ENVI

TELEMATICA
Tecnología Integrada GIS

EXELIS
Authorized ENVI Distributor

ENVI

ENVI

TELEMATICA
Tecnología Integrada GIS
www.telematica.com.pe

Curso Avanzado de Procesamiento Digital de Imágenes con ENVI

jlattus@srgis.cl

Tabla de Contenidos

BREVE INTRODUCCIÓN A LA TELEDETECCIÓN 3
Captura de los Datos 3
El Espectro Electromagnético 3
CONCEPTOS GENERALES 4
Resolución Espacial 4
Resolución Espectral 5
Resolución Radiométrica 6
Resolución Temporal 6
ANALISIS VISUAL DE IMÁGENES 6
SIGNIFICADO DE LAS BANDAS Y SUS USOS 7
FILTROS PARA DESTACAR ESTRUCTURAS 11
- Filtros de paso bajo 12
- Filtros de paso alto 12
- Filtros detectores de bordes 12

Filtro Roberts 13
Filtro Sobel 13
Filtro Laplaciano 13
ALGORITMOS 15
RAZONES DE BANDAS 15
ASTER 16
ÍNDICES DE INTERÉS 20
NDVI (Índice de Vegetación) 20
Índices de Agua y Nieve 22
ALGORITMOS MATEMÁTICOS 23
CORRECCIÓN RADIOMÉTRICA Y ATMOSFÉRICA 25
DN, Radianza y Reflectancia 25
Corrección Atmosférica 26
INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS HIPERESPECTRAL 30
Introducción al Mapeo Espectral 30

Visualización de Curvas Espectrales 30
Identificación de Curvas Espectrales 31
Mapeo espectral 33
ANALISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (PCA) 34
CONVERSIÓN DE REFLECTANCIA 35
Rotación de Componentes Principales 37
LAS ESTADÍSTICAS DEL ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (PCA) 38
MNF TRANSFORM (MINIMUM NOISE FRACTION) 39
ICA TRANSFORM (INDEPENDENT COMPONENT ANALYSIS) 39
TARGET DETECTION WIZARD 40
MAPEO POR ÁRBOLES DE DECISIÓN 42
ANÁLISIS "SUB-PIXEL": MODELO DE MEZCLA Y DESMEZCLA ESPECTRAL LINEAR 49
SMACC ENDMEMBER EXTRACTION 49
Sequential Maximum Angle Convex Cone (SMACC) 49
Especificación de los parámetros del SMACC 50
Analizando los Endmembers extraídos y sus Imágenes de Abundancia 51
ANÁLISIS DE PIXEL COMPLETO: SPECTRAL FEATURE FITTING (SFF) 53
IDENTIFICANDO Y MAPEANDO DATA ENDMEMBERS 55
MINIMUM NOISE FRACTION (MNF) 55
PIXEL PURITY INDEX (PPI) 56
N-DIMENSIONAL VISUALIZER 58
SPECTRAL ANALYST 59
LINEAR SPECTRAL UNMIXING 60
EJEMPLO DE APLICACIÓN 60
Preparación de los datos 60
NDVI y Algoritmos Matemáticos 63
Árbol de Decisión 64

BREVE INTRODUCCIÓN A LA TELEDETECCIÓN

Captura de los Datos

Uno de los más importantes conceptos en teledetección corresponde a lo que es realmente una imagen de satélite y como se genera. Una imagen es una o más matrices de datos digitales. Casi todos los satélites comerciales de teledetección captan imágenes utilizando sensores digitales que funcionan como las cámaras digitales, solo que los sensores toman una línea de datos que va barriendo el territorio a modo de "peineta", generando así los barridos de captura que posteriormente de cortan para su comercialización (Figura 1).

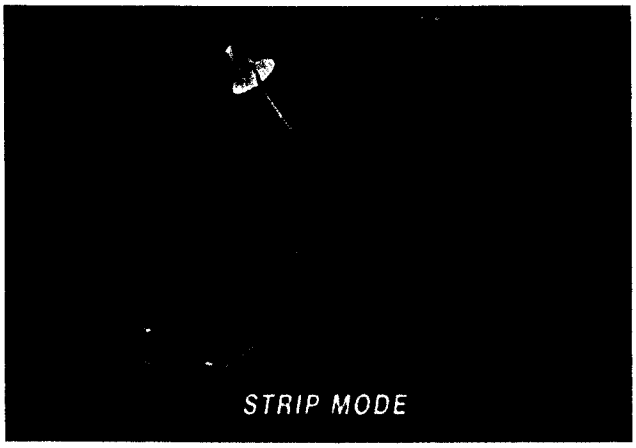


Figura 1: Toma de datos desde un satélite

Los sensores montados en los satélites o en aviones cuentan con muchos detectores que miden la cantidad de radiación electromagnética (es decir, energía) que reflejan los elementos que están en la superficie del planeta. Estas mediciones se denominan espectrales. Cada valor de reflectancia espectral se registra como un número digital. Estos números se transmiten de nuevo a la Tierra donde un ordenador los convierte en colores o tonos de gris para visualizar una imagen se la superficie terrestre.

El Espectro Electromagnético

El espectro electromagnético es el continuo de energía que va desde los rangos métricos a nanométricos en longitudes de onda, viaja a la velocidad de la luz, y se propaga a través del vacío como en el espacio exterior. Todos los tipos de materia irradian una gama de energía electromagnética, con el máximo de intensidad variando progresivamente hacia las longitudes de onda más cortas con el aumento de la temperatura de la materia. La figura 2 muestra el espectro electromagnético, que está dividido, en base a las longitudes de onda, en distintas regiones.

La atmósfera terrestre absorbe energía en los rangos de rayos gamma, rayos x y la mayor parte en el ultravioleta, sin embargo, estos rangos no son utilizados para las imágenes de sensores remotos. En esta rama se utilizan principalmente los rangos de microondas, infrarrojo y visible, y a veces las mayores longitudes de onda del rango ultravioleta. La figura 3 muestra el detalle de los rangos antes mencionados y se aprecian también las "ventanas atmosféricas", que es donde los sensores remotos puede captar información para diversos usos, en algunos rangos, elementos presentes en la atmósfera (H_2O, CO_2, O_3) absorben la energía por lo que se generan rangos ciegos que impiden la correcta captura de los datos por los satélites.

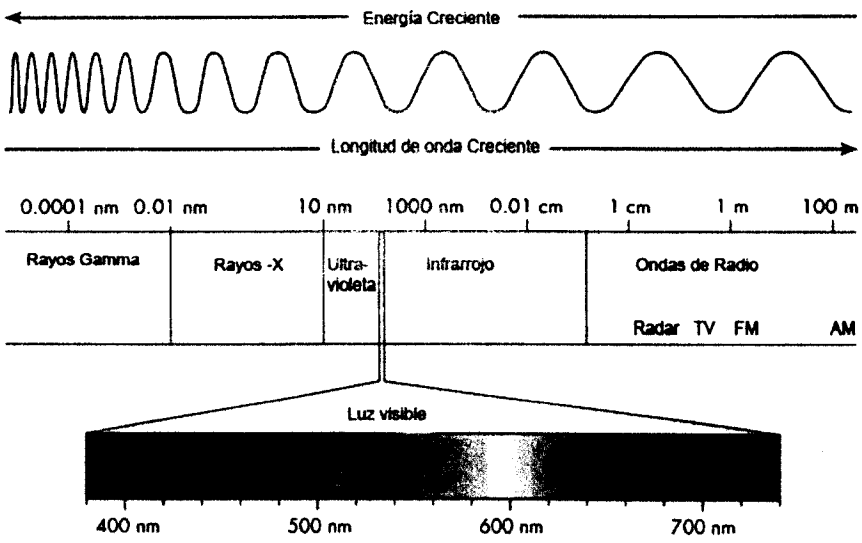


Figura 2: El espectro electromagnético

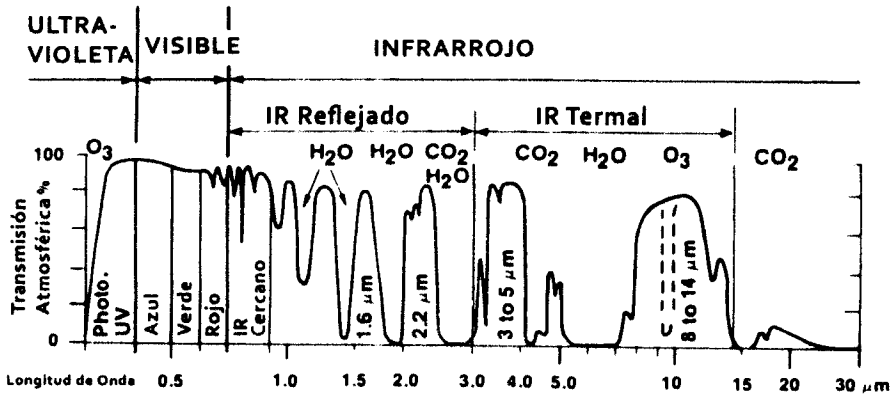


Figura 3: Ventanas atmosféricas dentro del espectro electromagnético

CONCEPTOS GENERALES

Resolución Espacial

La resolución espacial de una imagen, se refiere al tamaño que abarca cada pixel de la superficie terrestre. Existen muchos tipos de imágenes y cada una tiene resolución espacial distinta. Por ejemplo, una imagen Landsat tiene una resolución espacial de 30 metros en las bandas multiespectrales, es decir, cada pixel abarca un área de 30 x 30 m. de la superficie.

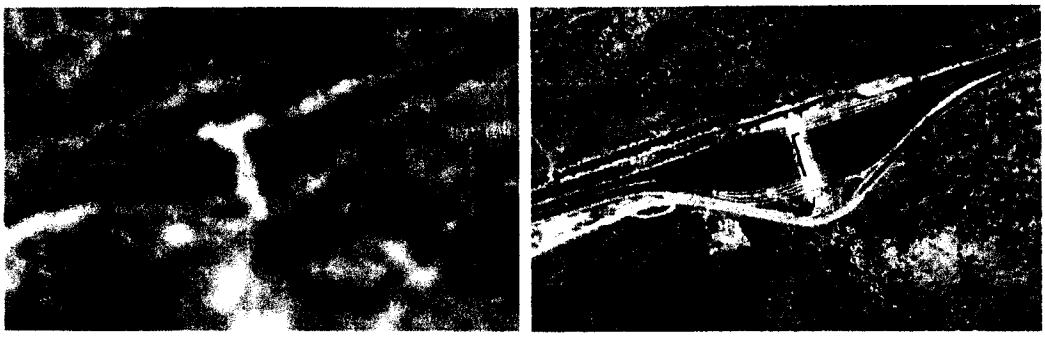


Figura 4: Comparación entre dos imágenes: Aster a la izquierda (15 metros) e Ikonos a la derecha (1 metro), en una zona de peaje en la carretera.

Resolución Espacial (metros)	Escalas Aproximadas de Trabajo
0,5	1 : 1.500
1	1 : 3.000
2	1 : 7.000
4	1 : 15.000
10	1 : 40.000
15	1 : 50.000
30	1 : 100.000
90	1 : 300.000

Tabla 1: Escalas de trabajo asociadas a tamaños de pixel

Resolución Espectral

La resolución espectral se refiera al número de lecturas distintas el en espectro electromagnético (longitudes de onda) que el sensor está haciendo sobre la superficie. Un sensor capta múltiples imágenes cada una en diferentes longitudes de onda, de esta manera, cada pixel de la imagen tiene distintos valores que están correlacionados con la energía que refleja (o emite) el material englobado dentro del pixel en cada longitud de onda. Si graficamos en el eje X la longitud de onda, y en el eje Y la energía medida, obtendremos la llamada "Curva Espectral" (Figura 5), mientras más lecturas (bandas) tenga una imagen, mejor definida será la curva y por lo tanto, será más fácil identificar el valor al compararlo con una librería espectral.

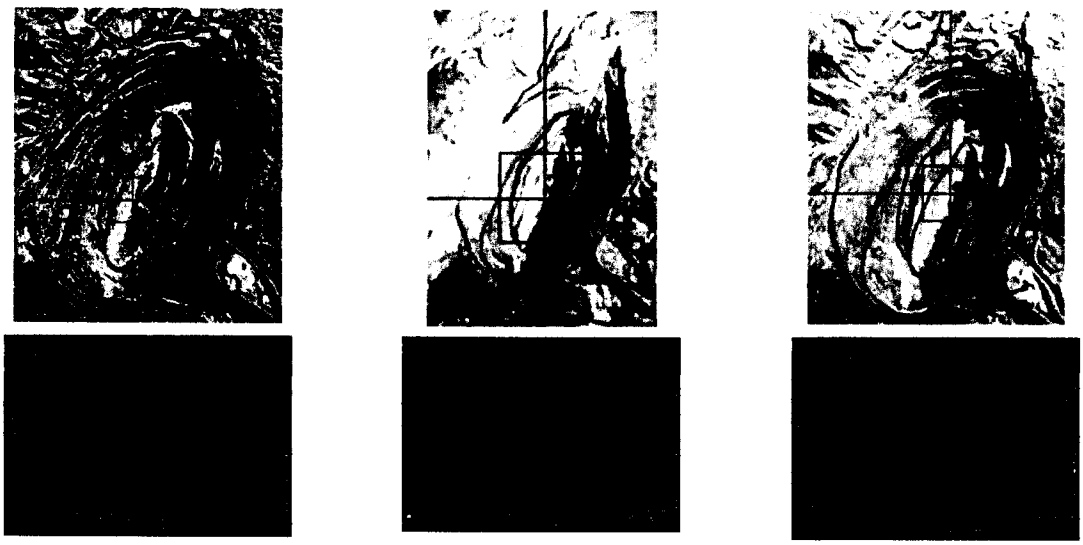


Figura 5: Resoluciones Espectrales de distintas imágenes (QuickBird, Landsar & Aster)

Resolución Radiométrica

Se refiere a la cantidad de niveles de gris en que se divide la radiación recibida, para ser almacenada y procesada posteriormente. Esto depende del conversor analógico digital usado. Así por ejemplo una resolución radiométrica de 2^6= 64 niveles de gris en el canal 6, 2^7= 128 niveles de gris, mientras que en 2^8 = 256, respectivamente podríamos decir que hablamos de resoluciones de 6, 7 u 8 bits. Por ejemplo las imágenes ASTER tienen resoluciones de 8 bits para las bandas del visible e infrarrojo cercano y de onda corta, y de 12 bits para las bandas del infrarrojo termal. Las implicancias de la resolución radiométrica es que mientras mejor la resolución radiométrica, más detalles podremos observar de la superficie del terreno (Figura 6).

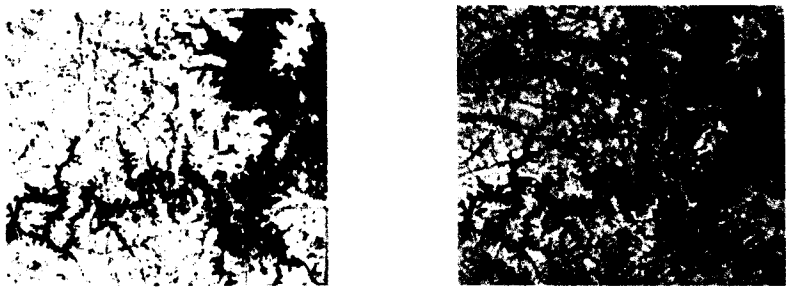


Figura 6: Dos imágenes del mismo sector con diferentes resoluciones radiométricas (A la izquierda la imagen con menor resolución).

Resolución Temporal

Corresponde a la frecuencia de observación del sector, es decir cada cuanto tiempo el sensor puede re-visitar una misma área (Figura 7).

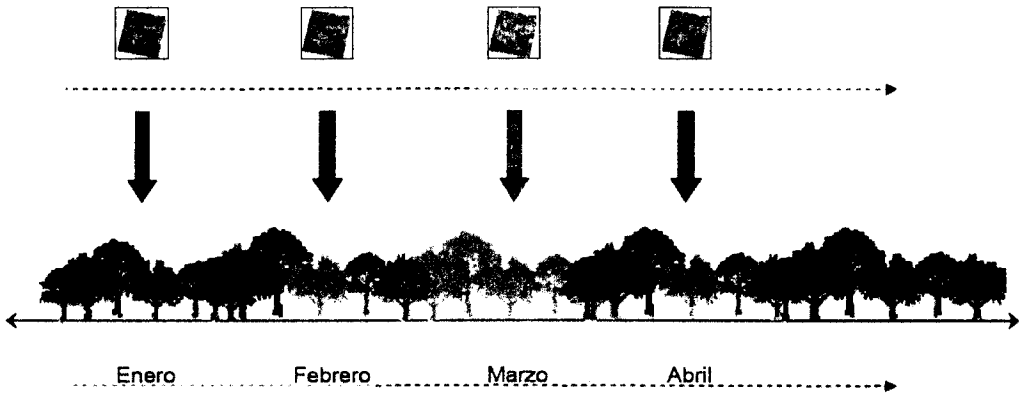


Figura 7: Esquema de la periodicidad con que una imagen revisita un determinado lugar.

ANALISIS VISUAL DE IMÁGENES

Es común escuchar que ciertas combinaciones de bandas de las imágenes satelitales sirven para distintas aplicaciones, pero es bueno entender el porqué de estas combinaciones, ya que no se eligieron al azar. Existen diferentes maneras para combinar colores y generar otros, por ejemplo, las impresoras utilizan el formato CMYK (Cyan Magenta Yellow blacK), otros sistemas utilizan HSV (Hue Saturation Value) y las pantallas digitales utilizan RGB (Red Green Blue). En RGB, la ausencia de los tres colores es el negro y la máxima presencia de los tres colores es el blanco, las otras combinaciones, en distintas proporciones generan todos los colores posibles.

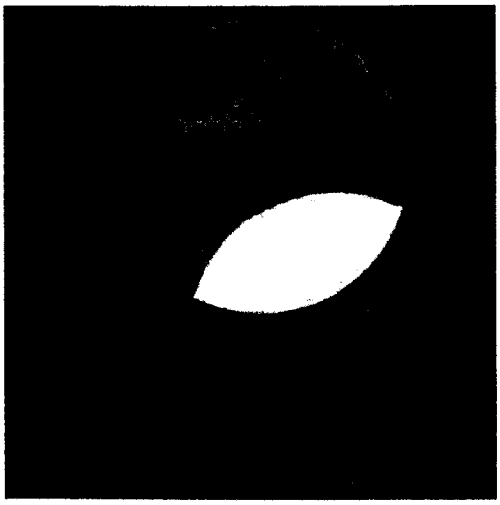


Figura 8: Combinación de colores RGB y sus mezclas.

Cuando se combinan las bandas de las imágenes en RGB, cada banda que entra en la combinación aporta una información particular a lo que visualizaremos en pantalla. Por ejemplo, las bandas visibles, aportan el color que corresponde a la longitud de onda de dicha banda, de esta manera, la banda del verde aporta con la información de los elementos de la superficie que tengan tonos verdes. Otro aporte y a veces más importante, es que las bandas visibles (cualquiera de ellas) aportan la información de luces y sombras que el ojo humano acostumbra, es decir, aportan con la información topográfica visible (como las fotos aéreas en blanco y negro). Las bandas del infrarrojo cercano aportan información de la vegetación, ya que en esa longitud de onda (*0,83 μm*) todos los elementos vegetales tienen una reflexión de la energía muy alta; de la misma manera las bandas del infrarrojo de onda corta (*1,6 a 2,5 μm*) poseen información respecto de la química de las rocas/minerales por lo tanto la presencia de una de esas bandas en una combinación aportará en distintas tonalidades, información geológica del área. Las combinaciones más utilizadas en sensores remotos son:

- R: Rojo, G: Verde, B: Azul : Color Real
- R: Infrarrojo Cercano, G: Rojo, B: Verde : Infrarrojo Color
- R: Infrarrojo de onda corta, G: Infrarrojo Cercano, B: Azul : Discriminador Litológico

En la combinación infrarrojo color la vegetación se ve de color rojo, esto es debido a los altos valores de reflexión de la vegetación en la banda del infrarrojo cercano, que está puesta en el canal rojo, sin embargo, para que un elemento se vea de color rojo en esta combinación, no basta solo con lo antes mencionado, sino que debe cumplirse además que el mismo elemento tenga valores bajos en reflectancia en las bandas puestas en el verde y azul (ver figura 8).

SIGNIFICADO DE LAS BANDAS Y SUS USOS

Las bandas de una imagen multi o hiperespectral, corresponden a una matriz de datos donde cada dato es un pixel y este pixel tiene un valor relacionado a cierta característica del terreno. Si la imagen es un modelo digital del terreo, el valor del pixel corresponde a la altura del terreno en esa posición, asumiendo que cada pixel tiene una coordenada; para el caso de las imágenes multi o hiperespectral, el valor del pixel corresponde al DN (Número Digital), Radianza o Reflectancia (según el formato de la imagen) del material terrestre ubicado en la posición de ese pixel, en la longitud de onda que está midiendo esa banda. Recordemos que las imágenes pueden captar información de la luz en distintas longitudes de ondas, desde el visible, infrarrojo cercano, infrarrojo medio y hasta el infrarrojo termal. La curva que se genera en un gráfico donde X=Longitud de Onda e Y: DN, Radianza o Reflectancia, corresponde a la curva espectral del pixel.

La luz se refleja con distinta intensidad dependiendo del tipo de material y de la longitud de onda, de esta manera cada material tiene una curva espectral específica que es como su huella digital.

Algunos elementos en la superficie de la tierra tienen características muy específicas en ciertas longitudes de onda, por lo que podemos estudiar algunos elementos observando su comportamiento en algunas pocas longitudes de onda sin tener la necesidad de conocer su comportamiento continuo dentro de todo el espectro, por eso es que muchas de las imágenes sólo necesitan capturar el comportamiento de la luz reflejada en algunas longitudes de onda para darnos la opción de realizar algunos estudios. Algunas de estas longitudes de onda importantes son:

0.485 µm – Color Azul

0.569 µm – Color Verde

0.660 µm – Color Rojo

0.840 µm – Infrarrojo Cercano

1.676 µm – Infrarrojo medio

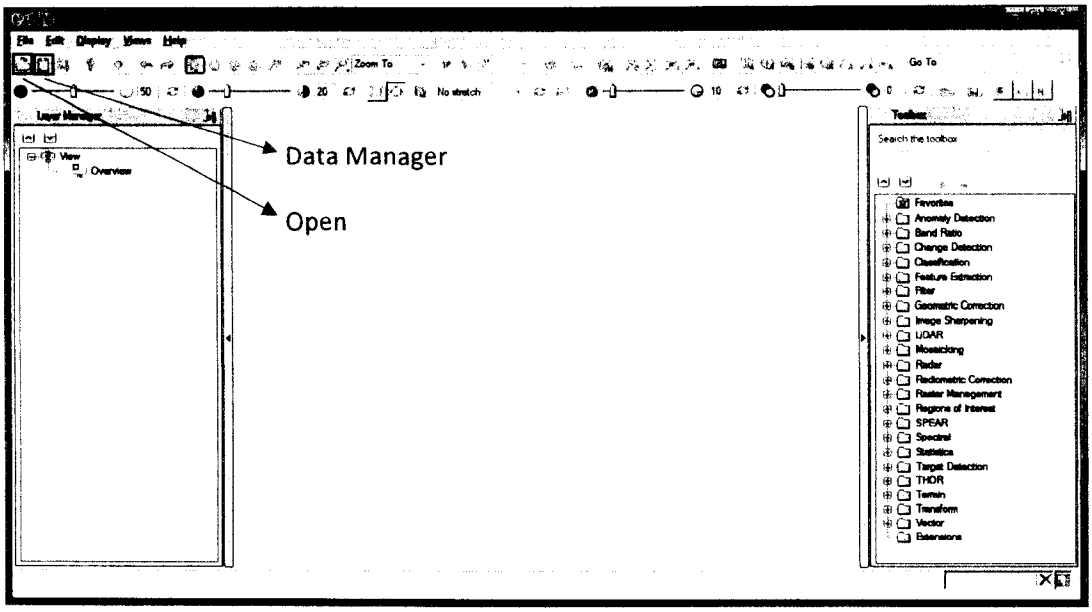
2.223 µm – Infrarrojo medio

Los softwares nos permiten ver imágenes en escala de grises, cargar una sola banda, o en colores, cargando 3 bandas en los canales RGB. Una simple combinación RGB nos puede entregar mucha información si sabemos el significado de las bandas que estamos seleccionando y sabemos que implica ver cada color en la imagen. Una combinación RGB es como una receta de 3 ingredientes, donde cada ingrediente aporta un sabor, así como la mezcla entre esos 3 ingredientes también aporta diferentes sabores; en este caso lo que aporta cada banda en la combinación RGB se relaciona con el significado de la intensidad de la luz reflejada por cada pixel en cada longitud de onda seleccionada.

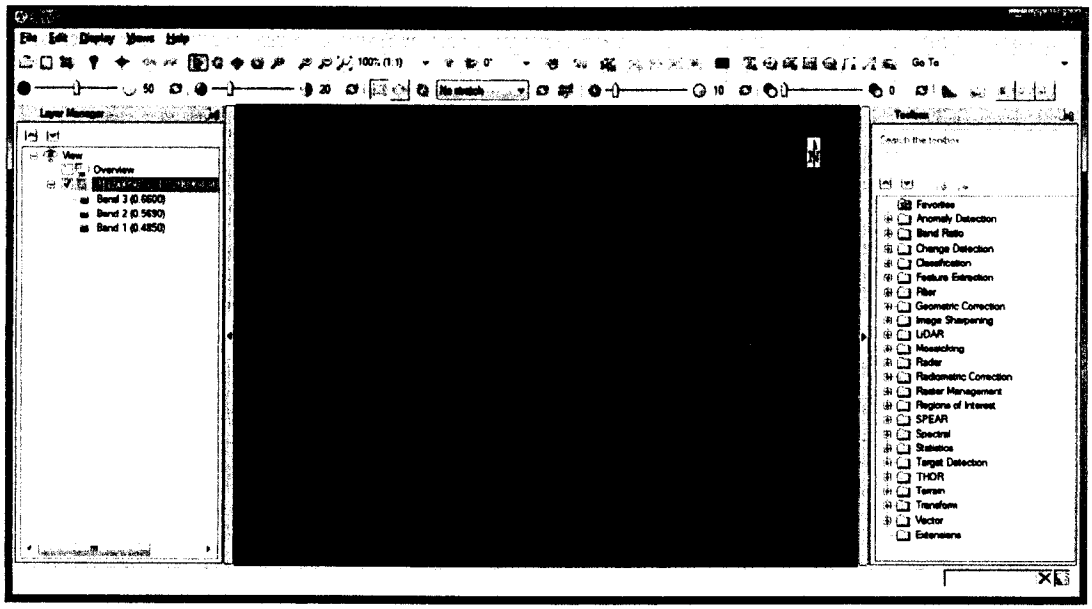
Por ejemplo, las bandas en el espectro visible aportan principalmente 2 características: el color real del material y el juego de luces y sombras (topografía). La banda infrarroja cercana es esencial en la detección de vegetación, ya que en esta longitud de onda, la vegetación tiene un comportamiento muy particular, los valores de reflexión de la luz son muy altos para cualquier tipo de vegetación. Por otro lado, en el infrarrojo medio, particularmente en los 2.22 µm, la química de las rocas tiene un comportamiento muy heterogéneo según el tipo de unidad, es decir, distintos tipos de roca tienen distinta intensidad de valores en esta longitud de onda.

En una combinación RGB para que un pixel tenga un color particular tiene que cumplirse lo que se ve en la figura 8. Un pixel tiene diferentes valores en diferentes bandas por eso su color es la mezcla de los valores de cada banda; para que un pixel tenga color verde, por ejemplo, tiene que tener valores muy altos en la banda que seleccionamos para el canal verde, y valores bajos para las bandas seleccionadas en los canales rojo y azul. Para entender de mejor manera las combinaciones RGB y su significado en el despliegue de la imagen, trabajaremos esto en ENVI 5.1.

1. *Ejecute ENVI 5.1*



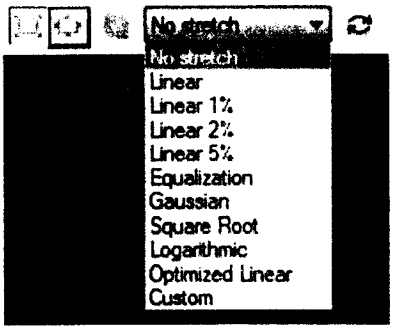
2. *Pulse el botón "**Open**" para abrir, desde la carpeta de datos del curso, el archivo ubicado en "**.../Landsat/L5005071_07120090404/L5005071_07120090404_MTL.txt**", este archivo corresponde a una imagen Landsat 5 que posee 7 bandas multiespectrales (6 del visible al infrarrojo medio y 1 termal). El software cargará por defecto, una combinación RGB "Color Real" (True Color) en el display, que en este caso corresponde a la combinación de bandas RGB/321.*



3. *Para analizar visualmente la imagen utilice los botones de las herramientas disponibles abajo del menú de ENVI:*

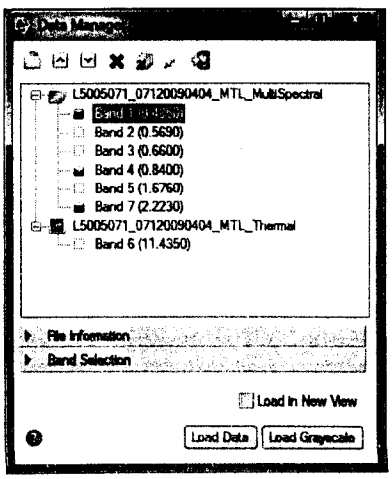
4. *Realice un zoom a la extensión completa de la imagen (Zoom To Full Extent (F12)), luego con la herramienta de Zoom, realice un zoom al box como se indica en la figura:*

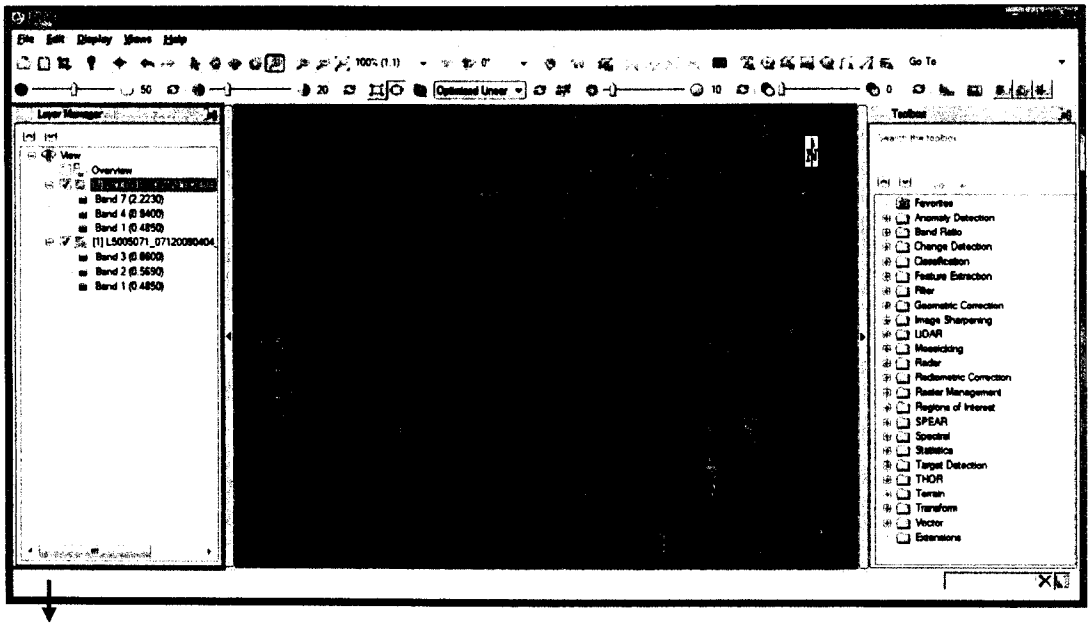
5. *Realice cambios automáticos en el ajuste del histograma probando las diferentes opciones que le entrega el software, por defecto el ajuste se hace considerando la extensión completa de la imagen, si quiere solo ajustar a los pixeles en pantalla utilice el botón "Stretch on View Extent:*



La combinación Color Real, nos mostrará tonalidades como las que veríamos con nuestros propios ojos. Realizaremos otras combinaciones para representar el tema que tratamos anteriormente. Combinaremos en RGB las bandas 741: la banda 7 (infrarojo medio en 2.22 µm) nos muestra variabilidad según el tipo de roca, la banda 4 (infrarrojo cercano) responde con valores altos a la vegetación y la banda 1 responde al color azul con valores altos y da buena referencia de la topografía. Estos 3 ingredientes nos mostrarán una imagen con buena información topográfica, marcando la vegetación en verde y las rocas en distintos colores.

6. *Pulse el botón "Data Manager" para abrir esa herramienta y seleccione la combinación RGB/741 de la imagen multiespectral y luego pulse el botón "Load Data". Recorra la imagen en esta nueva combinación, ajuste los histogramas e identifique unidades, elementos y estructuras.*





El "Layer Manager" es el lugar donde aparecen las distintas capas que hemos desplegado, podemos activar o desactivar capas, reordenarlas, y también eliminarlas. Estas capas (layer) son sólo representaciones particulares de los datos abiertos en el software, si cerramos una de ellas, no implica que hayamos cerrado el archivo que utlizamos para generar esa visualización, los archivos abiertos se pueden ver y manejar en el "Data Manager".

7. *En la combinación RGB/741 la vegetación se ve verde y la nieve celeste (CYAN), el color CYAN se genera con valores altos para las bandas Verde (G) y Azul (B) y bajos para la banda Roja (R), como puede apreciarse en la figura 8. Es decir, la nieve tiene altos valores (alta reflectancia de la luz) para las bandas 1 y 4, y bajos valores (absorción) para la banda 7. Analizando la figura 8 cargue combinaciones para ver:*

    a. Vegetación verde y nieve amarilla
    b. Vegetación roja y nieve blanca
    c. Vegetación roja y nieve magenta (rosa)
    d. Vegetación azul

Las combinaciones de bandas no solo pueden ser producto de seleccionar bandas multiespectrales de una imagen, también podemos combinar los resultados obtenidos de algún proceso que nos genere un uevo producto (índices, razones de bandas, etc.), lo importante es tener conciencia de la banda o imagen que seleccionamos en cada canal y de esa manera poder interpretar los colores que obtengamos en el display.

FILTROS PARA DESTACAR ESTRUCTURAS

El filtrado espacial es una operación que se aplica a imágenes raster para mejorar o suprimir detalles espaciales con el fin de ayudar a la interpretación visual. Ejemplos comunes incluyen aplicar filtros para mejorar los detalles de bordes en imágenes, o para reducir o eliminar patrones de ruido. El filtrado espacial es una operación "local" en procesamiento de imagen en el sentido que modifica el valor de cada píxel de acuerdo con los valores de los píxeles que lo rodean; se trata de transformar los DN originales de tal forma que se asemejen o diferencien más a los píxeles cercanos.
Una característica común a todos los tipos de datos raster es la llamada "frecuencia espacial", que define la magnitud de cambios de los datos por unidad de distancia en una determinada zona de la imagen. Áreas de la imagen con pequeños cambios o con transiciones graduales en los valores de los datos se denominan áreas de bajas frecuencias (como por ejemplo la superficie de una masa de agua en reposo). Áreas de grandes cambios o

rápidas transiciones se conocen como áreas de altas frecuencias (por ejemplo suelo urbano con densas redes de carreteras).

El filtrado espacial se realiza trasladando una matriz rectangular de dos dimensiones (también llamada ventana) que contiene "pesos" o ponderaciones sobre la imagen en cada localización de píxel. Se evalúa el píxel central de la ventana de acuerdo con los píxeles de alrededor y sus valores de ponderación. Cuando un nuevo valor es así calculado, se desplaza la ventana sobre el siguiente píxel, realizando la misma operación. Este proceso de evaluar la vecindad ponderada del píxel se denomina "convolución bidimensional", y a la matriz de filtro se le conoce como "kernel de convolución".

Los filtros espaciales se pueden dividir en tres categorías:

- **Filtros de paso bajo**

Enfatizan las bajas frecuencias, suavizando las imágenes y suprimiendo ruidos. Se trata de asemejar el ND de cada píxel al ND de los píxeles vecinos, reduciendo la variabilidad espacial de la imagen. Ello produce un emborronamiento de los bordes, perdiéndose en nitidez visual de la imagen, pero ganando en homogeneidad.

Ejemplo de un kernel de filtro de paso-bajo:

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Vemos que lo que se realiza es una media aritmética de los nueve píxeles que componen la ventana de filtrado, con lo que se reduce la variabilidad de la imagen.

Otro tipo de filtro de paso-bajo es el que aplica la mediana en vez de la media. Es el llamado **filtro de mediana**, y presenta la ventaja de que como medida estadística, la mediana es menos sensible a valores extremadamente desviados y se modifican menos los valores originales, ya que la mediana es en principio, uno de los valores concretos de la ventana de filtrado.

- **Filtros de paso alto**

Enfatizan las altas frecuencias, para mejorar o afilar las características lineales como carreteras, fallas, o límites en general. Realizan por tanto el efecto contrario a los filtros de paso bajo, eliminando las bajas frecuencias.

Ejemplo de un kernel de filtro de paso alto:

$$\begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix}$$

Otra forma de obtener una imagen así filtrada es sustraer a la imagen original, la misma imagen filtrada paso-bajos. Es lógico ya que si a la imagen le restamos los componentes de baja frecuencia, nos quedaremos con las de alta frecuencia.

- **Filtros detectores de bordes**

Realizan otro tipo de operaciones con los datos, pero siempre con el resultado de enfatizar los bordes que rodean a un objeto en una imagen, para hacerlo más fácil de analizar. Estos filtros típicamente crean una imagen con fondo gris y líneas blancas y negras rodeando los bordes de los objetos y características de la imagen.

Filtro Roberts

Emplea la diferenciación como método para calcular el grado de separación entre niveles de grises vecinos. Concretamente, y para realizar una diferenciación bidimensional, se efectúa la operación:

$$g(x,y) = |f(x,y) - f(x+1,y+1)| + |f(x,y+1) - f(x+1,y)|$$

Filtro Sobel

Este filtro implementa la siguiente operación:

$$g(x,y) = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2}$$

Dónde:

$$\alpha = (A_2 + 2A_3 + A_4) - (A_0 + 2A_7 + A_6)$$
$$\beta = (A_0 + 2A_1 + A_2) - (A_6 + 2A_5 + A_4)$$

Siendo A_i los píxeles de la ventana en las posiciones:

$$\begin{pmatrix} A_0 & A_1 & A_2 \\ A_7 & g(x,y) & A_3 \\ A_6 & A_5 & A_4 \end{pmatrix}$$

Filtro Laplaciano

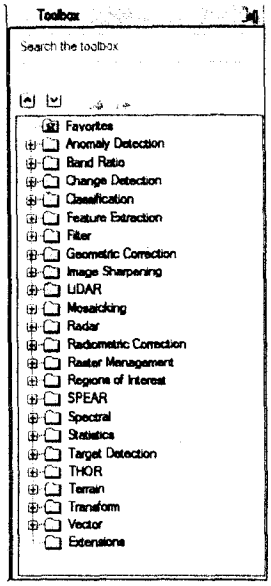
Este filtro calcula la segunda derivada, que a partir de la expresión del operador Laplaciano podemos aproximar:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \approx f(x+1,y) + f(x-1,y) + f(x,y+1) + f(x,y-1) - 4(f(x,y)$$

Lo que es lo mismo que usar el kernel:

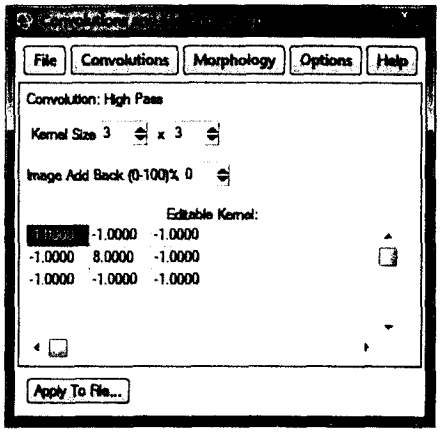
$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

En el costado derecho en ENVI se encuentran las herramientas disponibles, estas herramientas están agrupadas por categorías, como el software posee muchas herramientas, hay un recuadro para ayudar a la búsqueda de ellas:



Los filtros que utilizaremos se encuentran en la categoría "***Filter → Convolutions and Morphology***", pruebe escribiendo "convo" en el recuadro del "**Toolbox**", aparecerá la herramienta y la ruta de donde se encuentra originalmente.

8. *Desde ENVI, abra el archivo "**L5005071_07120090404_SUBSET-AREA.xml**" ubicado en la carpeta "**.../Landsat/L5005071_07120090404/**". Este archivo corresponde a una región de interés (ROI) hecha en ENVI. Seleccione la capa superior de la lista que aparece luego de abrir el archivo, esto carga un recuadro rojo que utilizaremos para trabajar en esa área específica.*
9. *Ejecute la herramienta "**Convolutions and Morphology**" haciendo doble click sobre ella. En el recuadro que se abre aplicaremos un filtro de paso alto, para ello pulse en el botón "**Convolutions**" y seleccione "High Pass" y luego pulse el botón "**Apply to File...**". **Kernel size** es el tamaño de la ventana que se utilizará en el proceso, es una ventana de 3 x 3 pixeles por defecto.*



10. *Se abre un recuadro "**Convolution Input File**" donde seleccionaremos el primer archivo de la lista que corresponde a la imagen multiespectral. Luego para trabajar sólo en el área del recuadro, pulsamos el botón "**Spatial Subset**" y aquí en el botón "**ROI/EVF**" y seleccionamos la región "Recorte", luego pulsamos **Ok** para todas las ventanas.*
11. *El último recuadro que se abrirá es para darle el nombre al archivo de salida, seleccione el botón "**Choose**" y guarde el archivo en la carpeta "Archivos de Salida" de los datos del curso con el nombre: "L5_ArequipaNW_HigPass.dat". Al terminar el proceso se carga automáticamente una combinación*

*RGB/321 en ENVI, esto puede configurarse en "**File → Preferences**" en caso de que no quiera que se cargue una imagen cada vez que se abra o genere una imagen nueva.*

12. *Haga un zoom a la máxima resolución de la imagen: Botón derecho en la capa del archivo desplegado y "**Zoom to Layer Full Resolution**" y analice el resultado. Utilice a herramienta de transparencia que le ayudará a analizar el proceso realizado:*

13. *Ejecute nuevamente la herramienta "**Convolutions and Morphology**", esta vez seleccionando "**Convolutions → Directional**", luego rellene con un ángulo de 90 (el ángulo se mide desde el norte y en sentido horario). Luego pulse el botón **Ok** y luego "**Apply to File**", repita los pasos 10 a 11, cambiando el nombre del archivo de salida a "L5_ArequipaNW_Directional-90.dat", del nuevo archivo cargue la combinación RGB/741 para estudiar el resultado.*
14. *Realice otros filtros direccionales para resaltar otros elementos en otras direcciones, analice la imagen original para detectar alguna estructura y su orientación para intentar destacarla. Aplique algún filtro de paso bajo para comparar los resultados. Para finalizar cierre todo los archivos abiertos desde el "Data Manager".*

ALGORITMOS

Los algoritmos matemáticos son muy utilizados en percepción remota, sobre todo en imágenes multiespectrales, el propósito es resaltar mediante alguna matemática de bandas, algún comportamiento particular de los pixeles en ciertas bandas, los algoritmos que se pueden utilizar pueden ser de muy simples a bastante complejos. Los algoritmos matemáticos realizan las operaciones pixel a pixel, resultado de un algoritmo, es una nueva imagen donde cada pixel tiene el valor de la matemático entre los valores del pixel en las distintas bandas utilizadas. La siguiente figura muestra un ejemplo de dos operaciones entre bandas.

$$B1 = \begin{vmatrix} A & B & C \\ D & E & F \\ G & H & I \end{vmatrix} \qquad B2 = \begin{vmatrix} J & K & L \\ M & N & O \\ P & Q & R \end{vmatrix}$$

$$B1 + B2 = \begin{vmatrix} A+J & B+K & C+L \\ D+M & E+N & E+O \\ G+P & H+Q & I+R \end{vmatrix} \qquad B1 \times B2 = \begin{vmatrix} A \times J & B \times K & C \times L \\ D \times M & E \times N & E \times O \\ G \times P & H \times Q & I \times R \end{vmatrix}$$

Figura 9: Algoritmos entre bandas

RAZONES DE BANDAS

Una de las operaciones más simple y bastante utilizada corresponde a las razones de bandas, por ello ENVI incorpora una herramienta específica para razones de bandas. La razón de banda se basa en la característica espectral de algún material en dos longitudes de onda diferentes, el comportamiento de este material debe ser opuesto en ambas bandas, es decir debe tener valores muy altos para una banda y muy bajos para la otra, así al dividirlas, exageraremos esa particularidad, asumiendo que el elemento que buscamos es el que se comporta de esa manera y no así el resto de los elementos en la imagen. Utilizaremos una imagen ASTER para realizar algunos procesos.

ASTER

ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) es un avanzado colector de imágenes multiespectrales que fue lanzado a bordo de la nave Terra de la NASA en Diciembre de 1999. ASTER cubre una amplia región espectral con 14 bandas desde el visible al infrarrojo termal con alta resolución espacial, espectral y radiométrica. Adicionalmente otra banda infrarroja provee cobertura estereoscópica. La resolución espacial varía según las longitudes de onda: 15 m en el visible e infrarrojo cercano (VNIR), 30 m en el infrarrojo de onda corta (SWIR), y 90 m en el infrarrojo termal (TIR). Cada escena ASTER cubre un área de 60 x 60 km.

La siguiente tabla muestra las características principales de las imágenes ASTER:

Sub Sistema	Nº Banda	Rango Espectral (µm)	Resolución Espacial (m)	Resolución Radiométrica	Resolución Temporal	Posibilidades de detección en elementos geológicos
VNIR	1	0.52-0.60	15	8 bits	16 días	- Fierro Férrico y Ferroso - Tierras raras
	2	0.63-0.69				
	3N	0.78-0.86				
	3B	0.78-0.86				
SWIR	4	1.60-1.70	30	8 bits		- Al-O-H en arcillas, micas y sulfatos - CO3 en carbonatos - Mg-O-H enanfíboles y micas - H-O-H en evaporitas y arcillas
	5	2.145-2.185				
	6	2.185-2.225				
	7	2.235-2.285				
	8	2.295-2.365				
	9	2.360-2.430				
TIR	10	8.125-8.475	90	12 bits		- Silicatos, especialmente los que se ajustan a longitudes de onda más corta - Sulfatos - Carbonatos
	11	8.475-8.825				
	12	8.925-9.275				
	13	10.25-10.95				
	14	10.95-11.65				

Tabla 1: Características de los 3 sistemas de sensores ASTER

Con las imágenes Aster podemos trabajar a escala 1:50.000, 1:100.000 y 1:300.000, según el rango en el que trabajemos (VNIR, SWIR o TIR respectivamente). Dada la información espectral que este sensor tiene, podremos realizar estudios relacionados con:

- Vegetación
- Arcillas de alta y baja temperatura (Alunita, Kaolinita, Ilita)
- Minerales Fe3+ y Fe2+
- Carbonatos y alteración Propilítica
- Silicificación y contenido de SiO_2
- Granates
- Agua, nieve y glaciares

Las imágenes ASTER poseen además una banda estereoscópica (Banda 3B), con esta información es posible realizar vistas estereoscópicas, anaglifos y construir modelos digitales de elevación, por lo tanto siempre podremos obtener un modelo del terreno actualizado a la imagen que estamos observando.

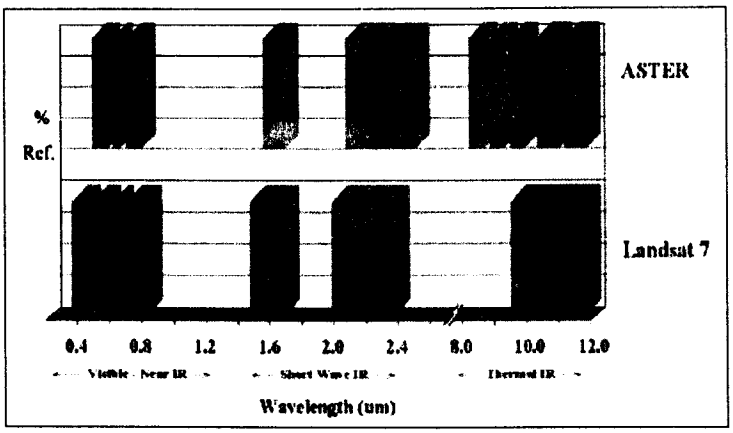
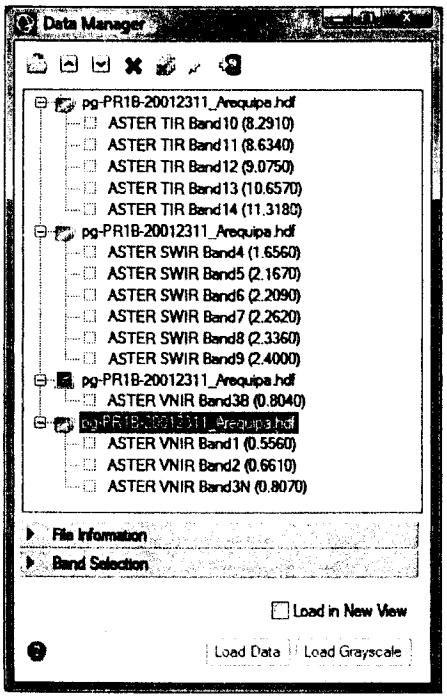


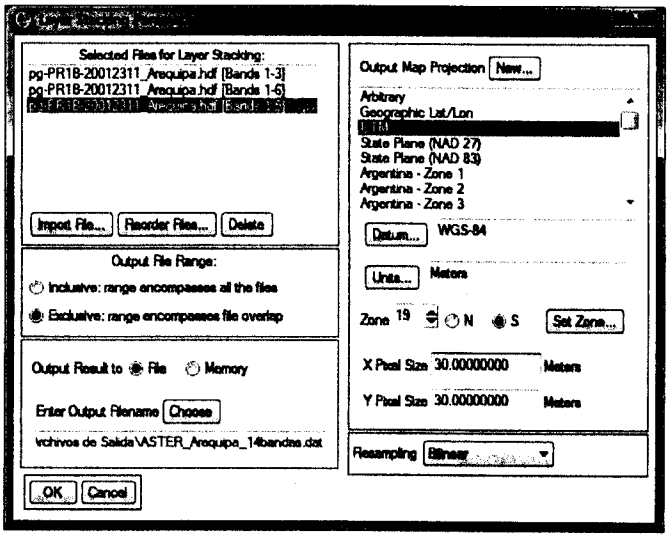
Figura 10: Comparación entre las bandas del sensor ASTER y LANDSAT 7

Es importante destacar que desde Mayo del año 2007, el canal SWIR comenzó a presentar problemas que finalmente llevó a los científicos a apagar este canal, dejando sólo en funcionamiento los canales VNIR y TIR, por lo tanto, para hacer algunos tipos de análisis (sobre todo en detección de minerales) sólo se pueden utilizar imágenes anteriores a esa fecha.

1. *De la carpeta de los datos del curso, abra el archivo "**.../Aster/AST_pg-PR1B-20012311_Arequipa/pg-PR1B-20012311_Arequipa.hdf**". Si no reconoce el archivo debe indicarle que es una imagen ASTER, en "**Open File As → EOS → Aster**". Una vez abierta la imagen, según las preferencias del sistema, se cargará automáticamente la imagen en el display.*
2. *Abramos el "**Data Manager**" para revisar los archivos abiertos. Observará que, aunque abrimos sólo un archivo, el data manager nos muestra 4 archivos abiertos, esto es así pues el software lee la información de la imagen ASTER y la separa en los distintos canales que posee: VNIR, Par Stereo, SWIR y TIR. Como cada canal posee distintos tamaños de pixel no podemos combinar bandas de canales distintos.*



3. *Crearemos un nuevo archivo que contenga las 14 bandas multiespectrales de la imagen ASTER unificado el tamaño del pixel a 30 metros. En el **Toolbox**, vaya a "**Raster Management → Layer Stacking**" o busque "layer" en el cuadro de búsqueda. Ejecute la herramienta mencionada. Esta herramienta me permite unir distintos archivos en un solo archivo, el requisito para su funcionamiento es que todos los archivos estén georreferenciados.*
4. *Pulse el botón "**Import File...**", aparecerá la lista de archivos abiertos y aunque todos tienen el mismo nombre, al seleccionar cada uno podremos ver las características en el recuadro "**File Information**:" y así deducir cuál de los canales estamos seleccionando. Seleccione el primer archivo de la lista (VNIR) y con la tecla CONTROL el tercer y cuarto archivo demás y pulse **Ok**.*
5. *En los parámetros de la herramienta Layer Stacking modificaremos el tamaño del pixel de salida a 30 x 30 metros, para el "resampling" utilizaremos la opción "**Bilinear**" y el para el archivo de salida debemos pulsar el botón **Choose** para elegir la carpeta de Salida de los datos del curso y el nombre del archivo será "**ASTER_Arequipa_14bandas.dat**". Pulse **Ok** para ejecutar la creación del nuevo archivo.*



6. *Para trabajar de una manera más sencilla, recortaremos la imagen para eliminar los bordes, en el Toolbox, seleccione la herramienta "**Raster Management → Resize Data**", en la nueva ventana seleccione el archivo "ASTER_Arequipa_14bandas.dat" y luego pulse el botón "**Spatial Subset**", en el recuadro que se abre rellene con los siguientes parámetros: **Samples 575 to 1974, Lines 235 to 1634**, con esto generaremos un recorte de 1400 x 1400 pixeles, si quiere ver el área que se está recortando, pulse el botón "**Image**". Pulse **Ok** hasta volver a la pantalla "**Resize Data Parameters**", el archivo de salida será "**ASTER_Arequipa_Subset.dat**", pulse **Ok** para generar el recorte.*
7. *En el costado izquierdo de ENVI (Layer Manayer) con el botón derecho del mouse seleccione la opción "**Remove All Layers**". Abra el Data Manager y cargue las siguientes combinaciones de bandas:*
   - *RGB/321*
   - *RGB/631*
   - *RGB/468*
   - *RGB/1063*

Hemos analizado las combinaciones RGB de distintas bandas de las imágenes satelitales, sin embargo, estas combinaciones pueden realizarse también con bandas que pueden ser el resultado de algoritmos matemáticos o razones entre bandas, muchas combinaciones que se utilizan tienen estas características.

8. *En el Toolbox busque la herramienta "**Band Ratios**" y ejecútela. Aparecerá una ventana para seleccionar bandas y asignarlas al numerador y denominodor.*
9. *Del archivo "**ASTER_Arequipa_Subset.dat**" seleccione la banda 2 para en numerados y la banda 1 para en denominador, luego pulse el botón "**Enter Pair**", consecutivamente ingrese los siguientes pares: B1/B2, B3/B2, B7/B6, B13/B12, pulse **Ok** pasar a la siguiente ventana. Seleccione la carpeta de Archivos de Salida y dé por nombre al archivo "**ASTER_Arequipa_Subset_Ratios.dat**".*
10. *Para tener claridad con los archivos, le cambiaremos los nombres a las bandas del archivo que acabamos de generar, en **Toolbox** vaya a "**Raster Management → Edit ENVI Header**" y ejecute la herramienta. Seleccione el archivo de razones que acabamos de crear y pulse **Ok**.*
11. *En la nueva ventana que se abre, vaya a "**Edit Attributes → Band Names...**" y edite los nombres de las bandas con el siguiente orden:*
    - *Férrico*
    - *Ferroso*
    - *Vegetación*
    - *Arcillas*
    - *Silice*
12. *Pulse **Ok** dos veces consecutivas, al terminar revise los nombres de las bandas en el "**Data Manager**", en esta ventana, cargue los índices pulsando el botón derecho en cada banda y seleccionando "**Load Grayscale**", pruebe cargando combinaciones RGB de estas mismas bandas.*
13. *Del "**Data Manager**" cierre todos los archivos salvo "**ASTER_Arequipa_Subset.dat**" y "**ASTER_Arequipa_Subset_Ratios.dat**", modifique los nombres de las bandas (pasos 10 y 11 anteriores) del archivo "**ASTER_Arequipa_Subset.dat**" por Banda 01, Banda 02, etc.*
14. *Utilice la Tabla 2 como referencia para generar nuevos archivos con razones de bandas y combinaciones RGB, al finalizar cierre todos los archivos.*

Características	R	G	B	Referencia
Infrarrojo Color	3	2	1	
AlOH / Argílica Avanzada	5/6 (phen)	7/6 (musc)	7/5 (kaol)	Hewson (CSIRO)
Arcilla, Anfíbola, Laterita	$(5x7)/6^2$ (arc)	6/8 (anf)	4/5 (lat)	Bierwith
Gossan, Alteración, Roca de caja	4/2 (goss)	4/5 (alt)	5/6 (rxx)	Volesky
Sílice, Carbonato, índice básicos	(11x11)/(10x12) (sil)	13/14 (carb)	12/13 (bas)	Bierwith/Nimoyima
Discriminador para mapear	4/1	3/1	12/14	Abdelsalam
Discriminación en áreas ricas en sulfuros	12	5	3	
Discriminación	4/7	4/1	(2/3)x(4/3)	Sultan
Discriminación	4/7	4/3	2/1	Abrams (USGS)
Sílice, Fe^{2+}	14/12 (sil)	(1/2)+(5/3) (fe2+)	MNF Banda 1	Rowan (USGS)
Destacador de características estructurales	7	4	2	Rowan (USGS)

Tabla 2: Recopilación de algunas combinaciones RGB en imágenes ASTER

ÍNDICES DE INTERÉS

Bajo la misma perspectiva de las razones de bandas, si consideramos que un elemento tienes altos valores para A y bajos valores para B, el índice para resaltarlo correspondería a A/B según vimos en las razones de bandas, sin embargo este valor puede tener mucha variabilidad por lo que existe un índice normalizado que es (A – B)/(A + B), lo que se logra con este índice es que el resultado tendrá valores positivos para todos los elementos donde A > B.

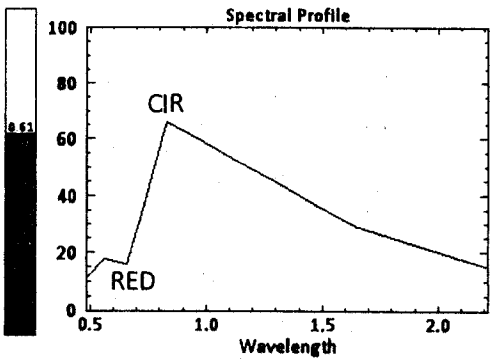
NDVI (Índice de Vegetación)

Como hemos visto, la vegetación tiene una reflectancia muy alta en los 0.83 micrómetros de longitud de onda, y baja en el resto de las longitudes de onda (especialmente en el rojo). El NDVI utiliza las bandas del Infrarrojo Cercano y Rojo con la siguiente fórmula:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}$$

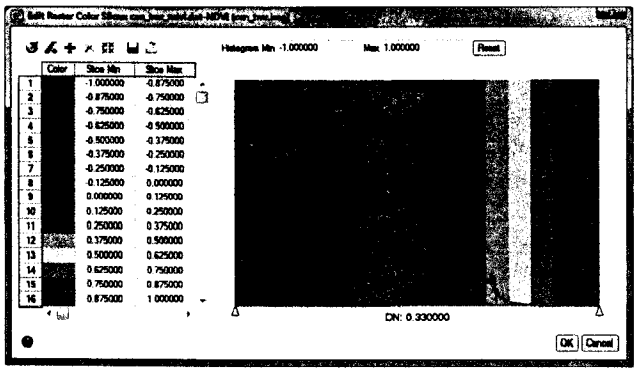
1. *Desde ENVI abra la imagen "**can_tmr.img**" desde la carpeta "Landsat", esta imagen está configurada para que se cargue por defecto la combinación RGB/741*
2. *Ajuste el histograma a "**Optimized Linear**"*
3. *Del Data Manager, cargue la combinación Infrarrojo Color (RGB/432). Opcionalmente si pulsa con el botón derecho sobre el archivo le dará la opción "**Load CIR**" donde ENVI reconoce las longitudes de onda y carga la combinación de banda que corresponda, ajuste el histograma como en el punto 2.*
4. *Analizaremos las curvas espectrales de los pixeles para ver esa característica especial en la vegetación. Pulse el botón "Spectral Profile (Alt Z)" en ENVI:*

5. *Aparecerá un recuadro con un punto central, la curva espectral que aparece en la ventana corresponde al pixel de ese punto. Seleccione otros pixeles clikeando sobre la imagen en distintos lugares y viendo cómo cambia la curva espectral, puede utilizar la rueda del mouse para hacer Zoom In y Zoom Out, y presionar la rueda para mover la imagen. La curva de la vegetación tiene la siguiente forma:*



*Usted puede mostrar el Índice de vegetación de la curva en la misma ventana en "**Options → Vegetation Index (NDVI)**", note la diferencia de los valores entre RED y CIR.*

6. *Cierre la ventana de la curva espectral. En el Toolbox, busque la herramienta NDVI y ejecútela, seleccione el archivo "**can_tmr.img**" y luego pulse **Ok**. ENVI reconoce el archivo LANDSAT y asigna este sensor como input file y especifica las bandas Roja (Red) e Infrarroja Cercana (Near IR), si el sensor no estuviera en la lista, usted debe ingresar manualmente las bandas correspondientes. Guarde el archivo en la carpeta de salida con el nombre "**can_tmr_ndvi.dat**" y pulse Ok para generar el nuevo archivo.*
7. *El nuevo archivo se carga automáticamente (según preferencias) en el display. Note que todos los lugares de vegetación (rojo en la combinación RGB/432 y verde en RGB/741) el NDVI tiene valores brillantes (pixeles claros), utilice la herramienta de transparencia de capa para analizar el resultado. Cambie la tabla de colores pulsando el botón derecho del mouse sobre la capa "**Change Color Tables** → ..."pruebe varias opciones, finalice volviendo a Grayscale.*
8. *En el "**Layer Manager**" al costado izquierdo de ENVI, pulse con el botón derecho sobre la capa "**can_tmr_ndvi.dat**" y seleccione "**Raster Color Slices**", en la nueva ventana que aparece deje por defecto el mismo archivo seleccionado y pulse **Ok**.*



9. *En la izquierda de la ventana están los colores que se aplicarán a los valores de la imagen, y en la derecha lo mismo pero representado en el histograma de la imagen. Pulse **Ok** para ver los resultados. Se genera una nueva capa con la valorización de los pixeles del NDVI.*
10. *En la nueva capa que se creó, pulse con el botón derecho donde aparece una carpeta llamada "**Slices**" y seleccione "**Edit Color Slices**". Como sabemos, por el algoritmo generado, que la vegetación debe tener valores positivos, modificaremos los parámetros. En **Histogram Min** ponga el valor 0, en Max 1. Elimine todos los rangos pulsando el botón "**Clear Color Slices**":*
11. *Pulse el botón "**Add Color Slice**": + ⊠*
12. *Para aplicar pulse nuevamente **Ok**.*
13. *Como se dará cuenta son muchos los pixeles con valores > 0, por lo que repetiremos los pasos 10 a 12, modificando el valor "**Histogram Min**" a valores superiores (0.1, 0.2, etc.) hasta lograr que solo la vegetación quede marcada en rojo. Utilice la herramienta de transparencia para comparar con la imagen Infrarrojo Color, donde la vegetación tiene tnos rojos, para ello desactive la capa de la imagen NDVI cargada en escala de grises.*
14. *En el Layer Manager, donde está la carpeta "**Slices**", pulse el botón derecho y seleccione "**Export Color Slices → Shapefile...**" para llevar esta covertura a un archivo vectorial o "**Export Color Slices → Class Image...**" para generar una imagen de clasificación. Para finalizar cierre todos los archivos.*

Índices de Agua y Nieve

Al igual que en la vegetación, el agua y la nieve tienen un comportamiento inverso en dos longitudes de onda distintas. Estudiaremos ese comportamiento de las bandas con la curva espectral de los pixeles en una imagen Landsat.

1. *Abra la imagen "socaire_tm_iar.dat"*
2. *Cargue la combinación RGB/741 donde el agua se ve en un tono muy oscuro (casi negro) y la nieve se ve de color CYAN (celeste).*
3. *Abra la curva espectral del pixel (Spectral Profile (Alt + Z)) y estudie el comportamiento espectral del agua y la nieve en diferentes zonas. Determine la banda con valores máximos y mínimos (en promedio) para el agua y la nieve:*

Agua: Banda de Altos Valores: 1 — Azul / IR

Banda de Bajos Valores: 4, 5, 7

Nieve: Banda de Altos Valores: 2, 4 — NIR / SWIR

Banda de Bajos Valores: 5, 7

De esta manera tendríamos:

Índice Agua: $\mathbf{WI} = \frac{\rho(BLUE)}{\rho(NIR))} = \frac{Banda\ 1}{Banda\ 4}$

Índice Nieve: $\mathbf{SI} = \frac{\rho(NIR)}{\rho(SWIR)} = \frac{Banda\ 4}{Banda\ 7}$

Escriba aquí como serían los índices normalizados *para cada elemento:*

NDWI = $\frac{b1-b4}{b1+b4}$

NDSI = $\frac{b4-b7}{b4+b7}$

4. *Los índices simples los puede generar mediante razones de bandas (Band Ratios), para los índices normalizados puede ocupar la herramienta NDVI pero asignar las bandas que correspondan para que entregue otro índice. Por último puede utilizar la herramienta* ***Band Math*** *para escribir el índice (y cualquier otro algoritmo). En el Toolbox vaya a "**Band Ratio → Band Math**" para abrir la herramienta. En la ventana hay un recuadro bajo "**Enter an expression:**" que es donde usted debe ingresar el algoritmo*. En el algoritmo se ingresan variables con el formato b1, b2, etc. La expresión del NDVI se escribiría de la siguiente forma: **(b4 – b3)/(b4 + b3)** luego debe asignarse cada variable (B4 y B3) a las bandas correspondientes y guardar el resultado. Realice el NDWI y NDSI con la matemática de bandas y guarde los resultados como "**socaire_tm_ndwi.dat**" y "**socaire_tm_ndsi.dat**", genere las capas "**Slices**" para ambos índices, de la misma manera como se generaron en el ejercicio de la vegetación (pasos del 8 al 13) pero aplicándolo a estos nuevos archivos. Para finalizar cierre todos los archivos.*

**se debe tener cuidado con los algoritmos como la división, debido a que si la imagen está en formato de números enteros, ingresar un algoritmo con divisiones generará datos con decimales, no validos según el formato de la imagen. Para evitar problemas se recomienda transformar los datos reflectancia can una corrección atmosférica, de esta manera el formato de los valores de la imagen permitirá decimales y por tanto cualquier algoritmo.*

ALGORITMOS MATEMÁTICOS

Las curvas de los pixeles se comparan con las curvas de laboratorio y de esta manera se determinan en la imagen los pixeles que corresponden a cada material. Cuando tenemos imágenes hiperespectrales podemos determinar con precisión los materiales, ya que la complejidad de las curvas que entregan esas imágenes no difieren mayormente con las curvas medidas en laboratorio. Sin embargo, cuando tenemos imágenes multiespectrales, se genera una gran diferencia entre la curva de laboratorio y la curva que puede observarse desde el sensor. Es por ello que las metodologías de procesamiento deben ser enfocadas a características específicas de la curva en rangos de longitud de onda específicos. Para estudiar algoritmos matemáticos enfocaremos los ejemplos refiriéndonos a las imágenes ASTER.

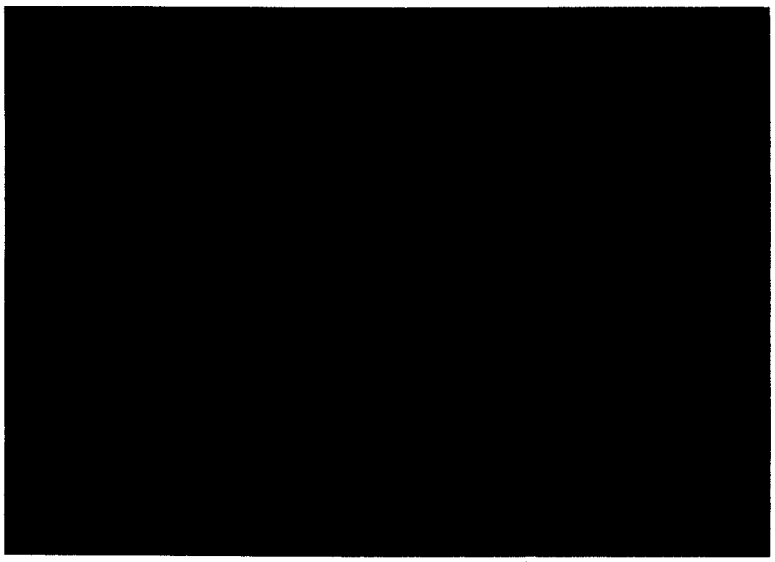


Figura 10: Curvas espectrales de laboratorio y su ajuste a las bandas VNIR + SWIR de ASTER

La figura anterior muestra curvas de laboratorio de kaolinita (mineral), pasto y asfalto, en una imagen hiperespectral la curva es muy similar, pero en la imagen ASTER (multiespectral) la curva pierde mucha información por lo que el análisis es más restringido. Sin embargo hay características que se mantienen en cierto rango del espectro electromagnético lo que nos sirve para poder identificar el elemento aunque tengamos información limitada.

La vegetación, como hemos visto, tiene un gran salto de magnitud de la reflectancia entre la banda roja (banda 2 - 0.66 μm) y la banda infrarroja cercana (banda 3 – 0.82 μm). Si tenemos la curva completa del pasto y de otro elemento vegetal (algún tipo de matorral o árbol) podremos identificarlos y clasificarlos como distintos en la imagen, pero con la curva limitada que tenemos en la imagen ASTER, no podremos hacer esa diferenciación y nos tendremos que conformar con decir que el pixel corresponde a un elemento vegetal, lo mismo ocurre con todos los elementos que se quieren mapear en una imagen, necesitamos saber cuál característica es visible con la imagen y cómo vamos a manejar la información de las bandas para resaltar su presencia.

En la exploración geológica, se deben conocer las curvas características de los minerales de interés prospectivo, y además el rango, dentro del espectro electromagnético, donde se pueden estudiar o donde tienen características únicas. Una vez hecho este análisis deberemos ver si minerales que se estudian dentro de las mismas longitudes de ondas, tienen alguna característica que los diferencie entre sí, para determinar si realizaremos un índice de minerales específicos o un índice de asociaciones mineralógicas.

Asociación de Minerales	Minerales	Rango de Estudio
Óxidos de Fierro	Hematita	VISIBLE
	Goetita	
	Jarosita	
Alteración Argílica	Ilita	SWIR
	Muscovita	
	Kaolinita	
	Alunita	
	Pirofilita	
Alteración Propilítica	Clorita	SWIR
	Epidota	
	Calcita	
Silicatos	Cuarzo	TIR
	Granates	
	Albita	
	Carbonatos	

Tabla 3: Rango de estudio de la espectrometría de algunos minerales

Algunos de los minerales que queremos identificar (Alunita, Kaolinita, Muscovita, Calcita), tienen absorciones características en ciertas longitudes de onda que calzan con las bandas del sensor ASTER. En estos casos tenemos 3 variables para definir un algoritmo matemático para resaltar dichos elementos.

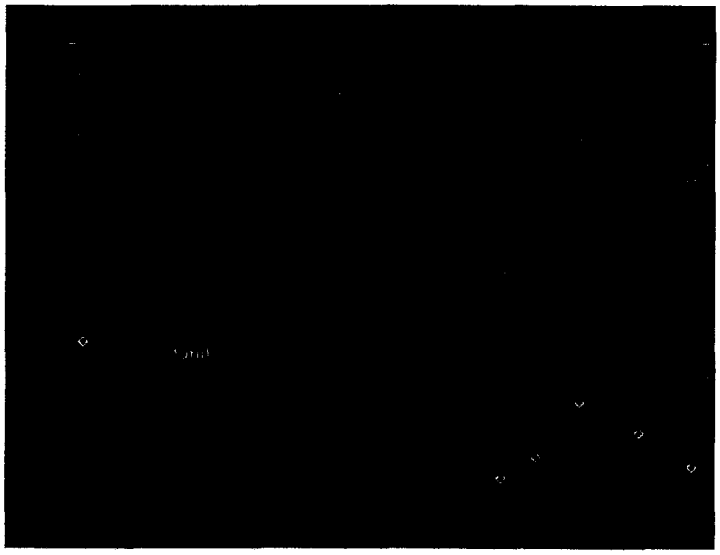


Figura 11: Curvas espectrales ASTER de: Alunita, Calcita, Kaolinita y Muscovita

La figura anterior muestra las curvas espectrales de los minerales a estudiar, con el ajuste a la información espectral que capta la imagen ASTER en el canal SWIR.

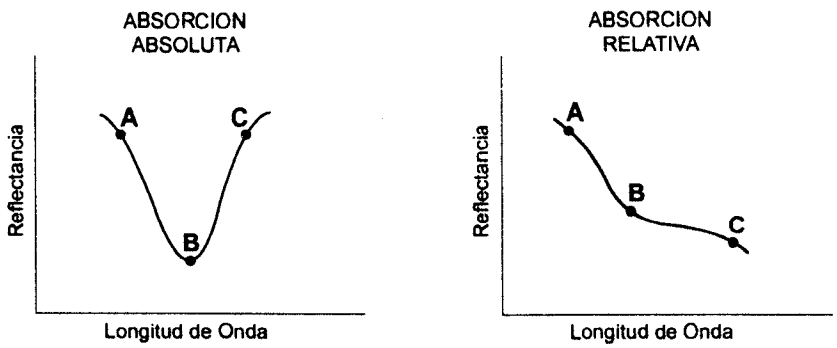


Figura 12: Absorción Absoluta v/s Absorción Relativa

Un algoritmo que funciona tanto para absorciones absolutas como para las relativas es:

(A+C)/B.

Otros minerales o grupos de minerales (Fe^{3+}, Fe^{2+}, Sílice), se caracterizan por una diferencia sustancial entre dos bandas, una con valores altos y otra con valores bajos, en este caso, los identificaremos con razones de bandas.

Algunos algoritmos para resaltar alteraciones de interés geológico con imágenes ASTER son:

INDICE	ALGORITMO
Índice Férrico (Fe^{3+})	*Banda 2/Banda 1*
Índice Ferroso (Fe^{2+})	*(Banda 1/Banda 2) + (Banda 5/Banda 3)*
Alteración Argílica Avanzada	*(Banda 4 + Banda 6)/Banda 5*
Alteración Argílica Intermedia	*(Banda 5 + Banda 7)/Banda 6*
Alteración Propilítica y/o Carbonatos	*(Banda 7 + Banda 9)/Banda 8*
Alto contenido de SiO_2	*Banda 13/Banda 12*
Carbonatos	*Banda 13/Banda 14*

Tabla 4: Principales algoritmos para imágenes ASTER

Las características espectrales de los materiales en los pixeles, se distorsionan y modifican desde la tierra hasta el lugar desde donde se capta la información (satélite, avión) por efectos de luz, atmosferas y sensor. Si queremos ver desde la imagen la curva del material que se encuentra en esa área, primero debemos eliminar los factores antes mencionados.

CORRECCIÓN RADIOMÉTRICA Y ATMOSFÉRICA

DN, Radianza y Reflectancia

Las imágenes satelitales requieren frecuentemente que se les aplique una calibración antes que los datos sean analizados cuantitativamente. La calibración es particularmente importante cuando se comparan conjunto de datos. Las calibraciones, basadas en cálculos de ganancia y compensación antes del lanzamiento, convierten los números digitales (***DN***), que es la respuesta del instrumento a la luz. Cuando eliminamos el factor del sensor, es decir calibramos la imagen al sensor, transformamos los datos a ***radianza***. La eliminación de los factores atmosféricos en una imagen genera la imagen de ***reflectancia*** (absoluta o relativa), cuyos datos son comparables a mediciones locales en contacto con los elementos a estudiar.

El contenido espectral de cada pixel según el tipo de dato se resume en el siguiente cuadro:

DN	Radianza	Reflectancia
Sensor	*Efectos de la luz*	*Material*
Efectos de la luz	*Atmosfera*	
Atmosfera	*Material*	
Material		

Corrección Atmosférica

Cuando observamos la superficie a través de un medio (como la atmósfera), es necesario considerar los efectos del paso de la radiación a través de dicho medio. Las herramientas de corrección atmosférica nos servirán para resolver este problema.

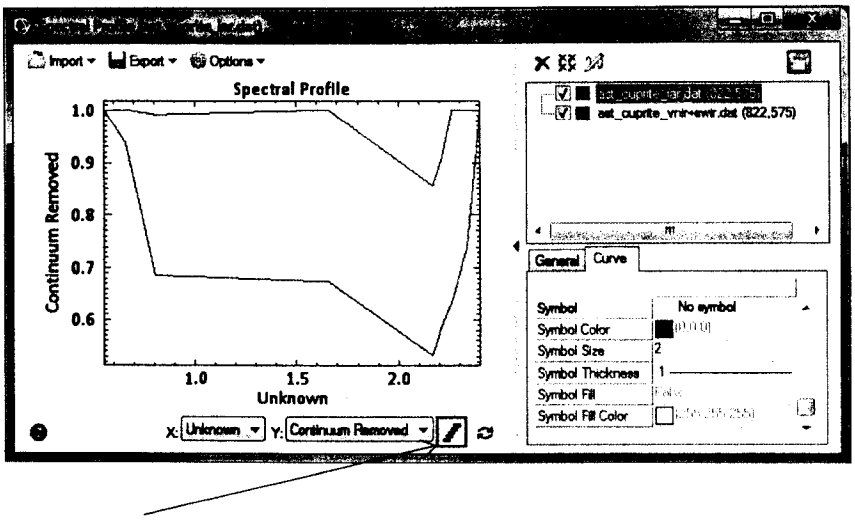
En ENVI hay numerosas metodologías de corrección atmosférica simples. Algunas de ellas son: *"Flat Field", "Internal Average Reflectance" y "Log Residuals"* y se accede a ellas en el Toolbox, en la carpeta ***"Radiometric Correction"***.

1. *Del directorio "ASTER" abra la imagen **"ast_cuprite_vnir+swir.dat"**.*
2. *Del menú **"Radiometric Correction"** aplicaremos **"IAR Reflectance Correction"***
3. *Seleccione el archivo **"ast_cuprite_vnir+swir.dat"** y luego pulse Ok. Seleccione el directorio de salida para el nuevo archivo que llamaremos **"ast_cuprite_iar.dat"***

IAR (Internal Average Reflectance), considera que todos los pixeles de la imagen tienen un factor común, que es la atmósfera, de esta manera calcula una curva promedio de todos los pixeles de la imagen y posteriormente cada pixel de la imagen es dividido por la curva promedio, minimizando de esa manera el efecto de la atmosfera. Para el caso de las imágenes ASTER, ENVI convierte los datos ASTER a radianza automáticamente al abrir el archivo original.

4. *Seleccione la capa de la nueva imagen en el "Layer Manager"*
5. *Despliegue la curva espectral del pixel: Spectral Profile (Alt +Z)*
6. *En el recuadro superior derecho de ENVI (Go To), escriba la coordenada pixel 822, 576 y luego pulse la tecla ENTER. Esto posicionara el cursor en ese pixel y así veremos la curva espectral de ese pixel.*

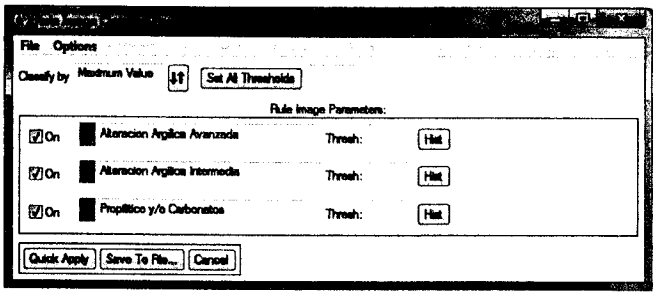
7. *En la ventana **Spectral Profile** vaya a **"Options → Additional Profile → Add File"**, seleccione el archivo **"ast_cuprite_vnir+swir.dat"**. En la parte de debajo de la ventana, pulse el botón "Data Value" y cambie a "Continuum Removed". Ahora podrá ver la diferencia de las curvas espectrales entre los dos archivo. Ese mineral corresponde a Alunita, note que en la banda 6 la curva del archivo corregido tiene una absorción relativa, que no se encuentra en el dato original, característica esencial para identificar ese mineral (Figura 11).*



8. *Pulse el botón "Stack Plots" para ver con más claridad. Cierre la ventana de ploteo.*
9. *Realizaremos ahora las matemáticas de bandas. La herramienta se encuentra en el Toolbox "**Band Ratio → Band Math**". Realizaremos algoritmos para "Alteroción Argílico Avonzodo", "Alteroción Argílico Intermedia" y "Alteración Propilítica y/o Carbonatos", ejecute **Band Math**. En "**Enter an Expression**" escriba lo matemática para el primer índice, es: **(b4+b6)/b5***

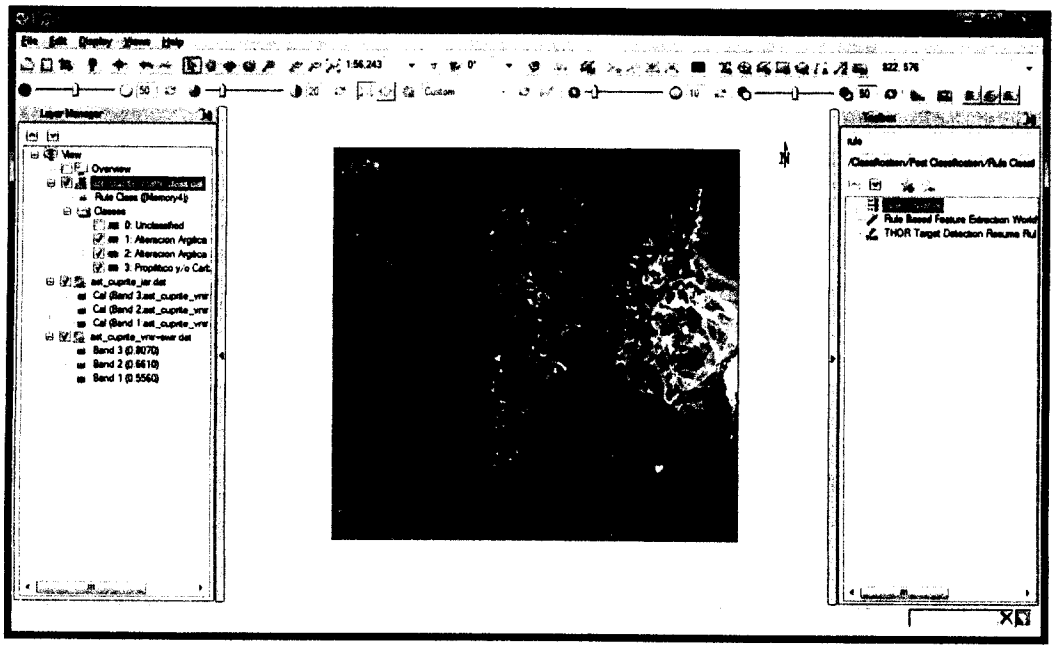
*En algunos casos se debe tener cuidado ya que no siempre los datos de la imagen aceptan los decimales (por ejemplo si los datos estuvieran en formato de enteros), lo que generaría errores al dividir las bandas, para evitar este problema a cada variable debe anteponer "float", de manera que el primer índice quedaría de la siguiente manera: "**(float(b4)+float(b6))/float(b5)**".*

10. *Una vez ingresada la expresión, se da el **Ok** y las variables del algoritmo deben ser asignadas (asigne las bandas del archivo "**ast_cuprite_iar.dat**"), asocie cada variable con su banda correspondiente, y luego guarde el resultado, para el primer índice (Alteracion Argilica Avanzada) nombre al archivo de salida: "**ast_cuprite_arg-av.dat**". De la misma monero, genere los dos índices restantes (**ast_cuprite_arg-int.dat** y **ast_curite_prop+co3.dat**)*
11. *Para cada índice se generó un archivo diferente, una los tres archivos de una banda en uno solo de tres bandas utilizando la herramienta "**Layer Stacking**". En el cuadro de diálogo pulse en "**Import File...**" y luego seleccione los archivos que quiere juntar y acepte.*
12. *Vea en el orden en que están los archivos que está importando, utilice el botón "**Reorder Files...**" para reordenar las bandas del archivo de salida; disponga primero la alteración argílica avanzada, luego lo alteración argílica intermedia y finalmente la alteración propilitica. Guarde el archivo como "**ast_cuprite_math.dat**". Edite los nombres de las bandas para que sean los nombres de las alteraciones.*
13. *Utilizaremos la herramienta "**Rule Classifier**" para generar una imagen de clasificación a partir de los datos generados. Busque en el Toolbox por la palabra "Rule" la herramienta mencionada y ejecútela. Seleccione el archivo "**ast_cuprite_math.dat**" y luego pulse **Ok**.*



"Rule Classifier" muestra las tres bandas con un color asignado. Lo primero que debe definirse es si los pixeles de interés son los de valores bajos o altos (botón Minimum Value/Maximum Value), en este caso trabajaremos con los máximos valores. El siguiente parámetro "**Set All Thresholds**" define un umbral de los datos que se clasificarán, para el vaso de los valores mínimos, se clasificarán el valor mínimo hasta el umbral dado, para el caso de máximos valores se clasificarán desde el umbral dado hasta el máximo. Puede ajustar todos los umbrales con el mismo valor o seleccionar valores para cada índice, puede ver el histograma de cada índice pulsando el botón "**Hist**".

14. *Rellene en el box "**Set All Threshold**" con **95%** y pulse la tecla ENTER (es importante colocar el símbolo % y presionar ENTER si no ENVI asumirá el valor 98 y no calculará el valor correspondiente al porcentaje requerido). Para ver los resultados presione el botón "**Quick Apply**". El resultado se carga en las ventanas de ENVI Classic con tres ventanas, si quiere editar el resultado modifique los parámetros del umbral y vuelva a aplicar. Cierre las ventanas de la imagen de clasificación generada.*
15. *Para generar el archivo final pulse el botón "**Save to File...**" el archivo de salida se llamará "**ast_cuprite_math_class.dat**", cierre el "**Rule Classifier**".*
16. *Del "Data Manager" cargue el archivo recién generado (**Load Data**) y desactive box del color negro: **0: Unclassified**. Utilice la herramienta de transparencia para analizar las zonas mapeadas. Compare sus resultados con el mapeo de referencia en la figura 13.*
17. *Del menú de ENVI vaya a "**File → Chip View to File**", en los parámetros escoja como formato de salida "JPEG" y guárdelo en la carpeta de salida con el nombre "**Ast_Cuprite_Class.jpg**". Para finalizar cierre todos los archivos.*



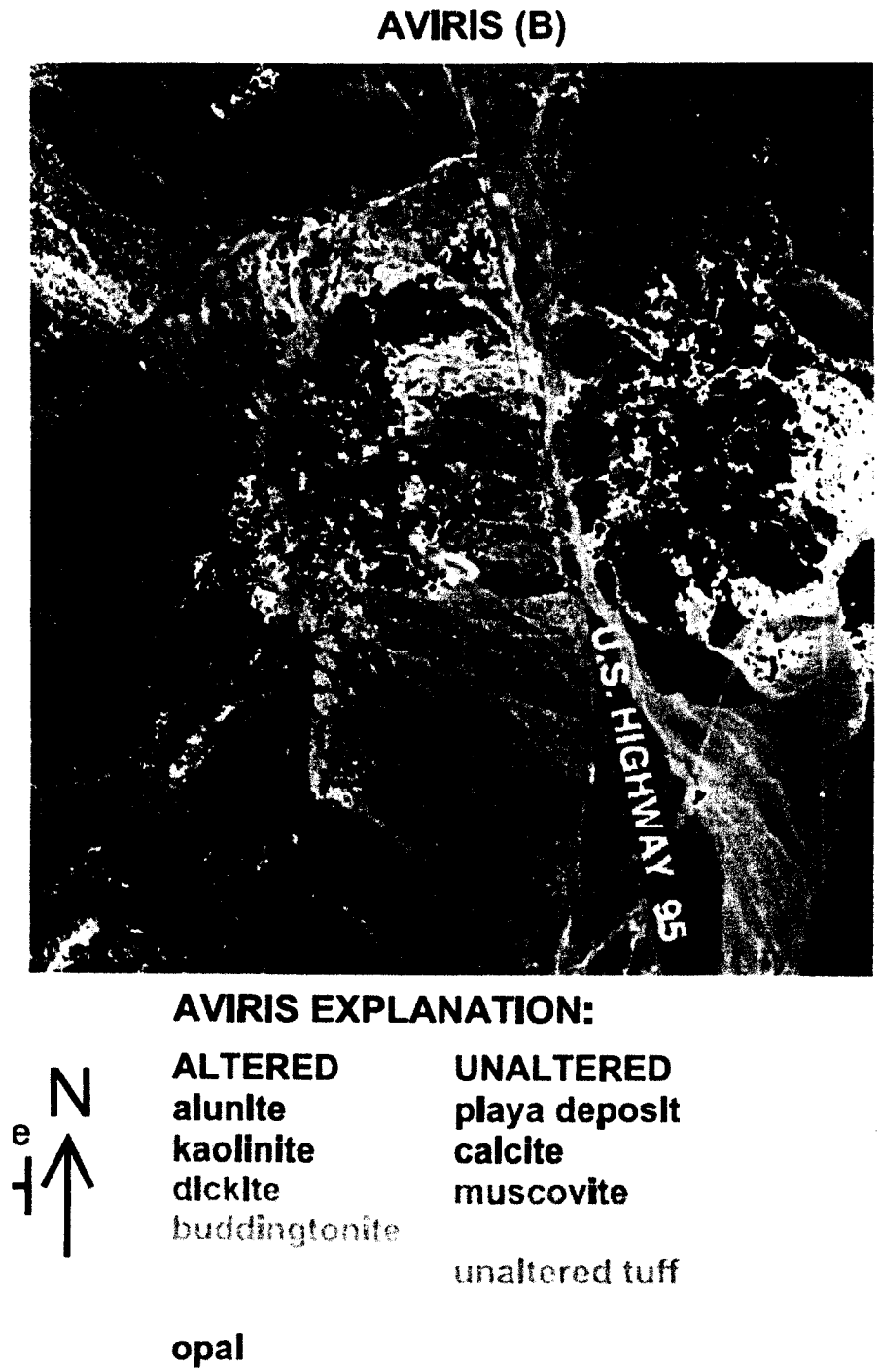


Figura 13: Mapeo de referencia en Cuprite, Nevada. (Imagen AVIRIS)

INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS HIPERESPECTRAL

Introducción al Mapeo Espectral

Cada material sobre la tierra tiene una firma que lo identifica como único, tal como la huella digital de las personas, cada elemento tiene su propia huella digital, es lo que llamaremos "Curva Espectral". La curva espectral de cada elemento se genera en un gráfico cuyo eje X tiene los valores de las longitudes de onda e Y tiene el valor de la reflectancia de ese material en esa longitud de onda.

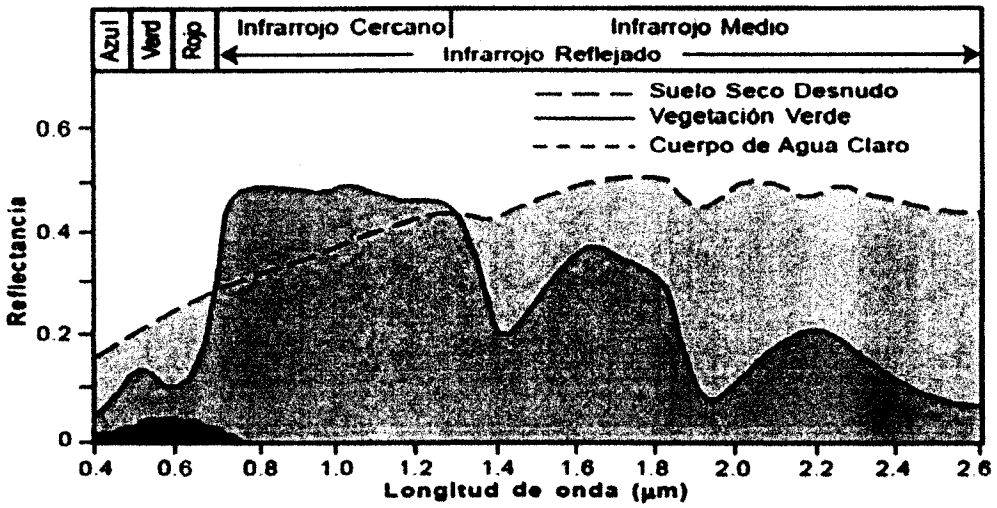


Figura 14: Curvas espectrales en el espectro electromagnético

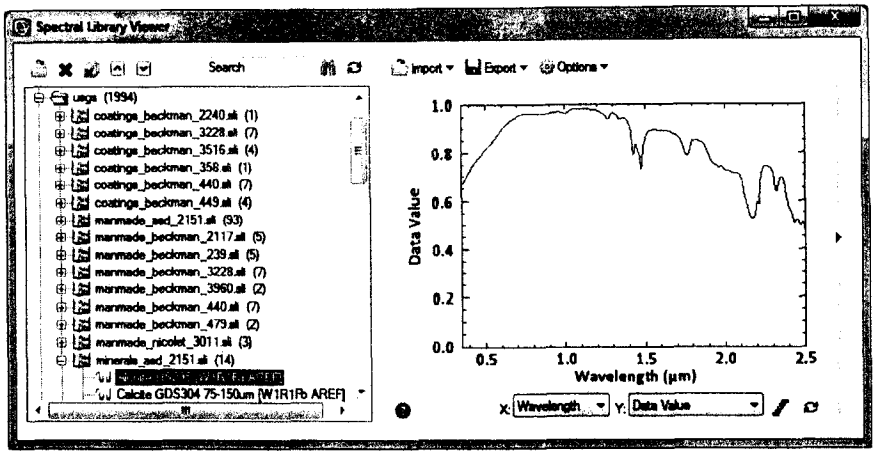
El estudio de estas curvas es la espectroscopia y nos permite análisis sumamente detallados. En nuestro caso, lo utilizamos para el estudio de los minerales, cada mineral tiene su curva característica y las variaciones composicionales de los minerales se representan también en variaciones de la curva espectral.

Las distintas familias de minerales que podríamos relacionar (por ejemplo las arcillas, lo óxidos de Fe, etc.) generalmente tienen curvas similares, y las variaciones pueden ser bastante específicas, sin embargo son siempre notorias. Por lo general también cada mineral (o material) se estudia en un rango específico de longitud de onda, ya que es en este rango donde se diferencia de otros minerales (o materiales), así por ejemplo, los distintos tipos de arcillas los estudiaremos fundamentalmente en el rango del "Infrarrojo de Onda Corta (SWIR)" (de 1.5 a 2.5 micrómetros), en el rango visible no son muy diferenciables entre ellas, por ello a simple vista es difícil identificar y determinar qué tipo de arcilla tenemos.

Visualización de Curvas Espectrales

ENVI tiene bases de datos de librerías espectrales, estas librerías se generan con espectrómetros que miden la reflectancia de un material en un gran número de longitudes de onda que van desde el Visible al Infrarrojo.

1. *En el menú principal de ENVI vaya a "**Display → Spectral Library Viewer**". De la carpeta usgs (1994), despliegue la librería "minerals_asd_2151.sli" y seleccione el primer mineral de la lista: Alunite HS295*



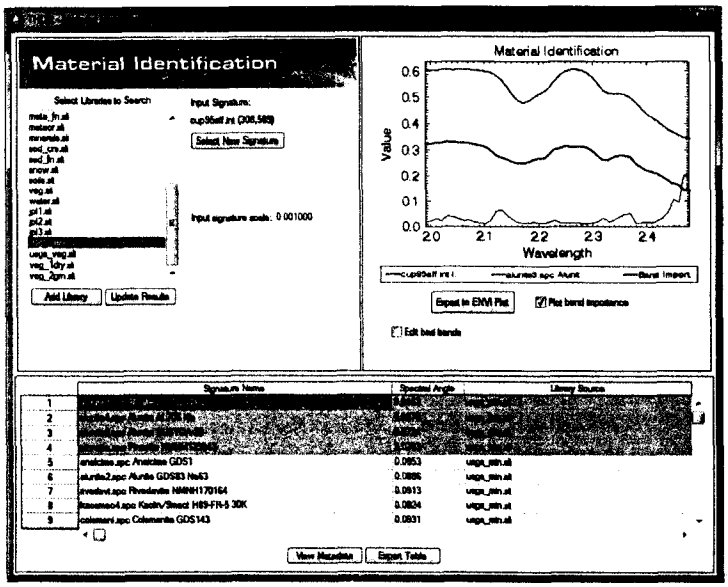
Se desplegará la curva espectral del mineral seleccionado, cargue otros minerales, explore las opciones y parámetros de esta ventana. Al finalizar cierre el visualizador.

2. *Abra la imagen "**cup95eff.int**" que se encuentra en el directorio "**Aviris**" del curso. Se cargará automáticamente (por defecto) una combinación específica de colores (**R183G193G207**). Esta imagen fue tomada el año 1995 y corresponde a un sensor aerotransportado hiperespectral llamado "AVIRIS". En este ejemplo contamos con las bandas de la 172 a 221. Esta imagen ya posee una corrección atmosférica.*
3. *Despliegue la curva espectral (**Spectra Profile**) y Vaya al pixel "308, 589" (**Go To**). La curva que se despliega determina que mineral está presente en ese pixel, sin embargo, como no conocemos las curvas espectrales hay una herramienta que nos ayudará a comparar la curva del pixel con la base de datos de las librerías espectrales.*

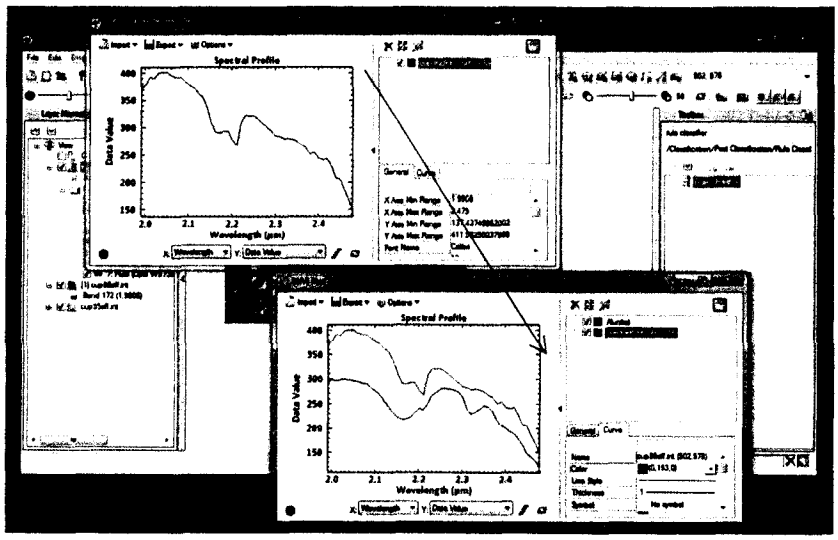
Identificación de Curvas Espectrales

Si no conocemos las curvas espectrales de los elementos que estamos analizando, ENVI nos puede ayudar a descubrir a que material corresponde cada curva.

4. *En el Toolbox de ENVI busque por la palabra "material" y ejecute la herramienta "**THOR Material Identification**". En el cuadro de diálogo seleccione solo la librería "**usgs_min.sli**" y pulse el botón "**Select New Signature**", procure seleccionar la curva espectral del pixel de la imagen AVIRIS y pulse **Ok**. La herramienta listará en un ranking de mayor a menor valor la comparación de la curva del pixel con la librería. El mineral seleccionado se muestra en un gráfico para ayudar en la comparación visual que siempre es la mejor, no siempre la curva del pixel corresponde al primer mineral de la lista. En el gráfico se muestra la curva del pixel, la curva de referencia y una curva que refleja la importancia de la banda para cada longitud de onda (basado en los lugares donde se estudia espectralmente cada material). Seleccione los otros minerales en la lista para analizar las comparaciones. La metodología que utiliza esta herramienta para comparar las curvas espectrales se basa en la metodología **Spectral Angle Mapper** (SAM) que veremos más adelante.*

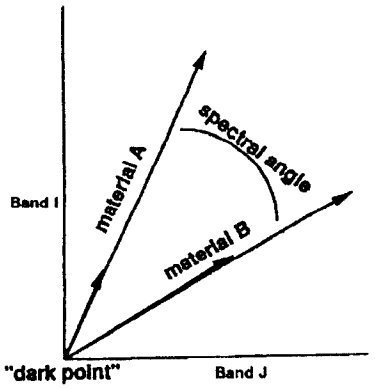


5. *En la ventada de la curva del pixel (Spectral Profile), vaya a "**Options → New Window with Plots**", esto llevara la curva a una nueva ventana que no se modificará al cambiar de posición el pixel. En esta nueva ventana, modifique el nombre de la curva a "Alunita", extienda al gráfico a la derecha y en la pestaña "**Curve**" edite "**Name**".*
6. *Identifique los minerales presentes en los siguientes pixeles: (502, 578) – (253, 611) – (236, 563), cada vez que se posicione en un nuevo pixel, arrastre la curva nueva a la ventana de ploteo generada en el punto anterior y edite el nombre y color de la curva cuando identifique el material, cuando termine con las cuatro curvas, guarde esa librería desde "**Export → Spectral Library**" como "**cup95_aviris_speclib.sli**".*



Mapeo espectral

El mapeo espectral consiste en entregarle al software una cantidad de espectros, y que él compare estos espectros con todos los pixeles de la imagen y nos entregue como resultado, una clasificación de los pixeles que son similares a las curvas de referencia. La metodología que utilizaremos para el mapeo se llama "**Spectral Angle Mapper**"; esta metodología asocia un elemento a otro sobre la base del ángulo que hay entre el vector propio del pixel (material B) y del espectro entregado (material A), mientras más pequeño el ángulo, mayor coincidencia.



7. *En el menú principal de ENVI vaya a "**Display → Spectral Library Viewer**".*
8. *De la carpeta usgs (1994), despliegue la librería "**minerals_beckman_3375.sli**" y cargue los siguientes minerales: Alunite GDS84 Na03, Buddingtonite GDS85 D-206, Calcite CO2004, Chlorite HS197.3B, Kaolinite CM3, Muscovite GDS107 y Opal TM8896.*
9. *En el toolbox busque por "angle" y ejecute la herramienta "**Spectral Angle Mapper Classification**". Seleccione el archivo "**cup95eff.int**" y pulse **Ok**.*
10. *En el nuevo cuadro de diálogo, vaya a "**Import → from Plot Windows...**", ENVI reconocerá los ploteos de curvas que estén desplegados (los que desplegamos en el punto 7), seleccione todos los minerales que aparecen y pulse **Ok**.*
11. *En la ventana de "**Endmember Collection**", pulse el botón "**Select All**" y luego "**Apply**". Esta metodología entrega 2 resultados, una imagen de clasificación y una imagen rule, asigne los nombres de salida de los archivos: "**cup95_sam.dat**" y "**cup95_sam_rule.dat**". Pulse **Ok**. Cargue el resultado de clasificación en ENVI.*

Este algoritmo nos entrega dos resultados: una imagen de clasificación y un archivo multiespectral con N bandas (N=Número de espectros importados para el proceso) llamado "Rule" donde hay una banda para cada mineral. Los valores de cada pixel de esta imagen rule, están relacionados a la medición del ángulo entre ese pixel y el espectro del mineral, de esta manera, los pixeles más oscuros para cada imagen rule, son los que más se parecen al mineral asociado a esa imagen. La imagen de clasificación no es siempre un buen resultado, siempre es mejor manejar un resultado final a partir de las imágenes rule.

12. *Cargue las bandas "Rule" en escala de grises para una primera interpretación visual.*
13. *Utilice la herramienta "**Rule Classifier**" para generar una buena imagen de clasificación, recuerde que tiene una referencia del mapeo en la figura 13. Guarde el archivo como "**cup95_sam_class.dat**". Cargue la banda 172 del archivo original en el display y luego la clasificación nueva.*

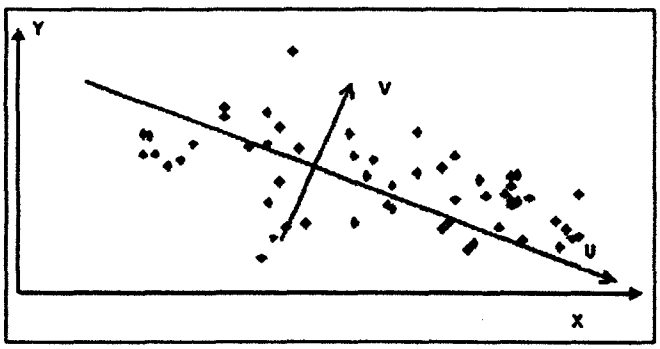
14. *De la ventana de visualizador de curvas espectrales, usted puede guardar una nueva librería espectral con las curvas que desplegó: "**Export → Spectral Library** ", también se pueden exportar a otros formatos.*

ANALISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (PCA)

El análisis de componentes principales (PCA – Principal Component Analysis) es utilizado en muchas ramas de la ciencia, particularmente para analizar datos de grandes dimensiones. Este análisis es útil para resaltar el contenido de la información, separar las señales del ruido, y reducir la dimensionalidad de los datos.

El PCA es una técnica matemática que transforma un dato multivariable a un nuevo sistema de coordenadas. Los ejes, o componentes principales (PC), del nuevo sistema de coordenadas son combinaciones lineales específicas del conjunto original de datos y están descorrelacionadas. La primera PC está en dirección de la mayor varianza del conjunto de datos. La segunda PC es ortogonal a la primera y muestra la segunda mayor varianza en el conjunto de datos, y así en adelante.

Los vectores propios y los valores propios están calculados típicamente desde la matriz de covarianza. Como la transformación de componentes principales maximiza la varianza de los datos en las primeras pocas bandas PC, estas bandas contienen usualmente la mayoría de la información coherente de la imagen y pueden ser usadas para aislar características comunes en el dato. Con frecuencia, los órdenes mayores de las imágenes de componentes principales contienen características raras y/o ruido.



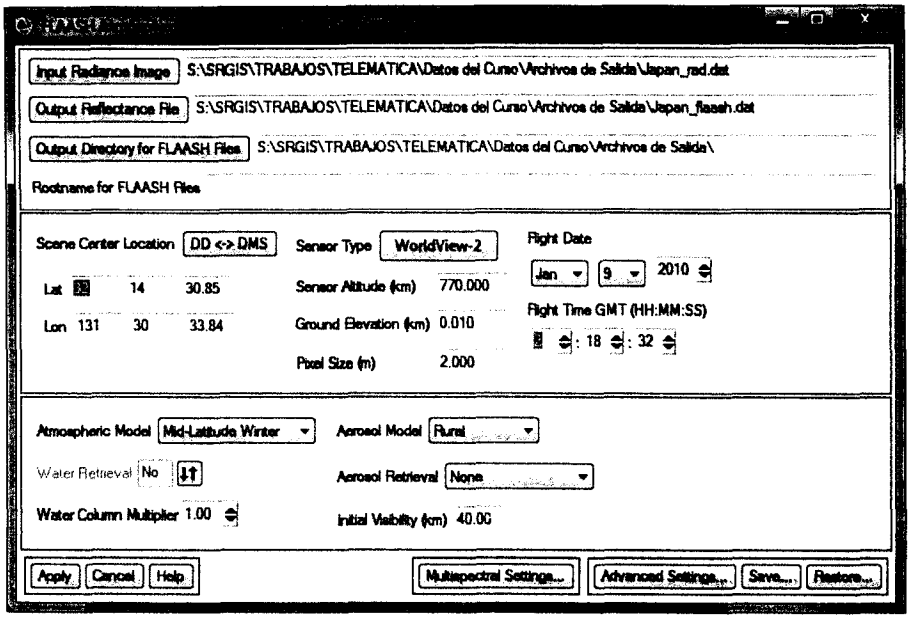
CONVERSIÓN DE REFLECTANCIA

1. *Del menú principal de ENVI , vaya a "**File → Open As → WorldView2**". Navegue al directorio "**..\WorldView2\052314615030_01_P001_MUL**" y seleccione el archivo "**10JAN09021838-M2AS-052314615030_01_P001.TIL**" para abrir. Cargue la combinación infrarrojo-color (CIR) pulsando con el botón derecho del mouse sobre el archivo en el Data Manager y seleccionando "**Load CIR**" .*
2. *Pulse el botón "**Zoom to Full Extent (F12)**" para ver la escena completa. Ajuste el histograma a "Linear 1%" o "Linear 2%" para ver bien la vegetación.*
3. *Despliegue la curva espectral del pixel (**Spectral Profile (Alt +Z)**) o "**Display → Profile → Spectral**"). Seleccione pixeles de vegetación y de otros materiales y analice las curvas espectrales.*
4. *En el Toolbox de ENVI vaya a "**Radiometric Correction → Radiometric Calibration**", seleccione el archivo "**10JAN09021838-M2AS-052314615030_01_P001.TIL**" y pulse **Ok**.*
5. *En el siguiente diálogo de calibración usted puede calibrar los datos a radianza o reflectancia. Seleccione la opción "**Radiance**". Luego usaremos FLAASH para convertir los datos a reflectancia. Pulse "**Apply FLAASH Settings**", esto dejará el resultado para ser utilizado luego en el módulo FLAASH.*
6. *El archivo de salida se llamará "**Japan_rad.dat**" (recuerde seleccionar también el directorio de salida), pulse **Ok**. Al finalizar el proceso cargue la combinación infrarrojo color del nuevo archivo y compare las curvas espectrales.*
7. *Del Toolbox, ejecute "**Radiometric Correction → Atmospheric Correction Module → FLAASH Atmospheric Correction**".*
8. *Pulse el botón "**Input Radiance Image**", seleccione el archive "Japan_rad.dat" y luego Ok. Se abrirá una ventana para asignar el factor de escala de la radianza. Seleccione "**Use single scale factor for all bands**", deje el valor por defecto 1 y pulse **Ok**.*
9. *Pulse el botón "**Output Reflectance File**", y en la carpeta de archivos de salida del curso, guarde el archivo como "**Japan_flaash.dat**", y acepte.*
10. *Asegúrese de que el "**Output Directory for FLAASH Files**" sea el directorio de "Archivos de Salida" del curso.*
11. *En "**Rootname for FLAASH Files**" ingrese "**Japan_flaash**". ENVI incluirá este nombre como nombre raíz más el símbolo "_" para los archivos. Los archivos de salida incluyen una imagen de vapor de agua, una imagen de clasificación de nubes, un reporte y otros archivos opcionales.*
12. *Pulse el botón asociado a "**Sensor Type**" y seleccione "**Multispectral → WorldView-2**".*
13. *En el campo **Lat**, defina **32 14 30.85** y en el campo **Lon**, **131 30 33.84**.*
14. *La altitud del sensor (km) se ajusta automáticamente al definir el tipo de sensor.*
15. *En la casilla "**Ground Elevation (km)**" defina **0.01**. En "**Pixel Size**", **2**.*
16. *La fecha de vuelo es **Jan 9 2010**. La hora (GTM) es **2 18 32**.*
17. *En "**Atmospheric Model**" seleccione **Mid-Latitude Winter**.*
18. *En "**Aerosol Model**" seleccione **Rural**, y en "**Aerosol Retrieval**" seleccione **None**. Otras opciones para el modelo de aerosol son:*

    - ***Rural:** Representa aerosoles en áreas no muy fuertemente afectadas por fuentes urbanas o industriales. El tamaño de las partículas es una mezcla de dos distribuciones: unas grandes y unas pequeñas.*
    - ***Urban:** Una mezcla de un 80% de aerosol rural con un 20% de aerosoles como hollín, apropiada para áreas urbanas/industriales de alta densidad.*
    - ***Maritime:** Representa la capa límite sobre océanos, o continentes bajo vientos predominantes desde el océano. Está compuesta de dos componentes, uno de aerosol marino y otro de aerosol continental rural (que omite grandes partículas).*
    - ***Tropospheric:** Aplica para condiciones tranquilas, claras (visibilidad mayor a 40 km) sobre la tierra y contiene componente de partículas pequeñas del modelo rural.*

19. *La visibilidad inicial la dejaremos por defecto en 40 Km, la siguiente tabla muestra los valores referenciales según la calidad de la imagen:*

Condición Climática	Visibilidad de la Escena
Claro	40 to 100 km
Neblina moderada	20 to 30 km
Neblina densa	15 km or less



20. *Pulse el botón "**Advanced Settings...**" en el archive .IMD de la imagen (revisar directorio) se indica que el sensor tiene una visión no perpendicular al momento de captura del dato. En "**Zenith Angle**" defina* **160 36 0.02** *y en "**Azimuth Angle**"* **-120**. *Deje el resto de los parámetros por defecto y pulse **Ok**.*

*Para los instrumentos que utilizan una geometría de observación no nadir, debe especificar los ángulos cenitales y azimut. El ángulo cenital se define en el sensor como el ángulo entre la línea de visión y el cenit (180 para los sensores de nadir de visión). El ángulo del cenit debe ser positivo y entre 90 y 180 grados. El "**ángulo de azimut**" se define como el azimut (el ángulo entre la línea de visión y Norte) del sensor como se ve desde el suelo. Este ángulo es arbitrario para los sensores de nadir de visualización. Los valores del azimut deben estar entre -180 y 180 grados. Por ejemplo, si su azimut desde el sensor es de 90 grados (hacia el este), luego el azimut desde el suelo es -90 grados (debido oeste).*

21. *Pulse "**Apply**" para ejecutar FLAASH.*
22. *Al terminar el proceso aparece una ventana con el resumen de los resultados del proceso. Cierre la ventana y también la ventana del FLAASH.*
23. *Cargue la combinación CIR (infrarrojo color) del archivo "**Japan_flaash.dat**" desde el **Data Manager**. Y despliegue la curva espectral del nuevo archivo. Revise los resultados, compare con la curva espectral original y la del archivo de radianza.*

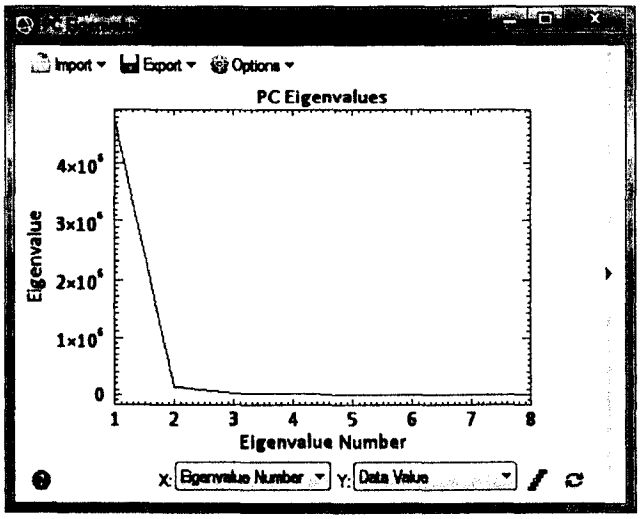
Antes de ejecutar el análisis de componentes principales, ejecutaremos un índice normalizado de vegetación (NDVI) para crear una máscara de los elementos no-vegetales en la imagen y así sólo procesar en pixeles que contengan vegetación.

24. *En el Toolbox de ENVI, vaya a "**Spectral → Vegetation → NDVI**", seleccione el archivo "**Japan_flaash.dat**" y pulse **Ok**.*
25. *En los parámetros para calcular el NDVI, WorldView-2 no está disponible como un tipo de archivo, por lo que debe indicar manualmente la banda que corresponde al Rojo y al Infrarrojo Cercano, defina **Red: 5** y*

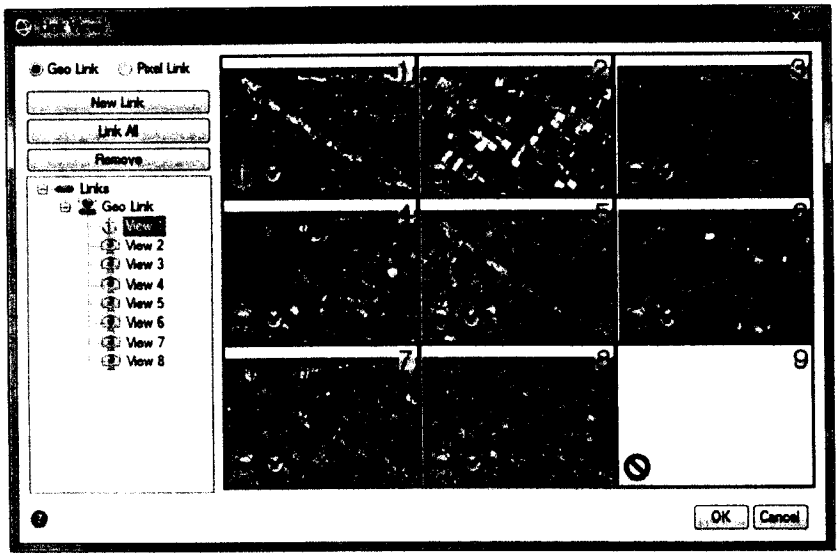
Near IR: 7. *El archivo de salida se llamará "**Japan_NDVI.dat**", pulse **Ok** para ejecutar. Al finalizar el proceso, cargue el nuevo archivo en escala de grises.*

Rotación de Componentes Principales

26. *En el Toolbox vaya a "**Transform → PCA Rotation → Forward PCA Rotation New Statistics and Rotate**". Seleccione el archivo "**Japan_flaash.dat**" y luego pulse el botón **Mask Options** y seleccione **Build Mask**.*
27. *En el diálogo de "**Mask Definition**" vaya a "**Options → Import Data Range**", seleccione el archivo "**Japan_NDVI.dat**" y luego pulse **Ok**.*
28. *En "**Data Min Value**" defina **0.7** como el valor (aunque generalmente el valor es aproximadamente 0.3, queremos procesar en datos con vegetación más fuerte). Deje el valor máximo en blanco y pulse **Ok** (al dejar el valor en blanco, ENVI asume el máximo valor existente).*
29. *Pulse nuevamente el botón "**Options**" y seleccione la opción **Selected Areas "On"**.*
30. *El archivo de salida será "**Japan_NDVI_mask.dat**", pulse **Ok**. Se definirá el archivo recién creado como la máscara a aplicar durante el proceso. Pulse **Ok**.*
31. *El primer archivo de salida es el de estadísticas (.sta), ese archivo se llamará "**Japan_pca.sta**".*
32. *El segundo archivo es el de las componentes principales, ese se llamará "**Japan_PC.dat**". Deje el resto de los valores por defecto y pulse **Ok**. Al terminar se desplegará un gráfico de valores propios.*



33. *En el gráfico de valores propios (eigenvalue), las ocho nuevas bandas (componentes principales) están especificadas a lo largo del eje X. El eje Y representa los valores propios, o la cantidad de varianza que se describe por cada componente principal. Usted puede ver que las primeras componentes del PCA contienen casi la mayoría de la varianza (señal) en a escena. De este gráfico de valores propios, usted puede esperar que las últimas componentes (bandas) no contienen mucha señal que pueda ser distinguida del ruido. Cierre el gráfico de los valores propios.*
34. *Si no se ha cargado, cargue la banda 1 del archivo nuevo (**PC Band 1**), elimine otras capas que estén desplegadas.*
35. *En el menú principal vaya a "**View → 3 x 3 Views**" la PC Band 1 estará en el primer recuadro (superior izquierdo).*
36. *Seleccione la segunda vista (**View**). Abra el Data Manager y seleccione la **PC Band 2** y con el botón derecho selección "**Load Grayscale**", esto cargará la 2ª componente principal en la 2ª vista.*
37. *Seleccione la 3ª vista (**View**) y cargue la banda **PC Band 3** en esa vista, cargue el resto de las bandas análogamente en distintas vistas.*
38. *En el menú principal, seleccione "**Views → Link Views**" y pulse el botón "**Link All**".*

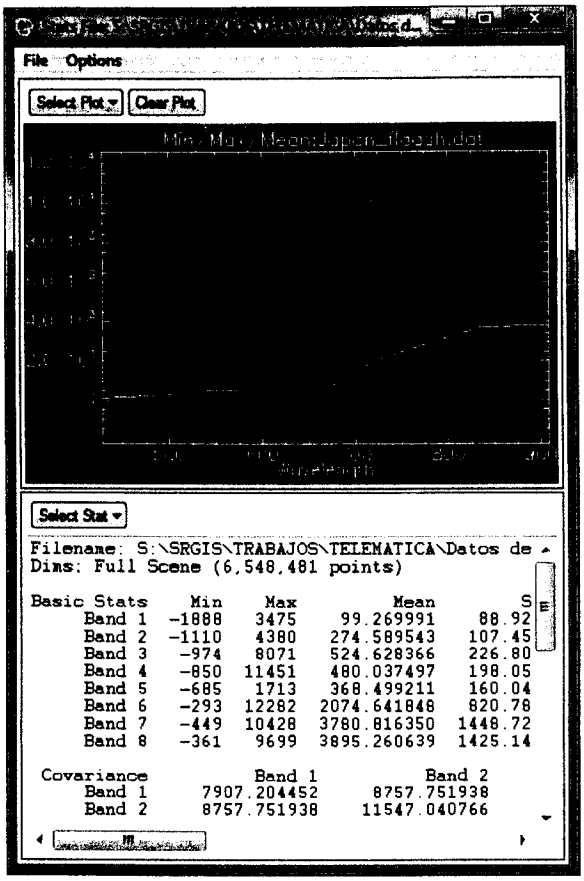


39. *Pulse **Ok** para amarrar todas las vistas. Seleccione la capa de una de las vistas y con el botón derecho aplique "**Zoom to Layer Full Resolution**", luego navegue en los datos utilizando el botón central del mouse o la herramienta de vuelo (fly). La primera vista contiene la primera componente principal que es espacialmente coherente, la última banda no puede diferenciar información del ruido.*
40. *Del menú principal vaya a "**View → One View**", se le advertirá que va a cerrar vistas que tienen información cargada, acepte.*
41. *Desde el **Data Manager**, cargue en combinación RGB las primeras 3 bandas del archivo "**Japan_PC.dat**". Ajuste histogramas y vea a distintas resoluciones, analice los resultados y las variaciones de color.*

LAS ESTADÍSTICAS DEL ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (PCA)

42. *Del Toolbox de ENVI vaya a "**Statistics → View Statistics File**", se le pedirá seleccionar un archivo de estadísticas (*.sta) desde un explorador de carpetas y archivos, de la carpeta de salida del curso, seleccione el archivo "**Japan_pca.sta**". Un reporte de las estadísticas y un gráfico se desplegarán.*
43. *Se ven las curvas para cada banda del mínimo, máximo, promedio y desviaciones estándar, puede cambiar el gráfico pulsando el botón "**Select Plot**" y ver otros gráficos.*
44. *La mitad inferior del cuadro de diálogo contiene las estadísticas en texto: media, máximo, mínimo, desviación estándar, correlación y matrices de covarianza. Y en la parte inferior, la matriz de vector propio. Puede generar imágenes de la covarianza, correlación y matrices de vectores propios, seleccionando "**File → Save Current Covariance**" desde barra de menú de diálogo. Sería una imagen muy pequeña (8 x 8 píxeles para este conjunto de datos).*

    De particular interés después de una transformación de PC son los valores propios y vectores propios. Como se mencionó anteriormente, los valores propios indican la cantidad de varianza descrito por cada eje de PC. Los vectores propios corresponden a los ejes de la PC y la matriz de vectores propios muestra la contribución relativa de cada banda de la imagen original a las bandas de PC.



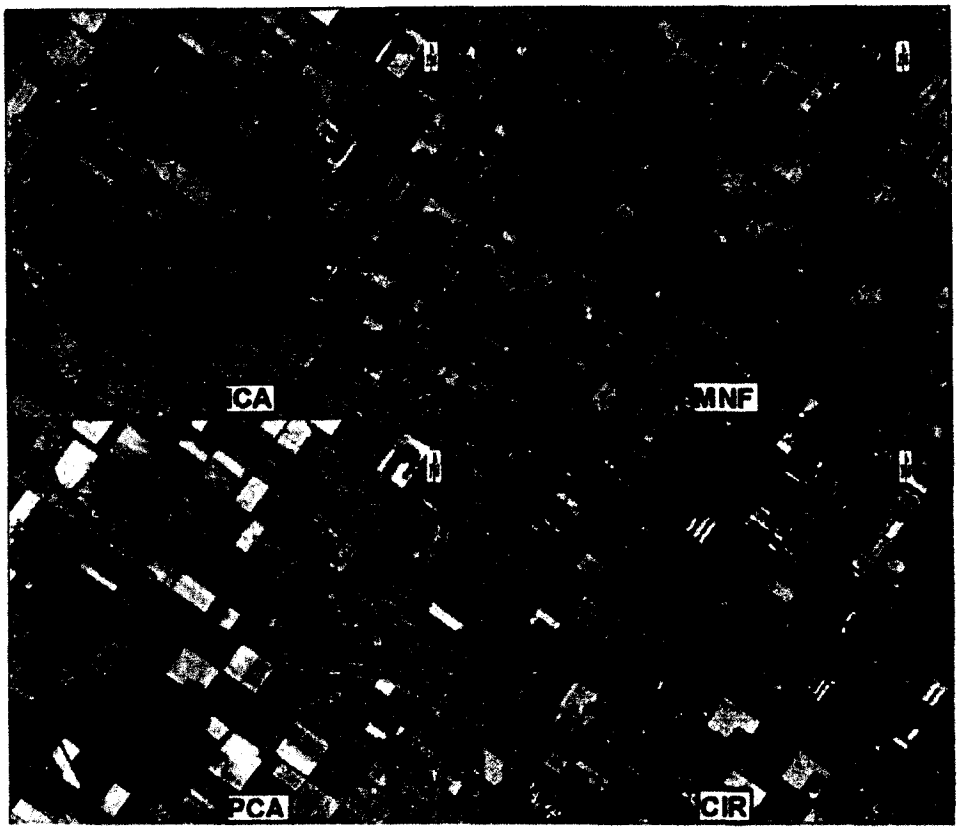
Eigenvector	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6	Band 7	Band 8
Band 1	-0.021088	-0.030417	-0.077802	-0.062669	-0.045519	-0.354946	-0.662167	-0.649712
Band 2	-0.134815	-0.175309	-0.369846	-0.350837	-0.271005	-0.698034	0.167955	0.319868
Band 3	0.050187	0.060302	-0.021061	0.162276	0.210033	-0.030013	-0.680417	0.677559
Band 4	0.315618	0.349118	0.287702	0.301117	0.447367	-0.588419	0.238411	-0.042948
Band 5	-0.624861	-0.396880	-0.200214	0.303772	0.549965	-0.050893	0.095343	-0.074362
Band 6	0.390728	0.200304	-0.841372	0.073128	0.233614	0.163386	0.060111	-0.095250
Band 7	0.206249	-0.352972	-0.073754	0.763952	-0.482731	-0.099797	0.028279	0.004494
Band 8	-0.541837	0.721524	-0.143225	0.273373	-0.300278	-0.019516	0.003992	0.002221

MNF TRANSFORM (MINIMUM NOISE FRACTION)

45. *Ahora ejecutaremos otro tipo de transformación para comparar resultados. En el Toolbox vaya a "**Transform → MNF transform → Formward MNF Estimate Noise Statistics**" y ejecute la herramienta. Seleccione el archivo "**Japan_flaash.dat**" y utilice la misma mascara utilizada en el proceso PCA. Los archivos de salida son "**Japan_mnf_noi.sta**", "**Japan_mnf.sta**" y "**Japan_mnf.dat**" respectivamente.*
46. *La trasformación MNF es una variación del análisis PCA que fue desarrollado para datos hiperespectrales. Hace un mejor trabajo separando la señal del ruido en las bandas transformadas de salida. Cuando el proceso termine despliegue las nuevas bandas MNF como una combinación de color de las primeras 3 bandas y compárelas con la misma combinación de las primeras 3 bandas del archivo PC.*

ICA TRANSFORM (INDEPENDENT COMPONENT ANALYSIS)

47. *Del Toolbox de ENVI ejecutaremos "**Trasnform → ICA Rotation → Forward ICA Rotation New Statistics and Rotate**". Seleccione el archivo "**Japan_flaash.dat**" y seleccione la misma máscara ya utilizada. Los archivos de salida son "**Japan_ica.sta**", "**Japan_ICA.dat**" y "**Japan_ica.trans**".*
48. *Cargue las primeras tres bandas del nuevo archivo en RGB.*
49. *Para comparar los resultados cree una vista de 4 ventanas y cargue en cada una de ellas las combinaciones RGB de las tres transformaciones y la combinación CIR*

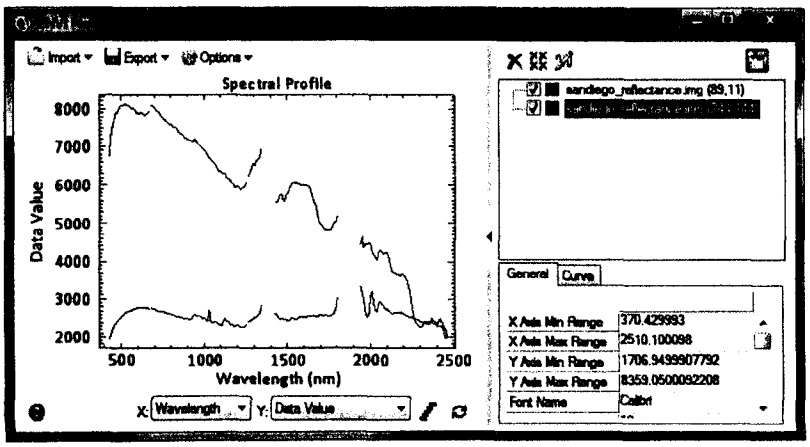


50. Para terminar cierre todos los archivos y ventanas abiertas.

TARGET DETECTION WIZARD

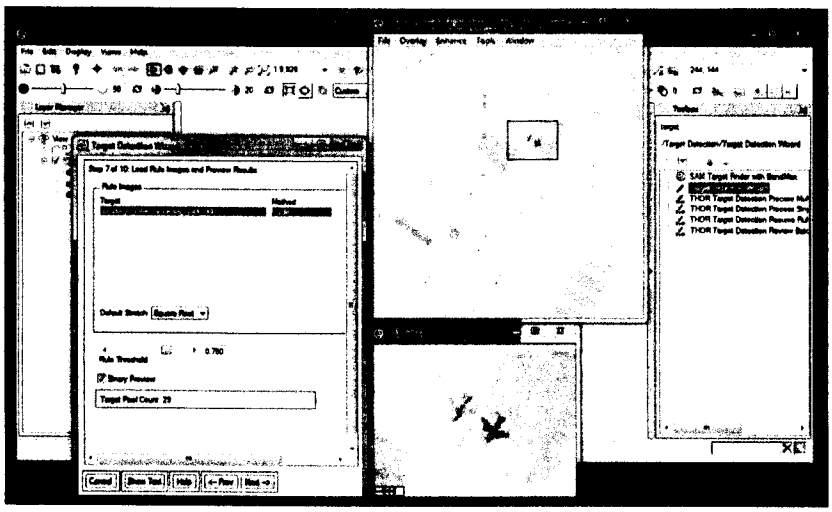
Esta herramienta le permite a través de un flujo de trabajo encontrar un objetivo en las imágenes espectrales. El objetivo puede ser un material o un mineral de interés o un objeto hecho por el hombre. Para este ejemplo utilizaremos la herramienta para diferenciar aviones en un aeropuerto en San Diego, California.

1. *Desde la carpeta AVIRIS del curso abra el archivo "**sandiego_reflectance.img**", si no se carga automáticamente una imagen, cargue el "**True Color**" y luego explore la curva espectral de los pixeles. Utilice la herramienta "**Go To**" para ir al pixel (244, 144) este será nuestro objetivo, en la ventana de la curva vaya a "**Options → New Window with Plots**". Ahora vaya al pixel (89, 11) y arrastre la curva espectral nueva a la ventana de ploteo que generamos antes.*



*Notará que la curva tiene ciertos quiebres, esto es porque en ciertos rangos espectrales, los datos capturados están erróneos, por lo que se editó la cabecera del archivo indicando las bandas que tienen errores, así el software no las considerará al momento de procesar, estas bandas son las llamadas "Bad Band List", para verla o editarla vaya al Toolbox y busque la herramienta "**Raster Management → Edit ENVI Header**", seleccione el archivo y pulse **Ok**, en la nueva ventana vaya a "**Edit Attributes → Bad Band List...**". Cierre las ventanas abiertas.*

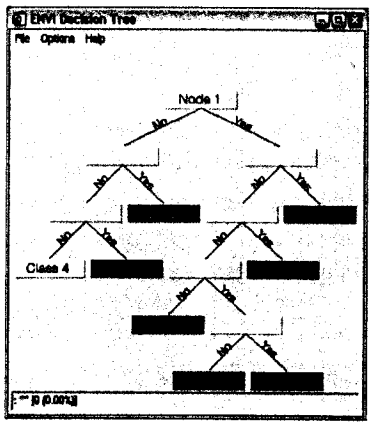
2. *En el **Toolbox**, busque la herramienta escribiendo "target" en el box de búsqueda, ejecute "**Target Detection Wizard**". Se abrirá una ventana donde se indica para que sirve esta herramienta y los pasos que se seguirán. Pulse el botón "**Next**"*
3. *El paso 1 consiste es seleccionar el archivo que se procesará, la carpeta y el nombre de raíz de los archivos de salida. Pulse "**Select Input File...**" y seleccione el archivo "**sandiego_reflectance.img**", pulse **Ok**. Pulse ahora el botón "**Select Output Root Name...**" e índice que carpeta de salida y el nombre "**sandiego_reflectance_tdw**" luego pulse **Ok**. Con esto terminamos el paso 1, pulse "**Next**"*
4. *En el paso 2, el flujo de trabajo nos permite realizar una corrección atmosférica a los datos de entrada, como esta imagen ya está con una corrección dejaremos la opción por defecto (**None/Already Corrected**) y pulsaremos "**Next**"*
5. *En el paso 3 indicamos los elementos que queremos buscar, vaya a "**Import →From plot Windows...**" y seleccione la curva de la coordenada (244, 144), pulse **Ok**. Luego avanzamos pulsando "**Next**"*
6. *En el paso 4 se nos consulta si queremos incluir un objetivo para rechazar, es decir una curva espectral que no queremos incluir pues nos puede generar falsos positivos. Pulsemos el botón para indicar que sí queremos seleccionar este objetivo para rechazar, y de la misma manera que en el paso 5, importamos la curva del pixel (89, 11). Para terminar este paso pulsamos "**Next**"*
7. *El paso 5 es opcional y es para aplicar una transformada MNF (**Minimum Noise Fraction**), esta transformación reduce la dimensionalidad de los datos, para imágenes hiperespectrales es recomendable utilizar esta opción para agilizar los procesos y reducir el ruido en los datos. Cambie la opción a "Yes" y luego pulse "**Next**". Al aplicar esta opción, los procesos se aplicarán sobre el archivo transformado (MNF) y no sobre el original.*
8. *El paso 6 propone las distintas metodologías que podemos elegir para realizar la búsqueda del objetivo, para este ejercicio sólo utilizaremos **Spectral Angle Mapper (SAM)**, pulse **Next**. Se abrirá una imagen temporal con el "Rule" del objetivo cargado y los pixeles seleccionados como el objetivo en rojo*
9. *El paso 7 permite definir los pixeles que se seleccionaron como objetivo, modifique el valor del "**Rule Threshold**" (Tolerancia) para quitar o agregar pixeles a la clasificación. Un valor de 0.75 funciona bien. Pulse el botón "**Next**"*



10. *El paso 8 sirve para limpiar la clasificación, es decir eliminar pixeles aislados (sieve) o rellenar espacios entre pixeles clasificados (clump), no aplicaremos cambios en este proceso por lo que desactive las opciones "**Clumping**" y "**Sieving**" y pulse "**Next**"*
11. *El paso 9 es para exportar los resultados a **ROI** (Región de Interés) o a **Shapefile** (vector de ArcGIS), seleccione sólo la opción "**ROI**" y pase al último paso (**Next**).*
12. *El último paso nos despliega las estadísticas de los pixeles clasificados y nos da un reporte del proceso y una visualización temporal de los resultados. Pulse "**Finish**" para terminar.*
13. *Pulse el botón "**ROI**" de ENVI. En la ventana "**Region of Interest (ROI) Tool**" vaya a "**File → Open...**" y de la carpeta de archivos de salida abra el archivo "**sandiego_reflectance_tdw_sam_target.roi**", en el siguiente diálogo, seleccione la imagen "**sandiego_reflectance.img**" para asociar este ROI, luego **Ok**. Desde el **Data Manager**, cargue la región de interés (**Load Data**) en el display. Para finalizar cierre todos los archivos.*

MAPEO POR ÁRBOLES DE DECISIÓN

Los árboles de decisión son una poderosa herramienta para generar clasificaciones de distintos tipos, y el provecho que se le puede sacar depende de la imaginación del usuario para crear un árbol que se ajuste a sus necesidades. El clasificador de árboles de decisión realiza clasificaciones de varias etapas utilizando una serie de decisiones binarias para colocar píxeles en clases. Cada decisión divide los píxeles de un conjunto de imágenes en dos clases basadas en una expresión. Puede dividir cada nueva clase en dos clases más basada en otra expresión. Puede definir tantos nodos de decisión, según sea necesario. Los resultados de las decisiones son clases. Usted puede utilizar los datos de diferentes fuentes y archivos para hacer un clasificador de árbol de decisión individual.



Los datos que entran en los nodos, están directamente relacionados a los píxeles de la imagen y sus valores en cada banda, o sus valores en bandas que sean resultado de algún otro proceso. La siguiente tabla muestra las herramientas que podemos utilizar en estas operaciones lógicas:

Category	Available Functions
Basic arithmetic	Addition (+), subtraction (–), multiplication (*), and division (/)
Trigonometric functions	sin(x), cos(x), and tan(x)
	Arcs — asin(x), acos(x), and atan(x)
	Hyperbolics — sinh(x), cosh(x), and tanh(x)
Relational and logical operators	LT, LE, EQ, NE, GE, GT
	AND, OR, NOT, XOR
	maximum (>) and minimum (<)
Other math functions	exponent (^) and natural exponent
	Natural logarithm — alog(x)
	Log base 10 — alog10(x)
	Integer rounding — round(x), ceil(x)
	Square root — sqrt(x)
	Absolute value — abs(x)

Además de las operaciones lógicas, hay algunas herramientas especiales:

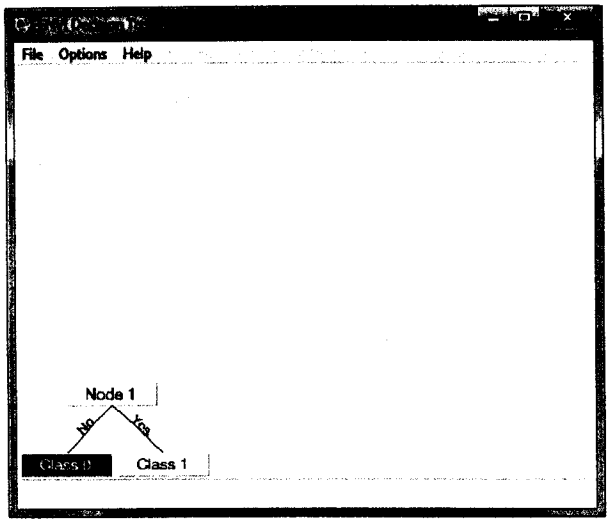
{slope}	Calcula la pendiente desde un DEM.
{aspect}	Calcula el aspecto (hacia donde mira) desde un DEM.
{ndvi}	Calcula el Índice de Vegetación desde un archivo multiespectral.
{mean[n]}	Calcula el promedio para una banda "n".
{stdev[n]}	Calcula la Desviación Standard para una banda "n".
{min[n]}	Calcula el mínimo para una banda "n".
{max[n]}	Calcula el máximo para una banda "n".

Otras herramientas las puede encontrar en la ayuda de ENVI.

1. *Abra las imágenes "**boulder_tm.dat**" y "**baulder_dem.dat**". Tenemos una imagen Landsat y además tenemos un modelo de elevación asociado. Trabajaremos con la información que podríamos extraer del modelo y de la imagen. Cierre las capas que se hayan abierto automáticamente (si se abrieron por defecto) y cargue la combinación por defecto desde el **Data Manager** (botón derecho sobre el archivo y **Load Default**).*

2. *Explore la imagen, modifique el histograma para ver de mejor manera los colores.*

3. *En el Toolbox de ENVI vaya a "**Classification → Decisión Tree → New Decisión Tree**". Generaremos una serie de clasificaciones asociadas a las pendientes del terreno, la presencia de vegetación y otras variables.*



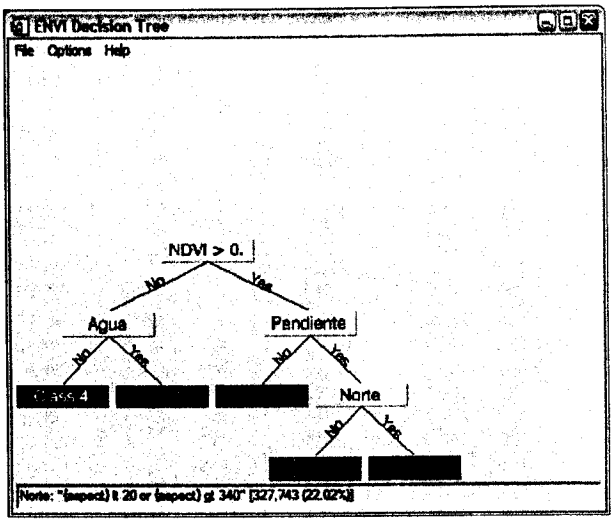
4. *Pulse el botón "**Node 1**", en "**Name**" escriba "NDVI > 0.3" y en el cuadro de "**expresión**" escriba: "{ndvi} gt 0.3". En el nombre podemos poner un texto cualquiera que nos sirva para saber cuál es la condición que estamos incorporando, y en la expresión, el algoritmo que nos permitirá calcular esa condición, en este caso estamos solicitando que el Índice de Vegetación (NDVI) sea mayor que 0.3 (GT = Mayor que (Greater Than)). Se abrirá una ventana de asignación de variables, debemos elegir la imagen Landsat como el archivo al cual se le calculará el NDVI. Lo que se hará, es segregar la imagen en dos clases, las que cumplen y las que no cumplen la condición.*

5. *Agregaremos una nueva condición a todos los pixeles asociados a la vegetación, en el cuadro de "**Class 1**" con el botón derecho del mouse seleccione "**Add Children**", pulsamos en el nuevo nodo y ponemos de nombre: "Pendiente < 20" y en la expresión: "{slope} lt 20". El archivo asociado a la variable "slope" debe ser el DEM.*

6. *Vamos ahora a "**Options**" en el cuadro del árbol y ejecutamos el árbol ("**Options → Execute...**"), la capa de referencia a seleccionar debe ser la imagen "Boulder_tm.dat", el archivo de salida será "**boulder_tree.dat**". El resultado se abrirá en una ventana temporal, tendremos una imagen donde los píxeles negros son los que no son vegetación (**Class 0**), los rojos aquellos que son vegetación y cuya pendiente es mayor o igual a 20 (**Class 1**) y en verde aquellos que son vegetación y donde la pendiente es menor a 20 (**Class 2**).*

7. *Agregaremos "hijos" a la actual Clase 2 (botón derecho sobre la clase y "**Add children**"), en el nuevo nodo pondremos "Norte" como nombre y "{aspect} lt 20 or {aspect} gt 340" como expresión. Esto nos seleccionará de los pixeles de vegetación con pendiente menor a 20°, aquellos que están orientados hacia el norte (considerando que miran al norte ± 20°). Para la variable "**aspect**" selecciones en archivo del DEM. Ejecute nuevamente el árbol.*

8. *Sobre la clase 0, agregaremos un nodo y sus hijos, aquí, de los píxeles que no son vegetación, clasificaremos aquellos que corresponden a agua (Píxeles en Banda 4 menores que 20 y distintos a 0), el nombre del nodo será "Agua" y la expresión entonces será "b4 lt 20 and b4 ne 0" (el 0 corresponde al borde de la imagen) donde b4 es una variable que la asignaremos a la Banda 4 de la imagen Landsat. Puede cambiar el color de la clase 4 a negro (pulsando sobre la clase se puede editar el nombre y el color de la clase). Ejecute el árbol nuevamente.*



9. *Agregaremos un hijo a la clase 4 para dejar el borde de la imagen como una clase, el nombre del nodo será "Borde" y la expresión "b4 eq 0". Edite los nombres y colores de todas las clases según lo que representa cada una de ellas. Ejecute el árbol para aplicar los cambios.*

10. *Como último paso genere nuevos hijos en la clase 4, el nombre del nodo será "Plano" y la expresión la debe determinar usted, debe conseguir la mejor manera de separar los pixeles que quedan entre Plano y Montaña, si observa la imagen verá que el lado Este de ella corresponde a una llanura donde está la ciudad y al Oeste están los cerros, pruebe expresiones y ejecute el árbol para ver resultados, la figura 15 muestra un resultado esperable.*

11. *Guarde el árbol de decisión, en la misma ventana del árbol vaya a "**File → Save Tree...**", guárdelo como "**boulder_tree.txt**". Cierre el árbol.*

12. *Abra el archivo generado (**boulder_tree.dat**) en ENVI y cárguelo en el display. Revise los resultados, para terminar cierre todos los archivos abiertos.*

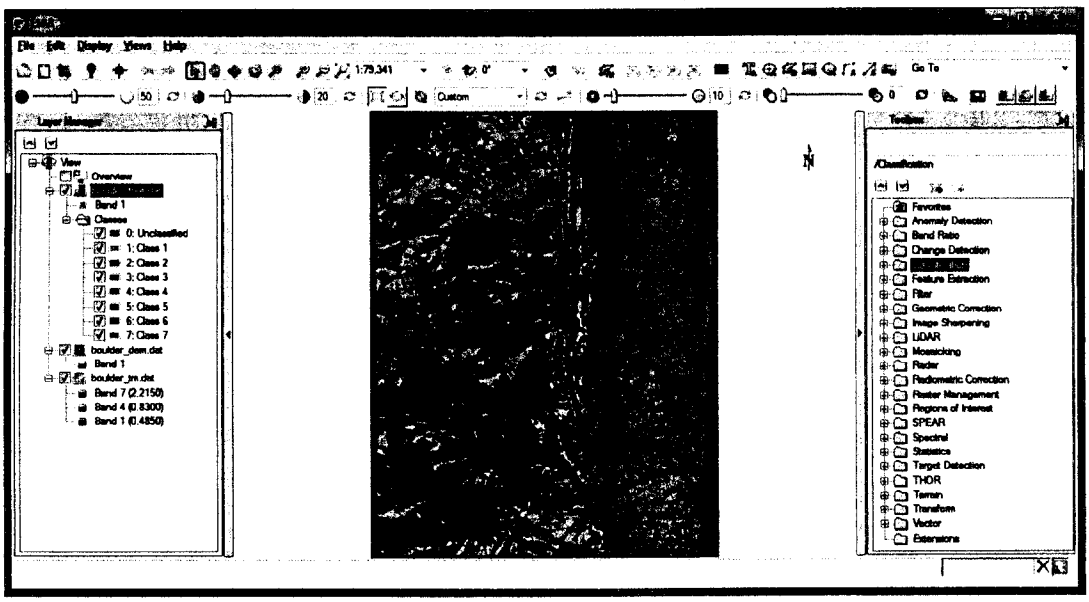


Figura 15: Resultado final para el árbol de decisión abierto en ENVI

Utilizaremos la herramienta de árboles de decisión para mapear características espectrales en una imagen ASTER, recordaremos las características espectrales de los minerales que queremos identificar, como es su curva ajustada a las bandas del sensor ASTER y cómo construir el árbol de decisión para clasificar dichos elementos. Enfocaremos este estudio para determinar presencia de Alunita, Kaolinita, Muscovita y Calcita.

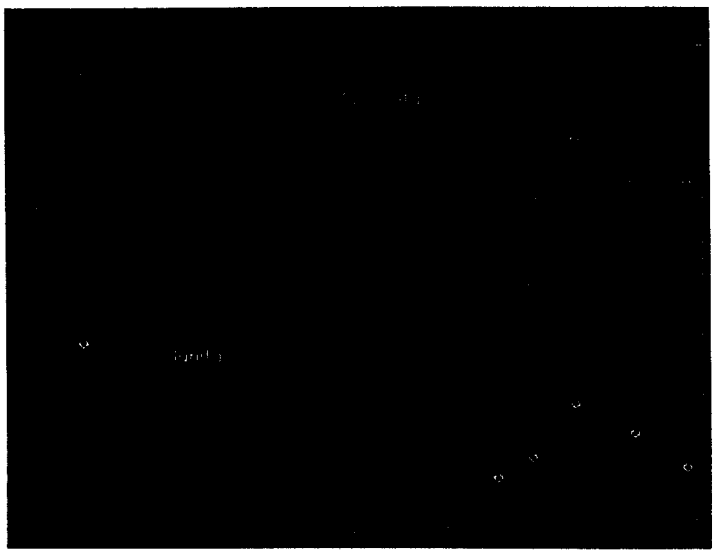


Figura 16: Curvas espectrales ajustadas a las bandas ASTER

La figura anterior muestra las curvas espectrales de los minerales a estudiar, con el ajuste a la información espectral que lee la imagen ASTER en el canal SWIR. Para realizar la clasificación por árboles de decisión, enfocaremos las condiciones del árbol en las absorciones que presentan los distintos minerales, estas absorciones pueden ser absolutas o relativas (Figura 17).

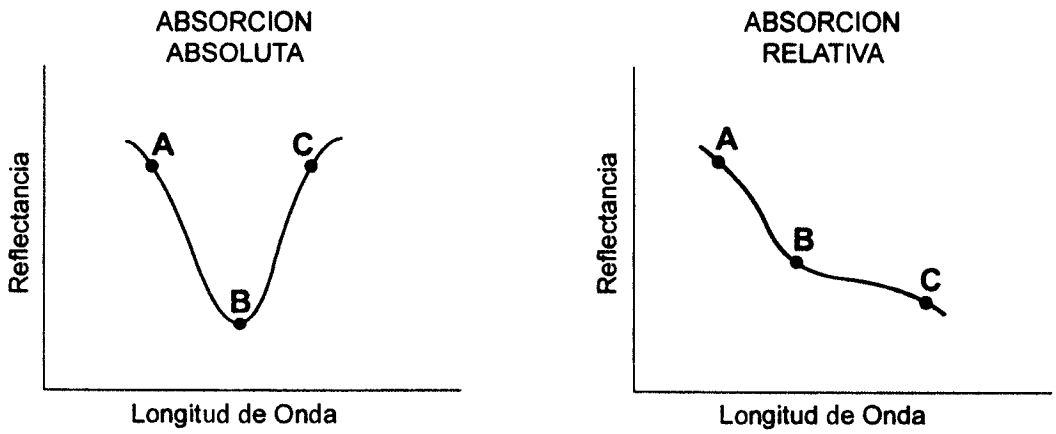


Figura 17: Absorción Absoluta v/s Absorción Relativa

Las principales características que se observan en las curvas de los minerales se resumen en la tabla 5:

Mineral	Tipo de Absorción	Long. Onda / Banda
Alunita	Absoluta	2.167 µm / banda 5
	Relativa	2.209 µm / banda 6
Calcita	Absoluta	2.336 µm / banda 8
Kaolinita	Absoluta	2.209 µm / banda 6
	Relativa	2.167 µm / banda 5
Muscovita	Absoluta	2.209 µm / banda 6

Tabla 5: Absorciones absolutas y relativas para distintos minerales (ASTER)

Si consideramos la figura 17 como referente, tenemos 3 puntos (A,B y C) que reflejan ambos tipos de absorciones, las condiciones que podemos ocupar en el árbol de decisión serían un valle para la absorción absoluta y una inflexión en la absorción relativa, matemáticamente podría escribirse de la siguiente forma:

- Absorción Absoluta: A > B < C
- Absorción Relativa: (A > B > C) y (**m**AB < **m**BC), donde **m**AB es la pendiente entre los puntos A y B, y **m**BC la pendiente entre los puntos B y C.

Para tener una absorción relativa, necesitamos que haya un cambio de pendiente entre AB y BC, que pase de una pendiente menor a una mayor. De esta manera podremos construir nuestro árbol de decisión con las condiciones lógicas antes mencionadas. Asignaremos las siguientes siglas para la representación del árbol:

- ABS-BX : Absorción absoluta en la Banda X
- RBD-X : Absorción relativa en la Banda X

La figura 18 representa el árbol propuesto para el mapeo de características espectrales en una imagen ASTER:

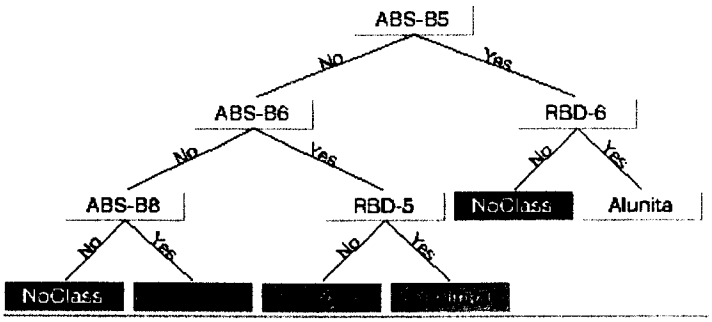


Figura 18: Arbol de decisión para clasificar minerales

En el árbol de decisión los algoritmos se escribirían de la sguiente manera:

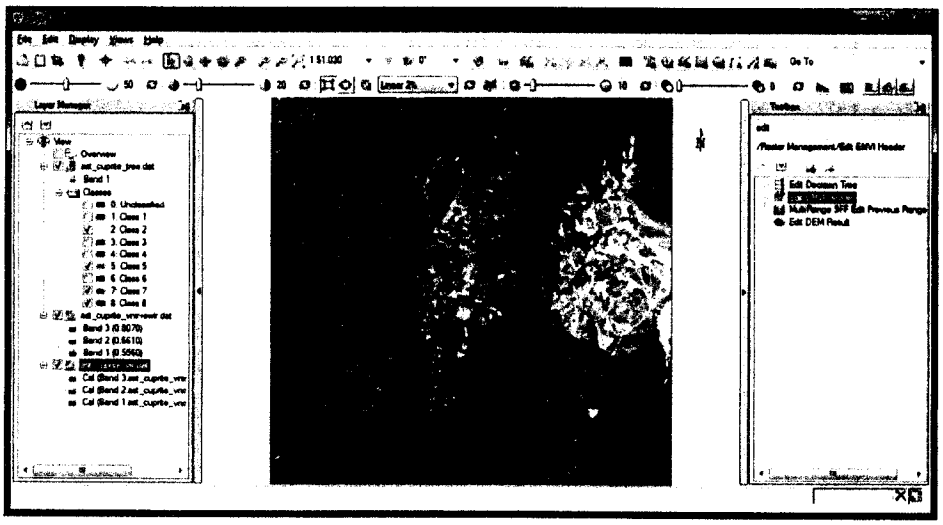
ABS-B5 : (b4 gt b5) and (b5 lt b6)
ABS-B6 : (b5 gt b6) and (b6 lt b7)
ABS-B8 : (b7 gt b8) and (b8 lt b9)
RBD-6 : ((b6-b5)/0.042) lt ((b7-b6)/0.053)
RBD-5 : ((b5-b4)/0.511) lt ((b6-b5)/0.042)

Las expresiones RBD se basan en la ecuación de la pendiente donde X son las longitudes de onda de las bandas e Y los valores de los pixeles en esas bandas.

1. *Desde la carpeta ASTER, abra la imagen "**ast_cuprite_ff.dat**"*
2. *Cree el árbol de decisión de la figura 18 con las expresiones otorgadas. Asigne las variables a las bandas correspondientes y ejecute el árbol. Guarde el archivo como "**ast_cuprite_tree.dat**". Notará que la imagen se clasifica casi en un 100%, las clases que estan sobreestimando son la Calcita y la Muscovita.*

   Para mejorar el árbol, podemos intentar agregando condiciones a los hijos, para ello siempre es bueno realizar una comparación de las curvas espectrales en las zonas donde no debería haber píxeles clasificados y compararlo con curvas en zonas coherentes. En este caso una característica que mejora la clasificación tiene que ver con la profundidad de la absorción, el algoritmo que representa la absorción es (A+C)/B donde en B está la absorción.

3. *Agregue hijos a la clase Muscovita, el nombre del nodo se llamara ">ABS-B6" y la expresión "(b5+b7)/b6 gt 2.125", a los hijos que cumplen la condición asigne el nombre "Muscovita" y color Cyan y al que no cumple "NoClass" y coor Negro. Ejecute el árbol.*
4. *Realice el mismo cambio análogamente para la Calcita, el valor utilizado en el punto anterior "2.125" se determina realizando pruebas al modificarlo y ejecutando el árbol repetitivamente hasta encontrar un valor coherente. Al quedar conforme con la clasificación, guarde el árbol como "ast_cuprite_tree.txt", cierre la ventana del árbol de decisión y abra el archivo en ENVI.*
5. *Desde el Data Manager, cargue el archivo "ast_cuprite_tree.dat" en el display, desactive las casillas de color negro.*



6. *En el "**Layer Manager**" selecciones la capa que sea del archivo "ast_cuprite_ff.dat", si no hay ninguna, cargue la combinación RGB/321 desde el **Data Manager**. Luego despliegue la curva espectral del pixel (Spectral Profile (Alt +Z)) y seleccione en áreas clasificadas, note que las zonas con Alunita y Kaolinita tengan la absorción absoluta y la relativa en as bandas que corresponde. Al terminar cierre todos los archivos.*

ANÁLISIS "SUB-PIXEL": MODELO DE MEZCLA Y DESMEZCLA ESPECTRAL LINEAR

La mezcla espectral ocurre cuando materiales con distintas características espectrales se encuentran dentro de un mismo pixel. Como en la superficie es difícil encontrar un único material que abarque grandes áreas, la mezcla espectral es una ocurrencia común. En muchos casos el modelo de desmezcla espectral linear (Linear Spectral Unmixing) puede ser utilizado para calcular la abundancia de materiales individuales en pixeles con mezclas, metodología conocida como análisis sub-pixel. Esta metodología es válida cuando todos los materiales son identificados y utilizados en el modelo. Lamentablemente esto no siempre es tan fácil de lograr y para ello ENVI provee una serie de herramientas que lo ayudaran en este proceso.

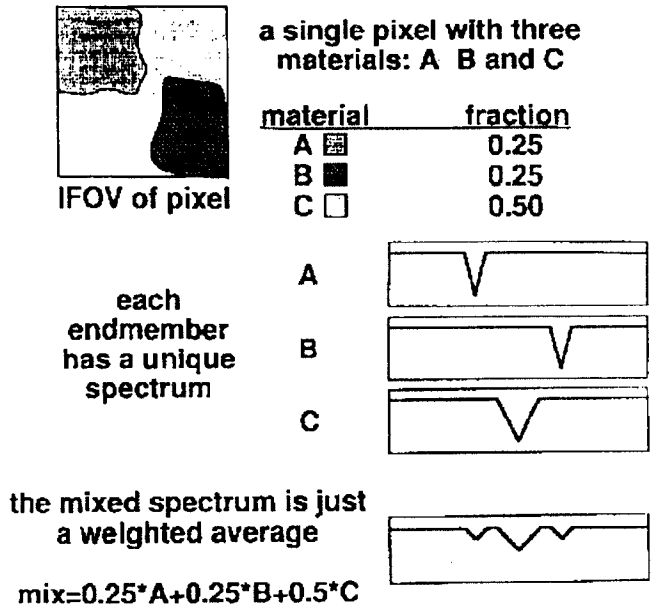


Figura 16: Modelo de Mezcla Espectral Linear

SMACC ENDMEMBER EXTRACTION

Sequential Maximum Angle Convex Cone (SMACC)

La herramienta SMACC sirve para para encontrar y mapear la abundancia de endmembers en el set de datos. La variabilidad natural en endmembers espectrales individuales es utilizada para ayudar a generar las imágenes de abundancia con mejor precisión. Esta metodología de mapeo de abundancia de materiales es rápida pero generalmente menos precisa que la herramienta del "**Spectral Hourglass Wizard**" de ENVI. Parecido a la desmezcla lineal, restricciones deben aplicarse en esta rutina. Estas incluyen, limitando el coeficiente de abundancia a valores positivos, y sumando abundancia de los materiales para cada pixel a valores de uno o menos.

Para los parámetros de restricción:

- Endmembers que representan la radianza o espectros de reflectancia deben satisfacer una restricción positiva (**Positive Only**).
- Si los datos hiperespectrales están calibrados a radianza o a la emisividad termal infrarroja, una restricción a la suma de la unidad de desmezcla debe utilizarse (**Sum to Unity or Less/Sum to Unity**).
- Si los datos están calibrados a reflectancia, pueden usarse la positividad, o la suma a la unidad o menos (**Positivity Only/Sum to Unity or Less**)

1. *Desde la carpeta ASTER, abra la imagen "**ast_humahuaca_iar.dat**", cargue la combinación RGB/321 y observe la imagen. La imagen corresponde a una zona en la Quebrada de Humahuaca al norte de Argentina.*
2. *En el Toolbox de ENVI vaya a "**Spectral → SMACC Endmember Extraction**" para acceder a la herramienta SMACC.*
3. *En el cuadro de diálogo donde selecciona la imagen entrada seleccione la imagen "**ast_humahuaca_iar.dat**" y pulse **Ok**.*

Especificación de los parámetros del SMACC

4. *En el cuadro de diálogo parámetros de extracción del SMACC, cambie el valor del parámetro Number of Endmembers de 30 a 10. Los Endmembers son los diferentes materiales distinguibles en la imagen y los espectros de esos materiales. SMACC no determina automáticamente el número de materiales únicos de la imagen. Se debe especificar el número máximo posible de endmembers en la imagen.*
5. *Dejaremos el valor del **RMS Error Tolerance** por defecto en 0.*
6. *Seleccione la restricción **"Sum to Unity"**.*

   *La opción **"Positivity Only"** restringe el espectro de extremo a valores positivos para cualquier longitud de onda. Esta opción se utiliza normalmente para imágenes corregidas a reflectancia porque un valor negativo de reflectancia no tiene ningún significado físico. Sin embargo, las otras opciones de restricción también aplicarán la restricción de la positividad, por lo que también considerarse estas otras opciones.*

   *La opción **"Sum to Unity or Less"** limita la suma de las fracciones de cada material calculada para cada píxel para ser uno o menos. Con esta restricción, un píxel no puede llenarse más que al 100%. Esta opción también agrega automáticamente un endmember para la sombra y entrega imágenes de abundancia que pueden ser utilizadas para la interpretación física estricta de las fracciones de endmembers existentes dentro de cada píxel. Elegimos esta opción para obtener una endmember para la sombra.*

   *La opción **"Sum to Unity"** limita la suma de las fracciones que se calcula para cada píxel para ser a igual a 100%. Esta restricción llena cada píxel al 100%. Esta restricción es más adecuada para imágenes de emisividad térmica o de radianza. Para estos tipos de imágenes, un endmember de sombra no es físicamente plausible. Sin embargo, esta opción también puede ser útil para las imágenes de reflectancia cuando desee que SMACC encuentre un verdadero endmember de sombra desde los datos de la imagen.*

7. *Active la casilla **"Coalesce Redundant Endmembers"**, y mantenga el valor para **"SAM Coalesce Value"** en 0.1*

   Esta opción une todos los endmembers que estén dentro del ángulo umbral del mapeo espectral especificado en un solo endmember. El espectro que sea el más extremo se identifica y se utiliza para representar todo el grupo endmembers dentro del umbral. Esta opción no se selecciona si se trata de distinguir materiales similares espectralmente. Para nuestro caso, sólo un mapeo general materiales es deseado.

8. *Ingrese el nombre **"ast_humahuaca_smacc.roi"** en el recuadro de la sección "Ednmember Location ROIs".*

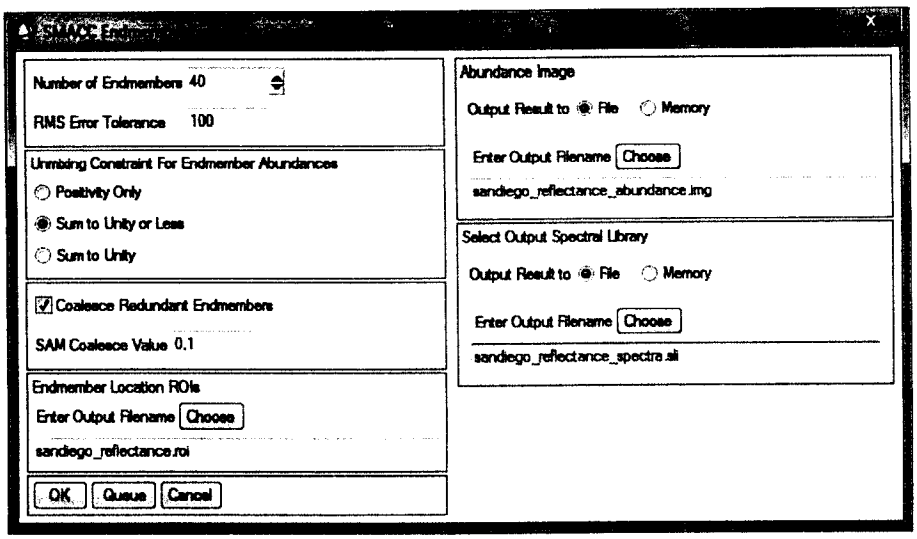
   Este archivo de salida contendrá puntos de interés (ROIs) indicando los píxeles desde el cual los espectros resultantes se derivan. Este archivo de salida es opcional. Si no especifica un nombre de archivo en el cuadro de texto, esta salida de información no se genera.

9. *Ingrese el nombre **"ast_humahuaca_smacc.dat"** en el recuadro de la sección **"Abundance Image"**.*

   Este archivo de salida contendrá las imágenes de abundancia de sombra y endmembers. La imagen de la sombra generalmente muestra altas fracciones donde existen objetos oscuros, incluyendo pavimentos de

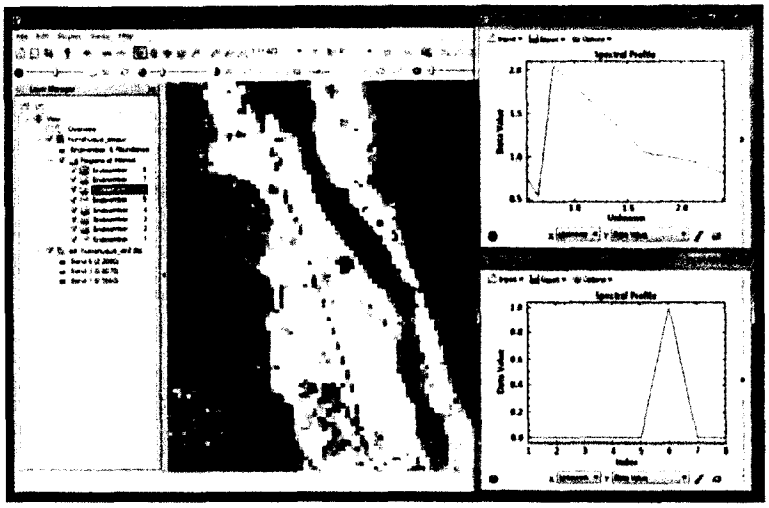
asfalto. Las imágenes de los endmembers muestran valores que indican la fracción del píxel lleno por ese material.

10. *Ingrese el nombre "**ast_humahuaca_smacc_speclib.sli**" en el recuadro de la sección "**Select Output Spectral Library**". Este archivo contendrá la biblioteca espectral de los endmembers extraídos.*
11. *Haga clic en **Ok** para ejecutar el proceso SMACC. La barra de progreso de la extracción de Endmembers de SMACC aparece para indicar el estado del proceso de SMACC. Esta barra de progreso es seguida por la barra de progreso del proceso de desmezcla (Unmixing). Cuando la desmezcla se completa, la librería espectral extraída se despliega en al visualizador de librerías espectrales. El proceso SMACC genera también una ventana de ploteo para el error relativo y los endmembers extraídos.*



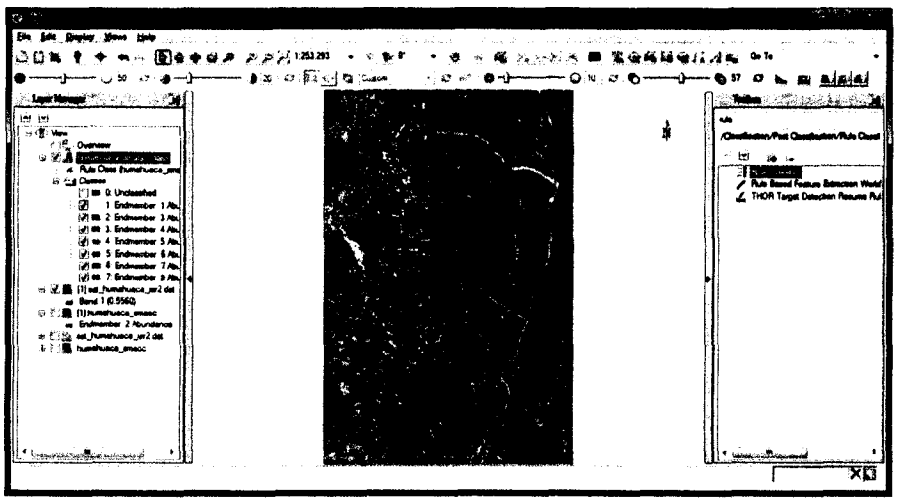
Analizando los Endmembers extraídos y sus Imágenes de Abundancia

12. *Tras el proceso se abre la ventana de Spectral Library Viewer con las lista de los Endmembers seleccionados, cargue las curvas de los elementos encontrados.*
13. *Abra el Data Manager y cargue en escala de grises las diferentes bandas de la imagen de abundancia.*
14. *Cierre todas las capas desde el Layer Manager y cargue de la imagen original la combinación RGB/631 y de la imagen de abundancia la Banda 6 en escala de grises. Despliegue la curva espectral del pixel (Spectral Profile) tanto de la imagen RGB como de la en escala de grises.*
15. *Pulse el botón "ROI" de ENVI, en la nueva ventana vaya a "**File → Open...**" y abra desde la carpeta de salida el archivo "**humahuaca_smacc_roi.roi**", el archivo asociado al ROI puede ser cualquiera de los dos archivos, seleccione uno y luego **Ok**.*
16. *En el Data Manager cargue el ROI abierto, seleccione la capa superior para sobreponer el ROI. Cierre el Data Manager y la ventana del ROI, las regiones de interés que se generaron en el proceso SMACC se cargan en el Layer Manager.*
17. *Seleccione el "Endmember 6" y con el botón derecho seleccione "**Go to ítem**", luego pulse el botón "**Fixed Zoom In (F9)**" varias veces hasta ver el pixel. Fíjese en las curvas espectrales de la imagen original y la de abundancia. La curva de la imagen original corresponde a vegetación (desactive la capa de la banda 6) y la curva de la imagen de abundancia tiene valores 0 para todas las bandas, salvo para la banda 6 que tiene valor 1.*



El pixel que estamos analizando corresponde al Endmember seleccionado y encontrado como un pixel particular de la imagen, que representa probablemente un material único en el pixel, por eso es que la abundancia del pixel es 1 en la banda del Endmember 6 y 0 para el resto, todos los pixeles de la imagen se desmezclan en una proporción de cada Endmember de la imagen. El valor de los pixeles de cada banda de la imagen de abundancia corresponde al porcentaje presente de ese material en ese pixel, en valores de 0 a 1 (0 a 100%).

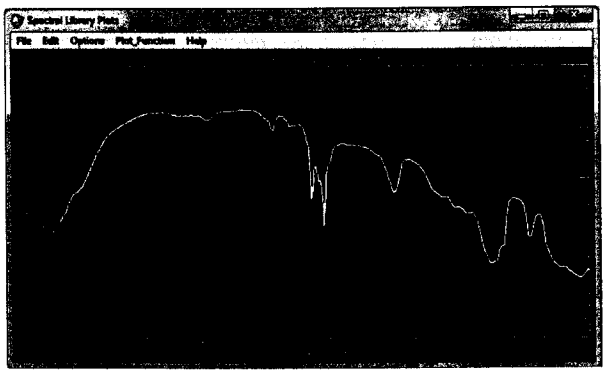
18. *Utilice la herramienta "**Rule Classifier**" para generar una imagen de clasificación desde la imagen de abundancia "**ast_humahuaca_smacc.dat**", guarde la clasificación como "**ast_humahuaca_smacc_class.dat**"*



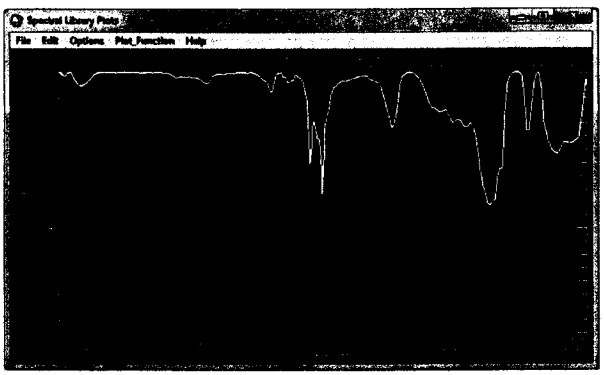
19. *Al terminar intente identificar los Endmembers por su cobertura sobre la imagen. Pulse con el botón derecho sobre la capa de la imagen clasificada en el **Layer Manager**, en la carpeta "Classes" y seleccione "**Statistics for All Classes...**", en el siguiente paso seleccione como archivo de entrada la imagen original "ast_humahuaca_iar.dat" y luego pulse Ok. Estudie los resultados de las estadísticas. Las curvas espectrales también podrían ayudar a identificar Endmembers. Al terminar cierre todos los archivos.*

ANÁLISIS DE PIXEL COMPLETO: SPECTRAL FEATURE FITTING (SFF)

SFF es una metodología basada en las absorciones de las curvas para asignar una curva de la imagen a una curva de referencia. Esta metodología requiere que los datos se conviertan a reflectancia y que los continuos de la curva, tanto de la imagen como de la curva de referencia, se supriman. La idea es que la curva resultante sólo muestre las absorciones de las curvas y no las pendientes continuas:



Curva espectral de la Alunita



Curva espectral de la Alunita (Continuum Removed)

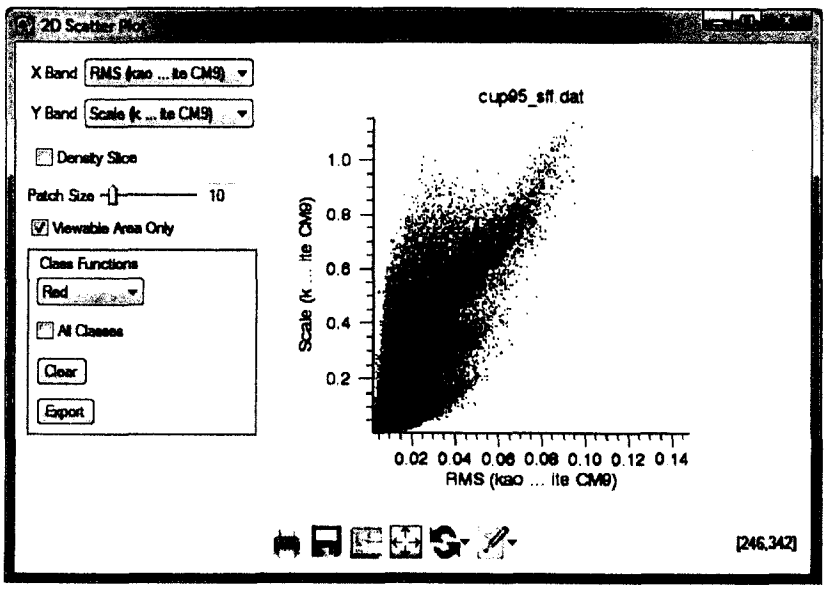
1. *Del directorio "...\Aviris\" abra la imagen "**cup95eff.imt**".*
2. *Del Toolbox busque la herramienta "**Continuum Removal**" y ejecútela. Seleccione el archivo "**cup95eff.int**" y luego Ok. El archivo de salida se llamará "**cup95_cr.dat**", asigne el nombre y luego **Ok**.*
3. *Vea la curva espectral del nuevo archivo (ALt Z) y vaya al pixel 300, 427 (Alunita) rellenándola coordenada pixel en el box "**Go To**". Abra además la ventana de ploteo del archivo "cup95eff.int" y compare ambas curvas. Analice también la curva y absorción en el pixel 502, 586 (Kaolinita).*

   Para esta metodología, los mejores resultados se obtienen seleccionando un rango espectral de análisis ajustado a las bandas de mayor importancia en la absorción del material a mapear

4. *Desde el Toolbox de ENVI vaya a "**Spectral → Mapping Methods → Spectral Feature Fitting**", seleccione el archive "**cup95_cr.dat**" y pulse el botón "**Spectral Subset**", en el nuevo cuadro borre la selección de las bandas (**Clear**) y seleccione las bandas desde la longitud de onda 2.08 a 2.25. Pulse **Ok** y en el diálogo de selección de archivo **Ok** nuevamente.*
5. *En el cuadro de Endmember Collection vaya a "**Import → From Spectral Library**", en la nueva ventana pulse el botón "**Open → New File**" y abra el archivo "**usgs_min.sli**" ubicado en la carpeta "**..\Speclib\usgs_min**", procure que quede seleccionado la librería y pulse **Ok**. Desde la ventana "**Input Spectral Library**" seleccione los minerales: "**[illegible]ite1**" y "**kaolini1**", luego Ok. Finalmente pulse el botón*

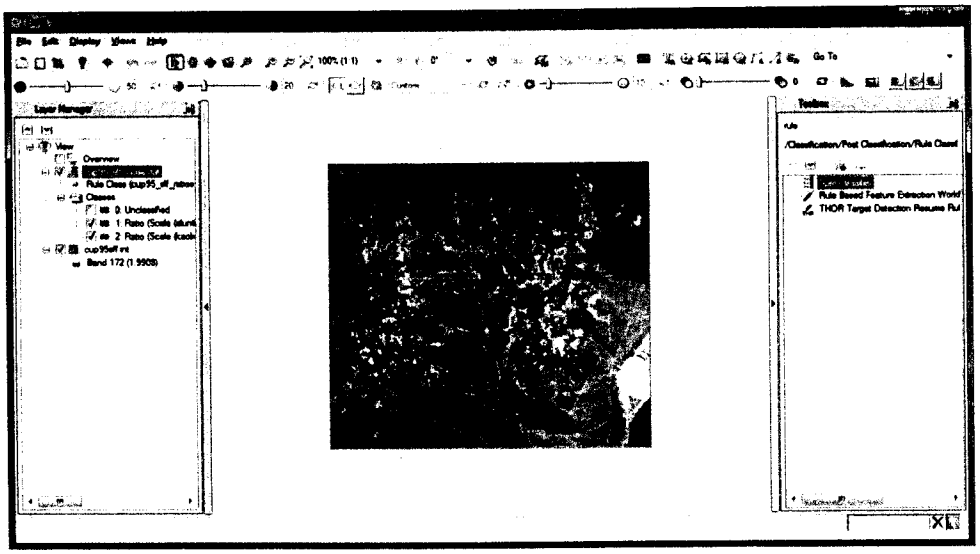
*"**Select All**" y luego "**Apply**". Guarde el archivo resultante como "**cup95_sff.dat**" y Ok. Cierre las ventanas que se hayan abierto durante el proceso.*

6. *Despliegue las bandas "Scale" para Alunita y Kaolinita. Para esta metodología los pixeles más brillantes corresponden a los que arrojaron mayor similitud entre el espectro de la imagen y el de referencia.*
7. *Cargue ahora las bandas "RMS" para la Alunita y la Kaolinita. En estas bandas el valor de los pixeles está asociado al error medio cuadrático del método, por lo que los pixeles más oscuros son aquellos donde hay menos error de proceso. Note que a diferencia de las imágenes Scale, en estas si se ven diferencias más notorias para ambos minerales.*
8. *Del menú principal, vaya a "Display → 2D Scatter Plots". Seleccione RMS (Kaolinite) para la banda X y Scale (Kaolinite) para la banda Y. Pulse con el botón central del mouse sobre el gráfico para analizar el ploteo de dispersión vs los datos en la imagen. En el gráfico de dispersión seleccione con el botón izquierdo del mouse, aquellos pixeles que tengan altos valores para la banda scale pero bajos para la banda RMS y vea como se distribuyen en la imagen.*



9. *Realice el mismo análisis para los resultados de la Alunita. Cierre el **2D Scatter Plot.***
10. *Para generar los resultados finales utilice la herramienta "**Band Ratios**", poniendo como numerador la banda Scale y como denominador la banda RMS para cada mineral. Guarde el archivo de salida como "**cup95_sff_ratio.dat**" y realice después una imagen de clasificación (**cup95_sff_class.dat**) con estos dos índices (**Rule Classifier**). Cargue una banda en escala de grises y sobre ella la clasificación. Al terminar cierre todos los archivos abiertos.*

Para resultado final Scale/RMS



IDENTIFICANDO Y MAPEANDO DATA ENDMEMBERS

MINIMUM NOISE FRACTION (MNF)

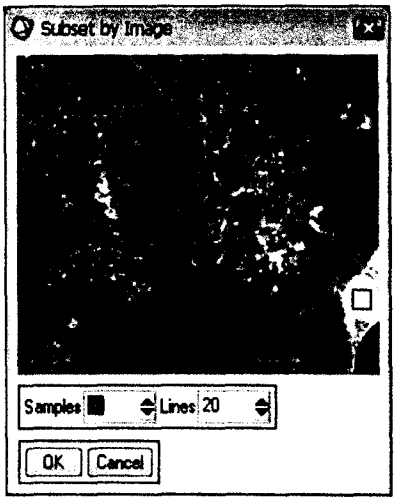
MNF se utiliza para determinar la dimensionalidad inherente de los datos, para segregar y ecualizar el ruido dentro del dato, y para reducir los requerimientos computacionales para el procesamiento.

Las estadísticas del ruido para los datos deben ser determinados cuando se corre en MNF. La información del ruido puede ser adquiridas de diversas fuentes: estadísticas de los datos oscuros del propio instrumento; estadísticas de una región de interés (ROI) u otro estadística definida por el usuario; o de estadísticas calculadas de toda la data.

1. *Abra la imagen "**cup95.int**" del directorio "...\Aviris\" de los datos del curso.*
2. *En el Toolbox de ENVI vaya a "**Transfarm → MNF Rotation → Forward MNF Estimate Noise Statistics**" y ejecute a herramienta.*
3. *Seleccione el archivo "**cup95.int**" y realice un subset espectral desde la longitud de onda 2.04 a los 2.439 micrómetros. Pulse el botón "**Spectral Subset**", y en el siguiente cuadro pulse el botón "**Clear**". Seleccione desde la banda 177 a la 217 y pulse **Ok**. Al volver al diálogo de selección de archivo pulse **Ok** nuevamente. Hemos realizado este recorte espectral sólo para hacer el proceso más rápido.*
4. *En el cuadro de diálogo, defina el nombre del **Output Noise Stats** a "**cup95_noise.sta**" guarde este archivo en la carpeta de salida (se recomienda crear una carpeta nueva dentro de los Archivos de Salida con el nombre "Spectral" para dejar ahí los archivos que generaremos en este proceso). Luego pulse el botón **Shift Diff**.*

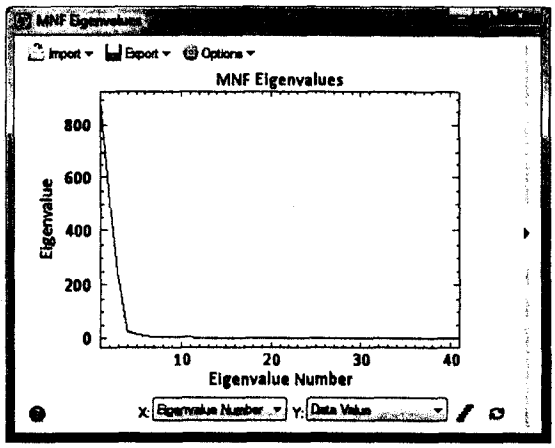
   Para estimar las estadísticas del ruido del dato, ENVI utiliza una técnica de diferencia de cambio (shift difference). Esta técnica asume que cada pixel contiene ambos elementos: señal y ruido, pero el pixel adyacente en un área homogénea (o espectralmente uniforme) contendrá la misma señal. De esta manera, cualquier diferencia de datos numéricos entre el pixel adyacente en dicha área será a causa del ruido. El algoritmo calcula la diferencia entre un pixel dado y el pixel adyacente a él para obtener los valores de ruido. Cuando sea posible es importante realizar un recorte espacial de la imagen para seleccionar un área homogénea para el cálculo de las estadísticas del ruido.

5. *En el cuadro de diálogo para el recorte, pulse el botón "**Image**". En los recuadros de "**Samples**" y "**Lines**" en la parte superior de la ventana de recorte, ingreso el valor 20 para ambas casillas, para hacer un cuadro de 20 x 20 pixeles. Luego coloque este recuadro dentro de la zona blanca a la derecha de la imagen como se indica en la figura y pulse **Ok** y **Ok** nuevamente para finalizar.*



6. *Los otros nombres que debe definir serán* ***cup_mnf.sta*** *(bajo* ***"Output MNF Stats Filename"****) y* ***cup_mnf.dat*** *(bajo* ***"Enter Output Filename"****)*

   Cuando termine el proceso, se mostrará un gráfico de los valores propios. Note que los valores propios para las bandas 25 en adelante con muy cercanos a 1, esto nos dice que las bandas 1 a 25 de las MNF contienen la mayoría de las señales, y el resto contiene mayormente ruido o materiales extraños en la escena.



7. *Las imágenes resultado del MNF están disponibles en el* ***Data Manager****. Cargue las bandas 1 y 25 en escala de grises. Note la calidad de la información en la banda 1 y el ruido de la banda 25. Cierre las ventanas abiertas. Utilice la ayuda de ENVI si quiere conocer más detalles del proceso de MNF.*

PIXEL PURITY INDEX (PPI)

Los miembros finales (Endmembers) serán identificados desde los datos utilizando solo las primeras 25 bandas del MNF en un gráfico de dispersión n-Dimensional. La rutina de Índice de Pixeles Puros (PPI) realiza el proceso de identificación de los pixeles puros más rápido y fácil dado que el número de pixeles que deben analizarse han sido drásticamente reducidos.

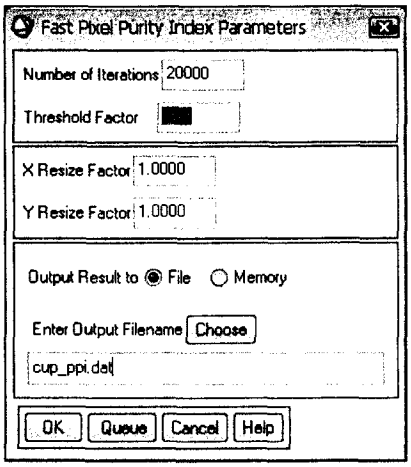
Los pixeles puros son identificados al proyectar en la nube de datos en n dimensiones un vector propio al azar. La distribución de los datos proyectados es luego examinada y se hace un conteo de los pixeles entraron en la cola de distribución. Un valor de umbral especificado por el usuario determina cuanto de la cola de distribución son contadas como exitosas. Un umbral menor resultará en pocos pixeles seleccionados. Cada proyección sobre vector propio al azar es considerada una iteración individual del PPI. Para un análisis completo del PPI, miles (o

decenas de miles) de iteraciones son necesarias, cada una utilizando un vector propio al azar. El resultado del PPI es una imagen donde el valor de cada pixel representa la totalidad de veces (a través de todas las iteraciones) que ese pixel entró en la cola en las proyecciones de distribución al azar.

El gráfico del PPI muestra el número total de pixeles que satisfacen el umbral en función del número de iteraciones. Se aproximará asintóticamente a una línea plana cuando todos los pixeles extremos hayan sido encontrados. Si el gráfico tiene pendiente positiva, nuevos pixeles serán añadidos en cada iteración. Si el gráfico es plano, no hay nuevos pixeles que agregar. El proceso PPI correrá mientras el gráfico se aplana.

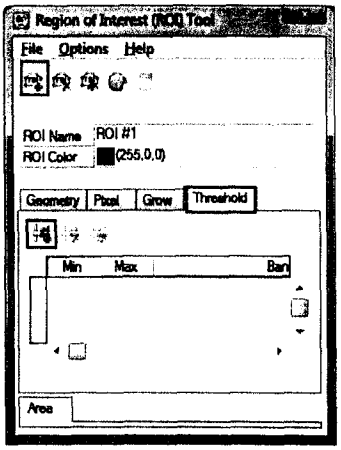
La imagen PPI tiene solo una banda. Su propósito es asociar información espacial (como ubicación de pixeles) con la probabilidad de que cada pixel represente un Endmember puro de la imagen.

8. *Desde el Toolbox vaya a "**Spectral → Pixel Purity Index → [FAST] New Output Band**". En el cuadro de selección de archivos elija "**cup_mnf.dat**" y realice un recorte espectral para trabajar sólo sobre las primeras 25 bandas. Pulse **Ok**.*



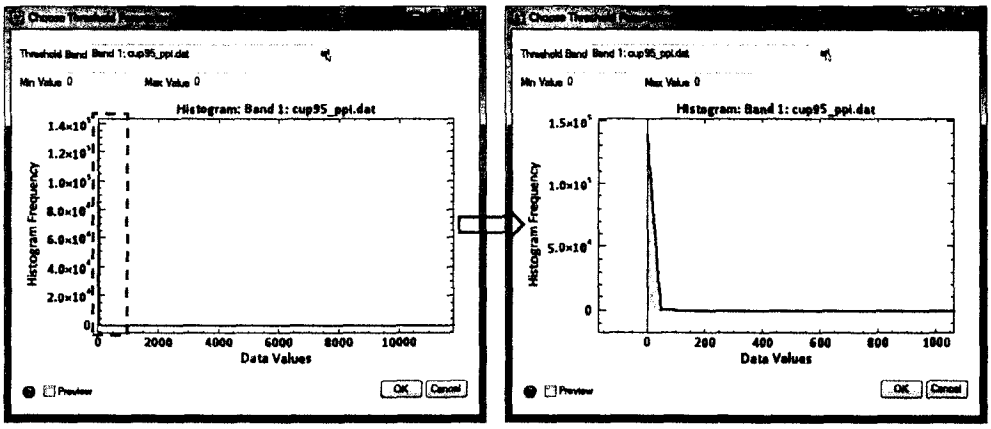
9. *Modifique el número de iteraciones a 20000 y deje el resto de los valores por defecto. El archivo de salida lo llamaremos "**cup_ppi.dat**". Pulse **Ok**. El proceso demorará algunos minutos, aunque elegimos un valor pequeño para las iteraciones, a modo de minimizar el tiempo de espera.*
10. *Si no se cargó automáticamente, cargue la imagen PPI en ENVI. Desde el menú principal vaya a "**Display → Cursor Value**", esto abrirá una ventana de información del pixel sobre el cual tenga posicionado el mouse. Note los valores que tienen los pixeles, recuerde que ese valor representa la cantidad de veces que ese pixel fue identificado como Pixel Puro en el proceso de PPI.*
11. *Cambie el histograma a "Gaussian". Usted puede observar que la mayoría de los pixeles en la imagen nunca fueron identificados como puros (tienen un valor 0 en la imagen PPI). A medida que el valor del PPI aumenta, el número de pixeles disminuye. Esto indica que la mayoría de los pixeles no son probablemente puros sino que contienen más de un material espectralmente único.*

    *Para visualizar los pixeles en un gráfico de dispersión n-Dimensional, una región de interés desde la imagen PPI debe ser definida. La región de interés más apropiada será aquella que incluya todos los pixeles con altos valores de PPI. Para esto utilizaremos la herramienta "**Region of Interest (ROI) Tool**"*



Pulse el icono para un nuevo ROI (+) y luego en la pestaña Threshold. El umbral apropiado debe definirse empíricamente. Esto requiere un poco de proceso de prueba y error.

12. *En el cuadro de diálogo del ROI, pulse en "**Add New Threshold Rule**" seleccione "la imagen PPI y pulse **Ok**. Haga un zoom en el histograma haciendo un box con el botón central del mouse.*



13. *Como valor mínimo de umbral (**Min Value**) escriba el valor 47, corresponde al valor en la inflexión de la curva del histograma. El valor máximo lo definiremos como 20000, el valor máximo exacto se pondrá automáticamente aunque lo puede revisar en el histograma original. Pulse **Ok** para terminar. Se colorearan los pixeles definidos en rojo.*

N-DIMENSIONAL VISUALIZER

*El visualizador n-Dimensional es una herramienta interactiva para seleccionar Endmembers en un espacio n Dimensional donde **n** es el número de bandas de interés. Tal como en el 2D Scatter Plots, puede ayudar a identificar pixeles puros que corresponden a Endmembers diferentes de la imagen. A diferencia del 2D scatter plot, aquí podemos graficar en todas las dimensiones (bandas) de la imagen.*

14. *Del Toolbox de ENVI vaya a "**Spectral → n-Dimensional Visualizer → n-Dimensional Visualizer New Data**".*
15. *Seleccione la imagen "**cup_mnf.dat**" en el primer diálogo de selección, realice el recorte espectral de las primeras 25 bandas. Pulse **Ok**.*
16. *Aparece el diálogo de **n-D Visualizer** y **n-D Controls**. Comience seleccionando las bandas 1 y 2 del MNF. Esto es análogo al **2D Scatter Plots** con las bandas 1 y 2 del MNF, aunque solo estamos graficando los pixeles puros, la nube de puntos al centro fue eliminada ya que solo estamos considerando los pixeles dentro de la región de interés. Cuando seleccione más de tres bandas, podrá utilizar el botón "**start**" para animar y rotar la visualización.*

17. *En la ventana "n-D Controls", seleccione al menos 3 bandas y vaya a "**Options → Show Axes**" y pulse el botón **Start**. Si la velocidad de rotación es muy rápida, puede bajar la velocidad con el parámetro "**Speed**".*
18. *Para definir Endmembers únicos, visualice en gráfico de dispersión n-Dimensional en movimiento, pixeles que formen una esquina en la nube de puntos y que se mantengan juntas en todas las proyecciones. Cuando una esquina es encontrada, detenga la animación (**Stop**). Si tiene 3 bandas seleccionadas, asegúrese de que la opción "**Options → 3D: Drive Axes**" esté desactivada.*
19. *Análogamente como se hace en el 2D Scatter Plots, puede dibujar polígonos para encerrar pixeles dentro del gráfico y así ir seleccionando los endmembers. Con el botón derecho del mouse se cerrará el polígono donde quedarán los pixeles de una clase.*
20. *Si quiere ver la curva espectral de un pixel en la nube o de una clase que ya definió, puede utilizar las herramientas "**Options → Z Profile**", al presionar con el botón central del mouse sobre el visualizador n-D se desplegará la curva, si el pixel que seleccionó es parte de una clase se graficará la curva en el color de dicha clase. Otra opción está en "**Options → Mean Class**". En ambos casos se requerirá un archivo del cual obtener esta curva, este archivo es el inicial "**cup95.int**".*
21. *Defina distintas familias en el visualizador n-Dimensional.*
22. *Cuando haya definido sus Endmembers vaya a "**Options → Export All**", ENVI convertirá estas clases en ROIs (regiones de interés).*
23. *Cierre todas las capas, ventanas y gráficos, y cargue en el display la primera banda del archivo "**cup95.int**". Cargue desde el Data Manager las regiones recién generadas, todas ellas comienzan con "**n_D Class**", selecciónelas todas y luego las carga con el botón "**Load Data**".*
24. *En la capa de las regiones de interés, pulse con el botón derecho sobre la carpeta "**Region of Interest**", y seleccione "**Statistics for All ROIs**". Se desplegará una ventana con las estadísticas y el gráfico de la curva promedio de todas las clases. Pulse con el botón derecho sobre el gráfico de ploteo y seleccione "**Options → New Window: with Plots...**", esto cargará las curvas en una nueva ventana de ploteo, en esta ventana puede guardar las curvas como librería espectral y también en otros formatos (**Export → Spectral Library**). Guarde la librería como "**cup95_speclib.sli**"*

SPECTRAL ANALYST

Cuando no somos expertos en espectrometría, las curvas que estamos viendo no nos dicen mucho. Spectral Analyst es otra herramienta que permite comparar curvas espectrales desconocidas con una base de datos de curvas espectrales (Spectral Library) y determinar a cuál de ellas se parece más y así poder saber los materiales que estaremos mapeando a futuro, o los materiales que hay presentes en mi zona de estudio.

25. *Del Toolbox de ENVI seleccione "**Spectral → Spectral Analyst**".*
26. *Si no tiene abierta la librería "**usgs_min.sli**" ábrala en el cuadro de diálogo en "**Open → New File**" y abra la librería desde la carpeta "**..\Speclib\usgs_min**". Seleccione dicho archivo y pulse **Ok**.*
27. *En el diálogo "**Edit Identify Methods Weighting**", note que por defecto sólo está configurado para trabajar con la metodología "**Spectral Feature Fitting**". Pulse **Ok**.*
28. *En el nuevo cuadro de diálogo (Spectral Analyst) pulse el botón "**Apply**". ENVI leerá todas las curvas que estén en los gráficos de ploteo, seleccione cualquiera de las curvas ploteadas que necesitamos identificar y pulse **Ok**.*
29. *La herramienta nos entregará la lista de todos los elementos de la librería espectral en orden descendente de puntuación, es decir, el primer mineral es el que más se parece según la comparación de la metodología que estamos ocupando, en ese caso, sólo **Spectral Feature Fitting**.*
30. *Para realizar una comparación visual, haga doble click en el primer mineral de la lista, esto abrirá un gráfico con ambas curvas superpuestas, en rojo la curva de la región de interés y en blanco la curva de la librería.*
31. *Cuando identifique un mineral, diríjase a la ventana de ploteo que generamos anteriormente en el paso 26, y cambie el nombre original, por el nombre del mineral identificado.*
32. *Repita los pasos 30 a 33 para identificar y nombrar el resto de los Endmembers encontrados, puede que algún Endmember no encuentre similitud con un mineral, en ese caso dele el nombre de NN.*

LINEAR SPECTRAL UNMIXING

Para este ejercicio, utilice los Endmembers definidos en los pasos anteriores (n-D Visualizer)

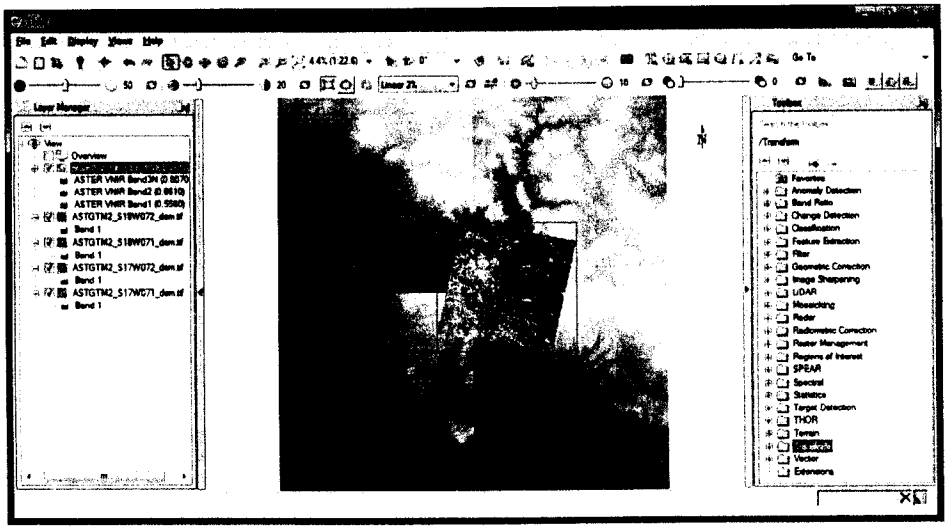
33. *Del Toolbox de ENVI vaya a "**Spectral → Spectral Unmixing → Linear Spectral Unmixing**".*
34. *Seleccione el archivo "**cup95.int**" y luego **Ok**.*
35. *En el dialogo de "**Endmember Collection**", vaya al menú "**Import → from ROI/EVF from input file**", seleccione todos los endmembers y luego pulse **Ok**.*
36. *Seleccione todos los elementos importados (**Select All**) y pulse **Apply**. Guarde el resultado como "**cup95_unmix.dat**". El resultado se incorporara al **Data Manager***
37. *Cargue los resultados de cada Endmember, los pixeles más brillantes corresponden a los que tienen mayor abundancia del material. Realice combinaciones RGB con las bandas. Estudie la curva espectral de este archivo y su significado.*
38. *En la ventana "**Endmember Collection**", vaya a "**Algorithm → Spectral Angle Mapper**" y ejecute este nuevo proceso, analice los resultados y genere una imagen de clasificación (**Rule Classifier**) si la clasificación entregada automáticamente no es óptima.*

EJEMPLO DE APLICACIÓN

En el siguiente ejemplo realizaremos varios procesos orientados a trabajar con una imagen ASTER, además de sus bandas multiespectrales, trabajaremos con el modelo digital ASTER GDEM de la zona. En este ejercicio se le guiará en el trabajo, aunque no estarán todos los pasos detallados, asumiendo que ya en el transcurso del curso ha aprendido a manejar algunas herramientas.

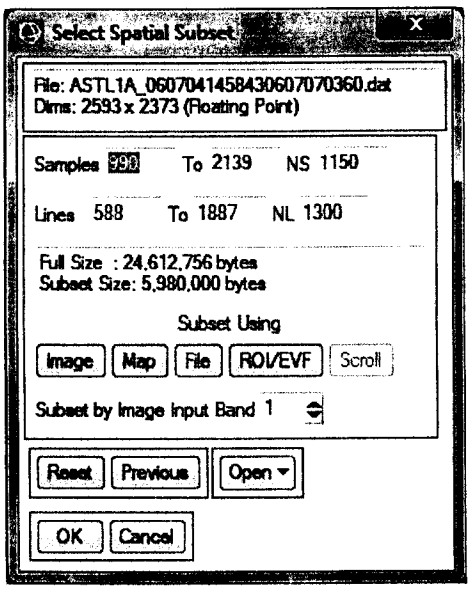
Preparación de los datos

1. *Configuremos las preferencias de ENVI para que al abrir imágenes nuevas, no se cargue ninguna imagen en el display, vaya a "**File → Preferences" y en "Settings → Data Manager**" seleccione la opción "**Auto Display Files on Open → False**", pulse Ok.*
2. *Del directorio "...\ASTER\ASTL1A_06070414584306070703 60\" abra la imagen ASTER L1A Raw Data "**prdat012.dat**", recuerde indicarle que el archivo es ASTER (**File → Open As → EOS → ASTER**). Cuando se cargue la imagen, ubique en el **Data Manager** el canal VNIR (tiene 3 bandas) y con el botón derecho sobre ese archivo cargue la combinación "CIR".*
3. *De la carpeta "...**\ASTER\GDEM**" abra los cuatro archivos TIFF disponibles y cárguelos en escala de grises. Al terminar, mueva la capa (layer) de la imagen infrarrojo color encima de todas las otras capas, haga un Zoom To Full Extent.*



Las imágenes ASTER L1A poseen una georreferencia implícita pero no aplicada al archivo, ENVI lee la ubicación geográfica desde la metadata. Georreferenciaremos los canales VNIR, SWIR y TIR de la imagen ASTER.

4. *En el Toolbox busque "ASTER" y ejecute la herramienta "**Georeference ASTER**", seleccione el archivo VNIR (el primer **prda0012.dat** de la lista) y pulse **Ok**. Defina la proyección como "UTM WGS84 Zona 19 Sur", el archivo GCP (.pts) se llamara "**ast_vnir_gcp**". Pulse Ok.*
5. *En la siguiente ventana, sólo cambie "**Resampling**" a "**Bilinear**", el archivo de salida se llamará "**ASTL1A_060704145843060707036O_VNIR.dat**" (puede copiar el nombre desde la carpeta). Pulse **Ok**.*
6. *Repita los pasos 4 y 5 para los canales SWIR y TIR de la imagen ASTER.*
7. *Utilice la herramienta "Layer Stacking" para unir las 14 bandas de los canales VNIR, SWIR y TIR, procure que el orden del archivo este correcto. Para los parámetros de salida sólo debe modificar el tamaño de pixel a 30 metros. El nombre del archivo será "**ASTL1A_060704145843060707036O.dat**".*
8. *Realizaremos un recorte espacial de la imagen. En Toolbox busque la herramienta "Resize Data" y ejecútela. El recorte lo haremos desde el archivo recién generado "**ASTL1A_060704145843060707036O.dat**", selecciónelo y luego pulse el botón "Spatial Subset", rellene los parámetros como la siguiente figura:*



9. *Pulse **Ok** y **Ok** nuevamente en el "**Resize Data Input File**". El archivo de salida se llamará "**ast_cuajone.dat**", pulse **Ok** para realizar el recorte. Cargue la combinación RGB/468 del archivo recién creado.*

10. *Para la imagen original necesitábamos 4 archivos GDEM para cubrir el 100%, ahora con el nuevo recorte sólo necesitaremos 2 GDEMs. Abra el Data Manager y cierre todos los archivos salvo los siguientes: "**ast_cuajone.dat**", "**ASTGTM2_S17W071_dem.tif**" y "**ASTGTM2_S18W071_dem.tif**". Puede seleccionarlos con la tecla "control" y luego cerrar los seleccionados.*
11. *En el Toolbox busque "mosaic" y ejecute "**Seamless Mosaic**", en la ventana que aparece pulse el botón +, selecciones los dos archivos DEM y luego **Ok**.*
12. *En la pestaña "**Color Correction**" active la casilla "**Histogram Matching**" y luego vuelva a la pestaña "**Main**"*
13. *En la columna "**Color Matching Action**" pulse el botón derecho en la celda del primer archivo y selección **None** el otro quedará como **Reference**.*
14. *En la pestaña "**Seamlines/Feathering**" seleccione la opción None.*
15. *En la pestaña "Export" asigne como archivo de salida "**ast_gdem.dat**", el **Output Background Value** será -999 y el método de resampleo "**Bilinear**", para terminar pulse "**Finish**", se generará un masaico del dem.*
16. *Cambiaremos la proyección del DEM. En el Toolbox busque la herramienta "**Reproject Raster**" y ejecútela. Pulse el botón "**Browse...**" y seleccione el archivo "**ast_gdem.dat**" luego **Ok**.*
17. *Pulse el botón "**Select Output Coordinate System**" y seleccione la proyección UTM WGS84 Zona 19 Sur, pulse **Ok**. Cambie los parámetros de Resampling a "Bilinear" y el archivo de salida será "**ast_dem_wgs84.dat**"*
18. *Ahora recortaremos el DEM a la zona de estudio, utilice la herramienta "Resize Data", seleccione el archivo "ast_gdem_wgs84.dat" y pulse el botón "**Spatial Subset**", en la nueva ventana pulse el botón "**File**" y seleccione el archivo "**ast_cuajone.dat**", luego **Ok** consecutivamente en las ventanas hasta llegar a los parámetros del **Resize Data**, pulse el botón "**Set Output Dims by Pixel Size**" y defina un valor de 30 metros para X e Y (tamaño de pixel de salida). El archivo final de salida se llamará "**ast_guajone_gdem.dat**".*
19. *Realice una corrección atmosférica del tipo "**IAR Reflectance**" al archivo "**ast_cuajone.dat**", el archivo de salida será "**ast_cuajone_iar.dat**". Al finalizar cierre todos los archivos salvo "**ast_cuajone_iar.dat**" y "**ast_cuajone_gdem.dat**".*

20. *Ejecute la herramienta "**Edit ENVI Header**" para cambiar los nombres de las bandas del archivo "**ast_cuajone_gdem.dat**" a **Elevation** y para el archivo "**ast_cuajone_iar.dat**" los nombres de las bandas serán **Band 01, Band 02**, etc.*

NDVI y Algoritmos Matemáticos

21. *Realice una vista 3D de la zona utilizando la herramienta "**3D Surface View**", analice la zona de estudio y cierre el visualizador 3D al terminar.*
22. *Realice un índice de vegetación "**NDVI**" sobre la imagen ASTER y calcule el valor DN del NDVI para la vegetación (NDVI > ___)*
23. *Cree una máscara (**Build Mask**) desde el NDVI donde el rango la vegetación seleccionada quede en Off, nombre al archivo "**ast_cuajone_ndvi_mask.dat**".*
24. *A continuación se le entrega una lista de algoritmos matemáticos para imágenes ASTER, ejecute con "**Band Math**" los algoritmos que estime convenientes.*
25. *Una todos los índices generados con la Herramienta **Layer Stacking** en un archivo nuevo (**ast_cuajone_alg.dat**) edite los nombres de las bandas nuevas al índice correspondiente.*
26. *Aplique la máscara al archivo "ast_cuajone_alg.dat", el nuevo archivo se llamará "**ast_cuajone_alg+mask.dat**" y genere una imagen de clasificación con la herramienta **Rule Classifier**.*
27. *Cargue los resultados de clasificación sobre una imagen en escala de grises (**Band 01**).*

- ☐ [1] Ferric iron: b2/b1
- ☐ [2] Ferrous iron: (b5/b3) + (b1/b2)
- ☐ [3] Laterite: b4/b5
- ☐ [4] Gossan: b4/b2
- ☐ [5] Ferrous silicates: b5/b4
- ☐ [6] Ferric oxides: b4/b3

- ☐ [7] Carbonate/Chlorite/Epidote: (b7+b9)/b8
- ☐ [8] Epidote/Chlorite/Amphibole: (b6+b9)/(b7+b8)
- ☐ [9] Amphibole/MbOH: (b6+b9)/b8
- ☐ [10] Amphibole: b6/b8
- ☐ [11] Dolomite: (b6+b8)/b7
- ☐ [12] Carbonate: b13/b14

- ☐ [13] Sericite/Muscovite/Illite/Smectite: (b5+b7)/b6
- ☐ [14] Alunite/Kaolinite/Pyrophyllite: (b4+b6)/b5
- ☐ [15] Phengitic/Host rock: b5/b6
- ☐ [16] Muscovite: b7/b6
- ☐ [17] Kaolinite: b7/b5
- ☐ [18] Clay: (b5 * b7)/b6^2

☐ [19] Alteration: b4/b5

☐ [20] Quarts rocks: b14/b12

☐ [21] Basic degree index: b12/b13

☐ [22] SiO2_1: b13/b12

☐ [23] SiO2_2: b12/b13

☐ [24] Siliceous rocks: (b11*b11)/(b10*b12)

☐ [25] Silica_1: ((b11*b11)/b10)/b12

☐ [26] Silica_2: b11/b10

☐ [27] Silica_3: b11/b12

☐ [28] Silica_4: b13/b10

Árbol de Decisión

28. *Cree un nuevo árbol de decisión (**New Decision Tree**).*
29. *Edite el primer nodo, Nombre: **M < 10**, Expresión: **{slope} lt 10**, el archivo asociado debe ser el DEM. En este primer paso segregaremos a imagen entre pixeles que tienen baja y alta pendiente, la condición es que la pendiente sea menor a 10 grados.*
30. *Agregue hijos en la Class 1 (**Add Children**), el nuevo nodo se llamará **NDVI** y la expresión será **{ndvi} gt 0.1**, se debe asignar el archivo "**ast_cuajone_iar.dat**", la banda NIR es 3 y la banda Red es 2.*
31. *Ejecute el árbol, el archivo base será "**ast_cuajone_iar.dat**" y el archivo de salida "**ast_cuajone_tree.dat**".*
32. *Los pixeles rojos son aquellos con baja pendiente (< 10°) y que no son vegetación.*
33. *Bajo la clase 1 (**Class 1** (Rojo)), desarrolle un árbol para identificar algunos minerales/alteraciones: Alunita, Kaolinita, Muscovita, Propilítico, Carbonatos, Fe^{3+}, Alto SiO_2 y otros que puedan interesarle.*
34. *Cargue los resultados de clasificación sobre una imagen en escala de grises (Band 01)*
35. *Para terminar cierre ENVI.*