrección atmosférica, a partir de combinaciones con 3 bandas, la media de separabilidad alcanzó el valor máximo de 2000 (figura 20). En los dos casos, a partir de estas combinaciones, el promedio sigue igual a 2000 hasta el número máximo de bandas, 242. En las gráficas, para reducir información y ejemplificar, utilizamos apenas las primeras mejores combinaciones con 40 bandas.

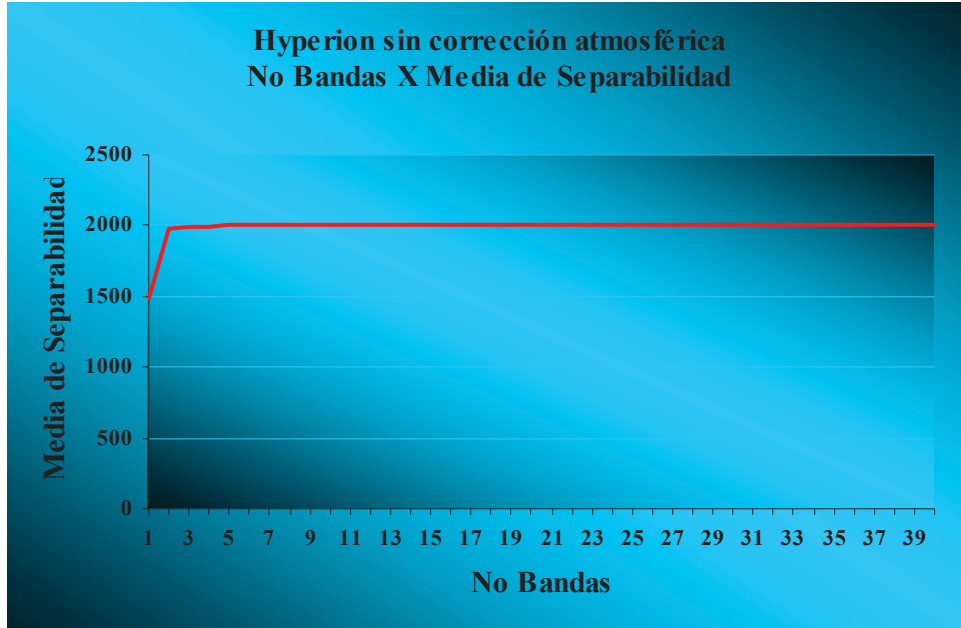


Fig. 19 – Separabilidad en función del número de bandas para la imagen hyperion sin corrección atmosférica.

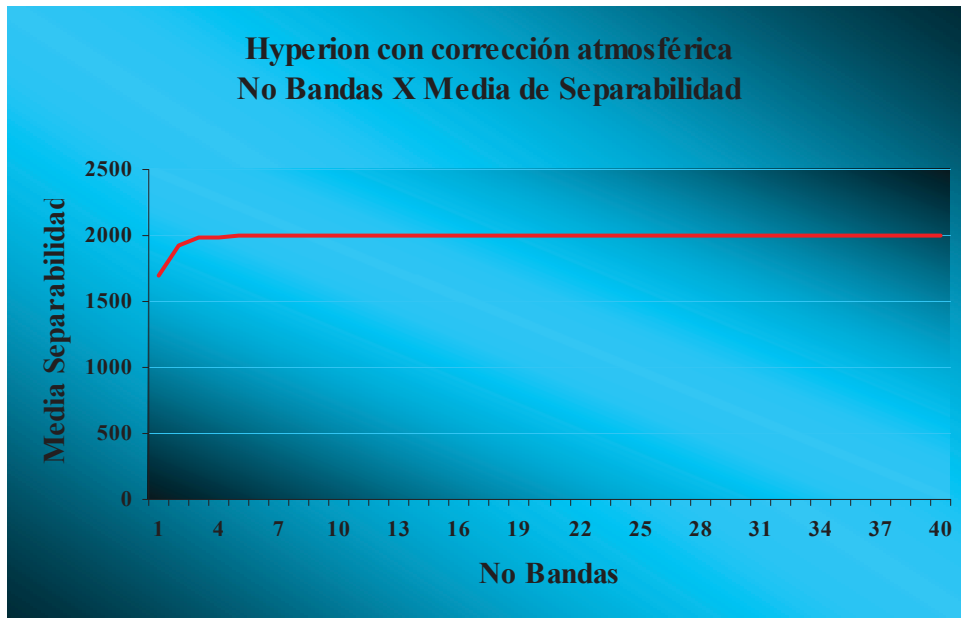


Fig. 20 – Separabilidad en función del número de bandas para la imagen hyperion con corrección atmosférica.

Para la imagen ALI sin corrección atmosférica, el tiempo de procesamiento fue de apenas algunos pocos segundos, ya que el número de combinaciones fue incomparablemente menor que para la Hyperion. Los resultados indicaron que la imagen ALI sin corrección atmosférica, se acerca, pero nunca alcanza el valor máximo de 2000, llegando en 1999 como máximo para las combinaciones de las 9 bandas (figura 21). Este resultado ya nos puede indicar que las imágenes hiperespectrales, en comparación con la ALI, generan mejor separabilidad de las clases, sugiriendo que deberemos obtener una mejor clasificación.

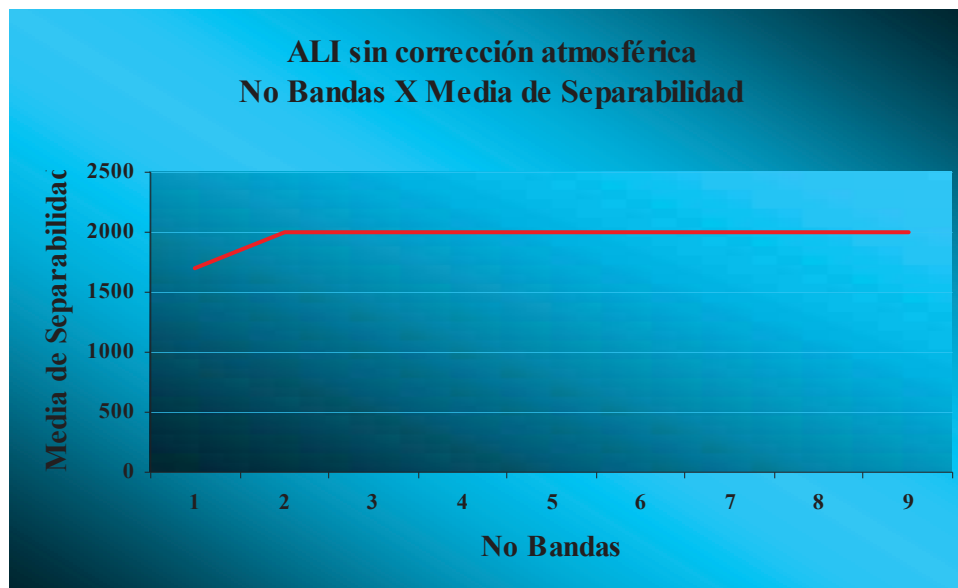


Fig. 21 – Separabilidad en función del número de bandas para la imagen ALI sin corrección atmosférica.

VI.5 – Clasificación

La clasificación SAM fue realizada utilizando 6 clases, siendo estas: agua, arena, bosque de pino, selva baja, selva mediana y pastizal. Para visualización de las imágenes, cada clase está indicada por un color definido en la siguiente tabla.

Tabla 9 – Definición de los colores de salida de las clasificaciones.

CLASES	COLORES
Agua	
Arena	
Bosque de Pino	
Selva Baja	
Selva Mediana	
Pastizal	
Background	

La clase arena, fue introducida durante la clasificación, con la finalidad de verificar la capacidad de desempeño de las imágenes Hyperion, debido a que las pruebas de clasificación con solamente las 5 clases utilizadas en el estudio de separabilidad del MultiSpec, indicaban falta de campos de entrenamiento para esta región. Se puede comprobar en una clasificación de la imagen Hyperion que el borde de la costa de la imagen, aparece en negro, indicando píxeles no clasificados (figura 22).



Fig. 22 – Píxeles no clasificados de la costa.

VI.5.1 - Clasificación de las imágenes Hyperion y ALI ambas con y sin corrección atmosférica.

Se llevaron a cabo clasificaciones con todas las bandas para cada una de las imágenes: Hyperion sin corrección atmosférica, Hyperion con corrección atmosférica, así como ALI sin y con corrección atmosférica, utilizando un ángulo de 1 radian para todas las imágenes. Para la imagen Hyperion con corrección atmosférica utilizamos un número total de 106 bandas, debido a que la corrección genera 136 bandas con valores negativos y valores cero, las cuales fueron eliminadas.

Para las imágenes Hyperion sin corrección atmosférica, también se realizó la clasificación con 198 bandas, donde se eliminaron 44 bandas que contienen alta absorción atmosférica y casi no poseen información. Las bandas eliminadas fueron: de 1 a 7, de 58 a 76 y de 225 a 242, correspondientes a los valores de longitudes de onda representados en la figura 23, que son los picos de absorción del vapor del agua. (USGS, 2001).

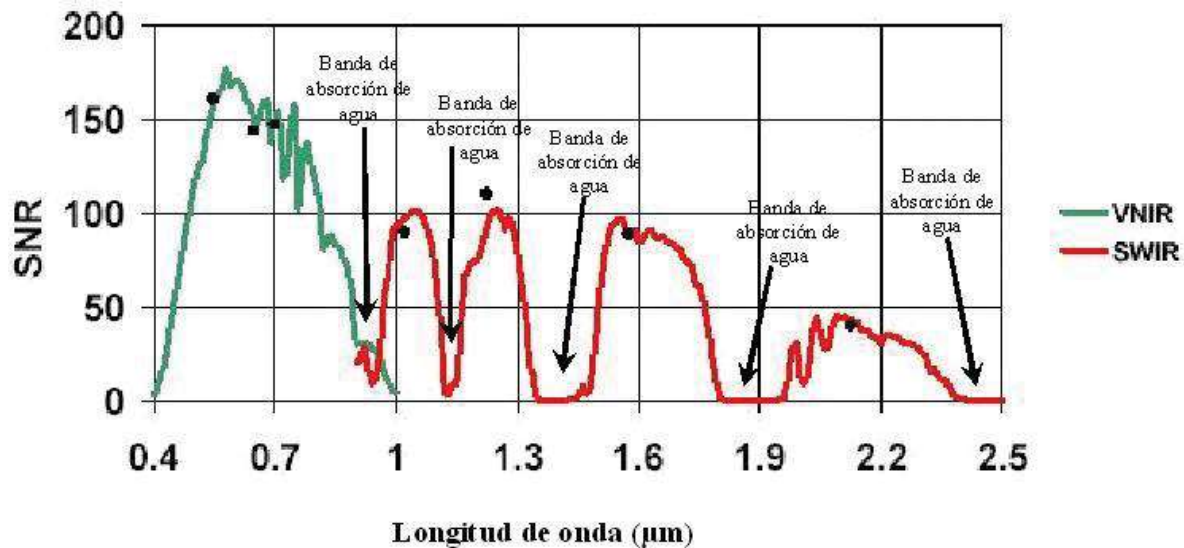


Fig. 23 – Distribución de la longitud de onda con los picos de absorción atmosférica.

También se clasificó la imagen Hyperion con las mejores 40 bandas seleccionadas en el estudio de separabilidad. Las 40 bandas de imagen Hyperion sin corrección atmosférica están descritas en la figura 24.

Para la imagen Hyperion con corrección atmosférica, de las 40 bandas seleccionadas en el estudio de separabilidad, se eliminaron dos de ellas, la banda 131 y la 182, debido a que, estas bandas contenían prácticamente “mitad” de la información (figura 25) e introducían ruido en la salida de la clasificación. El estudio de separabilidad indicó estas dos bandas dentro de las 40 mejores, debido a que, si un campo de entrenamiento se encuentra en la parte de arriba de la imagen y otro abajo, el estudio indica que existe buena separabilidad, ya que están muy diferentes espectralmente. Las 38 bandas seleccionadas para la clasificación están indicadas en la figura 24.

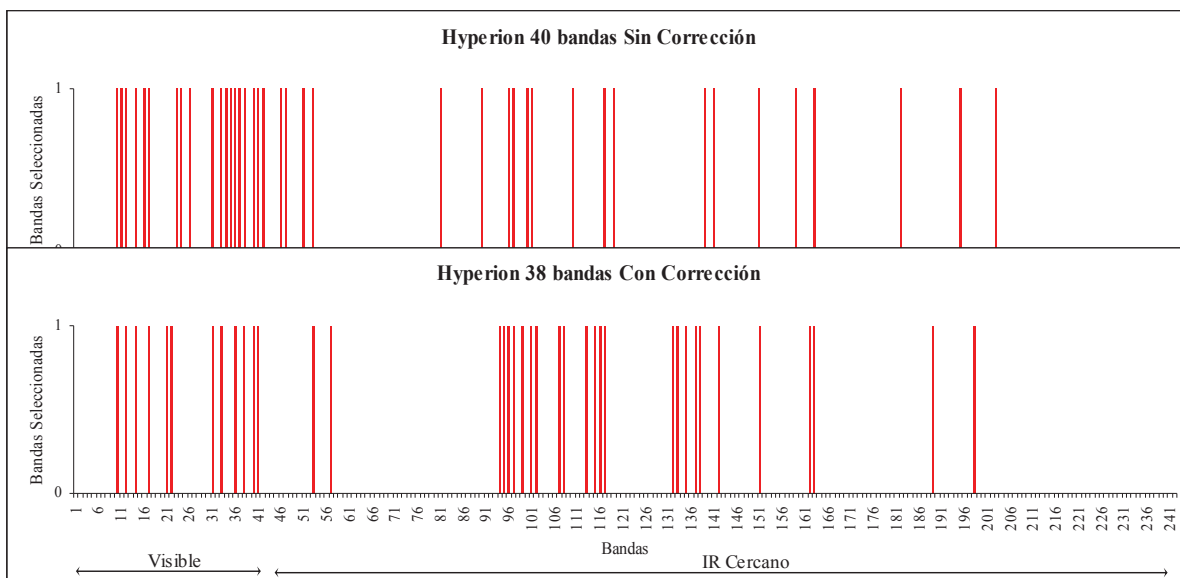


Fig. 24 – Comparación de las 40 mejores bandas de imagen Hyperion sin corrección atmosférica con las 38 mejores bandas de la imagen Hyperion con corrección atmosférica.

Se observa en la figura 24, que el estudio de separabilidad no seleccionó las mismas bandas para la imagen con corrección y sin corrección, lo que indica que después de la corrección la imagen tiene bandas con respuestas espectrales diferentes.

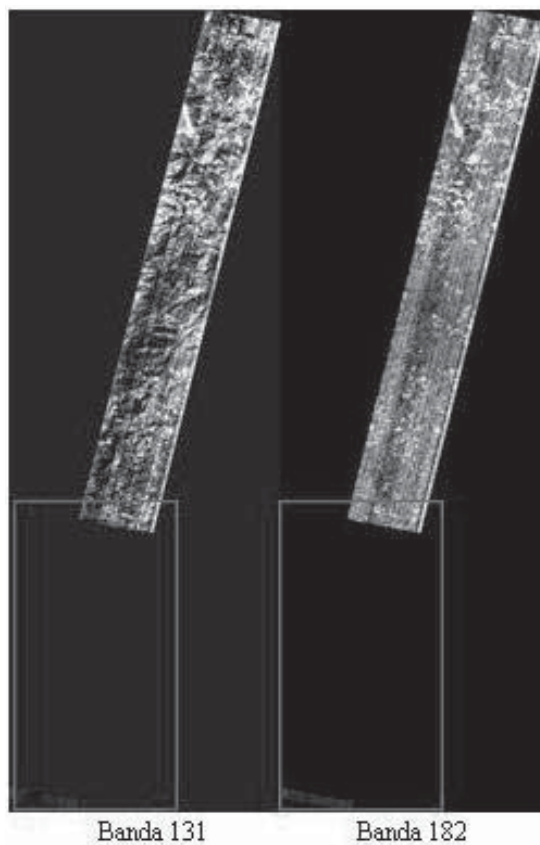


Fig. 25 – Bandas eliminadas para la clasificación de la imagen Hyperion con corrección atmosférica.

Las imágenes Hyperion con y sin corrección atmosférica igualmente fueron clasificadas con las 15 mejores bandas, así como con las 8 mejores bandas que son las bandas que permiten la separabilidad más grande seleccionadas por el estudio de separabilidad. Todas las bandas están representadas en la figura 26.

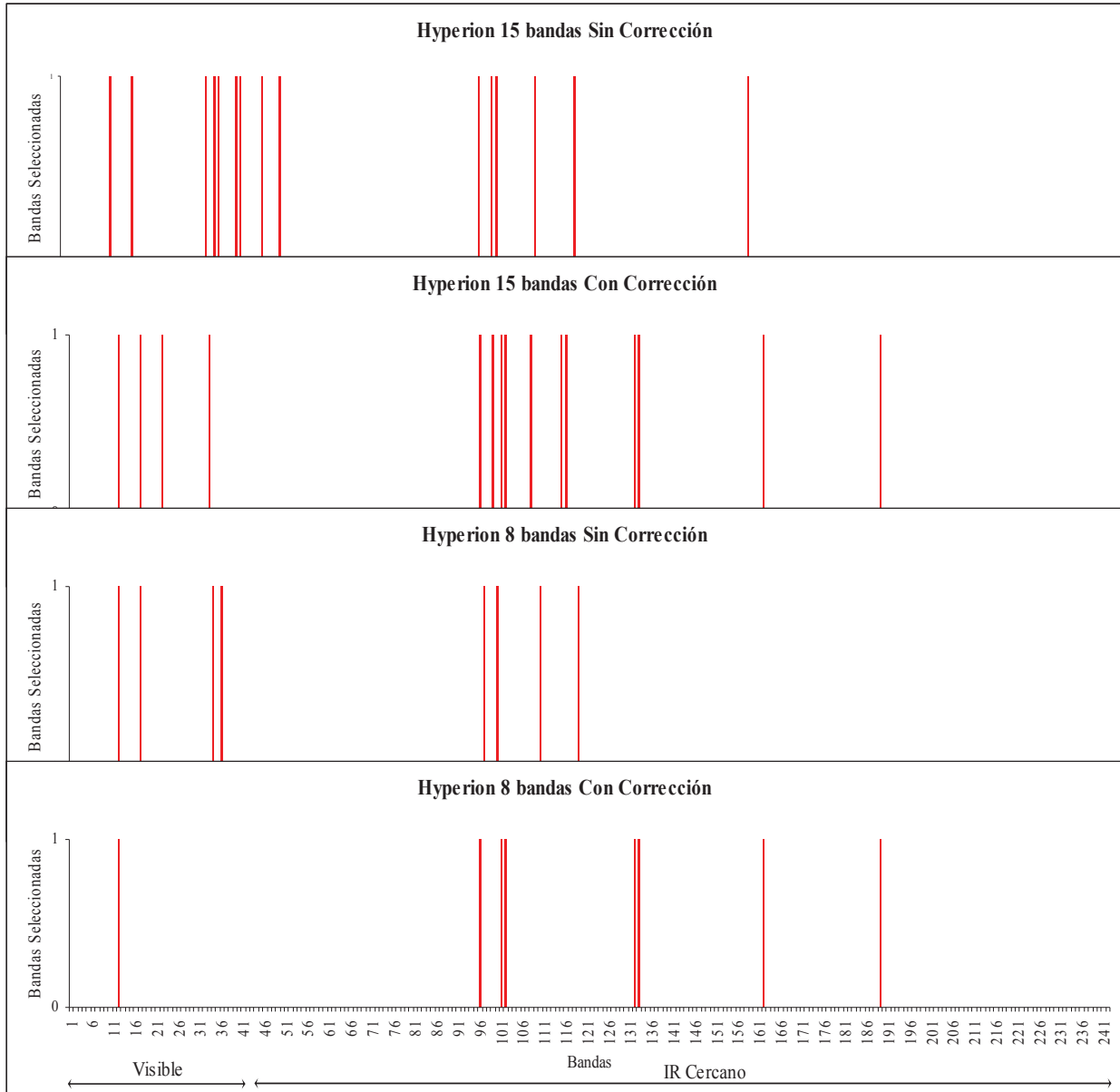


Fig. 26 - Comparación de las 15 mejores bandas y 8 mejores bandas de imagen Hyperion sin corrección atmosférica y con corrección atmosférica.

Las clasificaciones de cada una de las imágenes, están presentadas en la siguiente orden: Hyperion sin corrección atmosférica 242 bandas (figura 27), Hyperion con corrección atmosférica 106 bandas (figura 28), ALI sin corrección atmosférica (figura 29), ALI con corrección atmosférica (figuras 30), Hyperion sin corrección atmosférica 198 bandas (figura 31), Hyperion sin corrección atmosférica 40 bandas (figura 32), Hyperion con corrección

Comparación de la clasificación digital de la vegetación mediante imágenes de satélite multispectrales e hiperespectrales, en la región sudoeste del estado de Michoacán

atmosférica 38 bandas (figura33), Hyperion sin corrección atmosférica 15 bandas (figura 34), Hyperion con corrección atmosférica 15 bandas (figura 35), Hyperion sin corrección atmosférica 8 bandas (figura 36) y Hyperion con corrección atmosférica 8 bandas (figura 37).

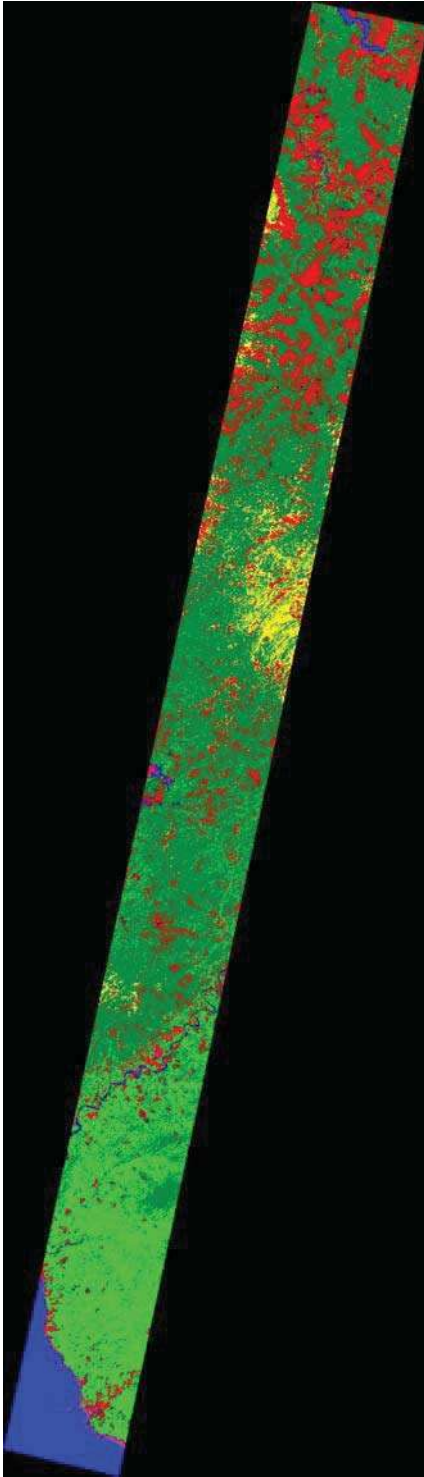


Fig. 27 - Imagen Hyperion sin corrección atmosférica clasificada con 242 bandas y ángulo de 1 radian.

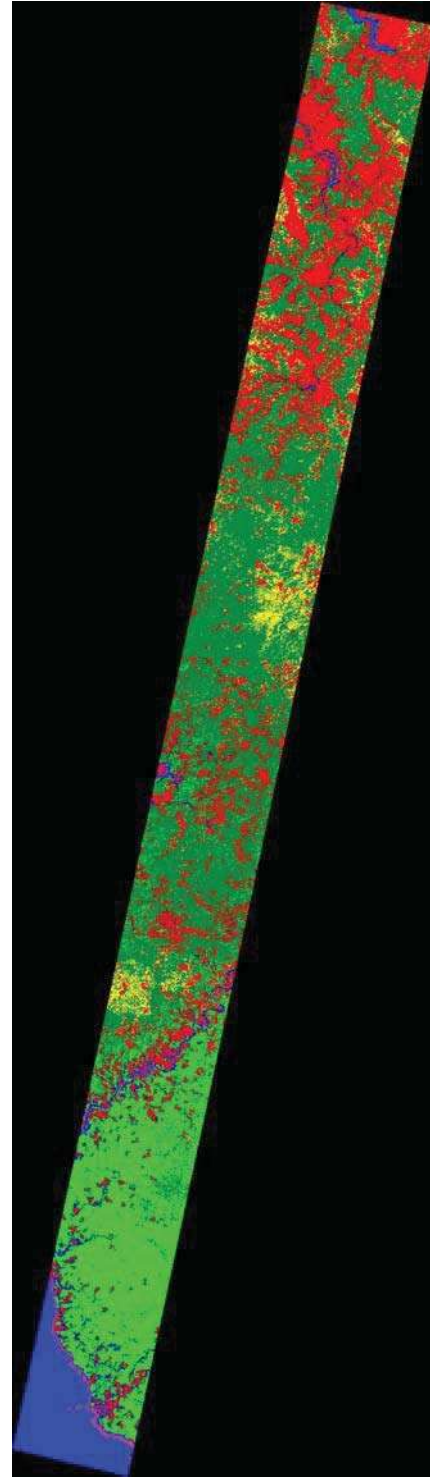


Fig. 28 - Imagen Hyperion con corrección atmosférica, clasificada con 106 bandas y ángulo de 1 radian.

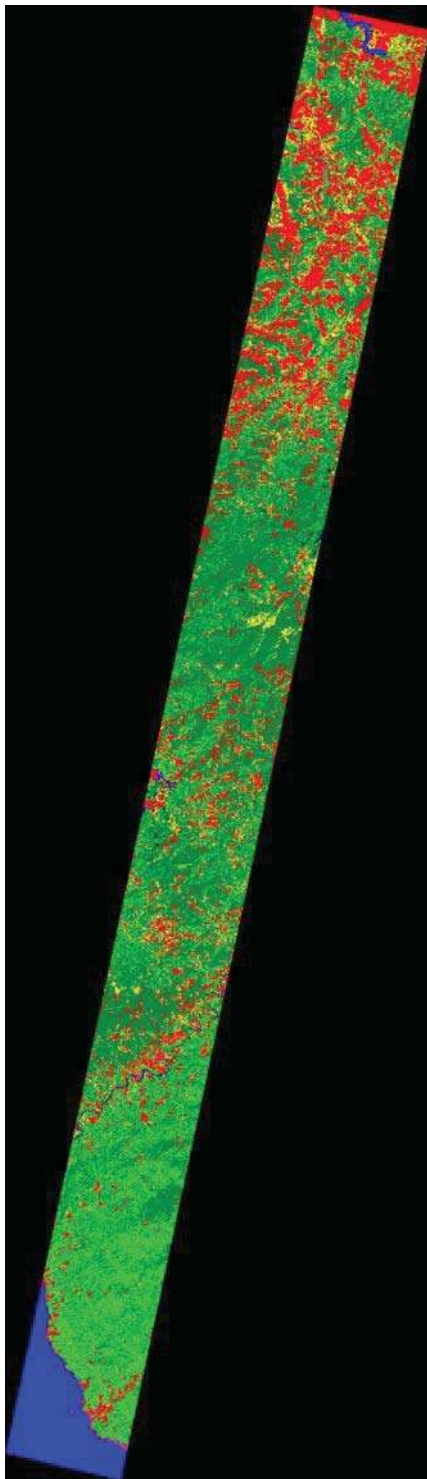


Fig. 29 - Imagen ALI sin corrección atmosférica clasificada con 9 bandas y ángulo de 1 radian.

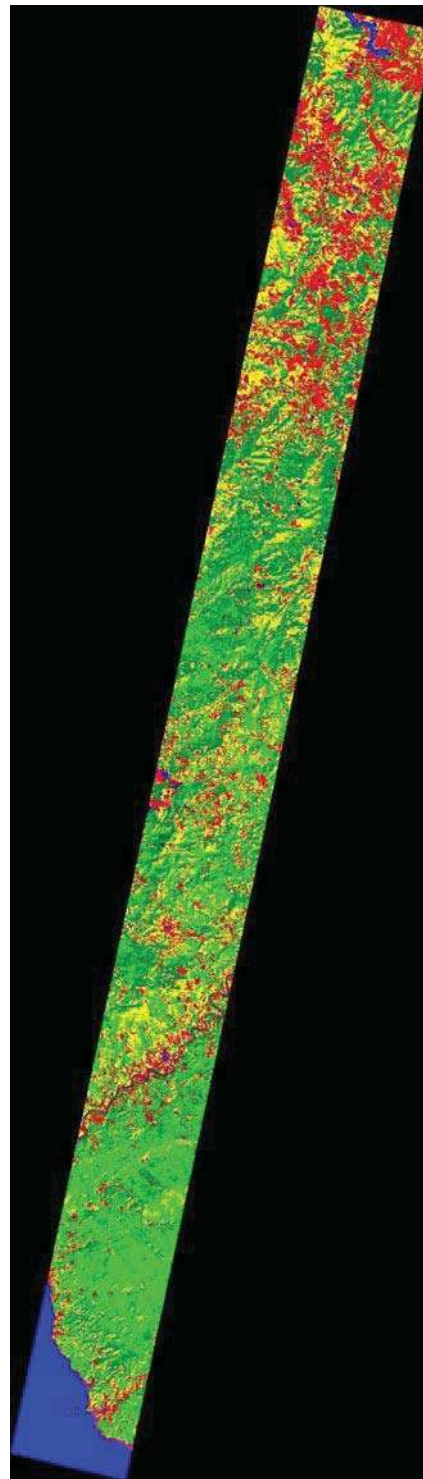


Fig. 30 - Imagen ALI con corrección atmosférica clasificada con 9 bandas y ángulo de 1 radian.

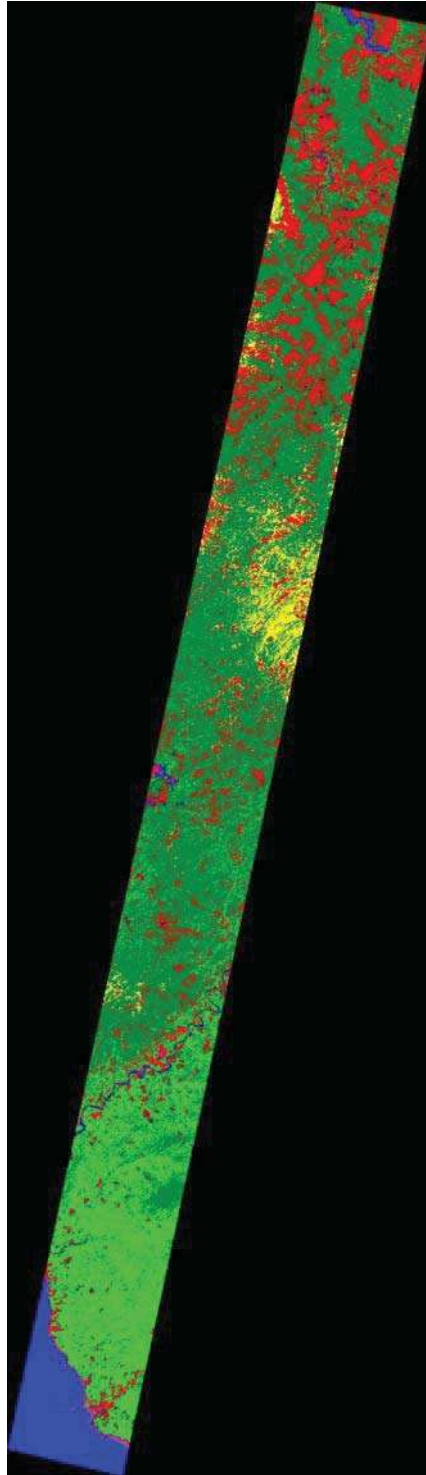


Fig. 31 - Imagen Hyperion sin corrección atmosférica clasificada con 198 bandas y ángulo de 1 radian.

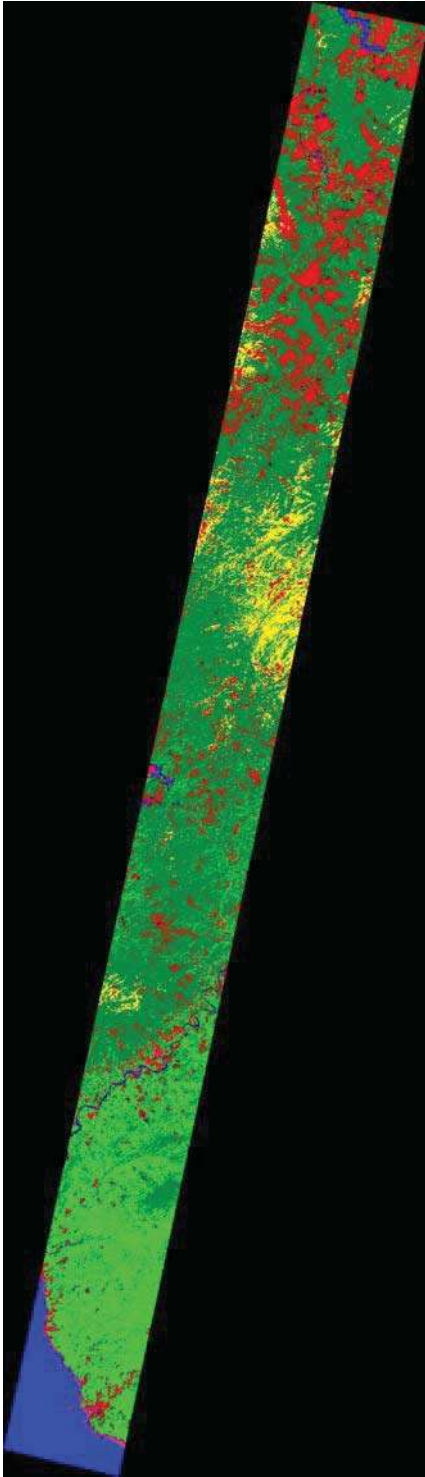


Fig. 32 - Imagen Hyperion sin corrección atmosférica clasificada con 40 bandas y ángulo de 1 radian.

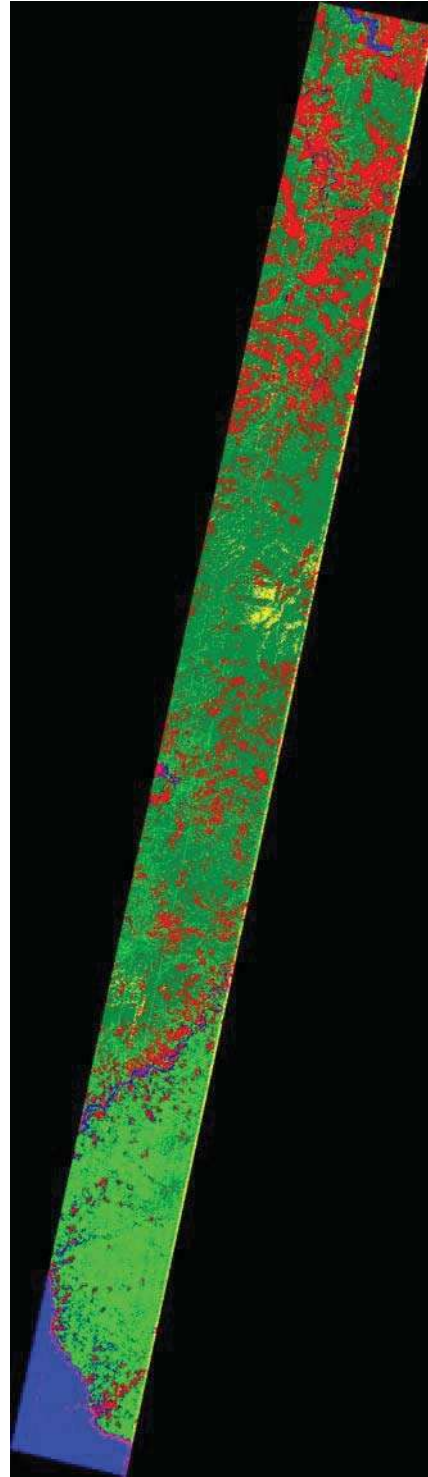


Fig. 33 - Imagen Hyperion con corrección atmosférica clasificada con 38 bandas y ángulo de 1 radian.

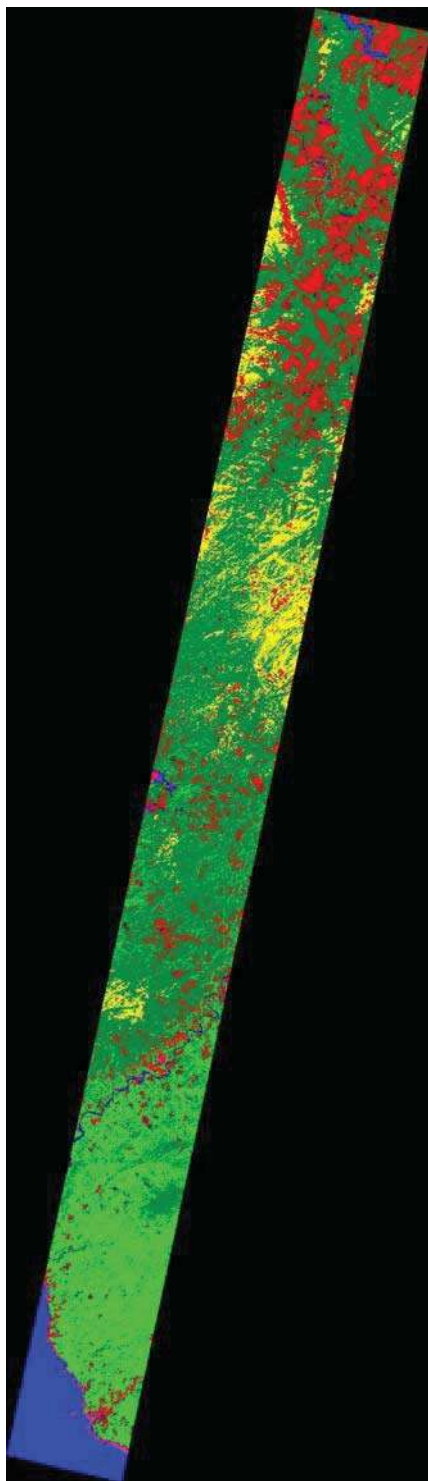


Fig. 34 - Imagen Hyperion sin corrección atmosférica clasificada con 15 bandas y ángulo de 1 radian.

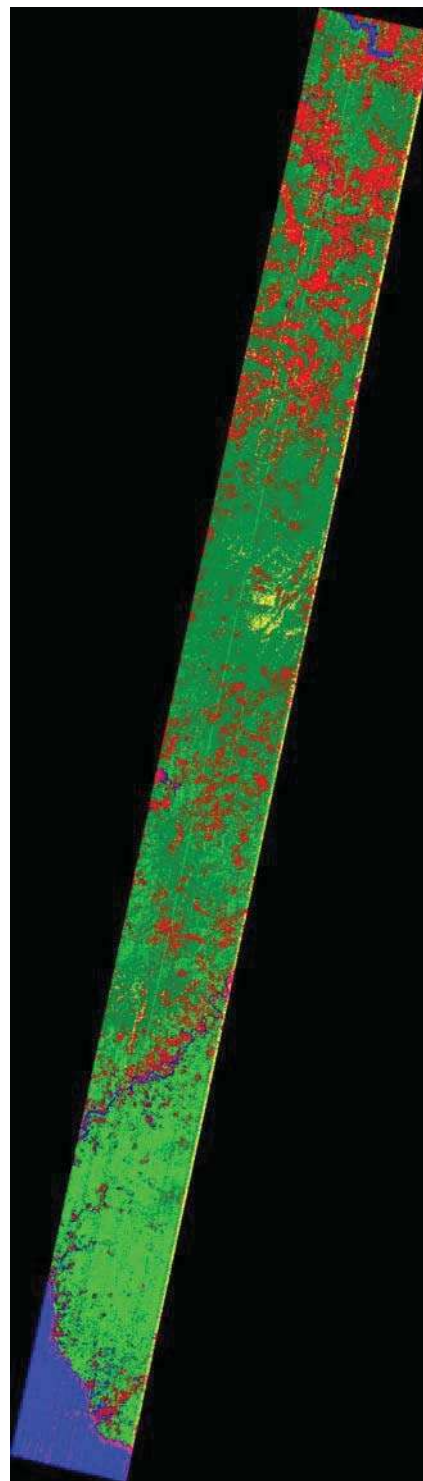


Fig. 35- Imagen Hyperion con corrección atmosférica clasificada con 15 bandas y ángulo de 1 radian.

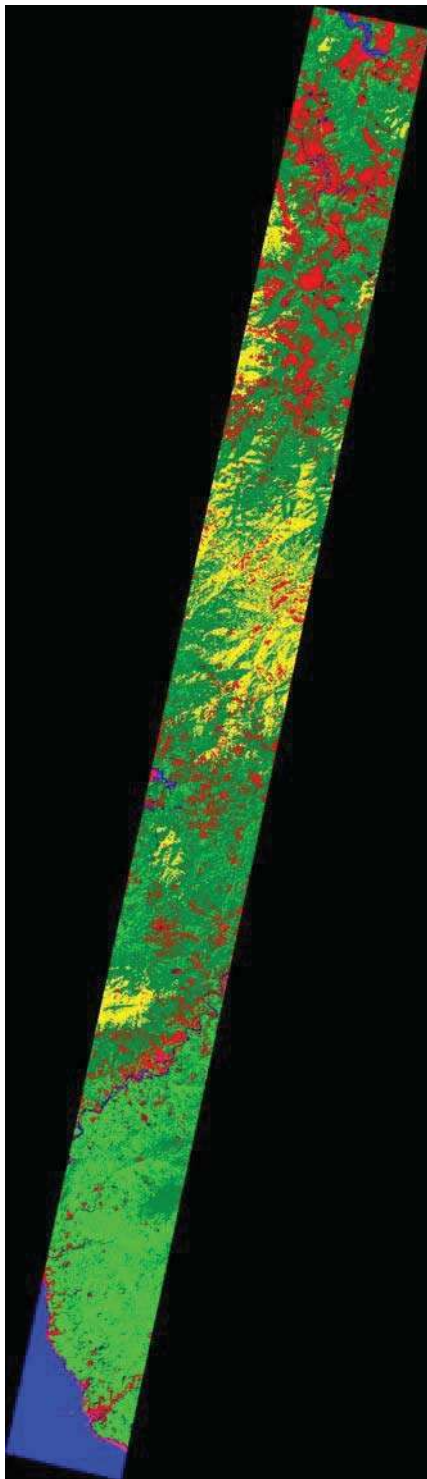


Fig. 36 - Imagen Hyperion sin corrección atmosférica clasificada con 8 bandas y ángulo de 1 radian.

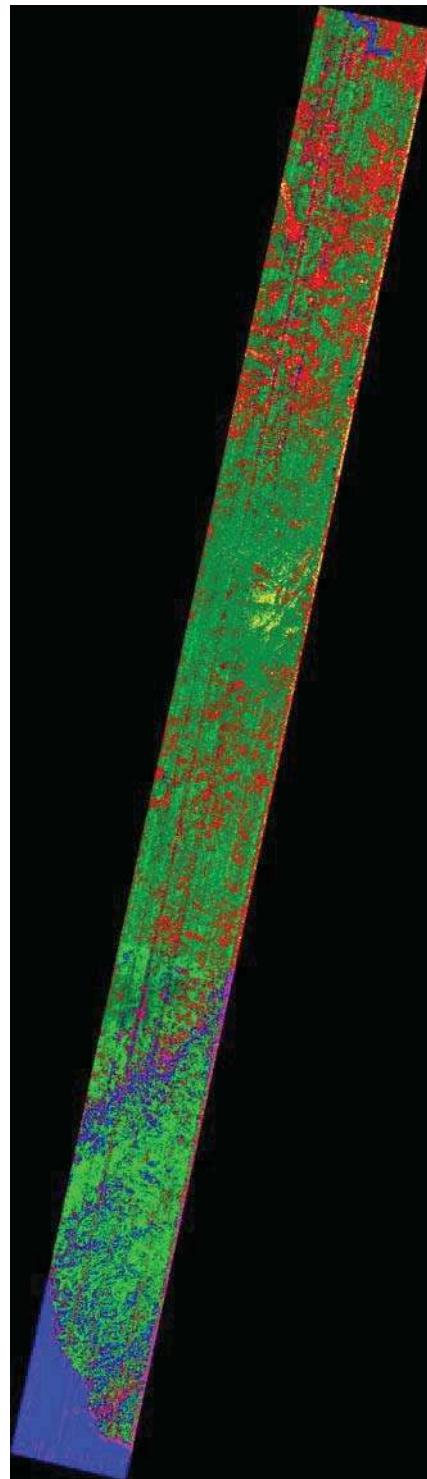


Fig. 37 - Imagen Hyperion con corrección atmosférica clasificada con 8 bandas y ángulo de 1 radian.

Visualmente, en las imágenes Hyperion sin corrección atmosférica, se notan una mejor clasificación en relación a la distribución de las clases. Las clasificaciones obtenidas a partir de las imágenes Hyperion con corrección atmosférica, presentan más confusión entre las clases, como se puede observar en la imagen clasificada con 8 bandas, en la cual se clasifican muchos píxeles de agua en la región de selva baja.

En la clasificación de la imagen ALI con corrección atmosférica, se observa una sobrestimación de la distribución del bosque de pino, ya que de acuerdo al trabajo de campo, este tipo de vegetación no tiene una distribución tan amplia en el área de estudio.

Estas diferentes características de las clasificaciones, se pueden observar en la gráfica 5, donde se indican los porcentajes de fiabilidad de todas las clasificaciones. Ésta, muestra que las imágenes Hyperion sin corrección atmosférica tienen valores de fiabilidad más altos que las demás, lo que permite adelantar que las imágenes Hyperion tienen mayor confiabilidad para la descripción de la vegetación en el área de estudio.

VI.5.2 - Verificación de los sitios

Fueron seleccionados 60 puntos aleatorios para cada clase salvo para la clase de arena, para la cual, por ser de estrecha área, seleccionamos solamente 20 puntos. El resultado de esta selección de puntos, se presenta en la figura 38.

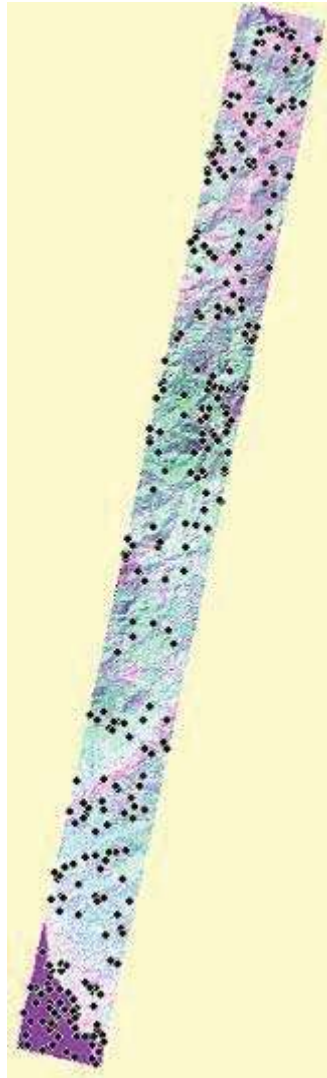


Fig. 38 – Distribución de los 320 puntos del muestreo aleatorio estratificado.

Los puntos fueron clasificados siguiendo dos opciones: en 1ª opción, fueron interpretados a partir de las ortofotos y en 2ª opción a partir de las imágenes ofrecidas por el Google Earth. La segunda opción de los puntos, fue realizada después de obtener los resultados de las matrices de confusión de las clasificaciones con la 1ª opción. Fue utilizada, debido a la falta de un mapa actualizado de los tipos de vegetación de la región, lo que ocasionó un bajo porcentaje en la precisión de las clasificaciones de la 1ª opción. Tampoco es lo mas adecuado, debido que en Google Earth no tiene una homogeneidad en sus “imágenes”, ya que para el área, tiene ortofotos, fotografías aéreas e imágenes de satélite, además, las fechas “parecen” ser diferentes de un mosaico a otro. A pesar de “parecer” tener diferentes

fechas, son fechas mas recientes que de las ortofotos y fue la única alternativa para mejorar los resultados del trabajo.

Para la 2ª opción, se verificaron principalmente los puntos que aparecían en transiciones de los manchones de la vegetación y se les asignó una segunda opción, cambiando la clase inicial, obtenida en la ortofoto, para la clase que estaba colindante, descritas en las imágenes del Google Earth. La segunda opción permite también tomar en cuenta los cambios de cobertura que hubo entre la fecha de la imagen y de la ortofotos. En la segunda opción, 39 % de los puntos cambiaron de clase.

VI.5.3 - Matrices de confusión originales y corregidas por el método de Card

Las matrices de confusión fueron generadas para cada imagen clasificada Hyperion y ALI con y sin corrección atmosférica y para las 2 opciones de los datos de verificación. Todas las matrices, están descritas en el ANEXO I. Aquí, se mostrará apenas una comparación entre los dos sensores y sus interpretaciones.

La matriz de confusión para la imagen Hyperion clasificada con 198 bandas y verificada con la 2ª opción de los puntos, está descrita en la tabla 10. La matriz está representada por columnas y renglones, en donde las columnas representan las clases del mapa y los renglones las clases de referencia; la diagonal de la matriz expresa la similitud entre los datos del mapa y los sitios de verificación lo cual representa la confiabilidad del mapa.

Tabla 10 – Matriz Original de la imagen Hyperion 198 bandas sin corrección atmosférica.

Hyperion 198 bandas 1 radian sin corrección atmosférica 2ª opción								
Clases de referencia	Píxeles no clasificados	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Total
Píxeles no clasificados	0	1	0	0	0	3	0	4
Agua	0	45	0	0	1	4	5	55
Bosque Pino	0	0	15	6	1	7	0	29
Pastizal	0	2	1	64	1	3	1	72
Selva Baja	0	0	0	3	48	6	0	57
Selva Mediana	0	0	5	10	1	75	0	91
Arena	0	1	0	2	0	0	9	12
Total (n+j)	0	49	21	85	52	98	15	320
Proporción del mapa π_j	0	0.0684	0.0408	0.1687	0.1830	0.5355	0.0036	

Las matrices de confusión corregidas según el método de Card, también están descritas detalladamente en el ANEXO I, para todas las imágenes Hyperion y ALI sin y con corrección atmosférica. Los resultados para la imagen Hyperion 198 bandas, se muestran en las tablas a continuación:

Tabla 11 – Matriz corregida según método de Card para la imagen Hyperion con 198 bandas.

Clases de referencia	Píxeles no clasificados	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Total (n+j)
Píxeles no clasificados	0.0000	0.0014	0.0000	0.0000	0.0000	0.0164	0.0000	0.0178
Agua	0.0000	0.0628	0.0000	0.0000	0.0035	0.0219	0.0012	0.0894
Bosque Pino	0.0000	0.0000	0.0292	0.0119	0.0035	0.0382	0.0000	0.0828
Pastizal	0.0000	0.0028	0.0019	0.1270	0.0035	0.0164	0.0002	0.1519
Selva Baja	0.0000	0.0000	0.0000	0.0060	0.1689	0.0328	0.0000	0.2077
Selva Mediana	0.0000	0.0000	0.0097	0.0198	0.0035	0.4098	0.0000	0.4429
Arena	0.0000	0.0014	0.0000	0.0040	0.0000	0.0000	0.0021	0.0075
Total (n+j)	0.0000	0.0684	0.0408	0.1687	0.1830	0.5355	0.0036	
Proporción del mapa π_j	0.0000	0.0684	0.0408	0.1687	0.1830	0.5355	0.0036	

Fiabilidad Global del Mapa de la imagen Hyperion

$$(6.28+2.92+12.70+16.89+40.98+0.21)/100 = 80\%$$

Tabla 12 – Proporción de clases correctamente clasificadas.

Clases de referencia	Píxeles no clasificados	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Superficie Corregida
Píxeles no clasificados	0	0.1	0	0	0	0.3	0	0.0178
Agua	0	4.5	0	0	0.1	0.4	0.5	0.0894
Bosque Pino	0	0	1.5	0.6	0.1	0.7	0	0.0828
Pastizal	0	0.2	0.1	6.4	0.1	0.3	0.1	0.1519
Selva Baja	0	0	0	0.3	4.8	0.6	0	0.2077
Selva Mediana	0	0	0.5	1	0.1	7.5	0	0.4429
Arena	0	0.1	0	0.2	0	0	0.9	0.0075
Total (n+j)	0.0000	4.9000	2.1000	8.5000	5.2000	9.8000	1.5000	
Proporción del mapa π_j	0.0000	0.0684	0.0408	0.1687	0.1830	0.5355	0.0036	

Para la imagen Hyperion con 198 bandas, la fiabilidad del productor indica, por ejemplo, para la clase Selva Baja, un porcentaje de 92%, lo que significa que esta proporción de la superficie real de la categoría está cartografiada como tal y el resto (8%) son errores de omisión. La fiabilidad del usuario es la que se representa directamente en el mapa, la cual tiene una fiabilidad del usuario de 84% para la clase de Selva Baja, lo que significa que 84% del área mapeada en esta categoría es correcta y que el resto (16%) son errores de comisión (tabla 13).

Tabla 13 – Fiabilidad del Productor y del Usuario para la imagen Hyperion con 198 sin corrección atmosférica.

	Fiabilidad del Productor	Fiabilidad del Usuario
Agua	0.92	0.70
Bosque Pino	0.71	0.35
Pastizal	0.75	0.84
Selva Baja	0.92	0.81
Selva Mediana	0.77	0.93
Arena	0.60	0.29

La matriz de confusión para la imagen ALI sin corrección atmosférica, clasificada con 9 bandas y verificada a partir de la 2ª opción, está descrita en la tabla 14.

Tabla 14 – Matriz Original de la imagen ALI sin corrección atmosférica.

ALI 9 bandas 1 radian sin corrección atmosférica 2ª opción								
Clases de referencia	Píxeles no clasificados	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Total
Píxeles no clasificados	0	1	0	0	0	2	0	3
Agua	0	45	0	0	0	3	4	52
Bosque Pino	0	1	3	10	2	12	0	28
Pastizal	0	1	0	63	1	7	5	77
Selva Baja	0	0	0	4	28	10	0	42
Selva Mediana	0	0	18	7	21	64	0	110
Arena	0	1	0	1	0	0	6	8
Total (n+j)	0	49	21	85	52	98	15	320
Proporción del mapa π_j	0	0.0888	0.0322	0.2102	0.2192	0.4445	0.0050	

Las matrices corregidas según el método de Card para la imagen ALI 9 bandas sin corrección atmosférica y con la 2ª opción de los puntos, están descritas a continuación:

Tabla 15 – Matriz corregida según método de Card para la imagen ALI.

Clases de referencia	Píxeles no clasificados	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Total (n+j)
Píxeles no clasificados	0.0000	0.0018	0.0000	0.0000	0.0000	0.0091	0.0000	0.0109
Agua	0.0000	0.0816	0.0000	0.0000	0.0000	0.0136	0.0013	0.0965
Bosque Pino	0.0000	0.0018	0.0046	0.0247	0.0084	0.0544	0.0000	0.0940
Pastizal	0.0000	0.0018	0.0000	0.1558	0.0042	0.0317	0.0017	0.1953
Selva Baja	0.0000	0.0000	0.0000	0.0099	0.1180	0.0454	0.0000	0.1733
Selva Mediana	0.0000	0.0000	0.0276	0.0173	0.0885	0.2903	0.0000	0.4237
Arena	0.0000	0.0018	0.0000	0.0025	0.0000	0.0000	0.0020	0.0063
Total (n+j)	0.0000	0.0888	0.0322	0.2102	0.2192	0.4445	0.0050	
Proporción del mapa π_j	0.0000	0.0888	0.0322	0.2102	0.2192	0.4445	0.0050	

Fiabilidad Global del Mapa de la imagen ALI

$$(8.16+0.46+15.58+11.80+29.03+0.20)/100 = 65.2\%$$

Tabla 16 – Proporción de clases correctamente clasificadas.

Clases de referencia	Píxeles no clasificados	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Superficie Corregida
Píxeles no clasificados	0	0.1	0	0	0	0.2	0	0.0109
Agua	0	4.5	0	0	0	0.3	0.4	0.0965
Bosque Pino	0	0.1	0.3	1	0.2	1.2	0	0.0940
Pastizal	0	0.1	0	6.3	0.1	0.7	0.5	0.1953
Selva Baja	0	0	0	0.4	2.8	1	0	0.1733
Selva Mediana	0	0	1.8	0.7	2.1	6.4	0	0.4237
Arena	0	0.1	0	0.1	0	0	0.6	0.0063
Total (n+j)	0	4.9	2.1	8.5	5.2	9.8	1.5	
Proporción del mapa pj	0	0.0888	0.0322	0.2102	0.2192	0.4445	0.0050	

Tabla 17 – Fiabilidad del Productor y del Usuario para la imagen ALI con 9 bandas sin corrección atmosférica.

	Fiabilidad del Productor	Fiabilidad del Usuario
Agua	0.92	0.85
Bosque Pino	0.14	0.05
Pastizal	0.74	0.80
Selva Baja	0.54	0.68
Selva Mediana	0.65	0.69
Arena	0.40	0.32

Los resultados de las matrices de confusión, presentadas para la imagen Hyperion 198 bandas y ALI 9 bandas, ambas sin corrección atmosférica y utilizando la 2ª opción de los puntos, indica que la imagen Hyperion tiene mayor confiabilidad de clasificación que la ALI, con una diferencia de 14.77%.

La tabla 18 indica las comparaciones de las fiabilidades entre la imagen Hyperion y la ALI.

Tabla 18 – Comparaciones de las fiabilidades por clases entre las imágenes Hyperion y ALI.

	Fiabilidad del Productor		Fiabilidad del Usuario	
	ALI	Hyperion	ALI	Hyperion
Agua	0.92	0.92	0.85	0.7
Bosque Pino	0.14	0.71	0.05	0.35
Pastizal	0.74	0.75	0.8	0.84
Selva Baja	0.54	0.92	0.68	0.81
Selva Mediana	0.65	0.77	0.69	0.93
Arena	0.4	0.6	0.32	0.29

Se puede observar que las imágenes hiperespectrales mejoran las clasificaciones por categoría, aumentando la fiabilidad en la mayoría de ellas. Por ejemplo, para la clase de Bosque de Pino, la fiabilidad del productor para la imagen Hyperion aumentó un 57% en relación al porcentaje de la fiabilidad de la ALI.

VI.6 - Evaluación de la fiabilidad de las clasificaciones

Se realizaron los mismos procedimientos para calcular las fiabilidades para todas las clasificaciones. En síntesis, los resultados están presentados en la figura 39, que indica los porcentajes de fiabilidad para todas las clasificaciones de las imágenes verificadas a través de la 1ª opción y la 2ª opción de los puntos.

Fiabilidad de Clasificación

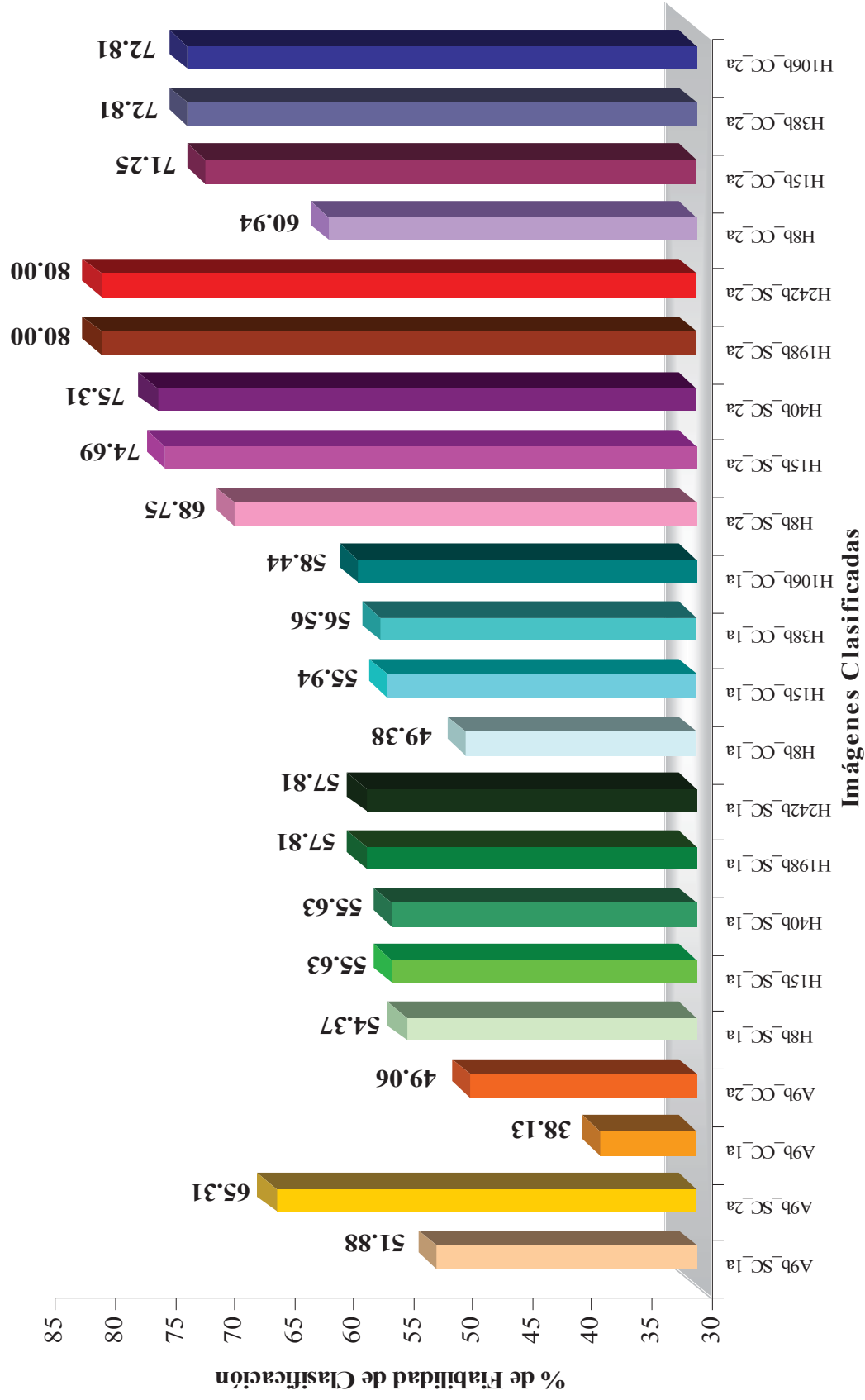


Fig. 39 – Comparación de las fiabilidades de clasificación.

Descripción de los símbolos: Sensor (A=ALI; H=Hyperion), número de bandas, SC (Sin Corrección atmosférica), CC (Con Corrección atmosférica), 1a (1ª opción de los puntos), 2a (2ª opción de los puntos).

Se observa en la gráfica de comparación de fiabilidad, que las imágenes Hyperion tienen mayor porcentaje de fiabilidad de clasificación que la ALI. Además, indica que las imágenes Hyperion con corrección atmosférica no alcanza una clasificación tan fiable como las sin corrección. Existe una fluctuación en relación a los porcentajes de fiabilidad de clasificaciones en las imágenes con y sin corrección atmosférica, debido a la influencia del número de bandas utilizados. Las matrices de confusión para la 1ª opción no indican una alta confiabilidad de las clasificaciones, lo que se puede ser explicado a partir de algunos aspectos: la diferencia de fecha entre los datos de verificación y las imágenes, así como la falta de mapas actualizados y confiables de la región. Las imágenes Hyperion y ALI son del año 2003, y las ortofotos son de 1995. Esto implica 8 años de diferencia en las comparaciones, lo que podemos deducir que en este tiempo, hubo cambios de uso de suelo, por lo cual, la “realidad” que usamos, no es confiable. Los principales errores que aparecieron en las matrices de confusión, fueron con la clase selva mediana, que en casi todas las matrices, mitad fueron clasificadas como selva y mitad como pastizal. Lo que es probable, dado que en 8 años, muchos de los parches de selva mediana fueron cambiados a pastizal, lo que pudimos ver en campo, durante las salidas. Lo mismo pasó con la categoría bosque de pino, para la cual la mayoría de los errores, corresponden a una interpretación de las ortofotos como bosque de pino y la clasificación como pastizal, lo que sugiere que también es probable que se deba a cambios de cobertura. Otra complicación fue la falta de un mapa actualizado y confiable de la región, para usar como referencia de la verdad, lo que implicó el uso de las ortofotos antiguas, que fue la única alternativa. El único mapa de uso y cobertura del suelo existente, es el Inventario Nacional Forestal, que tiene una escala muy pequeña comparada con el área en estudio, y no tiene el nivel de detalles requerido.

VI.6.1 - Comparación de la fiabilidad de los datos hiperespectrales y multiespectrales con diferentes preprocesamientos (selección de bandas, corrección radiométrica)

Las tablas de fiabilidad para cada par de combinaciones, están descritas en el ANEXO II. Se presentará apenas dos de los resultados, uno que indica diferencia significativa (tabla 19) y otro que no presenta diferencia significativa (tabla 20).

Tabla 19 – Comparación de las fiabilidades de las imágenes Hyperion 15 bandas sin corrección atmosférica con la imagen ALI 9 bandas con corrección atmosférica con diferencia significativa.

	Hyperion 15bandas Sin Corrección	
Ali 9 bandas Con Corrección	Correcto	Incorrecto
Correcto	130	25
Incorrecto	99	66
Z²		
	44.16	

Se puede observar que hay mucho más sitios de verificación incorrectamente clasificados con ALI que son correctamente clasificados con Hyperion que al revés.

El valor de Z^2 es más alto que el valor crítico de χ^2 (para d.d.l. = 1 y p = 0.01) lo que indica que hay una diferencia significativa entre la fiabilidad de las clasificaciones de las imágenes Hyperion clasificada con 15 bandas sin corrección atmosférica y la imagen ALI clasificada con 9 bandas con corrección atmosférica.

Tabla 20 – Comparación de las fiabilidades de las imágenes Hyperion 242 bandas sin corrección atmosférica con la imagen Hyperion 38 bandas con corrección atmosférica sin diferencia significativa.

	Hyperion 242 bandas Sin Corrección	
Hyperion 38bandas Con Corrección	Correcto	Incorrecto
Correcto	194	43
Incorrecto	38	45
Z²		
	0.31	

El valor de Z^2 es más bajo que el valor crítico de χ^2 (para d.d.l. = 1 y $p = 0.05$), lo que indica que no existe una diferencia significativa entre las clasificaciones de las imágenes Hyperion clasificada con 38 bandas con corrección atmosférica y la imagen Hyperion clasificada con 242 bandas sin corrección atmosférica.

Se calculó el Z^2 para las combinaciones de todas las clasificaciones entre las imágenes ALI con y sin corrección atmosférica y Hyperion con y sin corrección atmosférica para cada par de imágenes.

En total fueron 55 comparaciones, descritas en la tabla 21. Los valores destacados en verde, indican todos los pares de clasificaciones para las cuales “**si existe diferencia significativa**”, y los que están en blanco, son las combinaciones para las cuales “**no existe diferencia significativa**” entre los valores de fiabilidad global.

Tabla 21 - Valores de Z^2 para la comparación de la fiabilidad de las clasificaciones obtenidas con diferentes sensores y tratamientos.

Imagen y Fiabilidad Global		ALI SC	ALI CC	H8b CC	H8b SC	H15b CC	H15b SC	H38b CC	H40b SC	H106b CC	H198b SC	H242b SC
		65.23%	44.13%	64.26%	68.08%	73.09%	73.71%	74.37%	74.73%	72.52%	80%	80%
ALI SC	65.23%	-	25.771**	0.835	0.077	4.762*	4.366*	10.383**	6.868**	3.568	6.698**	6.698**
ALI CC	44.13%	-	-	16.133**	26.133**	45.547**	44.161**	55.115**	48.286**	40.833**	49.824**	49.824**
H8b CC	64.26%	-	-	-	1.108	12.552**	7.5**	19.514**	9.633**	7.348**	9.47**	9.47**
H8b SC	68.08%	-	-	-	-	2.806	7.043**	6.5*	11.524**	2	8.647**	8.647**
H15b CC	73.09%	-	-	-	-	-	0.011	2.613	0.269	0.138	0.186	0.186
H15b SC	73.71%	-	-	-	-	-	-	0.696	0.533	0.182	0.231	0.231
H38b CC	74.37%	-	-	-	-	-	-	-	0.174	3	0.309	0.309
H40b SC	74.73%	-	-	-	-	-	-	-	-	0.762	0.037	0.037
H106b CC	72.52%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.671	0.671
H198b SC	80%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
H242b SC	80%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Los valores destacados en verde, indican los pares de clasificaciones cuya fiabilidad presenta una **diferencia significativa (con * $p = 0.05$ y ** $p = 0.01$)**

VII – DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El análisis de separabilidad de las clases nos indica que las imágenes Hyperion alcanzan el valor máximo de separabilidad, lo que no ocurre con la imagen ALI. Esto sugiere que las imágenes Hyperion separan mejor las clases entre sí, debido a su alta resolución espectral, lo que se confirma con los resultados de fiabilidades obtenidos. En el análisis visual de las clasificaciones, las imágenes Hyperion presentan mejores resultados que las ALI, debido a que no mezclan tanto las clases y que definen mejor sus límites. En el análisis cuantitativo, las imágenes hiperespectrales alcanzaron una fiabilidad hasta 15% más alta que las multiespectrales. Así mismo, la fiabilidad de todas las categorías también mejora, lo que conlleva que los datos hiperespectrales permitieron obtener resultados con mayor fiabilidad que los datos multiespectrales.

Sin embargo, existe dos puntos críticos que se deben señalar en el procesamiento de estos tipos de imágenes, que son muy delicados: la corrección radiométrica y la selección de bandas. Los resultados de las clasificaciones de las imágenes, tanto Hyperion como ALI, después de la corrección atmosférica, fueron sorprendentes, debido a que empeoraron los mismos. Se puede mencionar algunos elementos que dificultaron la corrección radiométrica, y que tal vez influenciaron en estos resultados como el modelo atmosférico y el modelo de aerosoles, para los cuales se tienen pocas opciones. Se tuvo que seleccionar un solo tipo de clima para toda el área. A pesar que el área es pequeña, hay diversidad climática, por ejemplo, una parte de la zona tiene influencia marítima mientras que tierra adentro es mucho más seco, lo que no se pudo especificar en el procesamiento, y se usó el tipo de clima que más se adaptaba a la mayoría del área. Otro problema es que no tenemos elementos para escoger una buena opción de los datos sobre las variables de la atmósfera, debido a la falta de estos tipos de datos en la región. Tal vez, se utilizaron opciones que no eran las más adecuadas. Por otro lado, los modelos que tienen como opción para el procesamiento, son muy generales, por ejemplo para México, todo el territorio entra como modelo atmosférico tropical, lo que parece una generalización excesiva, tomando en cuenta la variabilidad del territorio nacional. Otro factor que puede haber influenciado la corrección fue el modelo de aerosoles, donde tuvimos que generalizar para un modelo rural, aún que se sabe que existe la parte marítima, pero el

algoritmo no permite incorporar dos o más tipos de modelos. Se encontró en la literatura algunos resultados de comparaciones de algunos modelos de correcciones atmosféricas, que mencionan que se obtienen resultados similares y a menudo no muy satisfactorios, lo que indica que este tipo de corrección aun tiene problemas. Tal vez sea por las entradas de datos tan generales, las cuales no permiten definir bien los parámetros específicos para cada región del área de estudio.

Para la selección de bandas, utilizamos un método paramétrico, que tal vez no funciona en espacios hiperdimensionales y que además no permite prever el desempeño de un clasificador que no es paramétrico. Aplicamos la transformada de divergencia para definir las probabilidades de correctas clasificaciones, pero este se refiere al clasificador de máxima probabilidad, no al clasificador que utilizamos, que fue el SAM.

Una consideración adicional para este trabajo concierne en las características del área de estudio, como la topografía del terreno, que es muy compleja, variando desde el nivel del mar hasta más de 2000 m de altitud. Esto implica una gran variación de la cobertura vegetal, siendo muy diversa en su composición, además de presentar un paisaje muy fragmentado con diferentes grados de perturbación, lo cual no es una situación usual para estos tipos de datos. La mayoría de los trabajos publicados que utilizan las imágenes hiperespectrales, son principalmente orientados a regiones o tipos de coberturas más homogéneas, así como terrenos con topografía más suave. En particular, se utiliza más este tipo de imágenes para trabajos relacionados con la agricultura, lo que indican terrenos con poca variación altitudinal. No se encontró un trabajo similar a este, aplicado a áreas con una variedad tan grande de tipos de coberturas y de relieve tan complejo.

La solución para mejorar los resultados de este trabajo, sería obtener más puntos de control en el terreno, así como incrementar el número de campos de entrenamiento, con lo cual la clasificación lograría definir aún mejor la separabilidad de las clases. Todavía quedaría con la falta de un mapa actualizado y confiable del área.

La intención de este trabajo, además de probar las metodologías que mejor permiten alcanzar el mapeo detallado de la cobertura vegetal utilizando imágenes hiperespectrales, fue proponer una solución a la gran necesidad de mapas actualizados y confiables de la cobertura vegetal del país, como insumo indispensable para la realización de estudios ambientales para los cuales el uso y la cobertura del terreno sean relevantes.

Lo que se espera para estos tipos de datos, es que en aproximadamente una década se incrementen estos tipos de sensores hiperespectrales en los satélites, permitiendo una mayor distribución de estas imágenes, que podrán tener una mayor cobertura del territorio Nacional, ya que en el momento estas imágenes aun son reducidas en relación a la cobertura y distribución. Sin embargo, con los resultados de los trabajos ya realizados con estos tipos de imágenes, se comprueba que es factible utilizarlas, pues la mayoría encuentra resultados exitosos. Además, con las metodologías que se están desarrollando, como la de este trabajo, se puede tener datos más confiables de la verdad del terreno.

Algunos aspectos que se debe tomar en cuenta con base en este trabajo y para aplicaciones futuras, es que la corrección radiométrica es un proceso delicado que se debe mejorar, siendo el mismo caso para el método de selección de bandas.

Con base en este trabajo, se puede concluir que las imágenes hiperespectrales permitieron obtener mejores resultados que las imágenes convencionales multiespectrales. Los resultados resaltan las ventajas del uso de estas imágenes para trabajos futuros, donde se necesite detallar y describir con precisión los tipos de cobertura de suelo. Para saber si los datos hiperespectrales tendrán futuro en el mapeo de las coberturas de suelo en México, se necesitaría desarrollar más trabajos utilizando estos tipos de imágenes en condiciones diversas de relieves, climas, tipos de vegetación, y buscar metodologías compatibles con la gran diversidad del país.

VIII - REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ☞ Accioly, L. J. de O.; Garçon, E. A. M.; Barros, M. R. O.; Botelho F. “*Avaliação de alvos em áreas sob desertificação no semi-árido paraibano com base nos sensores Hyperion e LANASAT 7 ETM+*”, Anais XII Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 2005, INPE, p. 347-353.
- ☞ Barry, P.; Segal, C., Pearlman, J.; Jarecke, P.; Folkman, M.; Nelson, N.; Yokoyama, K.; Shepanski, J.; Casement, S.; Carman, S. “*Hyperion Data Collection: Performance Assessment and Science Application*”, Electro-Optics and Technology Department TRW, Redondo Beach, 2002, CA 90278.
- ☞ Bon, F.; J.; C. “*Selección y Extracción de Características*”, 2001, http://www-etsi2.ugr.es/depar/ccia/rlf/www/tema5_00-01_www/tema5_00-01_www.html.
- ☞ Card, D. H. “*Using Known Map Category Marginal Frequencies to Improve Estimates of Thematic Map Accuracy*”, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1982, Vol. 48, No. 3, pp. 431-439.
- ☞ Carvalho Júnior, O. A.; Carvalho, A. P. F.; Meneses, P. R.; Guimarães, R. F.; Martins, E. S. “*Análise de imagens hiperespectrais pelo método multiple endmember spectral mixture analysis (mesma) em depósito supergênico de níquel.*”, *Revista Brasileira de Geociencias*, 2003, 33(1):63-74.
- ☞ D’Alge, J. C. L.; “*Introdução à Ciência da Geoinformação - Cartografia para Geoprocessamento*”, 2001, <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/index.html>.
- ☞ Eckert, s.; Kneubühler, M. “*Application of hyperion data to agricultural land classification and vegetation properties estimation in Switzerland*”, WG VII/1 – Fundamental Physics and Modelling (TS), 2004.

- ☞ Foody, G. M. “*Thematic Map Comparison: Evaluating the Statistical Significance of Differences in Classification Accuracy*”, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol.70, No 5, 2004, pp. 627-633.
- ☞ Galvão, L. S.; Formaggio, A. R.; Tisot, D. A. “*Discriminação de variedades de cana de açúcar com dados hiperespectrales do sensor Hyperion/EO-1*”, *Revista Brasileira de Cartografia*, No 57/01, 2005.
- ☞ Garduño-Monroy, V.H., “*La Diversidad en Michoacán: Estudio de Estado – El Relieve*”, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 2005, pp 21-45.
- ☞ Kruse, F. A., “*Comparison of ATREM, ACORN, and FLAASH Atmospheric Corrections using Low-Altitude AVIRIS Data of Boulder, Colorado*”: In proceedings 13th JPL Airborne Geoscience Workshop, Jet Propulsion Laboratory, 31 March – 2 April 2004, Pasadena, CA (in press).
- ☞ Landgrebe, D.; Biehl, L., “*An Introduction to MultSpec*” Purdue Research Foundation West Lafayette, 2001, Indiana 47907-1285.
- ☞ Mas, J. F.; Díaz-Gallegos, J. R.; Vega, A. P., “*Evaluación de la confiabilidad temática de mapas o de imágenes clasificadas: una revisión*”, *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía-UNAM*, Núm. 51, 2003, pp. 53-72.
- ☞ Mas, J. F. “*Un Método para combinar datos espectrales e información auxiliar en una red artificial neuronal*”, *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Goiânia, Brasil, 2005, INPE, p. 3543-3549.

- ☞ Pu, R.; Yu, Q.; Gong, P.; Biging, G. S., “*EO-1 Hyperion, ALI and Landsat 7 ETM+ data comparison for estimating forest crown closure and leaf area index*”, International Journal of Remote Sensing Vol. 26, No. 3, 2005, 457–474.
- ☞ RSI. ENVI User’s Guide. September 2001, Edition. Research Systems.
- ☞ RSI. ENVI FLAASH Version 4.2, 2005, Edition Copyright Research Systems, Inc. All Rights Reserved.
- ☞ Shimabukuro, Y. E.; Miura, T.; Huete, A.; Arai, E.; Espirito-Santo, F.; Latorre, M. L.; “*Análise dos dados hyperespectrais do EO-1 obtidos sobre a Floresta Nacional de Tapajós no estado do Pará.*”, Anas XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 2003, INPE, p. 1099-1106.
- ☞ Thenkabail, P.S.; Enclona, E. A.; Ashton, M. S.; Van Der Meer, B. “*Accuracy Assessments and Optimal Hyperspectral Wavebands for Vegetation and Agriculture in 400-2500 Nanometers*”, 2003, http://earth.geology.yale.edu/~smith/optimal_hyper_bands.pdf.
- ☞ Tisot, D. A.; Formaggio, A. R.; Galvão, L. S.; Rennó, C. D. “*Dados Hyperion e ETM+ na classificação de alvos agrícolas com diferentes níveis de distinção espectral*”, Anais XII Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 2005, INPE, p. 439-446.
- ☞ USGS. “*Earth Observing-1, Hyperion & ALI Data Users Workshop*”, 2001.
- ☞ Vargas, T. F. “*Estimación de la Confiabilidad de Mapas de Cambio de Uso de Suelo y Vegetación*”, 2006, Tesis.

DIRECCIONES ELECTRÓNICAS

- ☞ <http://www.mundogeo.com.br/resumos/10-GEOBrasil%20BETO%20Palestra.htm>
- ☞ <http://www.geogra.uah.es/~espectra/index.html>
- ☞ <http://eo1.usgs.gov/sensors.php>
- ☞ <http://eo1.gsfc.nasa.gov/new/general/firsts/hyperion.html>
- ☞ http://www.sli.unimelb.edu.au/gisweb/SDEModule/SDE_Theory_dig.htm#rms
- ☞ http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/meie/rosas_o_mc/capitulo_6.html#
- ☞ <http://www.fisterra.com/mbe/investiga/chi/chi.asp#ji>

ANEXO I – MATRICES DE CONFUSIÓN

• **ALI CON CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA 1ª OPCIÓN DE LOS PUNTOS**

Matriz de confusión original para la imagen ALI con corrección atmosférica y 1ª opción de los puntos.

ALI 9bandas Con Corrección 1a opción								
Clases de Referencia	Píxeles sin clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Total
Píxeles sin clasificar	0	1	0	1	0	1	0	3
Agua	0	43	0	9	0	3	5	60
Bosque Pino	0	2	3	48	6	24	0	83
Pastizal	0	5	0	31	4	15	2	57
Selva Baja	0	0	0	9	23	10	0	42
Selva Mediana	0	1	10	25	17	18	0	71
Arena	0	0	0	0	0	0	4	4
Total	0	52	13	123	50	71	11	320
Proporción del mapa π_j	0.0000	0.0806	0.2500	0.1540	0.1927	0.3177	0.0050	

Matriz de confusión corregida según el método de Card.

Clases de referencia	Píxeles sin clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Superficie Corregida
Píxeles sin clasificar	0.0000	0.0015	0.0000	0.0013	0.0000	0.0045	0.0000	0.0073
Agua	0.0000	0.0666	0.0000	0.0113	0.0000	0.0134	0.0023	0.0936
Bosque Pino	0.0000	0.0031	0.0577	0.0601	0.0231	0.1074	0.0000	0.2514
Pastizal	0.0000	0.0077	0.0000	0.0388	0.0154	0.0671	0.0009	0.1300
Selva Baja	0.0000	0.0000	0.0000	0.0113	0.0886	0.0447	0.0000	0.1447
Selva Mediana	0.0000	0.0015	0.1923	0.0313	0.0655	0.0805	0.0000	0.3712
Arena	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0018	0.0018
Total (n_j)	0.0000	0.0806	0.2500	0.1540	0.1927	0.3177	0.0050	
Proporción del mapa π_j	0.0000	0.0806	0.2500	0.1540	0.1927	0.3177	0.0050	

Fiabilidad Global del Mapa corregido según el método de Card.

Fiabilidad Global del Mapa	0.3342
----------------------------	---------------

Fiabilidades del Productor y del Usuario corregidos según el método de Card.

	Fiabilidad del Productor	Fiabilidad del Usuario
Píxeles sin clasificar	0.00	0.00
Agua	0.83	0.71
Bosque Pino	0.23	0.23
Pastizal	0.25	0.30
Selva Baja	0.46	0.61
Selva Mediana	0.25	0.22
Arena	0.36	1.00

• **ALI SIN CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA 1ª OPCIÓN DE LOS PUNTOS**

Matriz de confusión original para la imagen ALI sin corrección atmosférica y 1ª opción de los puntos.

ALI 9bandas Sin Corrección atmosférica 1ª opción								
Referencia	Píxeles sin clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Total
Píxeles sin clasificar	0	1	0	1	0	1	0	3
Agua	0	45	0	2	0	2	3	52
Bosque Pino	0	1	2	15	2	8	0	28
Pastizal	0	2	0	51	5	17	2	77
Selva Baja	0	1	0	14	23	4	0	42
Selva Mediana	0	1	11	39	20	39	0	110
Arena	0	1	0	1	0	0	6	8
Total	0	52	13	123	50	71	11	320
Proporción del mapa π_j	0.0000	0.0616	0.0849	0.1905	0.1977	0.4628	0.0025	

Matriz de confusión corregida según el método de Card.

Clases de referencia	Píxeles sin clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Superficie Corregida
Píxeles sin clasificar	0.0000	0.0012	0.0000	0.0015	0.0000	0.0065	0.0000	0.0093
Agua	0.0000	0.0533	0.0000	0.0031	0.0000	0.0130	0.0007	0.0701
Bosque Pino	0.0000	0.0012	0.0131	0.0232	0.0079	0.0521	0.0000	0.0975
Pastizal	0.0000	0.0024	0.0000	0.0790	0.0198	0.1108	0.0005	0.2124
Selva Baja	0.0000	0.0012	0.0000	0.0217	0.0909	0.0261	0.0000	0.1399
Selva Mediana	0.0000	0.0012	0.0718	0.0604	0.0791	0.2542	0.0000	0.4667
Arena	0.0000	0.0012	0.0000	0.0015	0.0000	0.0000	0.0014	0.0041
Total (n_j)	0.0000	0.0616	0.0849	0.1905	0.1977	0.4628	0.0025	
Proporción del mapa π_j	0.0000	0.0616	0.0849	0.1905	0.1977	0.4628	0.0025	

Fiabilidad Global del Mapa corregido según el método de Card.

Fiabilidad Global del Mapa	0.4919
----------------------------	---------------

Fiabilidades del Productor y del Usuario corregidos según el método de Card.

	Fiabilidad del Productor	Fiabilidad del Usuario
Píxeles sin clasificar	-	-
Agua	0.87	0.76
Bosque Pino	0.15	0.13
Pastizal	0.41	0.37
Selva Baja	0.46	0.65
Selva Mediana	0.55	0.54
Arena	0.55	0.33

• **HYPERION 8 BANDAS CON CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA 1ª OPCIÓN DE LOS PUNTOS**

Matriz de confusión original para la imagen Hyperion 8 bandas con corrección atmosférica y 1ª opción de los puntos.

Hyperion 8 bandas Con Corrección 1a opción								
Clases de referencia	Píxeles sin clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Total
Píxeles sin clasificar	0	1	0	1	0	1	0	3
Agua	0	42	0	14	15	7	4	82
Bosque Pino	0	0	1	4	0	0	0	5
Pastizal	0	4	0	45	5	25	2	81
Selva Baja	0	1	0	12	30	3	0	46
Selva Mediana	0	0	12	47	0	35	0	94
Arena	0	4	0	0	0	0	5	9
Total	0	52	13	123	50	71	11	320
Proporción del mapa π_j	0.0000	0.1547	0.0189	0.2320	0.2077	0.3732	0.0132	

Matriz de confusión corregida según el método de Card.

Clases de referencia	Píxeles sin Clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Superficie Corregida
Píxeles sin clasificar	0.0000	0.0030	0.0000	0.0019	0.0000	0.0053	0.0000	0.0101
Agua	0.0000	0.1250	0.0000	0.0264	0.0623	0.0368	0.0048	0.2553
Bosque Pino	0.0000	0.0000	0.0015	0.0075	0.0000	0.0000	0.0000	0.0090
Pastizal	0.0000	0.0119	0.0000	0.0849	0.0208	0.1314	0.0024	0.2514
Selva Baja	0.0000	0.0030	0.0000	0.0226	0.1246	0.0158	0.0000	0.1660
Selva Mediana	0.0000	0.0000	0.0175	0.0887	0.0000	0.1840	0.0000	0.2902
Arena	0.0000	0.0119	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0060	0.0179
Total (n+j)	0.0000	0.1547	0.0190	0.2321	0.2077	0.3732	0.0133	
Proporción del mapa π_j	0.0000	0.1547	0.0190	0.2321	0.2077	0.3732	0.0133	

Fiabilidad Global del Mapa corregido según el método de Card.

Fiabilidad Global del Mapa	0.5260
-----------------------------------	---------------

Fiabilidades del Productor y del Usuario corregidos según el método de Card.

	Fiabilidad del Productor	Fiabilidad del Usuario
Píxeles sin clasificar	-	-
Agua	0.81	0.49
Bosque Pino	0.08	0.16
Pastizal	0.37	0.34
Selva Baja	0.60	0.75
Selva Mediana	0.49	0.63
Arena	0.45	0.34

• **HYPERION 15 BANDAS CON CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA 1ª OPCIÓN DE LOS PUNTOS**

Matriz de confusión original para la imagen Hyperion 15 bandas con corrección atmosférica y 1ª opción de los puntos.

Hyperion 15 bandas Con Corrección 1a opción								
Clases de referencia	Píxeles sin clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Total
Píxeles sin clasificar	0	1	0	1	0	1	0	3
Agua	0	43	0	2	4	2	2	53
Bosque Pino	0	0	2	7	0	3	0	12
Pastizal	0	4	0	50	7	23	2	86
Selva Baja	0	2	0	14	37	1	1	55
Selva Mediana	0	0	11	47	2	41	0	101
Arena	0	2	0	2	0	0	6	10
Total	0	52	13	123	50	71	11	320
Proporción del mapa π_j	0.0000	0.0860	0.0322	0.2016	0.2045	0.4681	0.0075	

Matriz de confusión corregida según el método de Card.

Clases de referencia	Píxeles sin Clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Superficie Corregida
Píxeles sin clasificar	0.0000	0.0017	0.0000	0.0016	0.0000	0.0066	0.0000	0.0099
Agua	0.0000	0.0711	0.0000	0.0033	0.0164	0.0132	0.0014	0.1053
Bosque Pino	0.0000	0.0000	0.0050	0.0115	0.0000	0.0198	0.0000	0.0362
Pastizal	0.0000	0.0066	0.0000	0.0820	0.0286	0.1516	0.0014	0.2702
Selva Baja	0.0000	0.0033	0.0000	0.0230	0.1513	0.0066	0.0007	0.1849
Selva Mediana	0.0000	0.0000	0.0273	0.0771	0.0082	0.2703	0.0000	0.3828
Arena	0.0000	0.0033	0.0000	0.0033	0.0000	0.0000	0.0041	0.0107
Total (n+j)	0.0000	0.0860	0.0322	0.2016	0.2045	0.4681	0.0075	
Proporción del mapa π_j	0.0000	0.0860	0.0322	0.2016	0.2045	0.4681	0.0075	

Fiabilidad Global del Mapa corregido según el método de Card.

Fiabilidad Global del Mapa	0.5838
----------------------------	--------

Fiabilidades del Productor y del Usuario corregidos según el método de Card.

	Fiabilidad del Productor	Fiabilidad del Usuario
Píxeles sin clasificar	-	-
Agua	0.83	0.68
Bosque Pino	0.15	0.14
Pastizal	0.41	0.30
Selva Baja	0.74	0.82
Selva Mediana	0.58	0.71
Arena	0.55	0.38

• **HYPERION 38 BANDAS CON CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA 1ª OPCIÓN DE LOS PUNTOS**

Matriz de confusión original para la imagen Hyperion 38 bandas con corrección atmosférica y 1ª opción de los puntos.

Hyperion 38 bandas Con Corrección 1a opción								
Clases de referencia	Píxeles sin clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Total
Píxeles sin clasificar	0	1	0	1	0	1	0	3
Agua	0	43	0	5	5	2	1	56
Bosque Pino	0	0	2	7	0	2	0	11
Pastizal	0	4	0	53	8	25	2	92
Selva Baja	0	2	0	15	36	1	1	55
Selva Mediana	0	0	11	41	1	40	0	93
Arena	0	2	0	1	0	0	7	10
Total	0	52	13	123	50	71	11	320
Proporción del mapa π_j	0	0.0888	0.0322	0.2102	0.2192	0.4445	0.0050	

Matriz de confusión corregida según el método de Card.

Clases de referencia	Píxeles sin Clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Superficie Corregida
Píxeles sin clasificar	0.0000	0.0017	0.0000	0.0017	0.0000	0.0063	0.0000	0.0097
Agua	0.0000	0.0735	0.0000	0.0085	0.0219	0.0125	0.0005	0.1169
Bosque Pino	0.0000	0.0000	0.0050	0.0120	0.0000	0.0125	0.0000	0.0294
Pastizal	0.0000	0.0068	0.0000	0.0906	0.0351	0.1565	0.0009	0.2899
Selva Baja	0.0000	0.0034	0.0000	0.0256	0.1578	0.0063	0.0005	0.1936
Selva Mediana	0.0000	0.0000	0.0273	0.0701	0.0044	0.2504	0.0000	0.3522
Arena	0.0000	0.0034	0.0000	0.0017	0.0000	0.0000	0.0032	0.0083
Total (n+j)	0.0000	0.0888	0.0322	0.2102	0.2192	0.4445	0.0050	
Proporción del mapa π_j	0.0000	0.0888	0.0322	0.2102	0.2192	0.4445	0.0050	

Fiabilidad Global del Mapa corregido según el método de Card.

Fiabilidad Global del Mapa	0.5804
-----------------------------------	---------------

Fiabilidades del Productor y del Usuario corregidos según el método de Card.

	Fiabilidad del Productor	Fiabilidad del Usuario
Píxeles sin clasificar	-	-
Agua	0.83	0.63
Bosque Pino	0.15	0.17
Pastizal	0.43	0.31
Selva Baja	0.72	0.82
Selva Mediana	0.56	0.71
Arena	0.64	0.38

• **HYPERION 106 BANDAS CON CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA 1ª OPCIÓN DE LOS PUNTOS**

Matriz de confusión original para la imagen Hyperion 106 bandas con corrección atmosférica y 1ª opción de los puntos.

Hyperion 106 bandas Con Corrección 1a opción								
Clases de referencia	Píxeles sin clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Total
Píxeles sin clasificar	0	1	0	1	0	1	0	3
Agua	0	45	0	6	5	1	3	60
Bosque Pino	0	0	6	12	0	4	0	22
Pastizal	0	2	0	55	6	25	1	89
Selva Baja	0	1	0	14	36	2	0	53
Selva Mediana	0	0	7	34	3	38	0	82
Arena	0	3	0	1	0	0	7	11
Total	0	52	13	123	50	71	11	320
Proporción del mapa π_j	0.0000	0.09527	0.05086	0.23639	0.20021	0.41261	0.00466	

Matriz de confusión corregida según el método de Card.

Clases de referencia	Píxeles sin Clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Superficie Corregida
Píxeles sin clasificar	0.0000	0.0018	0.0000	0.0019	0.0000	0.0058	0.0000	0.0096
Agua	0.0000	0.0824	0.0000	0.0115	0.0200	0.0058	0.0013	0.1211
Bosque Pino	0.0000	0.0000	0.0235	0.0231	0.0000	0.0232	0.0000	0.0698
Pastizal	0.0000	0.0037	0.0000	0.1057	0.0240	0.1453	0.0004	0.2791
Selva Baja	0.0000	0.0018	0.0000	0.0269	0.1442	0.0116	0.0000	0.1845
Selva Mediana	0.0000	0.0000	0.0274	0.0653	0.0120	0.2208	0.0000	0.3256
Arena	0.0000	0.0055	0.0000	0.0019	0.0000	0.0000	0.0030	0.0104
Total (n+j)	0.0000	0.0953	0.0509	0.2364	0.2002	0.4126	0.0047	
Proporción del mapa π_j	0.0000	0.0953	0.0509	0.2364	0.2002	0.4126	0.0047	

Fiabilidad Global del Mapa corregido según el método de Card.

Fiabilidad Global del Mapa	0.5796
-----------------------------------	---------------

Fiabilidades del Productor y del Usuario corregidos según el método de Card.

	Fiabilidad del Productor	Fiabilidad del Usuario
Píxeles sin clasificar	-	-
Agua	0.87	0.68
Bosque Pino	0.46	0.34
Pastizal	0.45	0.38
Selva Baja	0.72	0.78
Selva Mediana	0.54	0.68
Arena	0.64	0.29

• **HYPERION 8 BANDAS SIN CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA 1ª OPCIÓN DE LOS PUNTOS**

Matriz de confusión original para la imagen Hyperion 8 bandas sin corrección atmosférica y 1ª opción de los puntos.

Hyperion 8 bandas Sin Corrección 1a opción								
Clases de referencia	Píxeles sin clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Total
Píxeles sin clasificar	0	1	0	1	0	1	0	3
Agua	0	44	0	5	3	2	2	56
Bosque Pino	0	0	9	25	0	14	0	48
Pastizal	0	3	1	37	5	12	1	59
Selva Baja	0	2	0	13	35	1	0	51
Selva Mediana	0	0	3	40	7	41	0	91
Arena	0	2	0	2	0	0	8	12
Total	0	52	13	123	50	71	11	320
Proporción del mapa π_j	0.0000	0.0713	0.1071	0.1590	0.1809	0.4782	0.0036	

Matriz de confusión corregida según el método de Card.

Clases de referencia	Píxeles sin Clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Superficie Corregida
Píxeles sin clasificar	0.00000	0.00137	0.00000	0.00129	0.00000	0.00673	0.00000	0.00940
Agua	0.00000	0.06031	0.00000	0.00646	0.01085	0.01347	0.00065	0.09175
Bosque Pino	0.00000	0.00000	0.07414	0.03232	0.00000	0.09428	0.00000	0.20075
Pastizal	0.00000	0.00411	0.00824	0.04784	0.01809	0.08081	0.00033	0.15941
Selva Baja	0.00000	0.00274	0.00000	0.01681	0.12661	0.00673	0.00000	0.15290
Selva Mediana	0.00000	0.00000	0.02471	0.05172	0.02532	0.27612	0.00000	0.37787
Arena	0.00000	0.00274	0.00000	0.00259	0.00000	0.00000	0.00260	0.00793
Total (n+j)	0.0000	0.0713	0.1071	0.1590	0.1809	0.4782	0.0036	
Proporción del mapa π_j	0.0000	0.0713	0.1071	0.1590	0.1809	0.4782	0.0036	

Fiabilidad Global del Mapa corregido según el método de Card.

Fiabilidad Global del Mapa	0.5876
-----------------------------------	---------------

Fiabilidades del Productor y del Usuario corregidos según el método de Card.

	Fiabilidad del Productor	Fiabilidad del Usuario
Píxeles sin clasificar	-	-
Agua	0.85	0.66
Bosque Pino	0.69	0.37
Pastizal	0.30	0.30
Selva Baja	0.70	0.83
Selva Mediana	0.58	0.73
Arena	0.73	0.33

• **HYPERION 15 BANDAS SIN CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA 1ª OPCIÓN DE LOS PUNTOS**

Matriz de confusión original para la imagen Hyperion 15 bandas sin corrección atmosférica y 1ª opción de los puntos.

Hyperion 15 bandas Sin Corrección 1a opción								
Clases de referencia	Píxeles sin clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Total
Píxeles sin clasificar	0	1	0	1	0	2	0	4
Agua	0	43	0	5	1	2	2	53
Bosque Pino	0	0	10	26	0	11	0	47
Pastizal	0	3	0	38	5	13	1	60
Selva Baja	0	3	0	12	37	1	0	53
Selva Mediana	0	0	3	38	6	42	0	89
Arena	0	2	0	3	1	0	8	14
Total	0	52	13	123	50	71	11	320
Proporción del mapa π_j	0.0000	0.0691	0.0777	0.1504	0.1798	0.5183	0.0047	

Matriz de confusión corregida según el método de Card.

Clases de referencia	Píxeles sin Clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Superficie Corregida
Píxeles sin clasificar	0.00000	0.00133	0.00000	0.00122	0.00000	0.01460	0.00000	0.01715
Agua	0.00000	0.05716	0.00000	0.00612	0.00360	0.01460	0.00085	0.08232
Bosque Pino	0.00000	0.00000	0.05979	0.03180	0.00000	0.08029	0.00000	0.17188
Pastizal	0.00000	0.00399	0.00000	0.04647	0.01798	0.09489	0.00042	0.16376
Selva Baja	0.00000	0.00399	0.00000	0.01468	0.13305	0.00730	0.00000	0.15902
Selva Mediana	0.00000	0.00000	0.01794	0.04647	0.02158	0.30658	0.00000	0.39257
Arena	0.00000	0.00266	0.00000	0.00367	0.00360	0.00000	0.00339	0.01331
Total (n+j)	0.00000	0.06913	0.07772	0.15043	0.17980	0.51827	0.00466	
Proporción del mapa π_j	0.00000	0.06913	0.07772	0.15043	0.17980	0.51827	0.00466	

Fiabilidad Global del Mapa corregido según el método de Card.

Fiabilidad Global del Mapa	0.6064
----------------------------	--------

Fiabilidades del Productor y del Usuario corregidos según el método de Card.

	Fiabilidad del Productor	Fiabilidad del Usuario
Píxeles sin clasificar	-	-
Agua	0.83	0.69
Bosque Pino	0.77	0.35
Pastizal	0.31	0.28
Selva Baja	0.74	0.84
Selva Mediana	0.59	0.78
Arena	0.73	0.25

• **HYPERION 40 BANDAS SIN CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA 1ª OPCIÓN DE LOS PUNTOS**

Matriz de confusión original para la imagen Hyperion 40 bandas sin corrección atmosférica y 1ª opción de los puntos.

Hyperion 40 bandas Sin Corrección 1a opción								
Clases de referencia	Píxeles sin clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Total
Píxeles sin clasificar	0	1	0	1	0	2	0	4
Agua	0	43	0	5	2	2	2	54
Bosque Pino	0	0	8	23	0	8	0	39
Pastizal	0	3	0	38	4	16	1	62
Selva Baja	0	3	0	12	40	2	0	57
Selva Mediana	0	0	5	41	4	41	0	91
Arena	0	2	0	3	0	0	8	13
Total	0	52	13	123	50	71	11	320
Proporción del mapa π_j	0	0.06769	0.05838	0.14971	0.18446	0.53617	0.00358	

Matriz de confusión corregida según el método de Card.

Clases de referencia	Píxeles sin Clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Superficie Corregida
Píxeles sin clasificar	0.0000	0.00130	0.00000	0.00122	0.00000	0.01510	0.00000	0.01762
Agua	0.0000	0.05598	0.00000	0.00609	0.00738	0.01510	0.00065	0.08520
Bosque Pino	0.0000	0.00000	0.03593	0.02800	0.00000	0.06041	0.00000	0.12434
Pastizal	0.0000	0.00391	0.00000	0.04625	0.01476	0.12083	0.00033	0.18607
Selva Baja	0.0000	0.00391	0.00000	0.01461	0.14756	0.01510	0.00000	0.18118
Selva Mediana	0.0000	0.00000	0.02245	0.04990	0.01476	0.30962	0.00000	0.39674
Arena	0.0000	0.00260	0.00000	0.00365	0.00000	0.00000	0.00260	0.00886
Total (n+j)	0.0000	0.06769	0.05838	0.14971	0.18446	0.53617	0.00358	
Proporción del mapa π_j	0.0000	0.06769	0.05838	0.14971	0.18446	0.53617	0.00358	

Fiabilidad Global del Mapa corregido según el método de Card.

Fiabilidad Global del Mapa	0.5979
-----------------------------------	---------------

Fiabilidades del Productor y del Usuario corregidos según el método de Card.

	Fiabilidad del Productor	Fiabilidad del Usuario
Píxeles sin clasificar	-	-
Agua	0.83	0.66
Bosque Pino	0.62	0.29
Pastizal	0.31	0.25
Selva Baja	0.80	0.81
Selva Mediana	0.58	0.78
Arena	0.73	0.29

• **HYPERION 198 BANDAS SIN CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA 1ª OPCIÓN DE LOS PUNTOS**

Matriz de confusión original para la imagen Hyperion 198 bandas sin corrección atmosférica y 1ª opción de los puntos.

Hyperion 198 bandas Sin Corrección 1a opción								
Clases de referencia	Píxeles sin clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Total
Píxeles sin clasificar	0	1	0	1	0	2	0	4
Agua	0	44	0	5	2	2	2	55
Bosque Pino	0	0	9	17	0	3	0	29
Pastizal	0	3	0	44	5	18	2	72
Selva Baja	0	2	0	14	38	3	0	57
Selva Mediana	0	0	4	39	5	43	0	91
Arena	0	2	0	3	0	0	7	12
Total	0	52	13	123	50	71	11	320
Proporción del mapa π_j	0.00000	0.06841	0.04083	0.16870	0.18302	0.53546	0.00358	

Matriz de confusión corregida según el método de Card.

Clases de referencia	Píxeles sin Clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Superficie Corregida
Píxeles sin clasificar	0.00000	0.00132	0.00000	0.00137	0.00000	0.01508	0.00000	0.01777
Agua	0.00000	0.05789	0.00000	0.00686	0.00732	0.01508	0.00065	0.08780
Bosque Pino	0.00000	0.00000	0.02827	0.02332	0.00000	0.02263	0.00000	0.07421
Pastizal	0.00000	0.00395	0.00000	0.06035	0.01830	0.13575	0.00065	0.21900
Selva Baja	0.00000	0.00263	0.00000	0.01920	0.13910	0.02263	0.00000	0.18355
Selva Mediana	0.00000	0.00000	0.01256	0.05349	0.01830	0.32429	0.00000	0.40865
Arena	0.00000	0.00263	0.00000	0.00411	0.00000	0.00000	0.00228	0.00902
Total (n+j)	0.00000	0.06841	0.04083	0.16870	0.18302	0.53546	0.00358	
Proporción del mapa π_j	0.00000	0.06841	0.04083	0.16870	0.18302	0.53546	0.00358	

Fiabilidad Global del Mapa corregido según el método de Card.

Fiabilidad Global del Mapa	0.6122
-----------------------------------	---------------

Fiabilidades del Productor y del Usuario corregidos según el método de Card.

	Fiabilidad del Productor	Fiabilidad del Usuario
Píxeles sin clasificar	-	-
Agua	0.85	0.66
Bosque Pino	0.69	0.38
Pastizal	0.36	0.28
Selva Baja	0.76	0.76
Selva Mediana	0.61	0.79
Arena	0.64	0.25

• **HYPERION 242 BANDAS SIN CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA 1ª OPCIÓN DE LOS PUNTOS**

Matriz de confusión original para la imagen Hyperion 242 bandas sin corrección atmosférica y 1ª opción de los puntos.

Hyperion 242 bandas Sin Corrección 1a opción								
Clases de referencia	Píxeles sin clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Total
Píxeles sin clasificar	0	1	0	1	0	2	0	4
Agua	0	44	0	5	2	2	2	55
Bosque Pino	0	0	9	17	0	3	0	29
Pastizal	0	3	0	44	5	18	2	72
Selva Baja	0	2	0	14	38	3	0	57
Selva Mediana	0	0	4	39	5	43	0	91
Arena	0	2	0	3	0	0	7	12
Total	0	52	13	123	50	71	11	320
Proporción del mapa π_j	0.00000	0.06841	0.04083	0.16870	0.18302	0.53546	0.00358	

Matriz de confusión corregida según el método de Card.

Clases de referencia	Píxeles sin Clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Superficie Corregida
Píxeles sin clasificar	0.00000	0.00132	0.00000	0.00137	0.00000	0.01508	0.00000	0.01777
Agua	0.00000	0.05789	0.00000	0.00686	0.00732	0.01508	0.00065	0.08780
Bosque Pino	0.00000	0.00000	0.02827	0.02332	0.00000	0.02263	0.00000	0.07421
Pastizal	0.00000	0.00395	0.00000	0.06035	0.01830	0.13575	0.00065	0.21900
Selva Baja	0.00000	0.00263	0.00000	0.01920	0.13910	0.02263	0.00000	0.18355
Selva Mediana	0.00000	0.00000	0.01256	0.05349	0.01830	0.32429	0.00000	0.40865
Arena	0.00000	0.00263	0.00000	0.00411	0.00000	0.00000	0.00228	0.00902
Total (n+j)	0.00000	0.06841	0.04083	0.16870	0.18302	0.53546	0.00358	
Proporción del mapa π_j	0.00000	0.06841	0.04083	0.16870	0.18302	0.53546	0.00358	

Fiabilidad Global del Mapa corregido según el método de Card.

Fiabilidad Global del Mapa	0.6122
-----------------------------------	---------------

Fiabilidades del Productor y del Usuario corregidos según el método de Card.

	Fiabilidad del Productor	Fiabilidad del Usuario
Píxeles sin clasificar	-	-
Agua	0.85	0.66
Bosque Pino	0.69	0.38
Pastizal	0.36	0.28
Selva Baja	0.76	0.76
Selva Mediana	0.61	0.79
Arena	0.64	0.25

• **ALI CON CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA 2ª OPCIÓN DE LOS PUNTOS**

Matriz de confusión original para la imagen ALI con corrección atmosférica y 2ª opción de los puntos.

Ali 9 bandas Con Corrección 2a opción								
Clases de Referencia	Píxeles sin clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Total
Píxeles sin clasificar	0	1	0	0	0	2	0	3
Agua	0	43	1	7	0	3	6	60
Bosque Pino	0	2	7	28	9	37	0	83
Pastizal	0	3	0	42	1	6	5	57
Selva Baja	0	0	1	0	26	15	0	42
Selva Mediana	0	0	12	8	16	35	0	71
Arena	0	0	0	0	0	0	4	4
Total	0	49	21	85	52	98	15	320
Proporción del mapa π_i	0.0000	0.0806	0.2500	0.1540	0.1927	0.3177	0.0050	

Matriz de confusión corregida según el método de Card.

Clases de referencia	Píxeles sin Clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Superficie Corregida
Píxeles sin clasificar	0.00000	0.00164	0.00000	0.00000	0.00000	0.00648	0.00000	0.00813
Agua	0.00000	0.07072	0.01190	0.01268	0.00000	0.00973	0.00201	0.10704
Bosque Pino	0.00000	0.00329	0.08333	0.05073	0.03335	0.11995	0.00000	0.29065
Pastizal	0.00000	0.00493	0.00000	0.07610	0.00371	0.01945	0.00167	0.10586
Selva Baja	0.00000	0.00000	0.01190	0.00000	0.09635	0.04863	0.00000	0.15688
Selva Mediana	0.00000	0.00000	0.14286	0.01450	0.05929	0.11346	0.00000	0.33010
Arena	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00134	0.00134
Total (n+j)	0.00000	0.08059	0.25000	0.15401	0.19269	0.31769	0.00501	
Proporción del mapa π_i	0.00000	0.08059	0.25000	0.15401	0.19269	0.31769	0.00501	

Fiabilidad Global del Mapa corregido según el método de Card.

Fiabilidad Global del Mapa	0.44130
----------------------------	----------------

Fiabilidades del Productor y del Usuario corregidos según el método de Card.

	Fiabilidad del Productor	Fiabilidad del Usuario
Píxeles sin clasificar	-	-
Agua	0.88	0.66
Bosque Pino	0.33	0.29
Pastizal	0.49	0.72
Selva Baja	0.50	0.61
Selva Mediana	0.36	0.34
Arena	0.27	1.00

• ALI SIN CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA 2ª OPCIÓN DE LOS PUNTOS

Matriz de confusión original para la imagen ALI sin corrección atmosférica y 2ª opción de los puntos.

ALI 9 bandas sin corrección atmosférica 2a opción								
Clases de Referencia	Píxeles sin clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Total
Píxeles sin clasificar	0	1	0	0	0	2	0	3
Agua	0	45	0	0	0	3	4	52
Bosque Pino	0	1	3	10	2	12	0	28
Pastizal	0	1	0	63	1	7	5	77
Selva Baja	0	0	0	4	28	10	0	42
Selva Mediana	0	0	18	7	21	64	0	110
Arena	0	1	0	1	0	0	6	8
Total	0	49	21	85	52	98	15	320
Proporción del mapa π_j	0.0000	0.08883	0.03223	0.21024	0.21920	0.44448	0.00501	

Matriz de confusión corregida según el método de Card.

Clases de referencia	Píxeles sin clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Superficie Corregida
Píxeles sin clasificar	0.0000	0.00181	0.00000	0.00000	0.00000	0.00907	0.00000	0.01088
Agua	0.0000	0.08157	0.00000	0.00000	0.00000	0.01361	0.00134	0.09652
Bosque Pino	0.0000	0.00181	0.00460	0.02473	0.00843	0.05443	0.00000	0.09401
Pastizal	0.0000	0.00181	0.00000	0.15583	0.00422	0.03175	0.00167	0.19528
Selva Baja	0.0000	0.00000	0.00000	0.00989	0.11803	0.04536	0.00000	0.17328
Selva Mediana	0.0000	0.00000	0.02763	0.01731	0.08852	0.29028	0.00000	0.42374
Arena	0.0000	0.00181	0.00000	0.00247	0.00000	0.00000	0.00201	0.00629
Total (n+j)	0.0000	0.08883	0.03223	0.21024	0.21920	0.44448	0.00501	
Proporción del mapa π_j	0.0000	0.08883	0.03223	0.21024	0.21920	0.44448	0.00501	

Fiabilidad Global del Mapa corregido según el método de Card.

Fiabilidad Global del Mapa	0.6523
----------------------------	--------

Fiabilidades del Productor y del Usuario corregidos según el método de Card.

	Fiabilidad del Productor	Fiabilidad del Usuario
Píxeles sin clasificar	-	-
Agua	0.92	0.85
Bosque Pino	0.14	0.05
Pastizal	0.74	0.80
Selva Baja	0.54	0.68
Selva Mediana	0.65	0.69
Arena	0.40	0.32

• **HYPERION 8 BANDAS CON CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA 2ª OPCIÓN DE LOS PUNTOS**

Matriz de confusión original para la imagen Hyperion 8 bandas con corrección atmosférica y 2ª opción de los puntos.

Hyperion 8 bandas Con Corrección 2a opción								
Clases de referencia	Píxeles sin clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Total
Píxeles sin clasificar	0	1	0	0	0	2	0	3
Agua	0	42	1	14	14	9	2	82
Bosque Pino	0	0	3	2	0	0	0	5
Pastizal	0	3	1	49	4	17	7	81
Selva Baja	0	0	0	3	34	9	0	46
Selva Mediana	0	0	16	17	0	61	0	94
Arena	0	3	0	0	0	0	6	9
Total	0	49	21	85	52	98	15	320
Proporción del mapa π_j	0.00000	0.15473	0.01898	0.23209	0.20774	0.37321	0.01325	

Matriz de confusión corregida según el método de Card.

Clases de referencia	Píxeles sin Clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Superficie Corregida
Píxeles sin clasificar	0.0000	0.0032	0.0000	0.0000	0.0000	0.0076	0.0000	0.0108
Agua	0.0000	0.1326	0.0009	0.0382	0.0559	0.0343	0.0018	0.2637
Bosque Pino	0.0000	0.0000	0.0027	0.0055	0.0000	0.0000	0.0000	0.0082
Pastizal	0.0000	0.0095	0.0009	0.1338	0.0160	0.0647	0.0062	0.2311
Selva Baja	0.0000	0.0000	0.0000	0.0082	0.1358	0.0343	0.0000	0.1783
Selva Mediana	0.0000	0.0000	0.0145	0.0464	0.0000	0.2323	0.0000	0.2932
Arena	0.0000	0.0095	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0053	0.0148
Total (n+j)	0.0000	0.1547	0.0190	0.2321	0.2077	0.3732	0.0133	
Proporción del mapa π_j	0.0000	0.1547	0.0190	0.2321	0.2077	0.3732	0.0133	

Fiabilidad Global del Mapa corregido según el método de Card.

Fiabilidad Global del Mapa	0.6426
-----------------------------------	---------------

Fiabilidades del Productor y del Usuario corregidos según el método de Card.

	Fiabilidad del Productor	Fiabilidad del Usuario
Píxeles sin clasificar	-	-
Agua	0.86	0.50
Bosque Pino	0.14	0.33
Pastizal	0.58	0.58
Selva Baja	0.65	0.76
Selva Mediana	0.62	0.79
Arena	0.40	0.36

• **HYPERION 15 BANDAS CON CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA 2ª OPCIÓN DE LOS PUNTOS**

Matriz de confusión original para la imagen Hyperion 15 bandas con corrección atmosférica y 2ª opción de los puntos.

Hyperion 15 bandas Con Corrección 2a opción								
Clases de referencia	Píxeles sin clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Total
Píxeles sin clasificar	0	1	0	0	0	2	0	3
Agua	0	43	0	2	4	3	1	53
Bosque Pino	0	0	5	4	0	3	0	12
Pastizal	0	3	1	61	5	10	6	86
Selva Baja	0	1	0	1	42	10	1	55
Selva Mediana	0	0	15	15	1	70	0	101
Arena	0	1	0	2	0	0	7	10
Total	0	49	21	85	52	98	15	320
Proporción del mapa π_j	0.0000	0.08596	0.03223	0.20165	0.20451	0.46812	0.00752	

Matriz de confusión corregida según el método de Card.

Clases de referencia	Píxeles sin Clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Superficie Corregida
Píxeles sin clasificar	0.0000	0.0018	0.0000	0.0000	0.0000	0.0096	0.0000	0.0113
Agua	0.0000	0.0754	0.0000	0.0047	0.0157	0.0143	0.0005	0.1107
Bosque Pino	0.0000	0.0000	0.0077	0.0095	0.0000	0.0143	0.0000	0.0315
Pastizal	0.0000	0.0053	0.0015	0.1447	0.0197	0.0478	0.0030	0.2220
Selva Baja	0.0000	0.0018	0.0000	0.0024	0.1652	0.0478	0.0005	0.2176
Selva Mediana	0.0000	0.0000	0.0230	0.0356	0.0039	0.3344	0.0000	0.3969
Arena	0.0000	0.0018	0.0000	0.0047	0.0000	0.0000	0.0035	0.0100
Total (n+j)	0.0000	0.0860	0.0322	0.2016	0.2045	0.4681	0.0075	
Proporción del mapa π_j	0.0000	0.0860	0.0322	0.2016	0.2045	0.4681	0.0075	

Fiabilidad Global del Mapa corregido según el método de Card.

Fiabilidad Global del Mapa	0.7309
----------------------------	--------

Fiabilidades del Productor y del Usuario corregidos según el método de Card.

	Fiabilidad del Productor	Fiabilidad del Usuario
Píxeles sin clasificar	-	-
Agua	0.88	0.68
Bosque Pino	0.24	0.24
Pastizal	0.72	0.65
Selva Baja	0.81	0.76
Selva Mediana	0.71	0.84
Arena	0.47	0.35

• **HYPERION 38 BANDAS CON CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA 2ª OPCIÓN DE LOS PUNTOS**

Matriz de confusión original para la imagen Hyperion 38 bandas con corrección atmosférica y 2ª opción de los puntos.

Hyperion 38 bandas Con Corrección 2a opción								
Clases de referencia	Píxeles sin clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Total
Píxeles sin clasificar	0	1	0	0	0	2	0	3
Agua	0	43	0	1	5	5	2	56
Bosque Pino	0	0	5	3	1	2	0	11
Pastizal	0	3	1	67	4	12	5	92
Selva Baja	0	1	0	3	42	8	1	55
Selva Mediana	0	0	15	9	0	69	0	93
Arena	0	1	0	2	0	0	7	10
Total	0	49	21	85	52	98	15	320
Proporción del mapa π_j	0.0000	0.08883	0.03223	0.21024	0.21920	0.44448	0.00501	

Matriz de confusión corregida según el método de Card.

Clases de referencia	Píxeles sin Clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Superficie Corregida
Píxeles sin clasificar	0.0000	0.0018	0.0000	0.0000	0.0000	0.0091	0.0000	0.0109
Agua	0.0000	0.0779	0.0000	0.0025	0.0211	0.0227	0.0007	0.1248
Bosque Pino	0.0000	0.0000	0.0077	0.0074	0.0042	0.0091	0.0000	0.0284
Pastizal	0.0000	0.0054	0.0015	0.1657	0.0169	0.0544	0.0017	0.2457
Selva Baja	0.0000	0.0018	0.0000	0.0074	0.1770	0.0363	0.0003	0.2229
Selva Mediana	0.0000	0.0000	0.0230	0.0223	0.0000	0.3130	0.0000	0.3582
Arena	0.0000	0.0018	0.0000	0.0049	0.0000	0.0000	0.0023	0.0091
Total (n+j)	0.0000	0.0888	0.0322	0.2102	0.2192	0.4445	0.0050	
Proporción del mapa π_j	0.0000	0.0888	0.0322	0.2102	0.2192	0.4445	0.0050	

Fiabilidad Global del Mapa corregido según el método de Card.

Fiabilidad Global del Mapa	0.7437
-----------------------------------	---------------

Fiabilidades del Productor y del Usuario corregidos según el método de Card.

	Fiabilidad del Productor	Fiabilidad del Usuario
Píxeles sin clasificar	-	-
Agua	0.88	0.62
Bosque Pino	0.24	0.27
Pastizal	0.79	0.67
Selva Baja	0.81	0.79
Selva Mediana	0.70	0.87
Arena	0.47	0.26

• **HYPERION 106 BANDAS CON CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA 2ª OPCIÓN DE LOS PUNTOS**

Matriz de confusión original para la imagen Hyperion 106 bandas con corrección atmosférica y 2ª opción de los puntos.

Hyperion 106 bandas Con Corrección 2a opción								
Clases de referencia	Píxeles sin clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Total
Píxeles sin clasificar	0	1	0	0	0	2	0	3
Agua	0	44	0	2	5	4	5	60
Bosque Pino	0	0	9	6	1	6	0	22
Pastizal	0	2	0	68	1	15	3	89
Selva Baja	0	0	0	1	43	9	0	53
Selva Mediana	0	0	12	6	2	62	0	82
Arena	0	2	0	2	0	0	7	11
Total	0	49	21	85	52	98	15	320
Proporción del mapa π_j	0.0000	0.09527	0.05086	0.23639	0.20021	0.41261	0.00466	

Matriz de confusión corregida según el método de Card.

Clases de referencia	Píxeles sin Clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Superficie Corregida
Píxeles sin clasificar	0.0000	0.0019	0.0000	0.0000	0.0000	0.0084	0.0000	0.0104
Agua	0.0000	0.0856	0.0000	0.0056	0.0193	0.0168	0.0016	0.1288
Bosque Pino	0.0000	0.0000	0.0218	0.0167	0.0039	0.0253	0.0000	0.0676
Pastizal	0.0000	0.0039	0.0000	0.1891	0.0039	0.0632	0.0009	0.2609
Selva Baja	0.0000	0.0000	0.0000	0.0028	0.1656	0.0379	0.0000	0.2062
Selva Mediana	0.0000	0.0000	0.0291	0.0167	0.0077	0.2610	0.0000	0.3145
Arena	0.0000	0.0039	0.0000	0.0056	0.0000	0.0000	0.0022	0.0116
Total (n+j)	0.0000	0.0953	0.0509	0.2364	0.2002	0.4126	0.0047	
Proporción del mapa π_j	0.0000	0.0953	0.0509	0.2364	0.2002	0.4126	0.0047	

Fiabilidad Global del Mapa corregido según el método de Card.

Fiabilidad Global del Mapa	0.7252
----------------------------	--------

Fiabilidades del Productor y del Usuario corregidos según el método de Card.

	Fiabilidad del Productor	Fiabilidad del Usuario
Píxeles sin clasificar	-	-
Agua	0.90	0.66
Bosque Pino	0.43	0.32
Pastizal	0.80	0.72
Selva Baja	0.83	0.80
Selva Mediana	0.63	0.83
Arena	0.47	0.19

• **HYPERION 8 BANDAS SIN CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA 2ª OPCIÓN DE LOS PUNTOS**

Matriz de confusión original para la imagen Hyperion 8 bandas sin corrección atmosférica y 2ª opción de los puntos.

Hyperion 8 bandas Sin Corrección 2a opción								
Clases de referencia	Píxeles sin clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Total
Píxeles sin clasificar	0	1	0	0	0	2	0	3
Agua	0	45	0	2	1	3	5	56
Bosque Pino	0	0	16	9	1	22	0	48
Pastizal	0	1	2	47	3	5	1	59
Selva Baja	0	1	0	3	42	5	0	51
Selva Mediana	0	0	3	22	5	61	0	91
Arena	0	1	0	2	0	0	9	12
Total	0	49	21	85	52	98	15	320
Proporción del mapa π_j	0.0000	0.0713	0.1071	0.1590	0.1809	0.4782	0.0036	

Matriz de confusión corregida según el método de Card.

Clases de referencia	Píxeles sin Clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Superficie Corregida
Píxeles sin clasificar	0.00000	0.00145	0.00000	0.00000	0.00000	0.00976	0.00000	0.01121
Agua	0.00000	0.06546	0.00000	0.00374	0.00348	0.01464	0.00119	0.08851
Bosque Pino	0.00000	0.00000	0.08159	0.01684	0.00348	0.10734	0.00000	0.20925
Pastizal	0.00000	0.00145	0.01020	0.08793	0.01044	0.02440	0.00024	0.13466
Selva Baja	0.00000	0.00145	0.00000	0.00561	0.14609	0.02440	0.00000	0.17755
Selva Mediana	0.00000	0.00000	0.01530	0.04116	0.01739	0.29763	0.00000	0.37148
Arena	0.00000	0.00145	0.00000	0.00374	0.00000	0.00000	0.00215	0.00735
Total (n+j)	0.00000	0.07128	0.10709	0.15903	0.18087	0.47815	0.00358	
Proporción del mapa π_j	0.00000	0.07128	0.10709	0.15903	0.18087	0.478152	0.00358	

Fiabilidad Global del Mapa corregido según el método de Card.

Fiabilidad Global del Mapa	0.6808
-----------------------------------	---------------

Fiabilidades del Productor y del Usuario corregidos según el método de Card.

	Fiabilidad del Productor	Fiabilidad del Usuario
Píxeles sin clasificar	-	-
Agua	0.92	0.74
Bosque Pino	0.76	0.39
Pastizal	0.55	0.65
Selva Baja	0.81	0.82
Selva Mediana	0.62	0.80
Arena	0.60	0.29

• **HYPERION 15 BANDAS SIN CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA 2ª OPCIÓN DE LOS PUNTOS**

Matriz de confusión original para la imagen Hyperion 15 bandas sin corrección atmosférica y 2ª opción de los puntos.

Hyperion 15 bandas Sin Corrección 2a opción								
Clases de referencia	Píxeles sin clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Total
Píxeles sin clasificar	0	1	0	0	0	3	0	4
Agua	0	44	0	0	1	4	4	53
Bosque Pino	0	0	17	11	1	18	0	47
Pastizal	0	2	0	56	1	0	1	60
Selva Baja	0	1	0	1	45	6	0	53
Selva Mediana	0	0	4	14	4	67	0	89
Arena	0	1	0	3	0	0	10	14
Total	0	49	21	85	52	98	15	320
Proporción del mapa π_j	0.0000	0.0691	0.0777	0.1504	0.1798	0.5183	0.0047	

Matriz de confusión corregida según el método de Card.

Clases de referencia	Píxeles sin Clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Superficie Corregida
Píxeles sin clasificar	0.0000	0.0014	0.0000	0.0000	0.0000	0.0159	0.0000	0.0173
Agua	0.0000	0.0621	0.0000	0.0000	0.0035	0.0212	0.0012	0.0879
Bosque Pino	0.0000	0.0000	0.0629	0.0195	0.0035	0.0952	0.0000	0.1810
Pastizal	0.0000	0.0028	0.0000	0.0991	0.0035	0.0000	0.0003	0.1057
Selva Baja	0.0000	0.0014	0.0000	0.0018	0.1556	0.0317	0.0000	0.1905
Selva Mediana	0.0000	0.0000	0.0148	0.0248	0.0138	0.3543	0.0000	0.4077
Arena	0.0000	0.0014	0.0000	0.0053	0.0000	0.0000	0.0031	0.0098
Total (n+j)	0.0000	0.0691	0.0777	0.1504	0.1798	0.5183	0.0047	
Proporción del mapa π_j	0.0000	0.0691	0.0777	0.1504	0.1798	0.5183	0.0047	

Fiabilidad Global del Mapa corregido según el método de Card.

Fiabilidad Global del Mapa	0.7371
-----------------------------------	---------------

Fiabilidades del Productor y del Usuario corregidos según el método de Card.

	Fiabilidad del Productor	Fiabilidad del Usuario
Píxeles sin clasificar	-	-
Agua	0.90	0.71
Bosque Pino	0.81	0.35
Pastizal	0.66	0.94
Selva Baja	0.87	0.82
Selva Mediana	0.68	0.87
Arena	0.67	0.32

• **HYPERION 40 BANDAS SIN CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA 2ª OPCIÓN DE LOS PUNTOS**

Matriz de confusión original para la imagen Hyperion 40 bandas sin corrección atmosférica y 2ª opción de los puntos.

Hyperion 40 bandas Sin Corrección 2a opción								
Clases de referencia	Píxeles sin clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Total
Píxeles sin clasificar	0	1	0	0	0	3	0	4
Agua	0	44	0	0	1	4	5	54
Bosque Pino	0	0	15	10	0	14	0	39
Pastizal	0	2	0	57	0	2	1	62
Selva Baja	0	1	0	1	48	7	0	57
Selva Mediana	0	0	6	14	3	68	0	91
Arena	0	1	0	3	0	0	9	13
Total	0	49	21	85	52	98	15	320
Proporción del mapa π_j	0.0000	0.0677	0.0584	0.1497	0.1845	0.5362	0.0036	

Matriz de confusión corregida según el método de Card.

Clases de referencia	Píxeles sin Clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Superficie Corregida
Píxeles sin clasificar	0.00000	0.00138	0.00000	0.00000	0.00000	0.01641	0.00000	0.01780
Agua	0.00000	0.06079	0.00000	0.00000	0.00355	0.02188	0.00119	0.08741
Bosque Pino	0.00000	0.00000	0.04170	0.01761	0.00000	0.07660	0.00000	0.13591
Pastizal	0.00000	0.00276	0.00000	0.10040	0.00000	0.01094	0.00024	0.11434
Selva Baja	0.00000	0.00138	0.00000	0.00176	0.17027	0.03830	0.00000	0.21171
Selva Mediana	0.00000	0.00000	0.01668	0.02466	0.01064	0.37204	0.00000	0.42402
Arena	0.00000	0.00138	0.00000	0.00528	0.00000	0.00000	0.00215	0.00881
Total (n+j)	0.00000	0.06769	0.05838	0.14971	0.18446	0.53617	0.00358	
Proporción del mapa π_j	0.00000	0.06769	0.05838	0.14971	0.18446	0.53617	0.00358	

Fiabilidad Global del Mapa corregido según el método de Card.

Fiabilidad Global del Mapa	0.7473
-----------------------------------	---------------

Fiabilidades del Productor y del Usuario corregidos según el método de Card.

	Fiabilidad del Productor	Fiabilidad del Usuario
Píxeles sin clasificar	-	-
Agua	0.90	0.70
Bosque Pino	0.71	0.31
Pastizal	0.67	0.88
Selva Baja	0.92	0.80
Selva Mediana	0.69	0.88
Arena	0.60	0.24

• **HYPERION 198 BANDAS SIN CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA 2ª OPCIÓN DE LOS PUNTOS**

Matriz de confusión original para la imagen Hyperion 198 bandas sin corrección atmosférica y 2ª opción de los puntos.

Hyperion 198 bandas Sin Corrección 2a opción								
Clases de referencia	Píxeles sin clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Total
Píxeles sin clasificar	0	1	0	0	0	3	0	4
Agua	0	45	0	0	1	4	5	55
Bosque Pino	0	0	15	6	1	7	0	29
Pastizal	0	2	1	64	1	3	1	72
Selva Baja	0	0	0	3	48	6	0	57
Selva Mediana	0	0	5	10	1	75	0	91
Arena	0	1	0	2	0	0	9	12
Total	0	49	21	85	52	98	15	320
Proporción del mapa π_j	0.0000	0.0684	0.0408	0.1687	0.1830	0.5355	0.0036	

Matriz de confusión corregida según el método de Card.

Clases de referencia	Píxeles sin Clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Superficie Corregida
Píxeles sin clasificar	0.0000	0.0014	0.0000	0.0000	0.0000	0.0164	0.0000	0.0178
Agua	0.0000	0.0628	0.0000	0.0000	0.0035	0.0219	0.0012	0.0894
Bosque Pino	0.0000	0.0000	0.0292	0.0119	0.0035	0.0382	0.0000	0.0828
Pastizal	0.0000	0.0028	0.0019	0.1270	0.0035	0.0164	0.0002	0.1519
Selva Baja	0.0000	0.0000	0.0000	0.0060	0.1689	0.0328	0.0000	0.2077
Selva Mediana	0.0000	0.0000	0.0097	0.0198	0.0035	0.4098	0.0000	0.4429
Arena	0.0000	0.0014	0.0000	0.0040	0.0000	0.0000	0.0021	0.0075
Total (n+j)	0.0000	0.0684	0.0408	0.1687	0.1830	0.5355	0.0036	
Proporción del mapa π_j	0.0000	0.0684	0.0408	0.1687	0.1830	0.5355	0.0036	

Fiabilidad Global del Mapa corregido según el método de Card.

Fiabilidad Global del Mapa	0.7999
-----------------------------------	---------------

Fiabilidades del Productor y del Usuario corregidos según el método de Card.

	Fiabilidad del Productor	Fiabilidad del Usuario
Píxeles sin clasificar	-	-
Agua	0.92	0.70
Bosque Pino	0.71	0.35
Pastizal	0.75	0.84
Selva Baja	0.92	0.81
Selva Mediana	0.77	0.93
Arena	0.60	0.29

• **HYPERION 242 BANDAS SIN CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA 2ª OPCIÓN DE LOS PUNTOS**

Matriz de confusión original para la imagen Hyperion 242 bandas sin corrección atmosférica y 2ª opción de los puntos.

Hyperion 242 bandas Sin Corrección 2a opción								
Clases de referencia	Píxeles sin clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Total
Píxeles sin clasificar	0	1	0	0	0	3	0	4
Agua	0	45	0	0	1	4	5	55
Bosque Pino	0	0	15	6	1	7	0	29
Pastizal	0	2	1	64	1	3	1	72
Selva Baja	0	0	0	3	48	6	0	57
Selva Mediana	0	0	5	10	1	75	0	91
Arena	0	1	0	2	0	0	9	12
Total	0	49	21	85	52	98	15	320
Proporción del mapa π_j	0.0000	0.0684	0.0408	0.1687	0.1830	0.5355	0.0036	

Matriz de confusión corregida según el método de Card.

Clases de referencia	Píxeles sin Clasificar	Agua	Bosque Pino	Pastizal	Selva Baja	Selva Mediana	Arena	Superficie Corregida
Píxeles sin clasificar	0.0000	0.0014	0.0000	0.0000	0.0000	0.0164	0.0000	0.0178
Agua	0.0000	0.0628	0.0000	0.0000	0.0035	0.0219	0.0012	0.0894
Bosque Pino	0.0000	0.0000	0.0292	0.0119	0.0035	0.0382	0.0000	0.0828
Pastizal	0.0000	0.0028	0.0019	0.1270	0.0035	0.0164	0.0002	0.1519
Selva Baja	0.0000	0.0000	0.0000	0.0060	0.1689	0.0328	0.0000	0.2077
Selva Mediana	0.0000	0.0000	0.0097	0.0198	0.0035	0.4098	0.0000	0.4429
Arena	0.0000	0.0014	0.0000	0.0040	0.0000	0.0000	0.0021	0.0075
Total (n+j)	0.0000	0.0684	0.0408	0.1687	0.1830	0.5355	0.0036	
Proporción del mapa π_j	0.0000	0.0684	0.0408	0.1687	0.1830	0.5355	0.0036	

Fiabilidad Global del Mapa corregido según el método de Card.

Fiabilidad Global del Mapa	0.7999
-----------------------------------	---------------

Fiabilidades del Productor y del Usuario corregidos según el método de Card.

	Fiabilidad del Productor	Fiabilidad del Usuario
Píxeles sin clasificar	-	-
Agua	0.92	0.70
Bosque Pino	0.71	0.35
Pastizal	0.75	0.84
Selva Baja	0.92	0.81
Selva Mediana	0.77	0.93
Arena	0.60	0.29

ANEXO II – TABLAS DE VALORES DE Z^2 PARA LA COMPARACIÓN DE LA FIABILIDAD PARA CADA PAR DE CLASIFICACIONES

Comparaciones de las fiabilidades para cada par de combinaciones

Las tablas están descritas de la siguiente manera - **sensor**: **A** (ALI); **H** (Hyperion); **Número de Bandas**; **SC**: Sin Corrección atmosférica; **CC**: Con Corrección atmosférica. Y para los valores de Z^2 , * y ** indican los pares de clasificaciones cuya fiabilidad presenta una diferencia significativa (con * $p = 0.05$ y ** $p = 0.01$)

Comparación de la clasificación digital de la vegetación mediante imágenes de satélite multiespectrales e hiperespectrales, en la región sudoeste del estado de Michoacán

	H15b_SC	
Ali_CC	Correcto	Incorrecto
Correcto	130	25
Incorrecto	99	66
Z2	44.16129032**	

	H8b_CC	
Ali_CC	Correcto	Incorrecto
Correcto	117	38
Incorrecto	82	83
Z2	16.13333333**	

	H198b_SC	
Ali_CC	Correcto	Incorrecto
Correcto	134	21
Incorrecto	98	67
Z2	49.82352941**	

	H15b_CC	
Ali_CC	Correcto	Incorrecto
Correcto	133	22
Incorrecto	95	70
Z2	45.54700855**	

	H242_SC	
Ali_CC	Correcto	Incorrecto
Correcto	134	21
Incorrecto	98	67
Z2	49.82352941**	

	ALI_SC	
Ali_CC	Correcto	Incorrecto
Correcto	127	28
Incorrecto	81	84
Z2	25.7706422**	

	H40_SC	
Ali_CC	Correcto	Incorrecto
Correcto	131	24
Incorrecto	102	63
Z2	48.28571429**	

	H15b_SC	
ALI_SC	Correcto	Incorrecto
Correcto	168	40
Incorrecto	61	51
Z2	4.366336634*	

	H8b_SC	
Ali_CC	Correcto	Incorrecto
Correcto	123	32
Incorrecto	88	77
Z2	26.13333333**	

	H198b_SC	
ALI_SC	Correcto	Incorrecto
Correcto	177	31
Incorrecto	55	57
Z2	6.697674419**	

	H106b_CC	
Ali_CC	Correcto	Incorrecto
Correcto	130	25
Incorrecto	95	70
Z2	40.83333333**	

	H242_SC	
ALI_SC	Correcto	Incorrecto
Correcto	177	31
Incorrecto	55	57
Z2	6.697674419**	

	H38b_CC	
Ali_CC	Correcto	Incorrecto
Correcto	135	20
Incorrecto	102	63
Z2	55.1147541**	

	H40_SC	
ALI_SC	Correcto	Incorrecto
Correcto	175	33
Incorrecto	58	54
Z2	6.868131868**	

Comparación de la clasificación digital de la vegetación mediante imágenes de satélite multiespectrales e hiperespectrales, en la región sudoeste del estado de Michoacán

	H8b_SC	
ALI_SC	Correcto	Incorrecto
Correcto	151	57
Incorrecto	60	52
Z2		
	0.076923077	

	H38b_CC	
H40_SC	Correcto	Incorrecto
Correcto	189	44
Incorrecto	48	39
Z2		
	0.173913043	

	H106b_CC	
ALI_SC	Correcto	Incorrecto
Correcto	176	32
Incorrecto	49	63
Z2		
	3.567901235	

	H8b_CC	
H8b_SC	Correcto	Incorrecto
Correcto	140	71
Incorrecto	59	50
Z2		
	1.107692308	

	H38b_CC	
ALI_SC	Correcto	Incorrecto
Correcto	182	26
Incorrecto	55	57
Z2		
	10.38271605**	

	H106b_CC	
H198b_SC	Correcto	Incorrecto
Correcto	192	40
Incorrecto	33	55
Z2		
	0.671232877	

	H8b_CC	
ALI_SC	Correcto	Incorrecto
Correcto	155	53
Incorrecto	44	68
Z2		
	0.835051546	

	H106b_CC	
H242_SC	Correcto	Incorrecto
Correcto	192	40
Incorrecto	33	55
Z2		
	0.671232877	

	H15b_CC	
ALI_SC	Correcto	Incorrecto
Correcto	176	32
Incorrecto	52	60
Z2		
	4.761904762*	

	H15b_SC	
H8b_CC	Correcto	Incorrecto
Correcto	154	45
Incorrecto	75	46
Z2		
	7.5**	

	ALI_CC	
ALI_SC	Correcto	Incorrecto
Correcto	127	81
Incorrecto	28	84
Z2		
	25.7706422**	

	H40_SC	
H8b_CC	Correcto	Incorrecto
Correcto	156	43
Incorrecto	77	44
Z2		
	9.633333333**	

	H15b_CC	
H15b_SC	Correcto	Incorrecto
Correcto	182	47
Incorrecto	46	45
Z2		
	0.010752688	

	H198b_SC	
H8b_CC	Correcto	Incorrecto
Correcto	158	41
Incorrecto	74	47
Z2		
	9.469565217**	

Comparación de la clasificación digital de la vegetación mediante imágenes de satélite multispectrales e hiperespectrales, en la región sudoeste del estado de Michoacán

	H242_SC	
H8b_CC	Correcto	Incorrecto
Correcto	158	41
Incorrecto	74	47
Z2	9.469565217**	

	H198b_SC	
H38b_CC	Correcto	Incorrecto
Correcto	194	43
Incorrecto	38	45
Z2	0.308641975	

	H8b_SC	
H15b_CC	Correcto	Incorrecto
Correcto	168	60
Incorrecto	43	49
Z2	2.805825243	

	H242_SC	
H38b_CC	Correcto	Incorrecto
Correcto	194	43
Incorrecto	38	45
Z2	0.308641975	

	H40_SC	
H15b_CC	Correcto	Incorrecto
Correcto	184	44
Incorrecto	49	43
Z2	0.268817204	

	H8b_SC	
H106b_cc	Correcto	Incorrecto
Correcto	169	56
Incorrecto	42	53
Z2	2	

	H198b_SC	
H15b_CC	Correcto	Incorrecto
Correcto	187	41
Incorrecto	45	47
Z2	0.186046512	

	H15b_SC	
H106b_cc	Correcto	Incorrecto
Correcto	183	42
Incorrecto	46	49
Z2	0.181818182	

	H242_SC	
H15b_CC	Correcto	Incorrecto
Correcto	187	41
Incorrecto	45	47
Z2	0.186046512	

	H40_SC	
H106b_CC	Correcto	Incorrecto
Correcto	187	38
Incorrecto	46	49
Z2	0.761904762	

	H8b_SC	
H38b_CC	Correcto	Incorrecto
Correcto	172	65
Incorrecto	39	44
Z2	6.5*	

	H15b_CC	
H8b_CC	Correcto	Incorrecto
Correcto	180	19
Incorrecto	48	73
Z2	12.55223881**	

	H15b_SC	
H38b_CC	Correcto	Incorrecto
Correcto	187	50
Incorrecto	42	41
Z2	0.695652174	

	H38b_CC	
H8b_CC	Correcto	Incorrecto
Correcto	181	18
Incorrecto	56	65
Z2	19.51351351**	

Comparación de la clasificación digital de la vegetación mediante imágenes de satélite multiespectrales e hiperespectrales, en la región sudoeste del estado de Michoacán

	H106b_CC	
H8b_CC	Correcto	Incorrecto
Correcto	166	33
Incorrecto	59	62
Z2	7.347826087**	

	H242_SC	
H8b_SC	Correcto	Incorrecto
Correcto	196	15
Incorrecto	36	73
Z2	8.647058824**	

	H38b_CC	
H15b_CC	Correcto	Incorrecto
Correcto	217	11
Incorrecto	20	72
Z2	2.612903226	

	H40_SC	
H15b_SC	Correcto	Incorrecto
Correcto	216	13
Incorrecto	17	74
Z2	0.533333333	

	H106b_CC	
H15b_CC	Correcto	Incorrecto
Correcto	194	34
Incorrecto	31	61
Z2	0.138461538	

	H198b_SC	
H15b_SC	Correcto	Incorrecto
Correcto	211	18
Incorrecto	21	70
Z2	0.230769231	

	H106b_CC	
H38b_CC	Correcto	Incorrecto
Correcto	207	30
Incorrecto	18	65
Z2	3	

	H242_SC	
H15b_SC	Correcto	Incorrecto
Correcto	211	18
Incorrecto	21	70
Z2	0.230769231	

	H15b_SC	
H8b_SC	Correcto	Incorrecto
Correcto	197	14
Incorrecto	32	77
Z2	7.043478261**	

	H198b_SC	
H40_SC	Correcto	Incorrecto
Correcto	219	14
Incorrecto	13	74
Z2	0.037037037	

	H40_SC	
H8b_SC	Correcto	Incorrecto
Correcto	201	10
Incorrecto	32	77
Z2	11.52380952**	

	H242_SC	
H40_SC	Correcto	Incorrecto
Correcto	219	14
Incorrecto	13	74
Z2	0.037037037	

	H198b_SC	
H8b_SC	Correcto	Incorrecto
Correcto	196	15
Incorrecto	36	73
Z2	8.647058824**	

	H242_SC	
H198b_SC	Correcto	Incorrecto
Correcto	232	0
Incorrecto	0	88
Z2	0	