

Tema 13: ¿Cómo se interpretan digitalmente las imágenes?

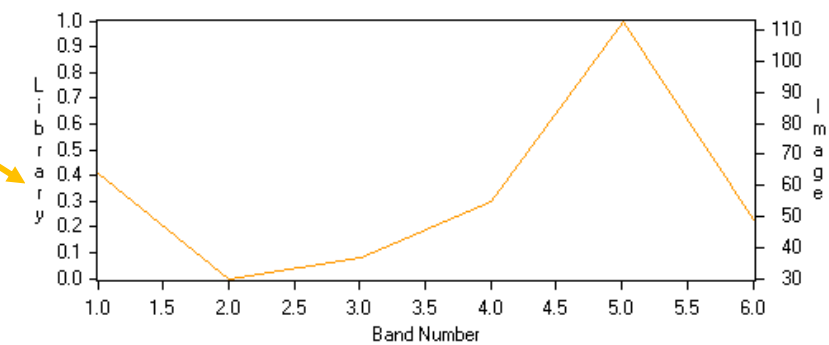
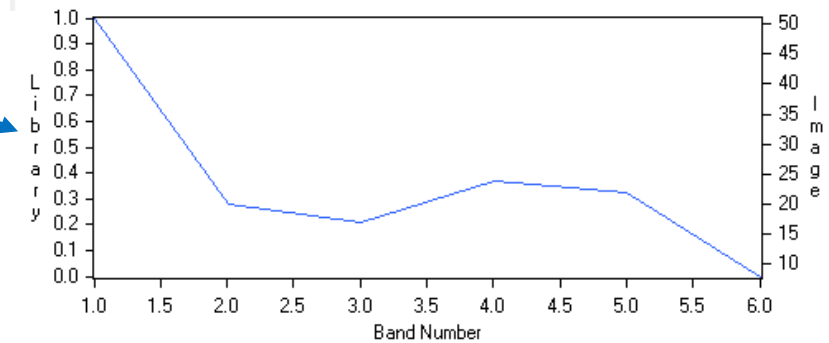
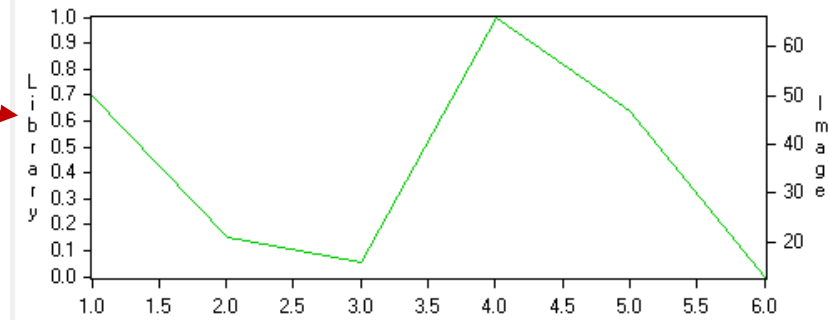
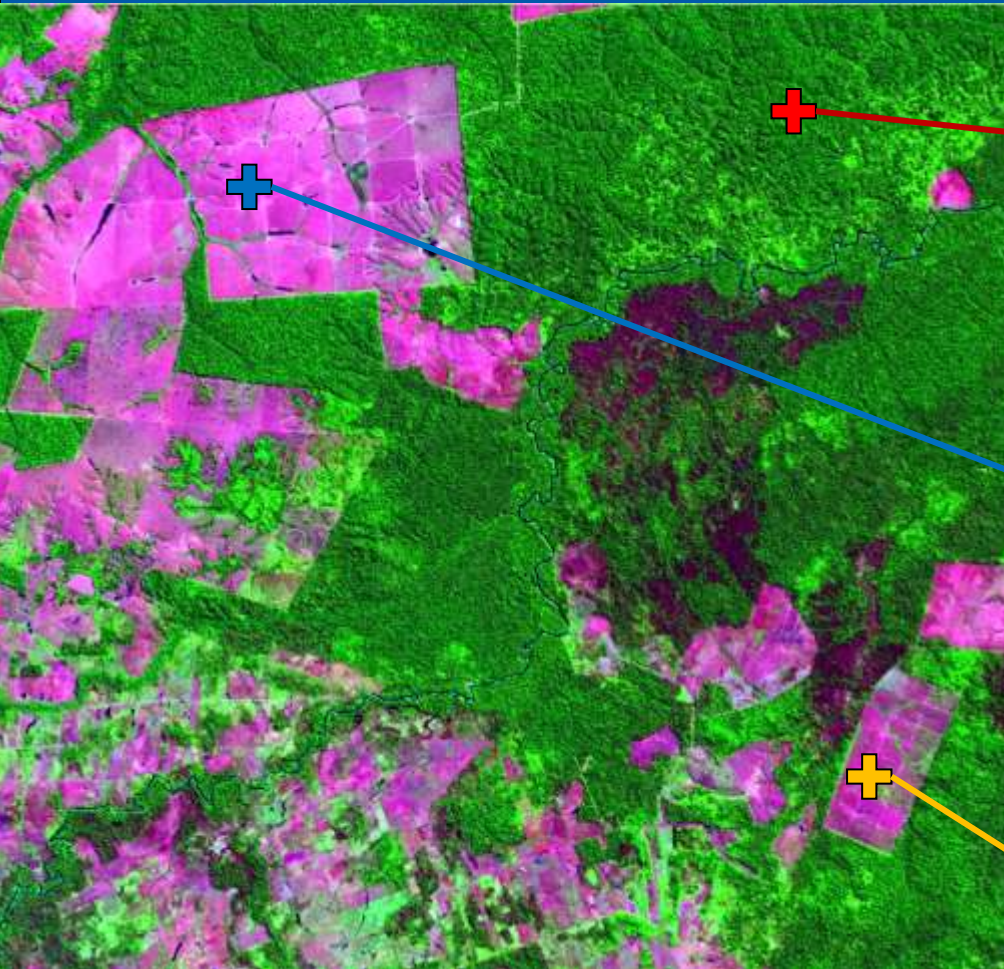
- Mejoras visuales.
- Correcciones.
- Transformaciones.
- Clasificación.
- Análisis temporal

¿Qué es un imagen digital?



- ¿Qué son los ND? ¿Qué sentido físico tienen?
- ¿Cómo se estructura una imagen digital?
- ¿Dónde se almacena una imagen digital?
- ¿Cómo puede interpretarse con ordenadores?

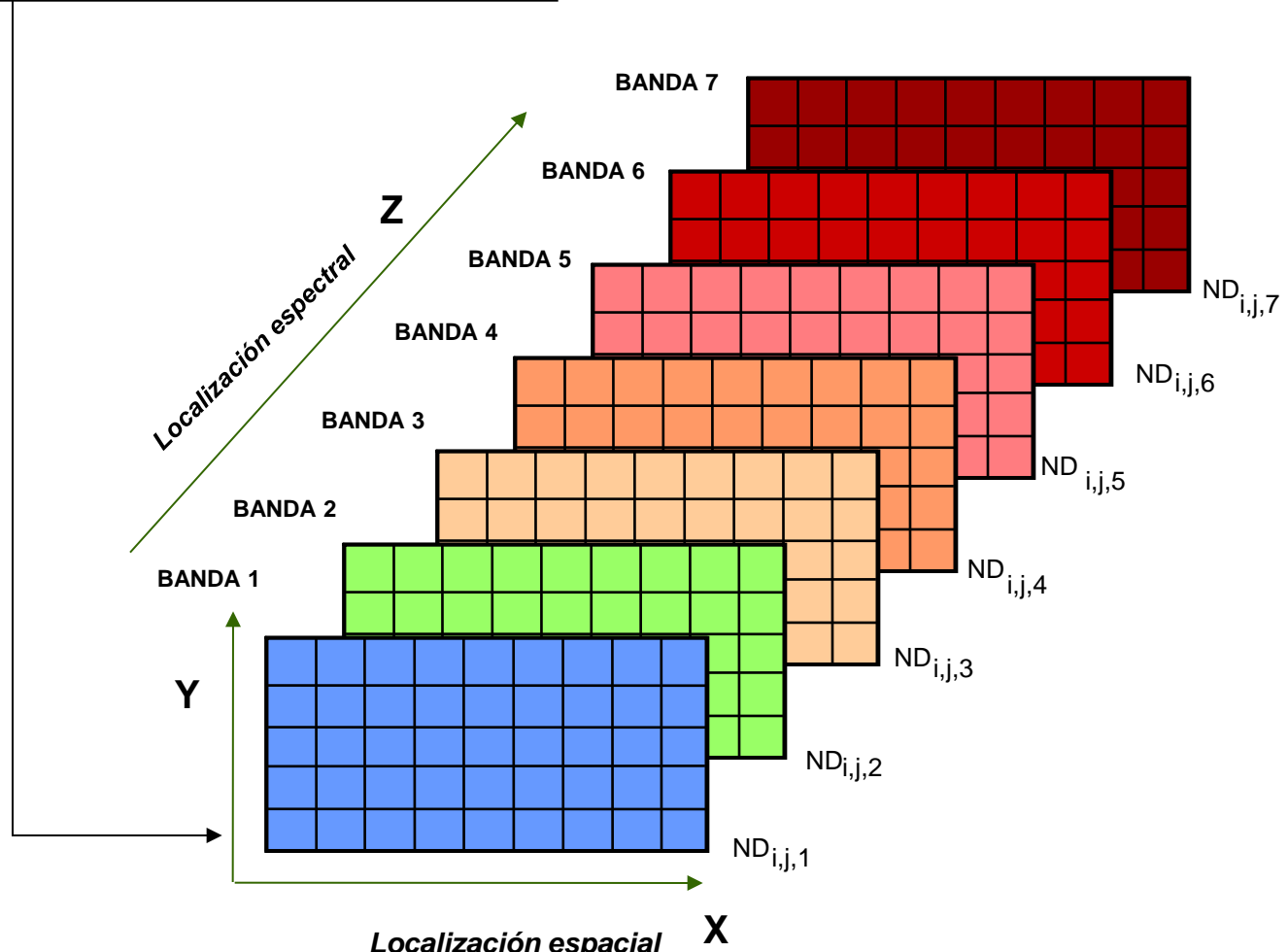
¿Qué son los Niveles Digitales (ND)?



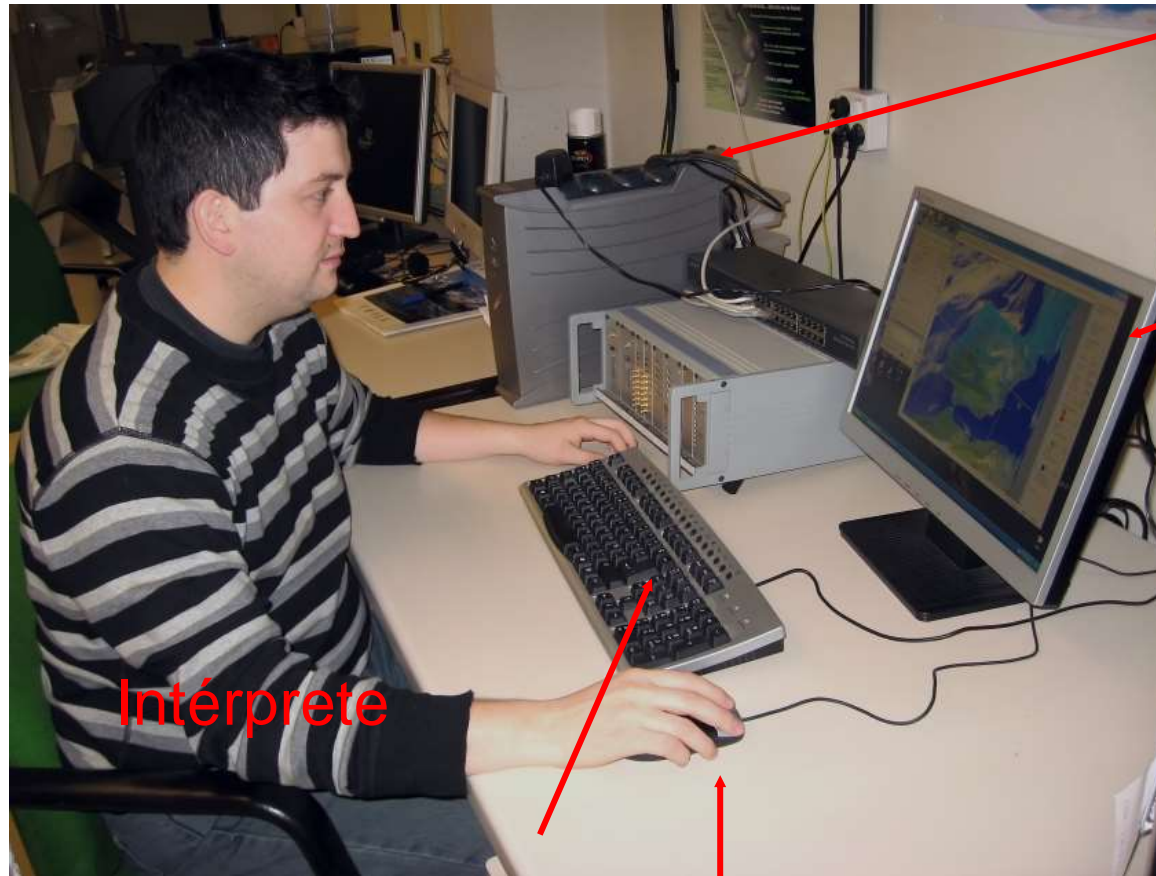
¿Cómo se estructura una imagen?

- Es una matriz tri-dimensional:
 - Filas (Norte-Sur)
 - Columnas (Este-Oeste)
 - Bandas espectrales.
- Los ND pueden almacenarse de formas muy diversas (archivos estándar).

2139	2108	2108	2122	2108	2108
2145	2124	2124	2133	2120	2120
2145	2124	2124	2133	2120	2120
2126	2106	2106	2100	2113	2113
2074	2068	2068	2091	2097	2097
2074	2068	2049	2078	2084	2084
2057	2049	2049	2078	2084	2084
2077	2057	2057	2083	2069	2069
2126	2088	2102	2102	2091	2091
2126	2107	2119	2119	2136	2136
2135	2107	2119	2119	2136	2136



Equipo de tratamiento digital de imágenes



Proceso y
Almacenamiento

Visualización

Intérprete

Entrada de Información

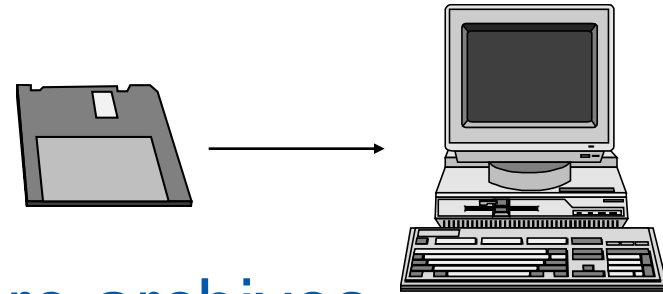
¿Qué podemos hacer con una imagen digital?



- Operaciones generales.
- Mejorar su visualización.
- Corregirla.
- Generar bandas nuevas.
- Clasificarla.
- Detectar cambios.
- Analizar sus formas

Operaciones generales

- Importación / exportación a formatos externos.
- Documentación.
- Visualizarla.
- Transferir información entre archivos.
- Extraer una ventana de la imagen.
- Máscaras
- Cambiar formatos / codificación.



Información desde el cursor

The screenshot displays a GIS application interface. At the top is a toolbar with various icons for navigation and analysis. Below the toolbar is a map showing a satellite-style image with a grid overlay. Three windows are open:

- Unnamed Map**: A legend window showing a tree view with layers like 'mod050.pix: 6.1', 'Default-Pol', 'mod050.pix: 2.6', 'mod050.pix: 10', and 'mod050.pix: 5. E'.
- Numeric Values**: A window with two tabs: 'Raw data' (selected) and 'Enhanced data'. It displays three tables of pixel values for different bands.
- Cursor Control**: A window showing map coordinates and geocoded information.

Numeric Values - Raw data - band5

	1061	1062	1063	1064	1065	1066	1067
698	23315	18186	19532	20983	22513	29895	21091
699	21381	21710	20814	21303	22669	31340	22735
700	19169	23146	22774	21643	25411	29120	26081
701	17961	21629	22761	21385	25540	27542	28293
702	16150	19979	21674	21235	26961	27456	28746
703	19509	18253	20704	20090	24813	28284	27103
704	16239	19127	20070	21580	26253	29507	25911

Numeric Values - Raw data - band7

	1061	1062	1063	1064	1065	1066	1067
698	13331	11116	9372	12325	11365	9961	9453
699	13640	14512	12015	16250	12354	10466	8939
700	12145	13644	11421	15637	11332	10222	8900
701	12883	14393	15833	14275	11563	10567	9707
702	11203	12379	14283	13090	10951	9637	9893
703	9787	11547	12628	11720	10277	9428	9741
704	11591	16946	12220	11970	10239	9787	10086

Numeric Values - Raw data - band4

	1061	1062	1063	1064	1065	1066	1067
698	15635	11754	9126	10561	10115	7927	8418
699	14809	13959	11746	12963	10071	7964	8183
700	11524	14523	12599	11941	9739	8324	7921
701	11555	14152	14686	11281	9580	8493	7969
702	10321	13461	14237	11269	8961	8064	8242
703	9539	11888	12197	10718	8528	7945	8207
704	10533	11609	11307	10454	8723	7917	8344

Cursor Control

Pages: X: 443.94 mm Y: 121.79 mm

Raster: Database: C:\doc\LIBRO\CDRC 2nd edition\satellite\c8036036201 Pixel: 1063.9 Line: 700.5

Geocoded: UTM East Model: UTM 12 R D000 513313.219 E 3569519.589 N

User Defined Projection: Long/Lat Earth Model: LONG/LAT D000 110d51'31.1362" W Long 32d1'544.2979" N Lat

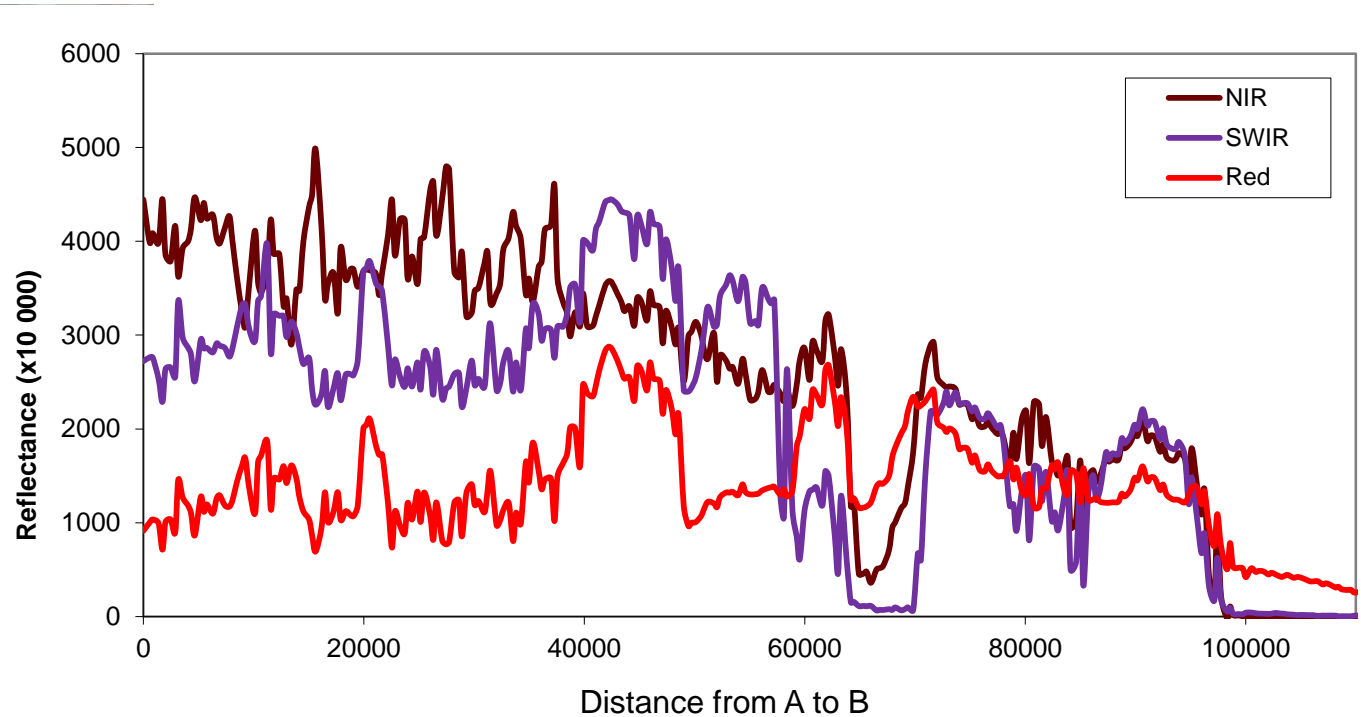
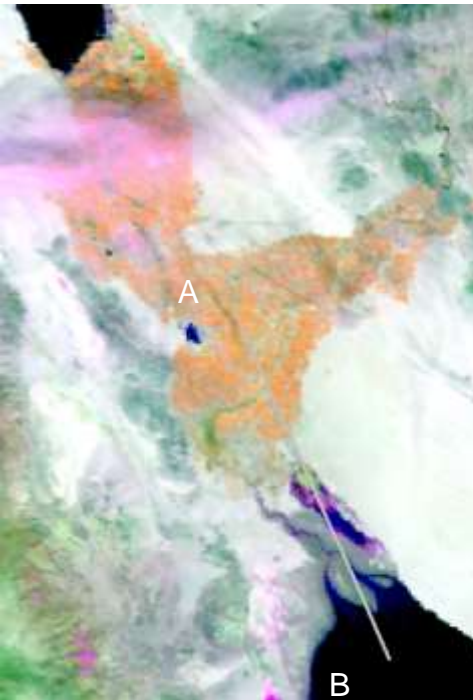
Ampliar la imagen (Zoom)



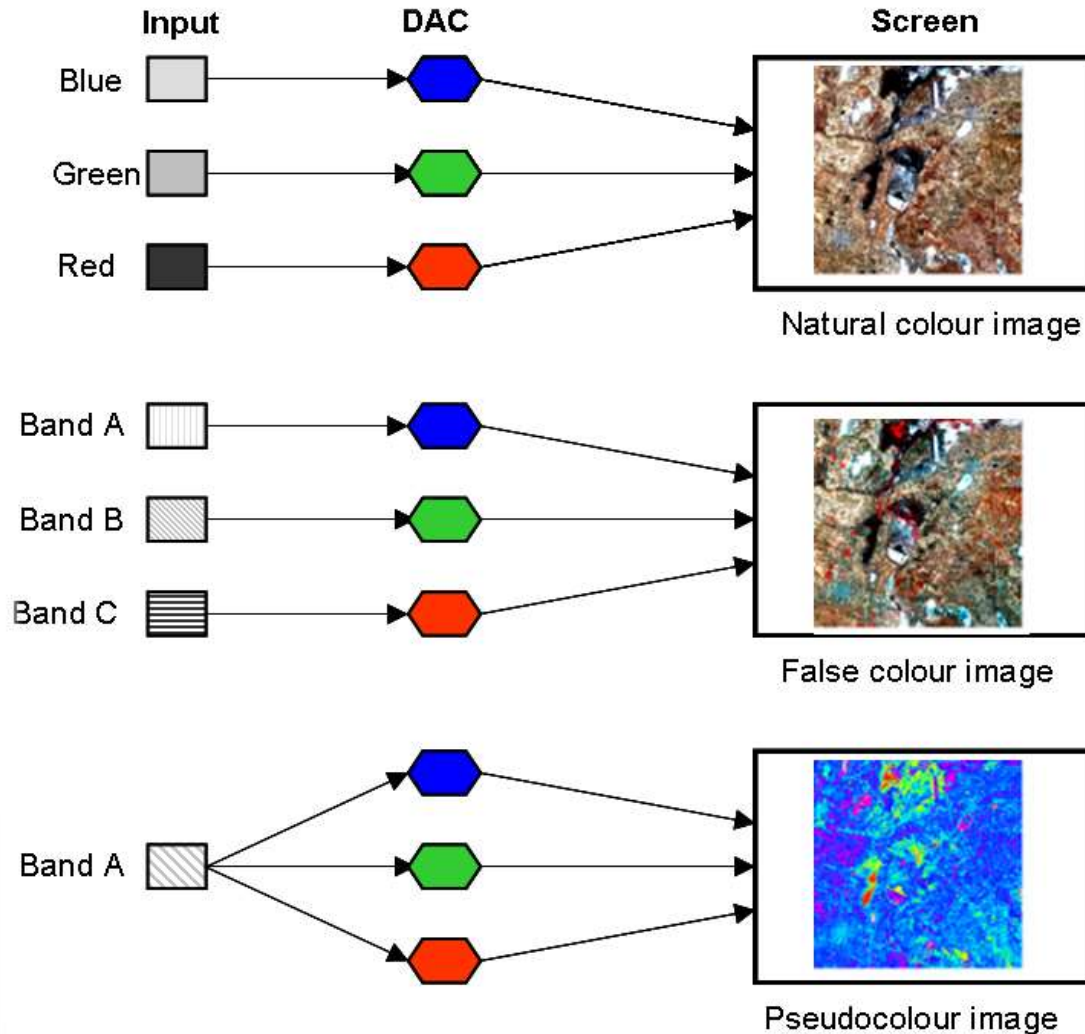
Cortesía J.A. Tejeiro, IGN

Emilio Chuvieco / Javier Salas – Departamento de Geología, Geografía y Medio Ambiente

Transectos espectrales

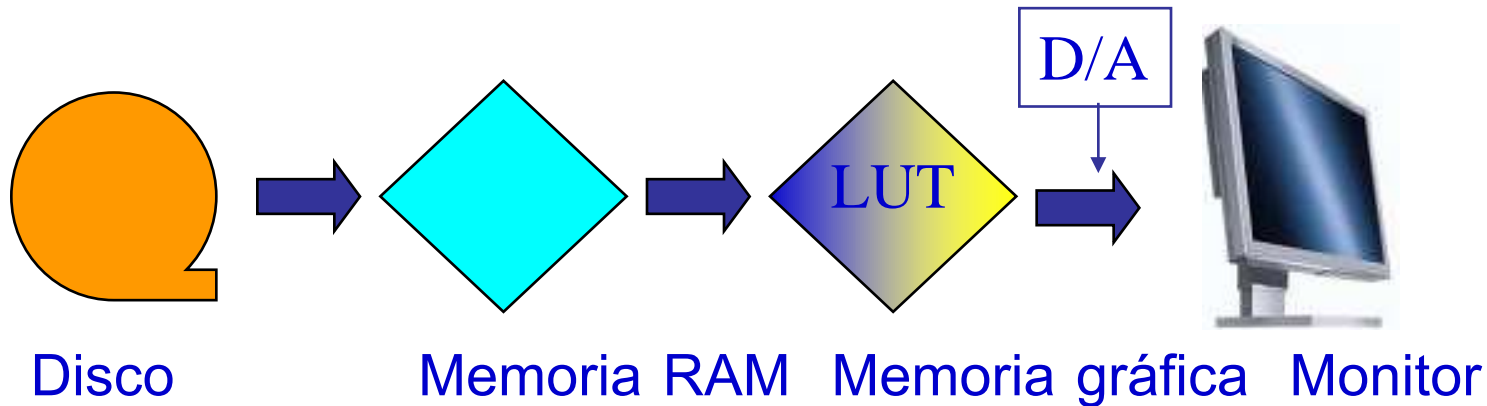


Visualización de imágenes



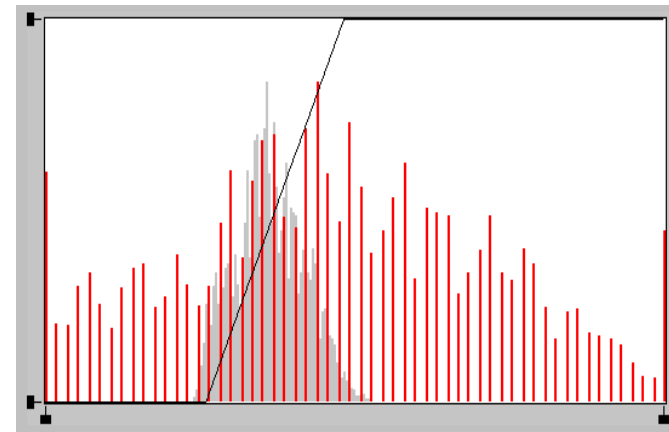
Mather y Koch 2010

Visualización de imágenes



$$NV = f(ND)$$

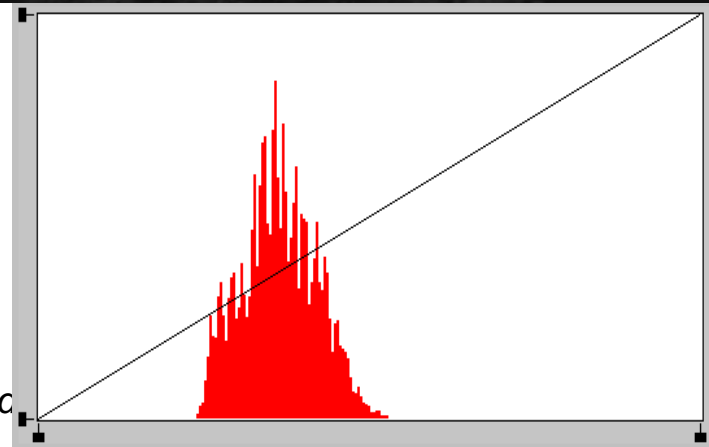
ND	NV
0	0
1	2
2	4
3	6
..	..



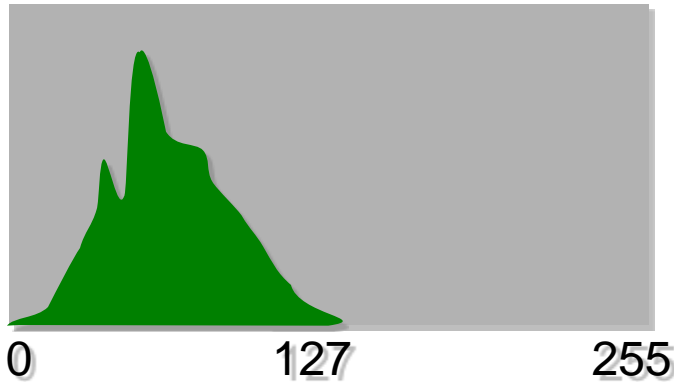
- Ampliar el contraste de la imagen:
 - Blanco y negro (1 banda).
 - Color real (3 bandas)
 - Seudocolor (1 banda)
- Mejorar los bordes.
- Suavizar ruidos.

Expansión del contraste

- ¿Qué le pasa a esta imagen?
- ¿Se discriminan bien las cubiertas?
- ¿Cómo están distribuidos los ND?



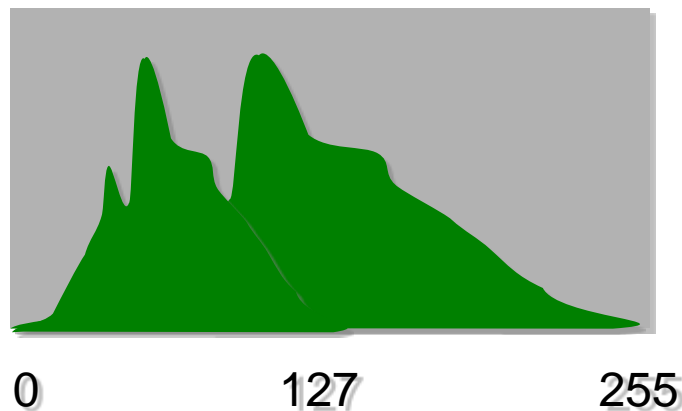
Soluciones para expandir el contraste



$$ND_{out} = 2 * ND_{in}$$

Problemas:

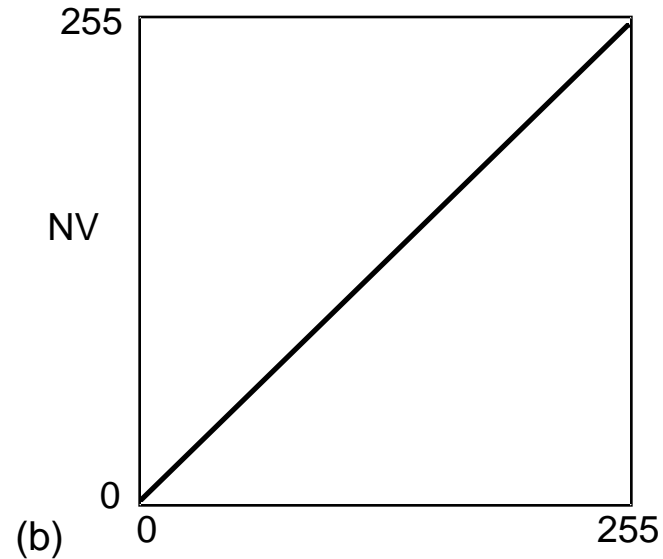
- Muchos cálculos: n^0 pixeles * n^0 bandas
- Necesidad de almacenar



Alternativa: tablas de color (LUT)

NV (azul)	NV (verde)	NV (rojo)
1	1	1
2	2	2
3	3	3
...
255	255	255

(a)

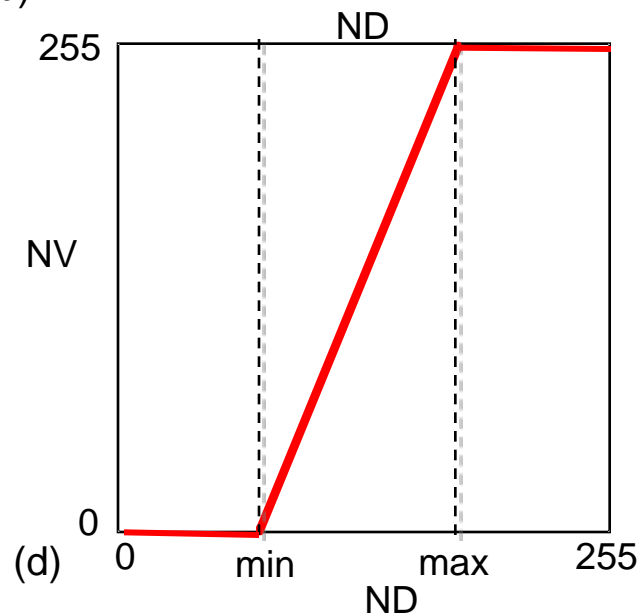


(b)

	NV (azul)	NV (verde)	NV (rojo)
min	0	0	0
	0	0	0
	6	6	6
	12	12	12
max
	255	255	255
	255	255	255

(c)

Emilio Chuvie



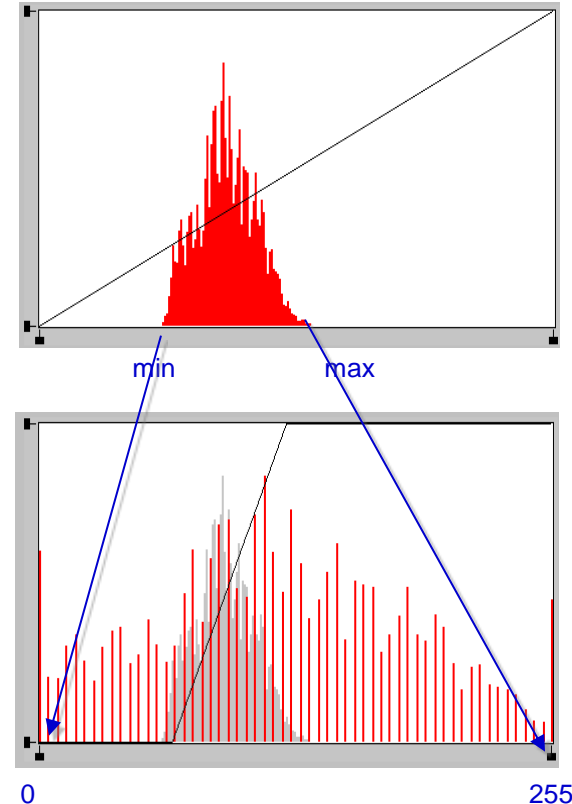
(d)

Expansión Lineal

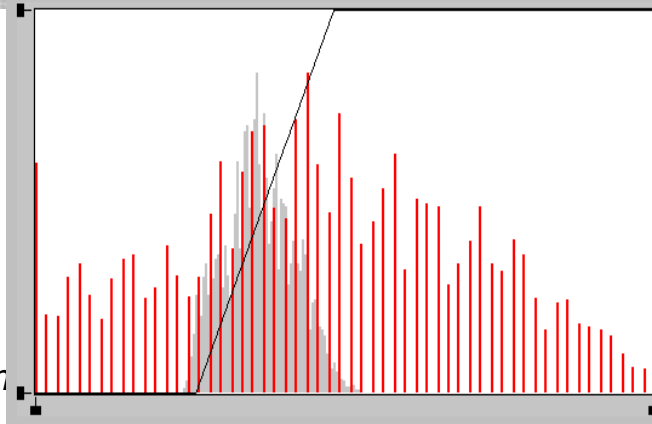
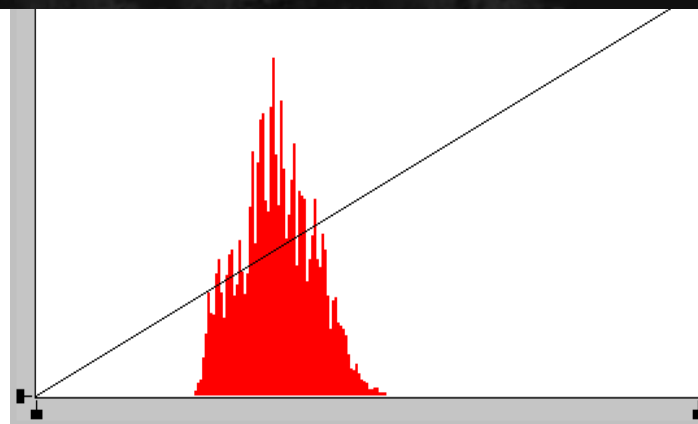
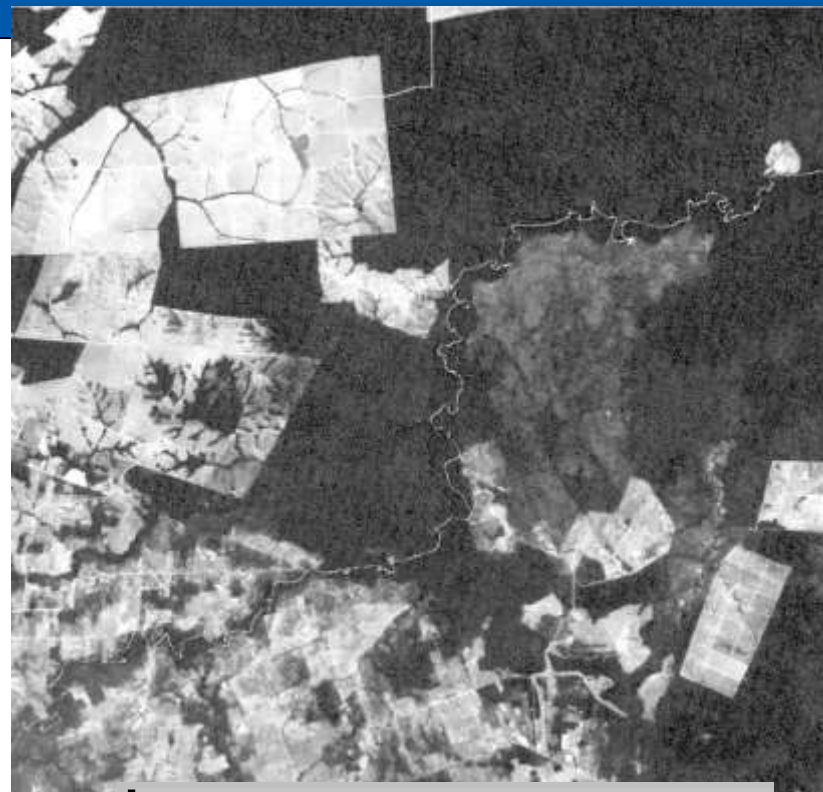
- $BV = s + g DL$
 - $0 = s + g DL_{\min}$
 - $255 = s + g DL_{\max}$

$$g = \frac{255}{DL_{\max} - DL_{\min}} \quad s = \frac{-255 * DL_{\min}}{DL_{\max} - DL_{\min}}$$

$$BV = \frac{DL - DL_{\min}}{DL_{\max} - DL_{\min}} * 255$$



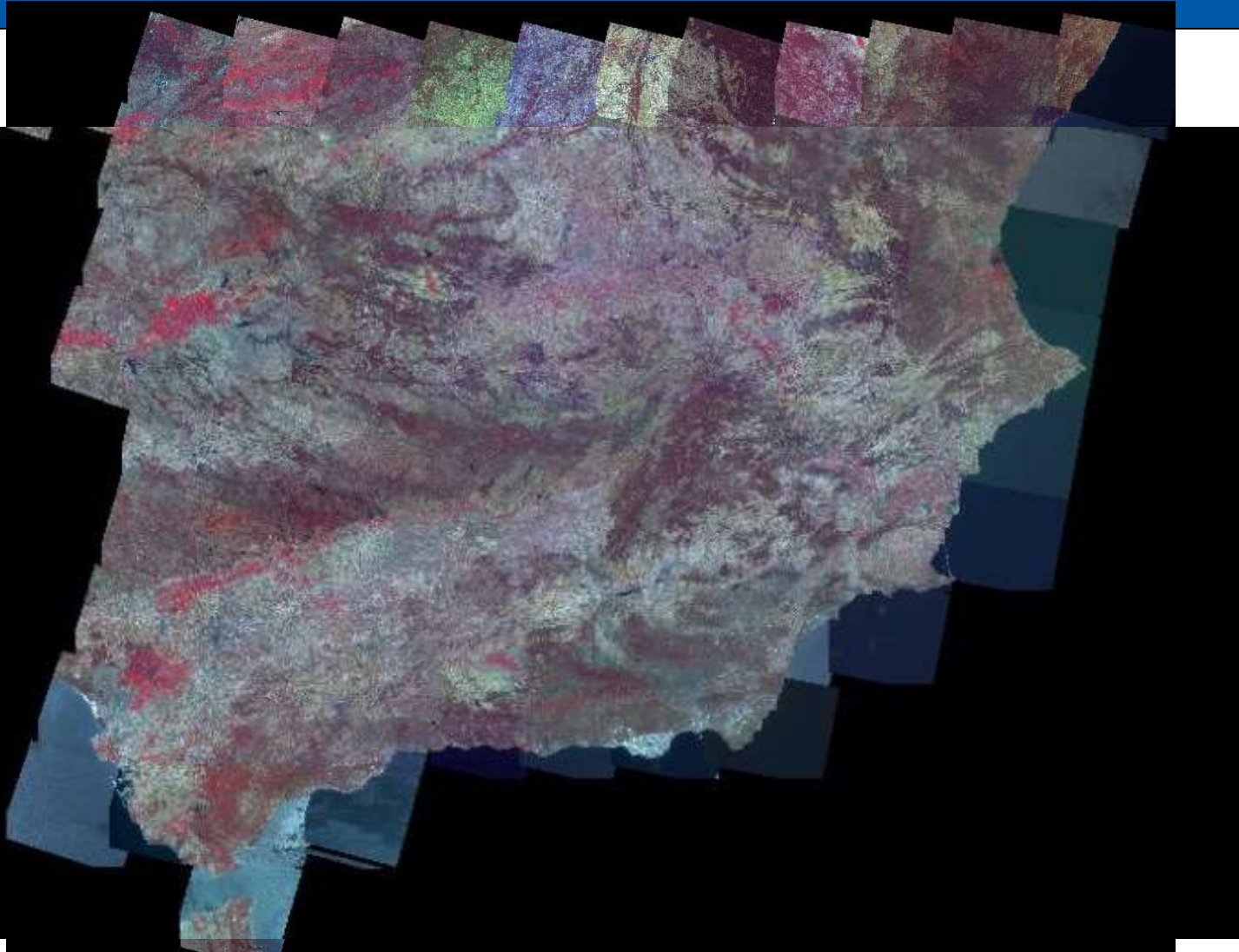
Expansión Lineal



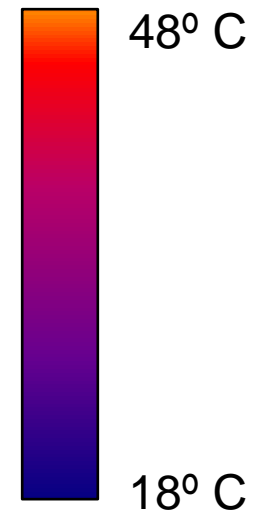
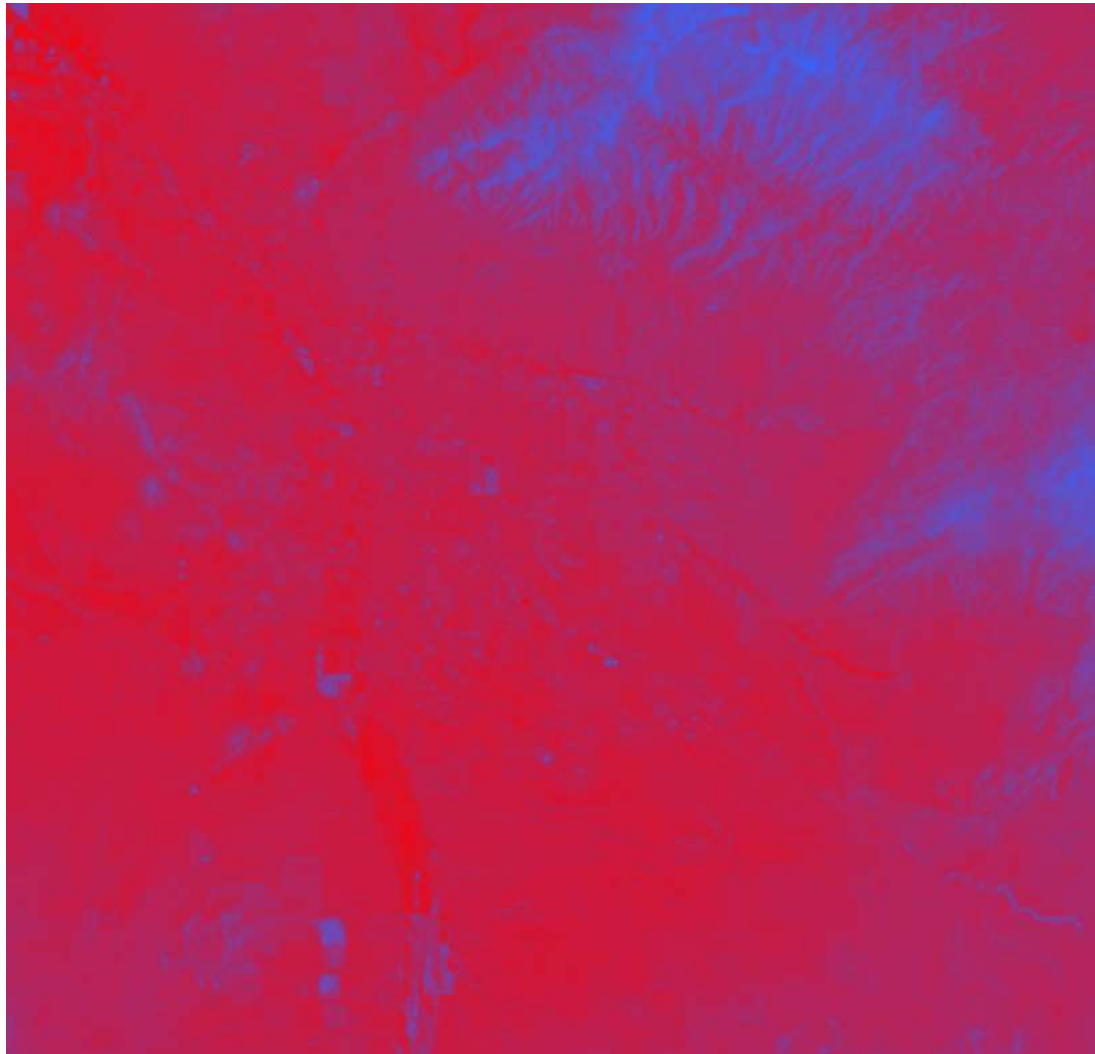
Realce de las tres bandas



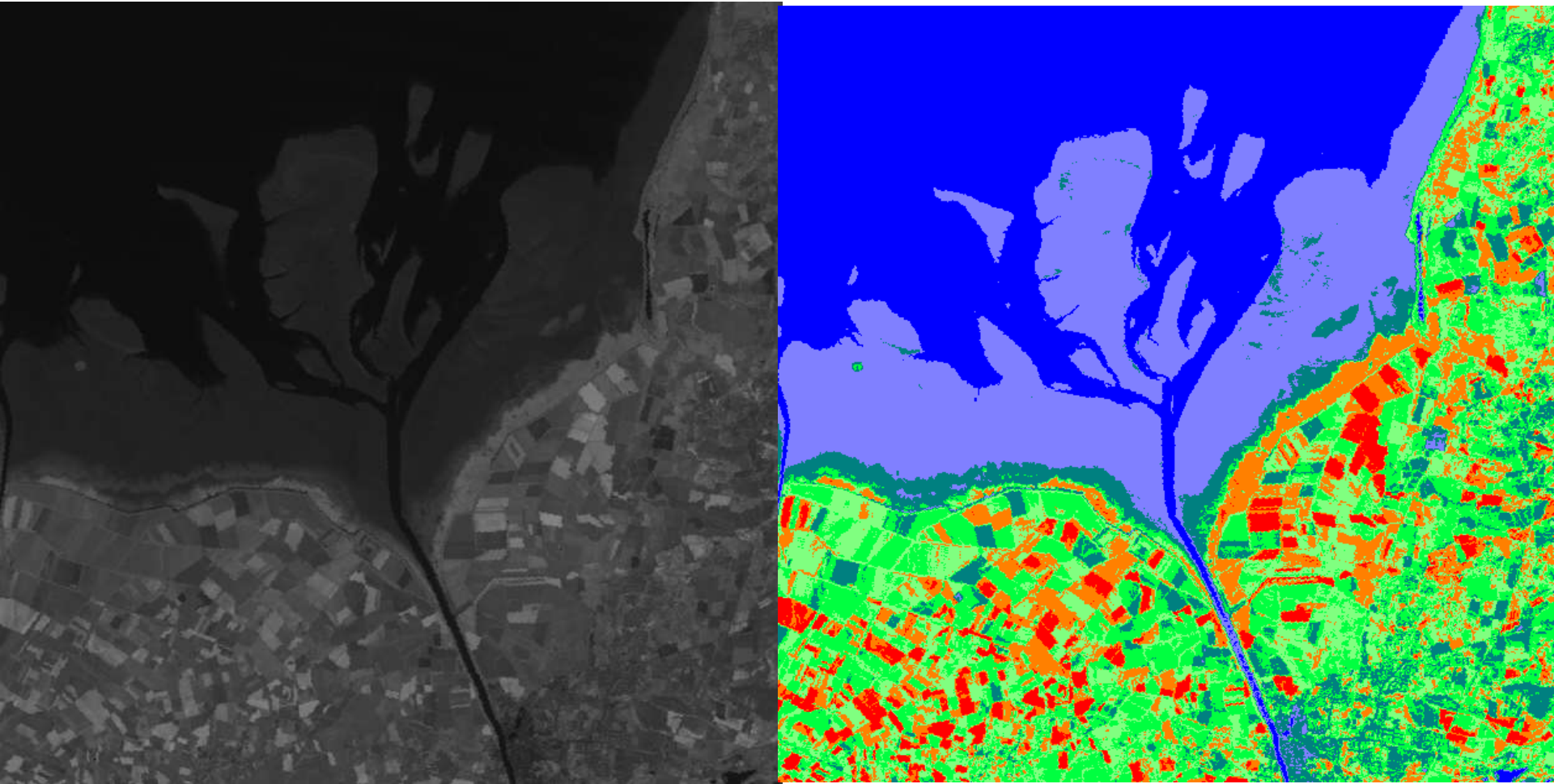
Equilibrado del color para mosaicos



Seudocolor: temperatura de superficie



Seudocolor en zonas litorales



Filtros: mejora del contraste espacial



Imagen original

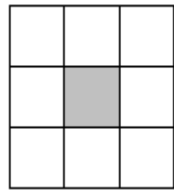


Paso alto



Paso bajo

Filtros espaciales

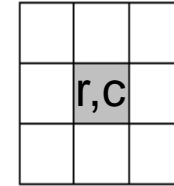


Kernel



Calculo de la imagen filtrada

$$DL'_{i,j} = \frac{\sum_{p=-1,1} \sum_{q=-1,1} DL_{i+p,j+q} FC_{r+p,c+q}}{\sum_{p=-1,1} \sum_{q=-1,1} FC_{r+p,c+q}}$$



Kernel, FC

$DL_{i,j}$ is the original DL of pixel i,j

$DL'_{i,j}$ is the output DL

FC is the filter coefficient

r and c are the central row and column of the filtering matrix

Ejemplo de filtrado espacial

12	14	17	24	32	34
10	18	21	35	38	40
25	15	17	27	40	43
18	16	18	24	29	39
14	16	20	20	27	36

1	1	1
1	2	1
1	1	1

CF

0	0	0	0	0	0
0	17	21	29	35	0
0	17	21	28	35	0
0	18	19	25	31	0
0	0	0	0	0	0

Imagen original

Imagen filtrada

Filtro de paso bajo



Filtro de paso alto



Interpretación digital de la imagen

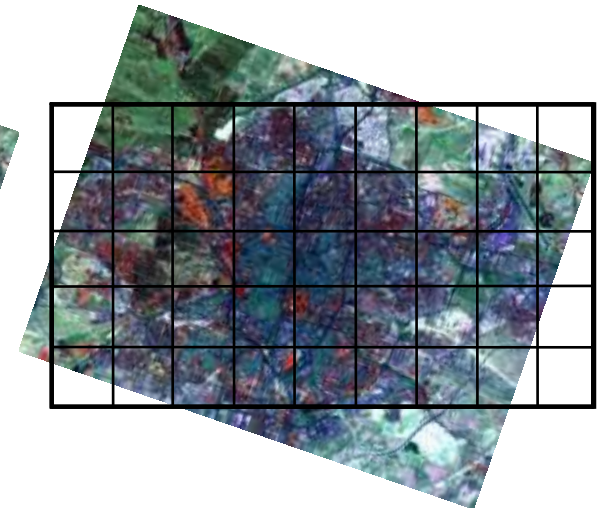
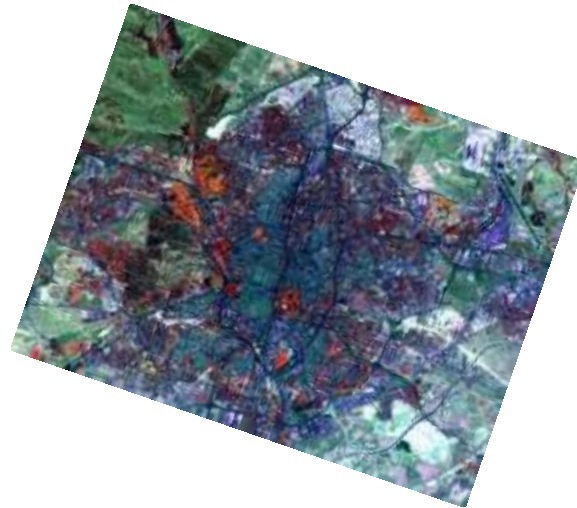
- Dar información relevante para un problema ambiental.
 - Extraer información de interés.
 - Exportarla a un S.I.G.

¿Cómo puedo saber la superficie deforestada?



- Situar los píxeles de las dos fechas en la misma posición:
 - Corrección geométrica.
- Hacer comparables las variables:
 - Corrección radiométrica.
- Realzar la vegetación sobre el suelo.
 - Índices de vegetación

Corrección geométrica



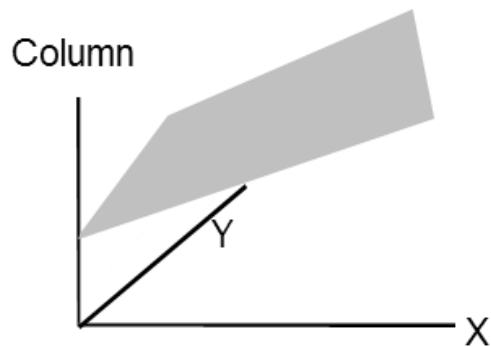
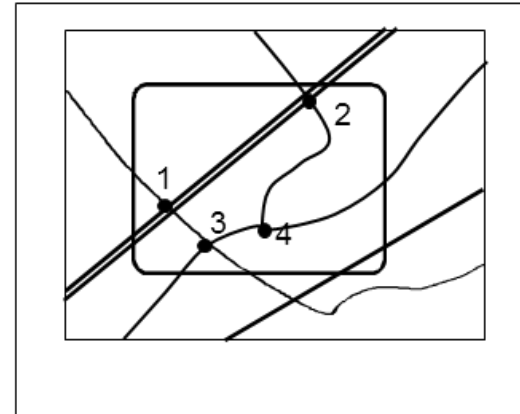
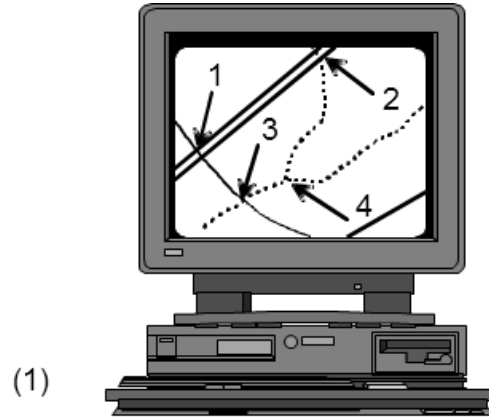
Esencia de la corrección geométrica

- Generar funciones que permitan convertir coordenadas de imagen a coordenadas de referencia:
 - $F(c') = f1 (c,l)$.
 - $F(l') = f2 (c,l)$.
- Referencia puede ser:
 - Mapa analógico.
 - Vectores (carreteras, carreteras.....).
 - Imagen rectificadas.
 - GPS.

Necesidad de la corrección geométrica

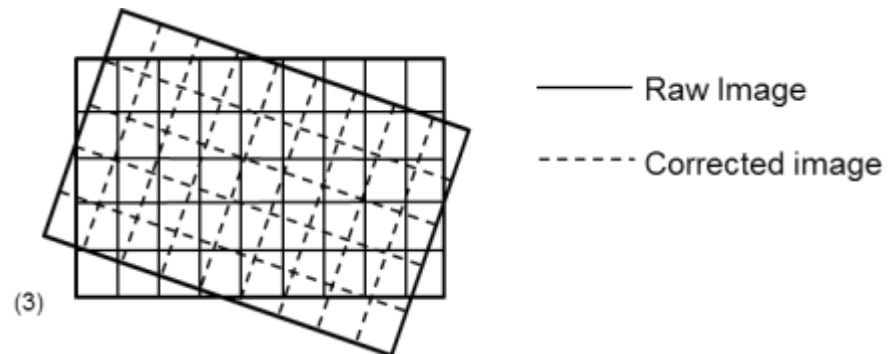
- Relacionar con información cartográfica (también a la inversa).
- Comparar con otros sensores.
- Relacionar con información de campo.
- Realizar mosaicos.
- Análisis multitemporal (corrección relativa también es posible).

Corrección con puntos de control



$$\text{Col} = a_0 + a_1X + a_2Y$$

$$\text{Lin} = b_0 + b_1X + b_2Y$$



Características de los puntos de control

- Localización:
 - Comunes imagen - mapa (GPS).
 - Lugares estables.
- Distribución:
 - Que cubran toda la zona.
- Número:
 - Depende del orden del ajuste.

Búsqueda de puntos de control



Coordenadas

GCP	Status	Col	Lin	X	Y
G0001	Active	1271	1330	510335	3559693
G0002	Active	586	717	494073	3580203
G0003	Active	689	672	497221	3580986
G0004	Active	909	499	504243	3584768
G0005	Active	995	409	507061	3586820
G0006	Active	1474	743	518879	3575159
G0008	Active	1625	1082	521451	3564915
G0009	Active	1644	1194	521451	3561693
G0023	Active	737	947	497235	3573030
G0011	Active	1703	1535	521467	3551828
G0012	Active	1726	1700	521294	3547106
G0013	Active	1853	1645	525118	3548012
G0014	Active	1459	1791	513349	3545804
G0015	Active	1290	1766	508726	3547369
G0017	Active	1002	1765	500683	3548780
G0018	Active	985	1537	501300	3555250
G0019	Active	847	1561	497322	3555234
G0020	Active	588	1434	490701	3560067
G0021	Active	860	1157	499655	3566537
G0010	Check	1663	1479	520569	3553625
G0016	Check	1200	1820	505974	3546240
G0007	Check	1749	731	526618	3574203
G0022	Check	861	984	500517	3571385

- Modelo polinómico de 1º grado:
 - $c = a + bx + cy + rx$
 - $l = a' + b'x + c'y + ry$
 - Requiere al menos 3 puntos
 - Modelo polinómico de 2º grado:
 - $c = a + bx + cy + dx^2 + ey^2 + fxy + rx$
 - $l = a' + b'x + c'y + d'x^2 + e'y^2 + f'xy + ry$
 - Requiere al menos 6 puntos
- rx : residual en x
 - ry : residual en y
 - a : translación
 - b, c : rotación en x
 - b', c' : rotación en y

Estimación de errores

GCP	Status	\hat{c}_i	Column Residual	\hat{l}_i	Line Residual	LE
G0001	Active	1270.96	-0.46	1329.51	-0.01	0.464
G0002	Active	584.85	0.75	717.41	-0.05	0.747
G0003	Active	689.15	0.15	671.46	0.11	0.186
G0004	Active	909.55	-0.15	498.51	0.81	0.823
G0005	Active	994.83	-0.33	410.62	-1.42	1.455
G0006	Active	1473.98	0.35	743.24	0.12	0.371
G0008	Active	1624.47	0.13	1082.23	-0.03	0.128
G0009	Active	1643.81	0.11	1193.71	0.39	0.400
G0023	Active	737.34	-0.03	946.60	0.51	0.511
G0011	Active	1703.58	-0.11	1534.89	0.50	0.510
G0012	Active	1725.92	-0.38	1699.30	0.24	0.452
G0013	Active	1852.88	-0.38	1645.02	-0.52	0.646
G0014	Active	1458.67	0.43	1791.96	-0.86	0.964
G0015	Active	1289.20	1.02	1765.50	0.55	1.163
G0017	Active	1002.25	0.18	1764.89	-0.05	0.185
G0018	Active	984.79	-0.19	1537.36	0.04	0.195
G0019	Active	847.14	-0.09	1561.75	-0.36	0.370
G0020	Active	588.94	-0.64	1434.24	-0.14	0.652
G0021	Active	860.10	-0.36	1156.75	0.16	0.392
G0010	Check	1661.70	0.97	1478.12	0.44	1.061
G0016	Check	1200.67	-0.53	1821.06	-0.90	1.043
G0007	Check	1747.65	1.17	729.93	0.73	1.381
G0022	Check	860.86	-0.20	983.85	0.15	0.252

Obtención de la imagen corregida

- Se genera una matriz vacía, con las coordenadas deseadas de referencia:
 - Esquinas.
 - Tamaño del píxel.
 - Esquinas y tamaño de la imagen.
- Se estiman las coordenadas c y l para cada x, y de salida a partir de las ecuaciones de ajuste.
- Se transfieren los ND de la matriz original a la nueva:
 - Más próximo.
 - Interpolado.

Criterios de interpolación

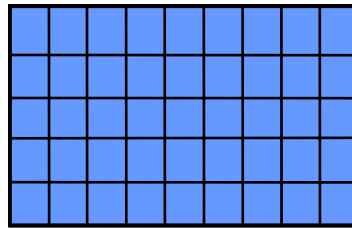


Imagen original

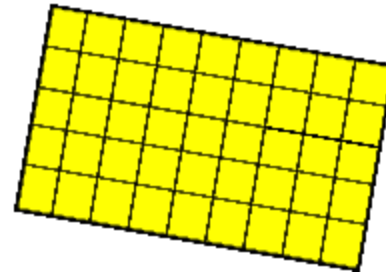
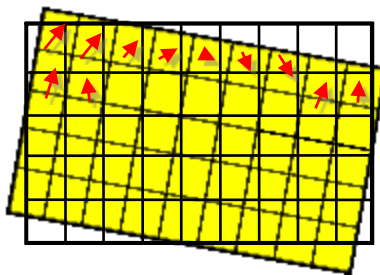
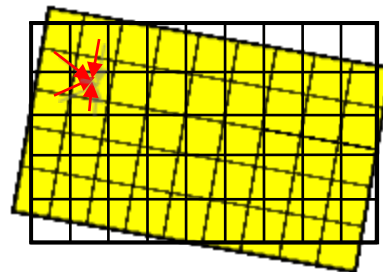


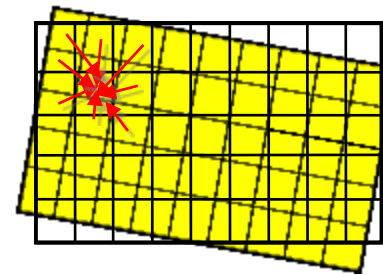
Imagen corregida



Vecino más próximo



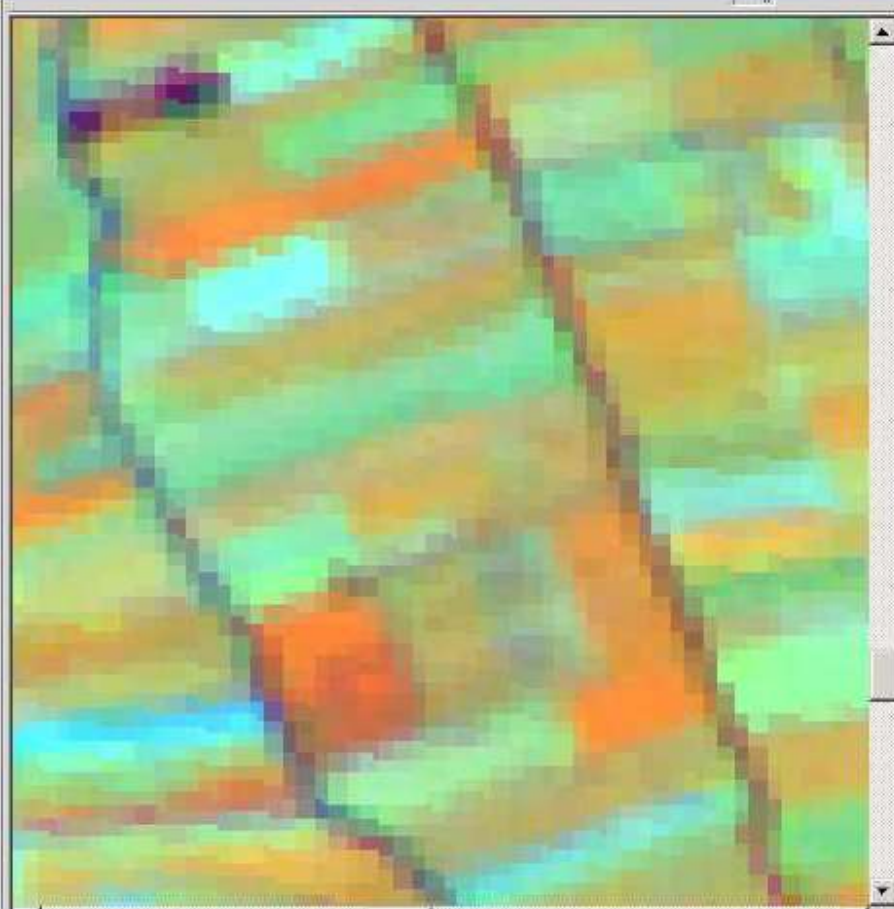
Interpolación bilineal



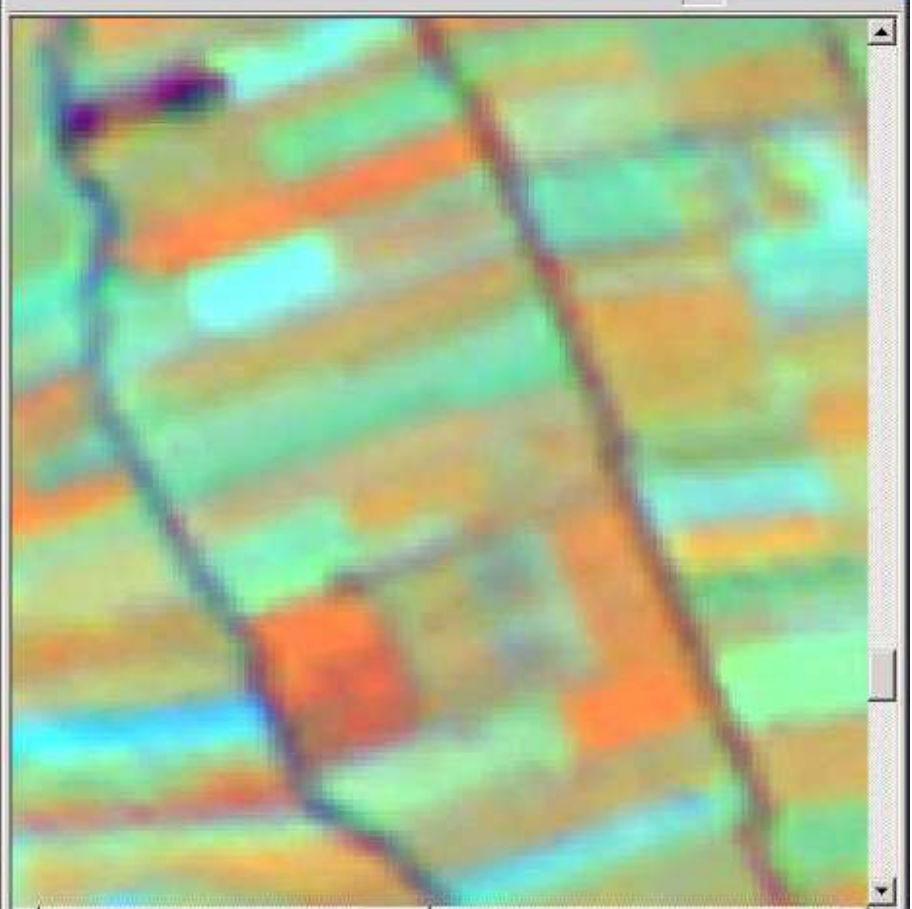
Convolución cúbica

Comparación entre interpolaciones

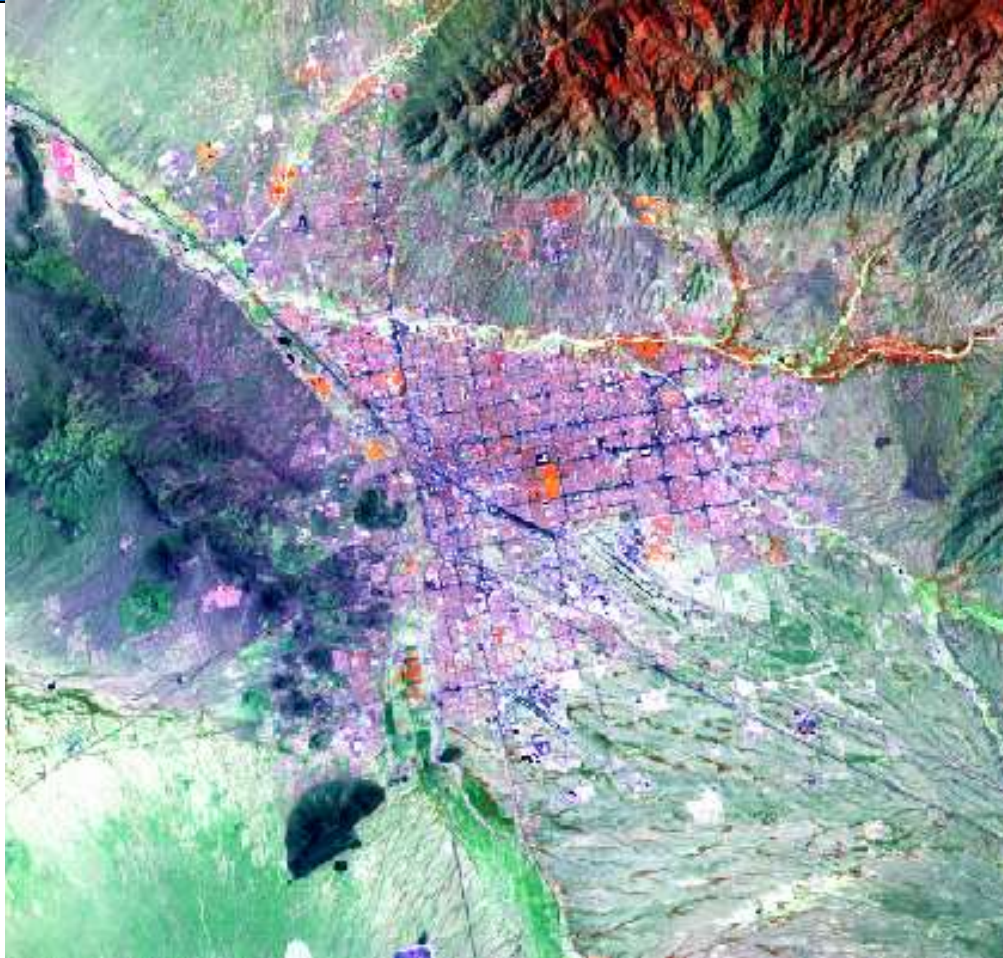
Nearest Neighbour



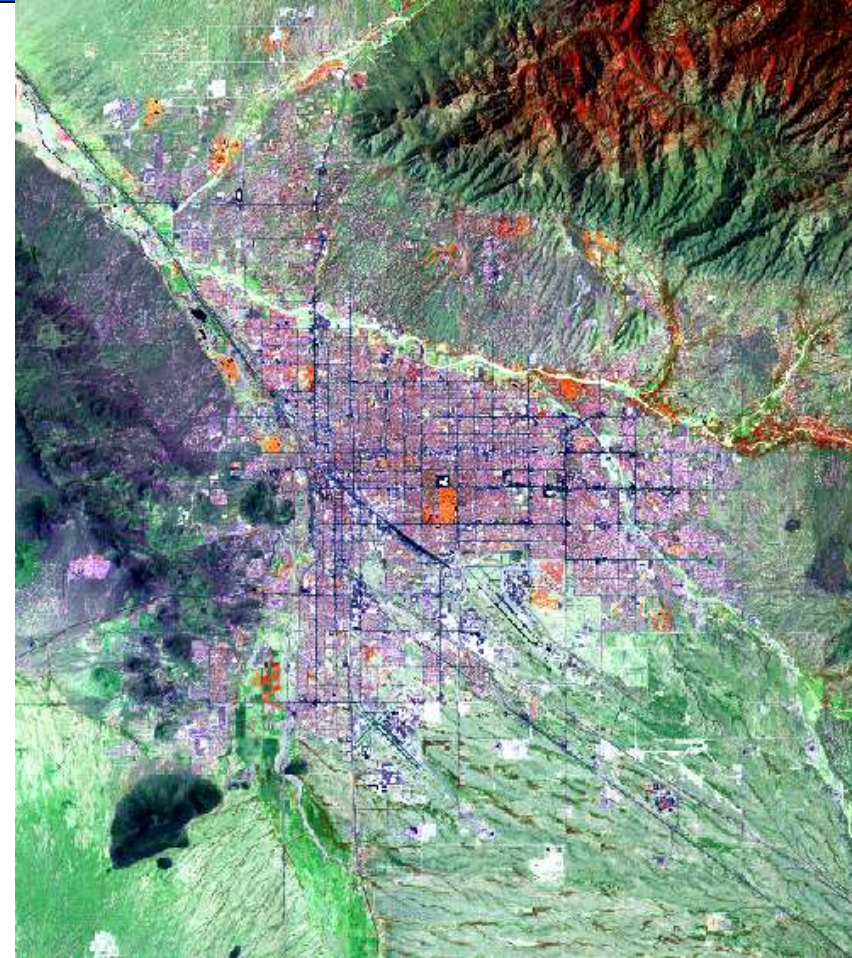
Cubic Convolution



Resultado de la corrección



Original



Georectificada

¿Cómo puedo saber la superficie deforestada?

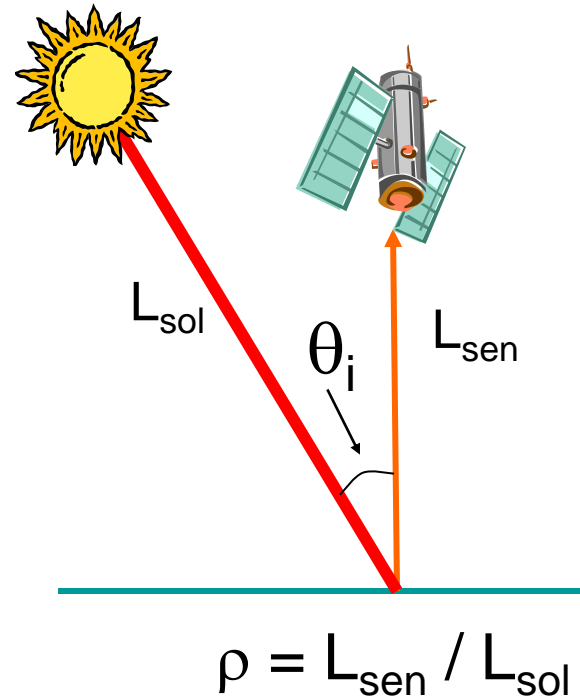


- Situar los píxeles de las dos fechas en la misma posición:
 - Corrección geométrica.
- **Hacer comparables las variables:**
 - Corrección radiométrica.
- Realzar la vegetación sobre el suelo.
 - Índice de vegetación

Corrección radiométrica: conversión ND a Reflectividad

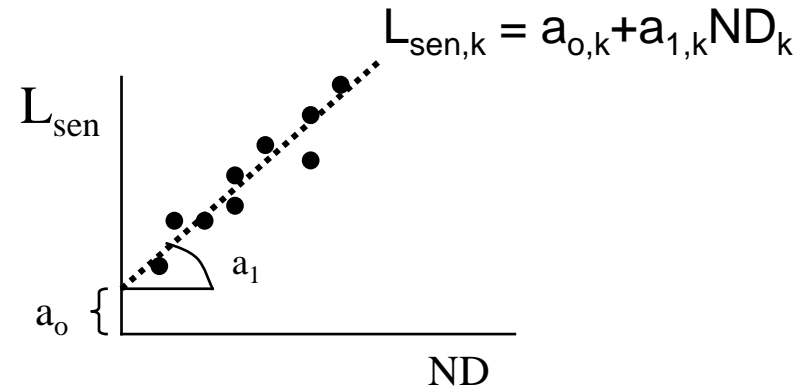
- Calibración de datos (ND a radiancia).
- Reflectividad en el techo de la atmósfera.
- Reflectividad en el suelo: Corrección atmosférica.
- Reflectividad en un terreno llano: corrección topográfica.
- Reflectividad vertical: BRDF.

Modelo simplificado

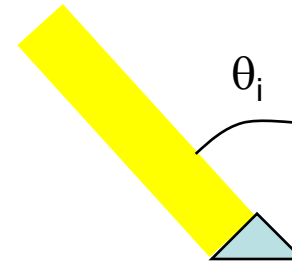
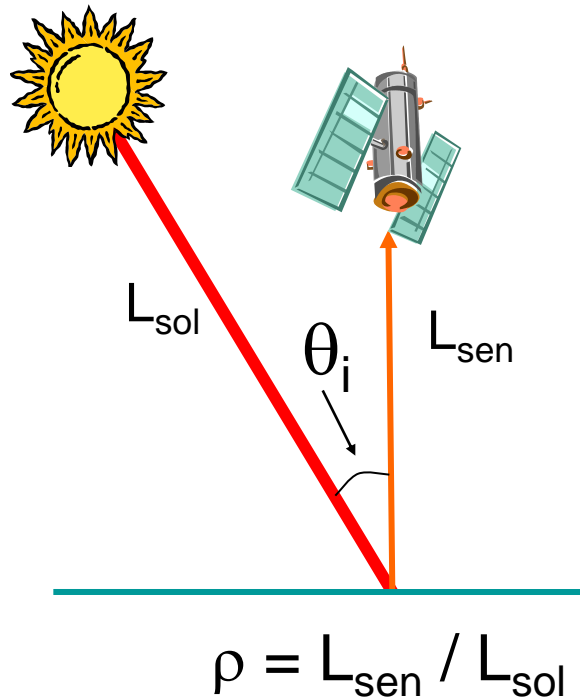


Obtención de radiancias en el sensor

- $L_{\text{sen},k} = a_{0,k} + a_{1,k} \text{ND}_k$
 - $a_{0,k}$ = sesgo
 - $a_{1,k}$ = ganancia
 - L_{sen} = radiancia espectral en el sensor ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$)
 - También puede expresarse como:
 - $L = [\text{Lmax} - \text{Lmin}] \cdot \text{ND} / 255 + \text{Lmin}$
- Cómo obtener $a_{0,k}$ y $a_{1,k}$?
 - Metadatos de la imagen.
 - Parámetros de calibración publicados.



Modelo simplificado



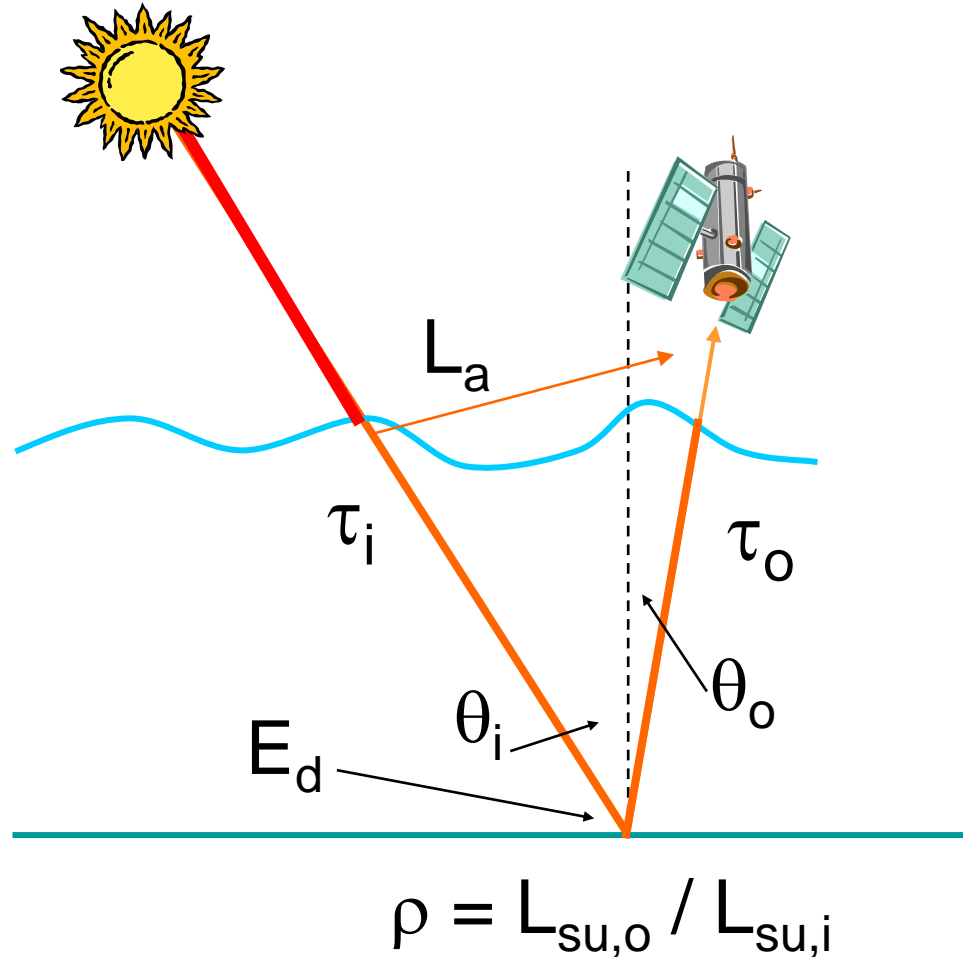
$$L_{\text{sol}} = L_0^* \cos \theta_i$$

$$L_0 = E_0^* \pi$$

$$\rho^*_{k \text{ (TOA)}} = \frac{D\pi L_{\text{sen},k}}{E_{0,k} \cos \theta_i}$$

$$D = (1 + 0,01674 (\text{sen} (2\pi (J - 93,5) / 365)))^2$$

Corrección de la atmósfera



Reflectividad con corrección atmosférica

$$\rho_k = \frac{K\pi((L_{\text{sen},k} - L_{\text{a},k}) / \tau_{k,o})}{E_{o,k} \cos \theta_i \tau_{k,i} + E_{d,k}}$$

- $L_{\text{a},k} = a_{o,k} + a_{1,k} \text{ND}_{\text{min}}$
- $\tau_{k,o} = \cos \theta_o$ (1, para observaciones verticales)
- $\tau_{k,i} = 0.70, 0.78, 0.85$ y 0.91 (B5 y 7=1)
- $E_{d,k} = 0$ (ignora irradiancia difusa)

Efecto de las correcciones



Original scene, RGB=3/2/1

Tilt=41.5° west

SZA=47.2°, SAA=150.9°



Atm. + haze correction

RGB=3/2/1

2006-04-16 Norte de Alemania

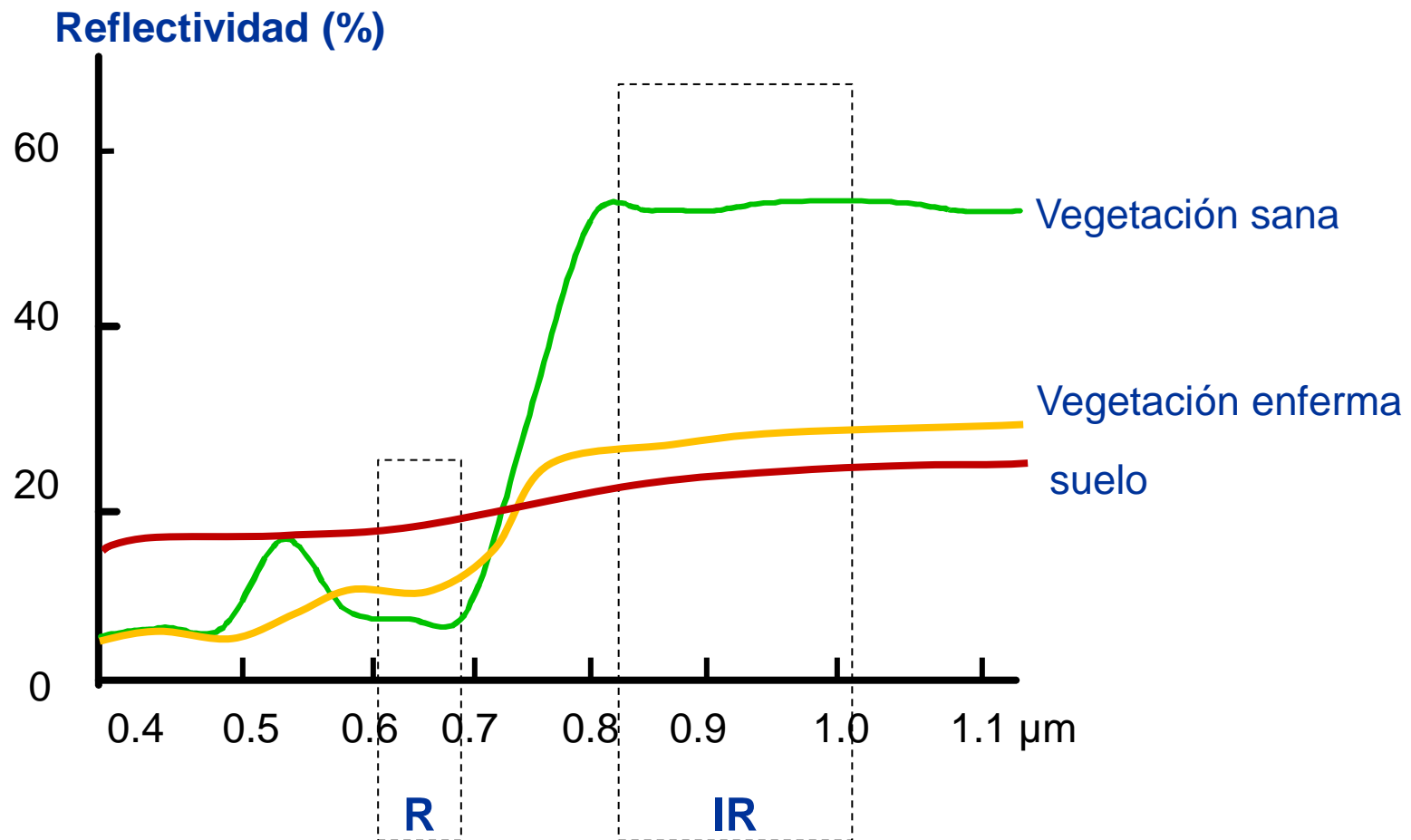
**Datos MERIS procesados por el
DLR**

¿Cómo puedo saber la superficie deforestada?



- Situar los píxeles de las dos fechas en la misma posición:
 - Corrección geométrica.
- Hacer comparables las variables:
 - Corrección radiométrica.
- **Realzar la vegetación sobre el suelo.**
 - Índices de vegetación

Índices de vegetación



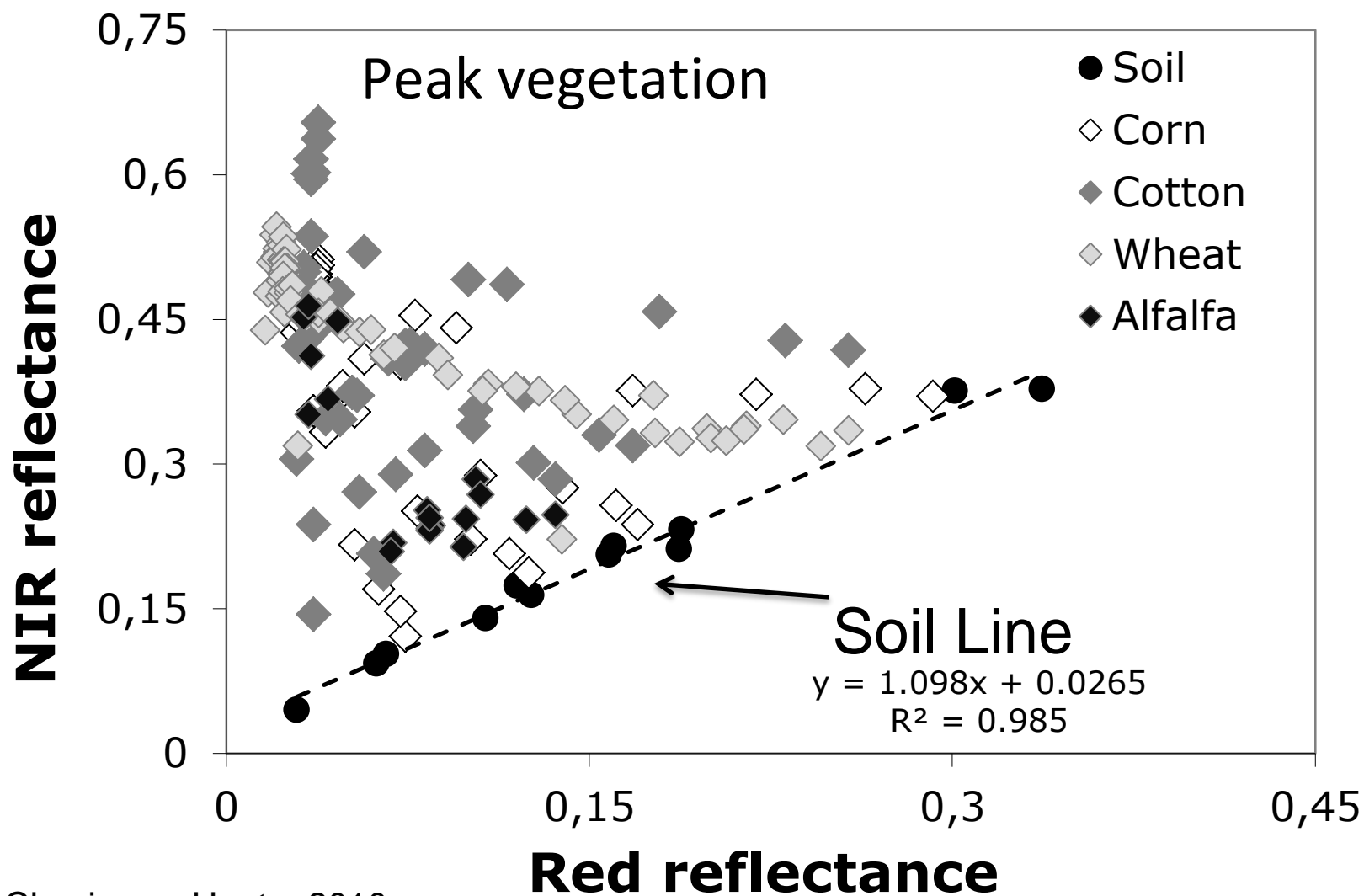
Variantes de los IV

$$NDVI = \frac{\rho_{IR} - \rho_R}{\rho_{IR} + \rho_R} \quad RI = \frac{\rho_{IR}}{\rho_{IR}}$$

$$SAVI = \frac{\rho_{IR} - \rho_R}{\rho_{IR} + \rho_R + L} (1 + L)$$

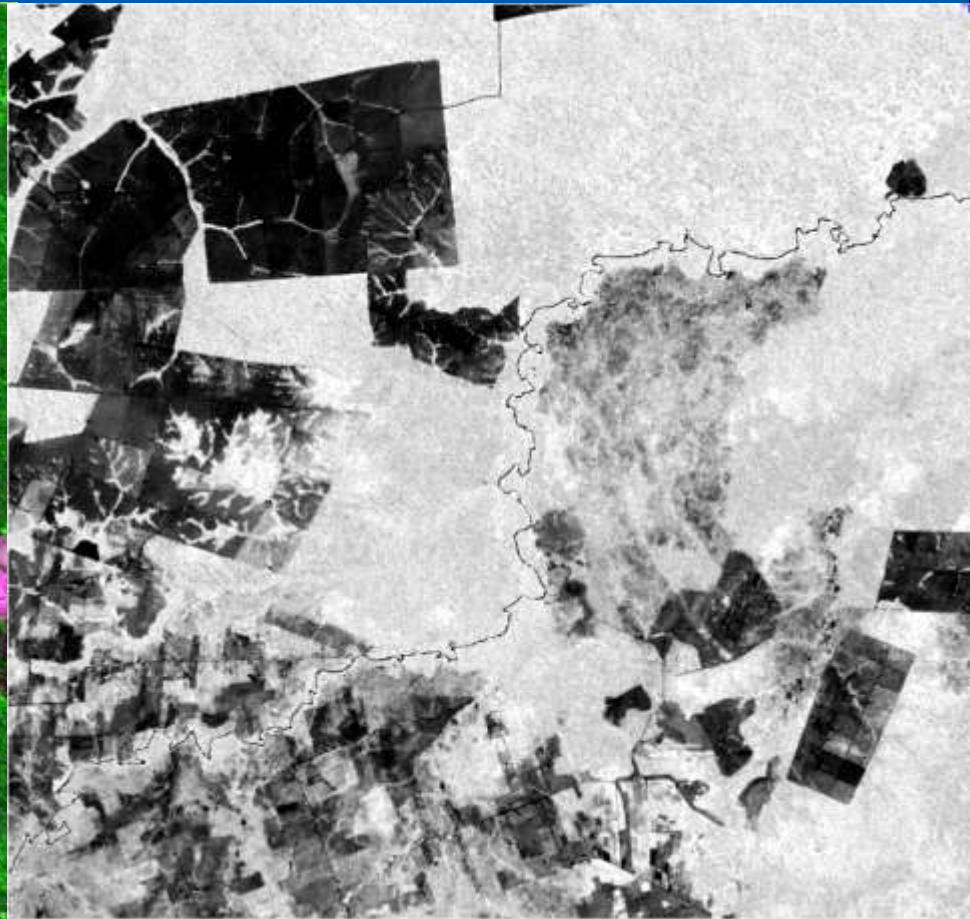
$$GEMI = \eta * (1 - 0,25\eta) - \frac{\rho_R - 0,125}{1 - \rho_R} \quad \eta = \frac{2 * (\rho_{IR}^2 - \rho_R^2) + (1,5 * \rho_{IR}) + (0,5 * \rho_R)}{\rho_{IR} + \rho_R + 0,5}$$

$$EVI = \frac{p * nir - p * red}{p * nir + C_1 p * red - C_2 p * blue + L}$$

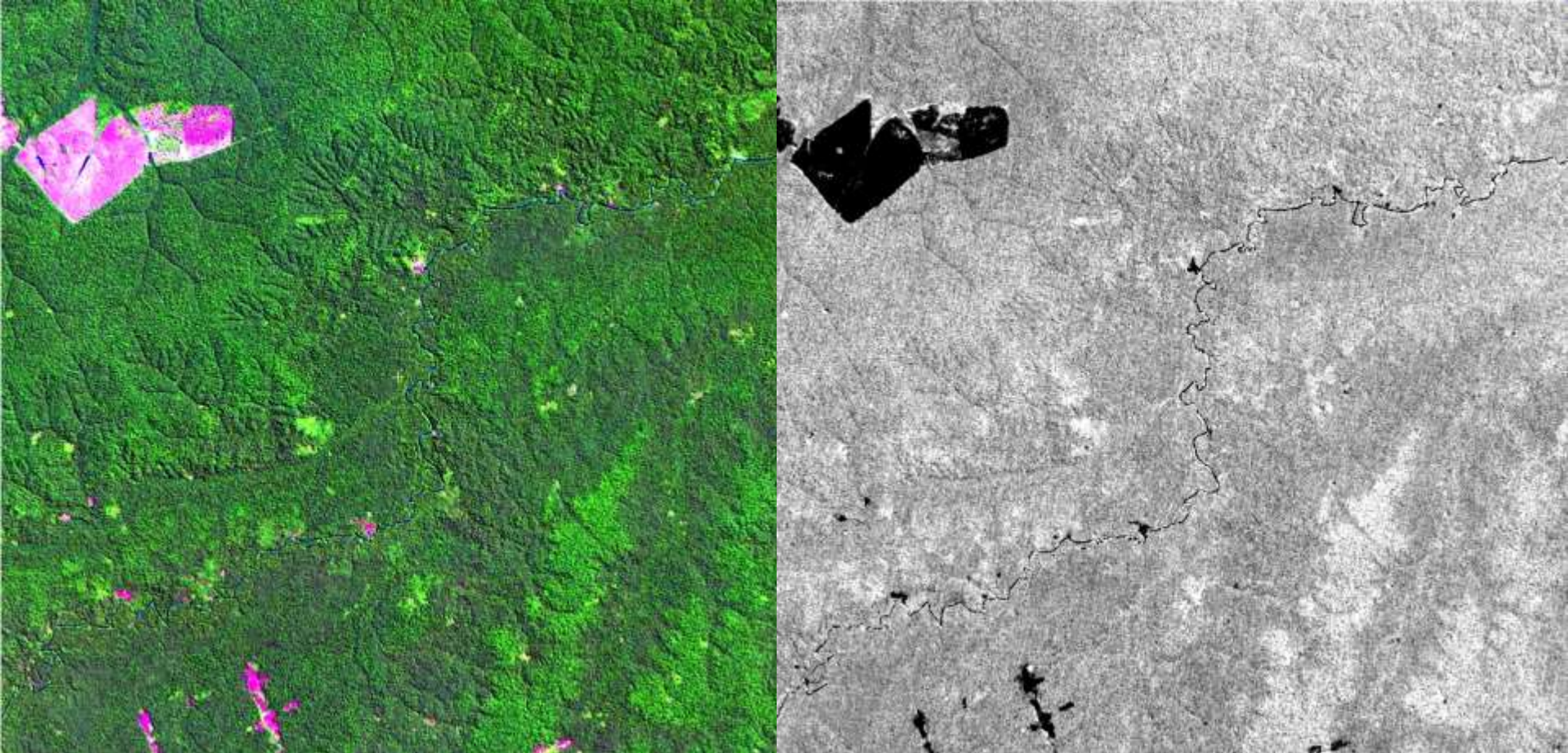


- Realzan la contribución de la vegetación en la respuesta espectral de las superficies.
- Están relacionados con parámetros fisiológicos de las plantas: radiación absorbida, clorofila...
- Atenúan otros factores: suelo, atmósfera, iluminación, topografía.

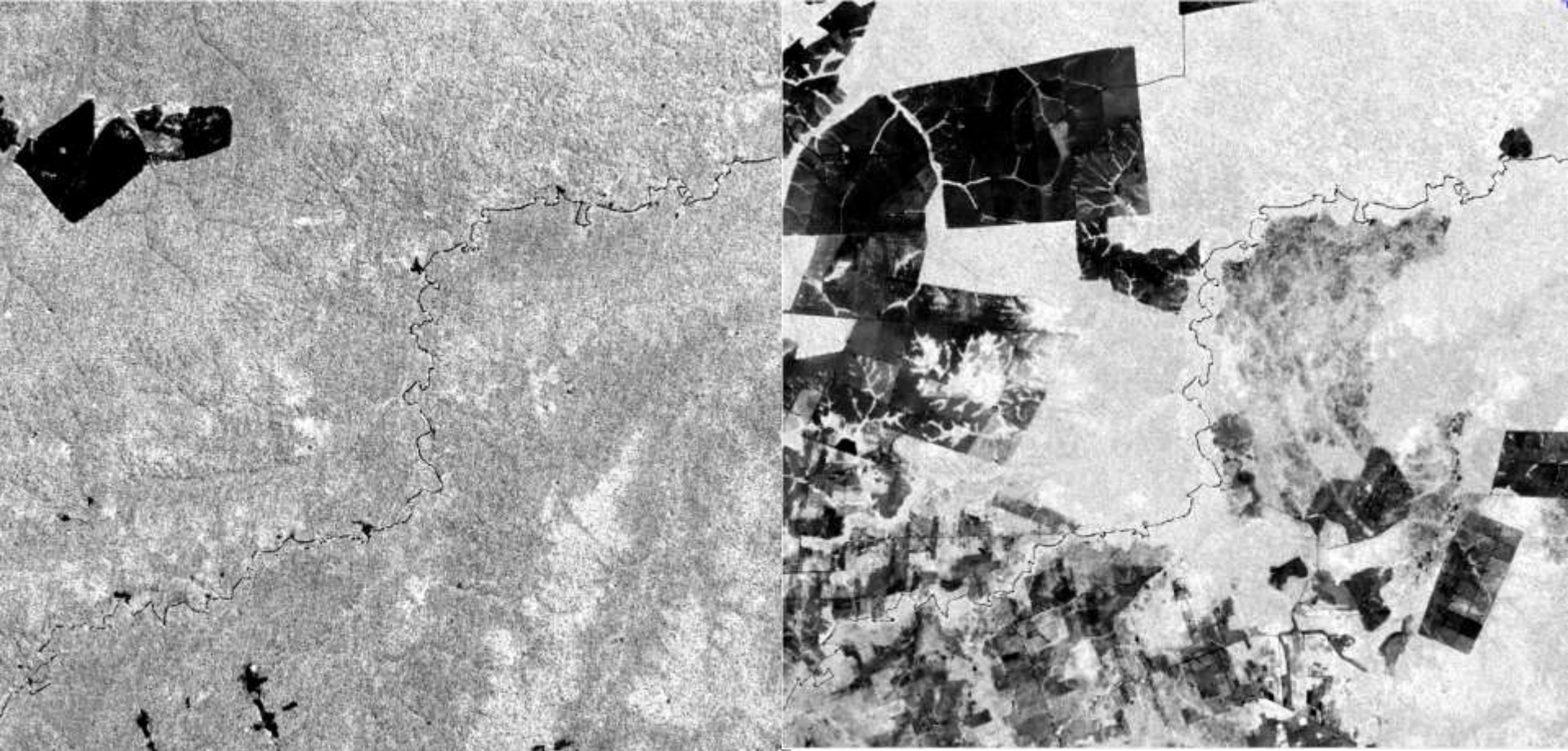
Índice de vegetación de 2010



Índice de vegetación de 1990

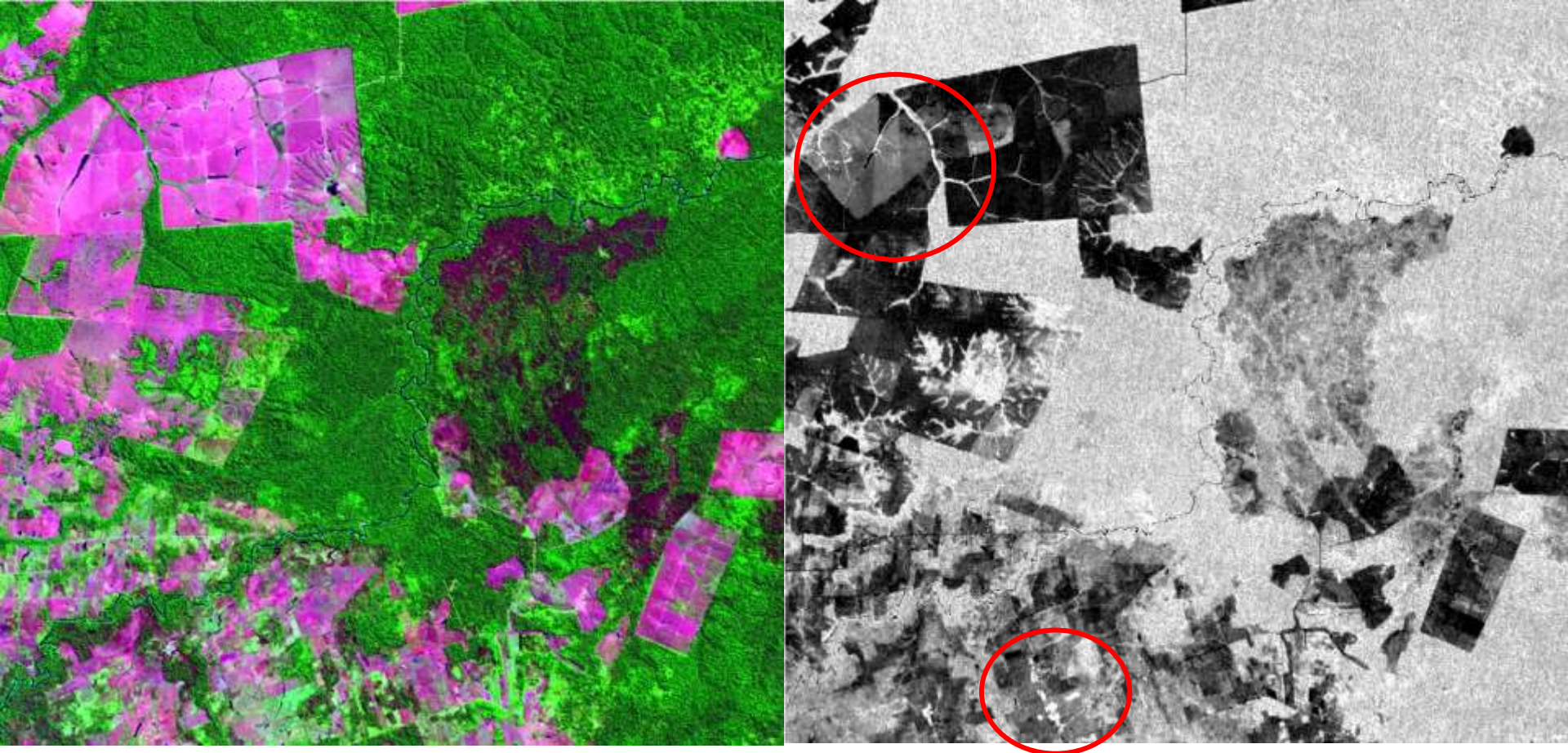


Comparación 1990/2010



¿Cómo pueden determinarse los cambios entre las dos fechas?

Cambio = 2010-1990



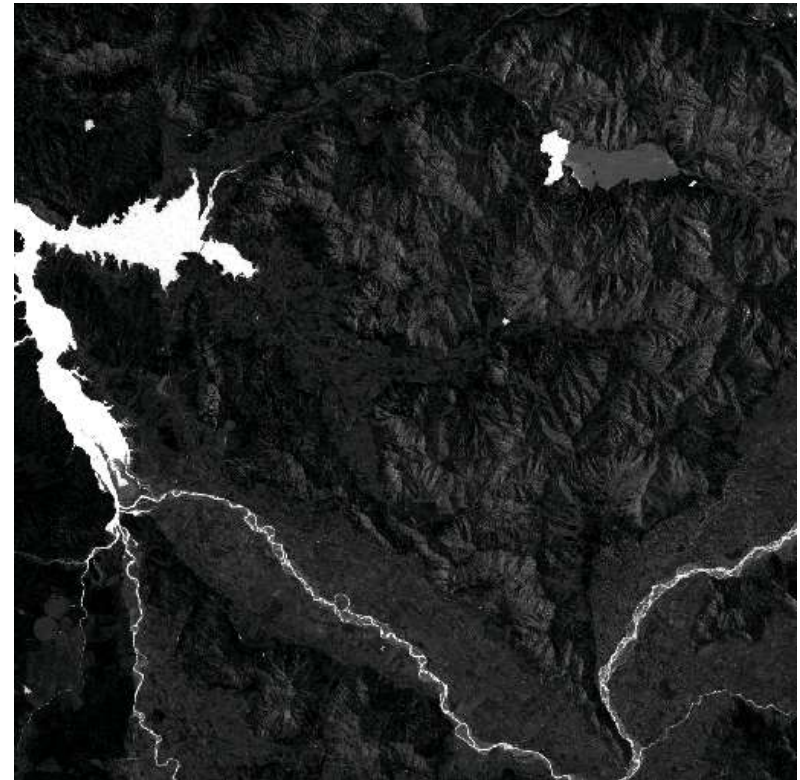
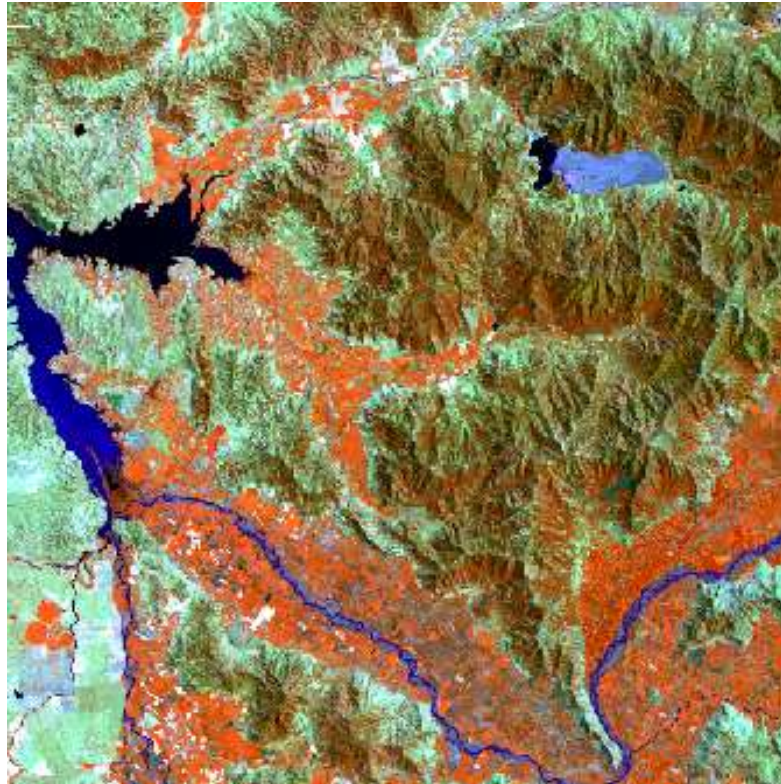
¿Se parece mucho a la segunda fecha?

¿En qué zonas se ve la deforestación más antigua?

Otros índices espectrales

- Para resaltar la humedad.
- Para realzar el área quemada.
- Para realzar suelos.

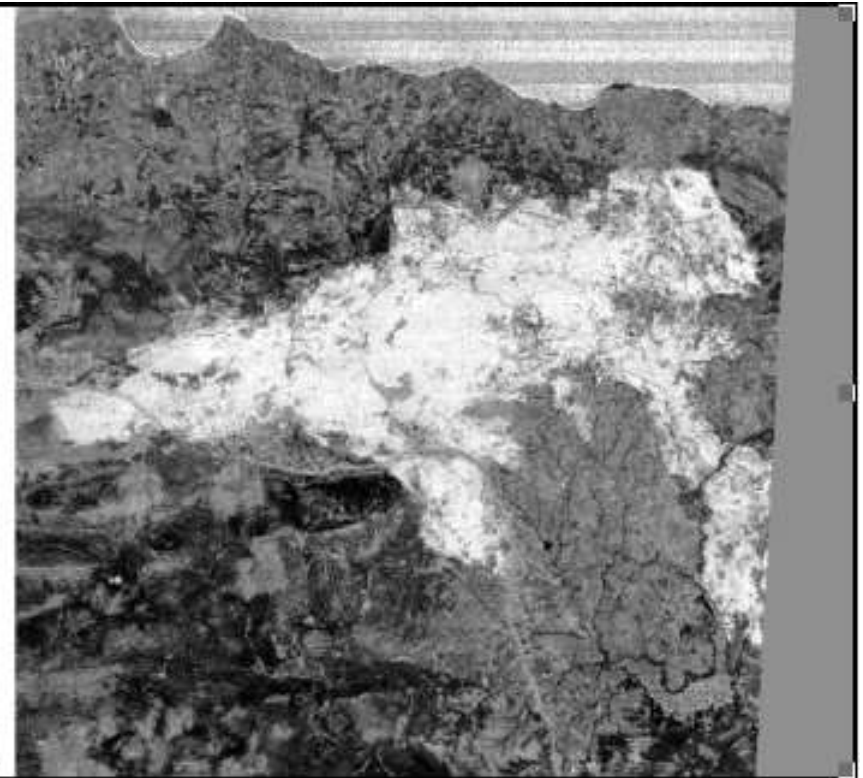
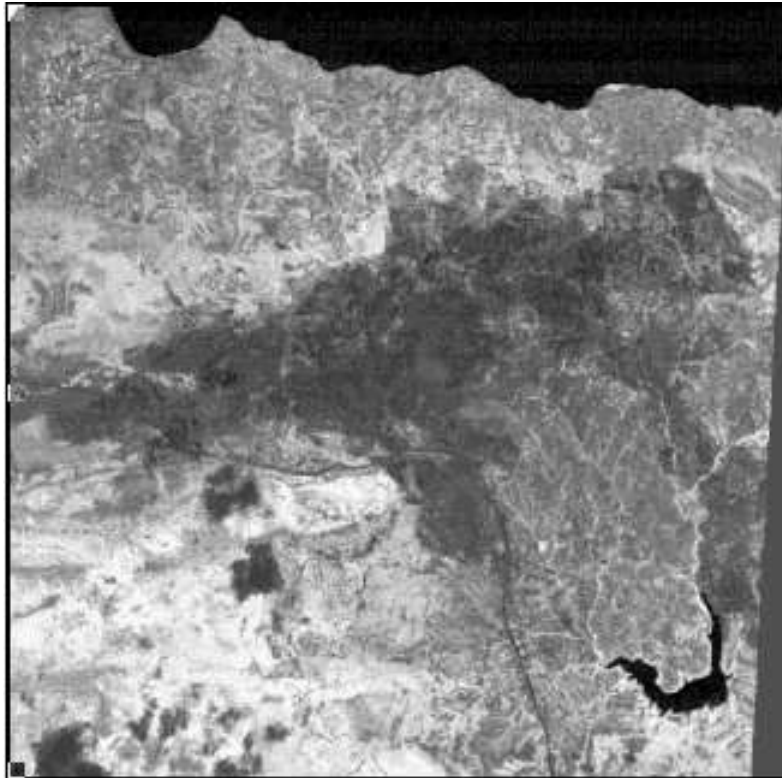
Índice para resaltar agua



Embalse de Rapel, Chile, 1998

$$IA = \frac{\rho_G - \rho_{SWIR}}{\rho_G + \rho_{SWIR}}$$

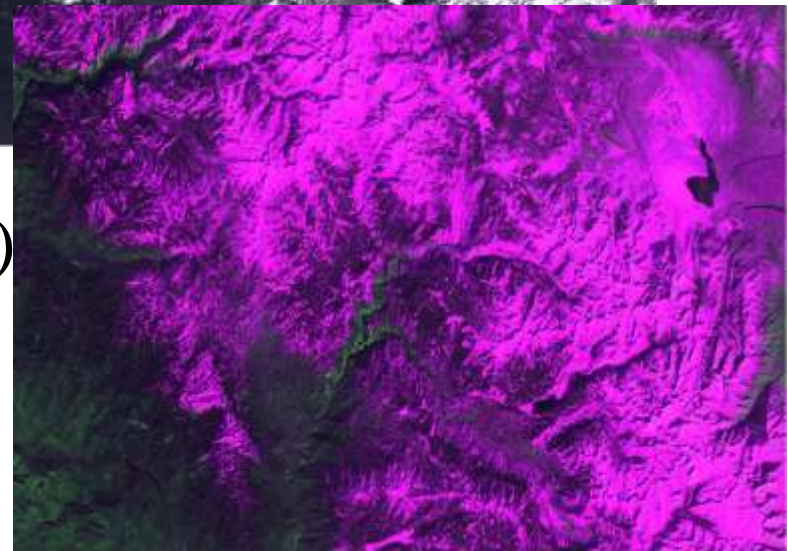
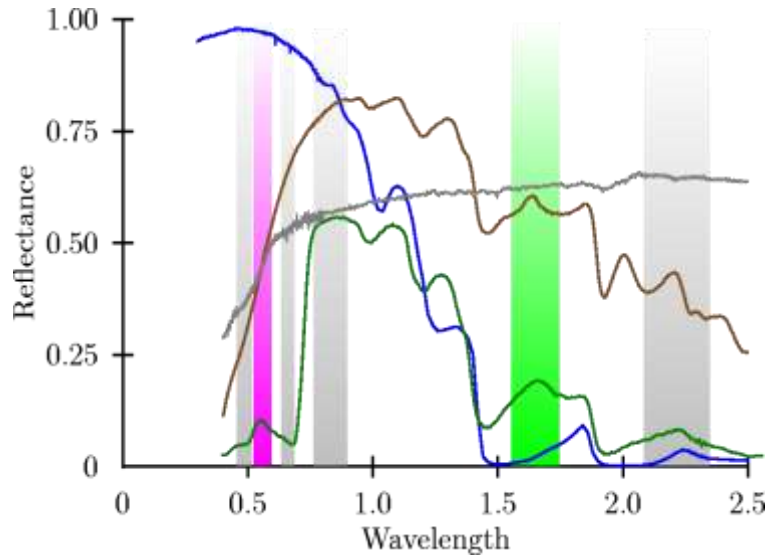
Índices para área quemada



$$\text{NDVI} = \frac{\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{R}}}{\rho_{\text{NIR}} + \rho_{\text{R}}}$$

$$\text{NDII}_5 = \frac{\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{SWIR},5}}{\rho_{\text{NIR}} + \rho_{\text{SWIR},5}}$$

Normalized Difference Snow Index (NDSI)



$$\text{NDSI} = (\rho_G - \rho_{\text{SWIR}}) / (\rho_G + \rho_{\text{SWIR}})$$

Clear: $\text{NDSI} > 0.4$ ($L4 > 0.11$)

Forested: $0.1 < \text{NDSI} < 0.4$.