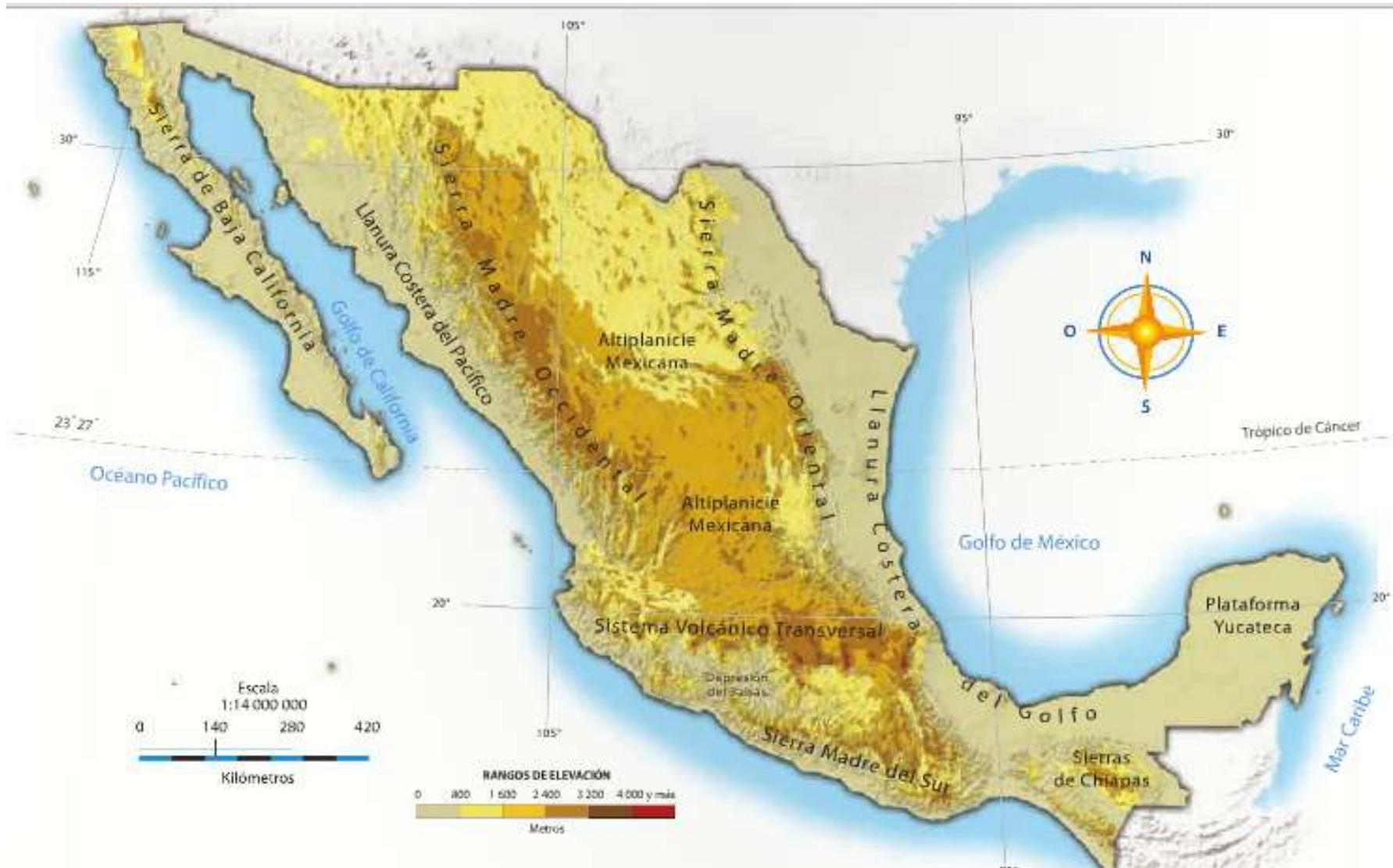


# CORRECCIÓN TOPOGRÁFICA CON EL MÉTODO DEL COEFICIENTE C EN IMÁGENES SPOT 5 DE LA SIERRA MADRE DEL SUR, CHIAPAS, MÉXICO

TOPOGRAPHIC CORRECTION OF SPOT 5 IMAGERY AT THE SOUTH MOUNTAIN CHAIN BY COEFFICIENT C METHOD, CHIAPAS, MEXICO

por M.C. Itzel Castro Mendoza

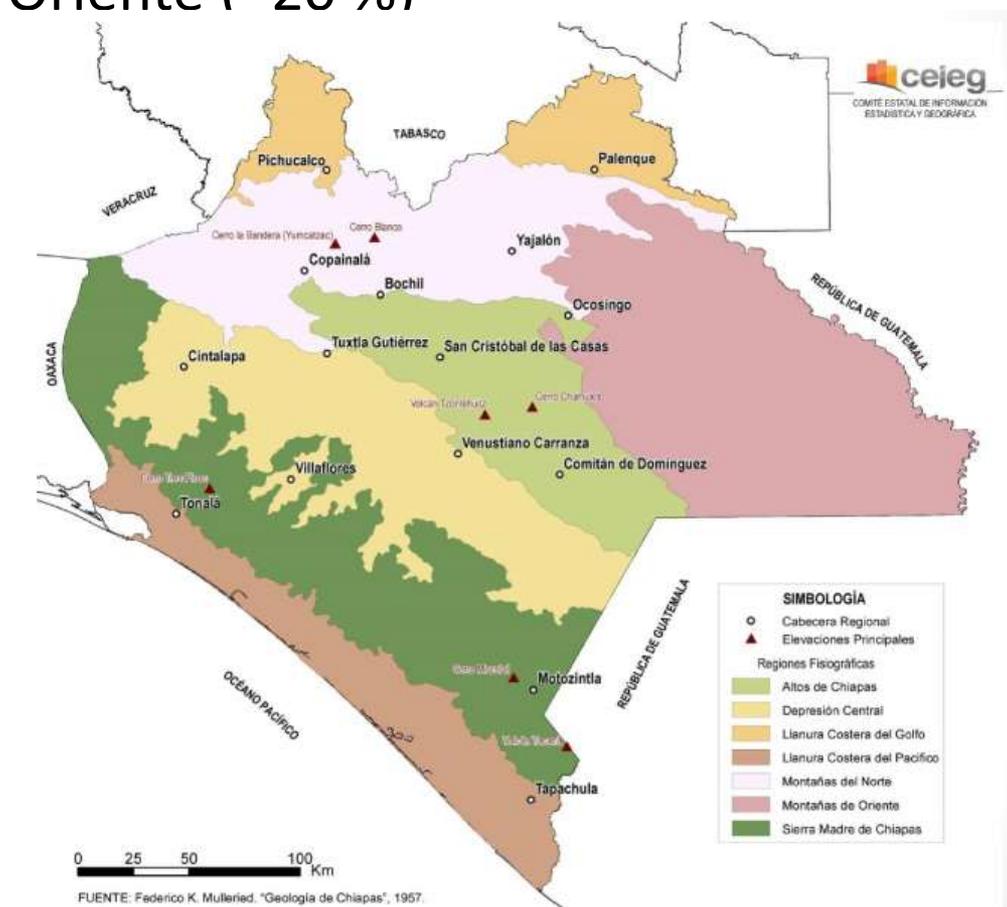


- Superficie mexicana: 1,959,247.98 km<sup>2</sup>

¿Cuánto corresponde a la superficie montañosa?

- a) <10 %
- b) 10 al 30 %
- c) 30 al 50%
- d) > 50%

- En Chiapas (70 mil km<sup>2</sup>)
- Sierra Madre de Chiapas (~5%)
- Montes del Norte (~15%)
- Montes del Oriente (~20%)

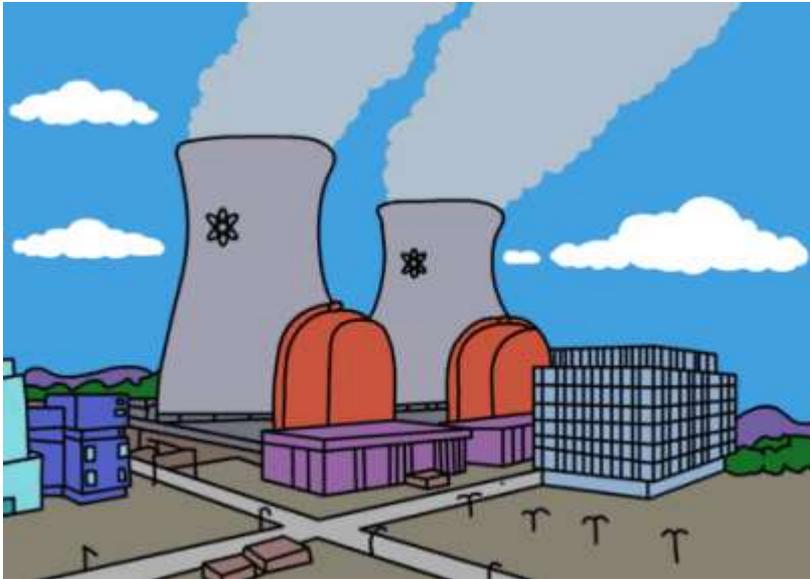


# PROBLEMA

- 1) La sombra topográfica genera errores de **sub o sobre estimación** del uso del suelo y cobertura vegetal (~30%).
- 2) Afecta **zonas clave** como la vegetación riparia o bosques mesófilos de montaña ubicados (abastecimiento de servicios ecosistémicos).
- 3) Modulo de corrección topográfica **lambertiana** en software comerciales.
- 4) La falta de una **metodología de bajo costo** para **disminuir** el efecto de **sombra** topográfica en zonas con relieve accidentado, que permita **optimizar** los resultados de la **clasificación** de imágenes satelitales con el propósito de hacer más eficiente el monitoreo y cuantificación de fenómenos como el crecimiento urbano y dinámica del uso del suelo.

# RADIACIÓN = ENERGÍA

Propagación de la energía en forma de ondas electromagnéticas a través del vacío (espacio) o de un medio material (sólido, líquido o gaseoso).



Todos los cuerpos emiten energía en forma de radiación, hasta que alcanzan un equilibrio con el entorno que les rodea.

↑ Temperatura    ↑ Radiación



# RADIACIÓN SOLAR

RADIACIÓN SOLAR= ENERGÍA EMITIDA POR EL SOL = ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO (EEM)



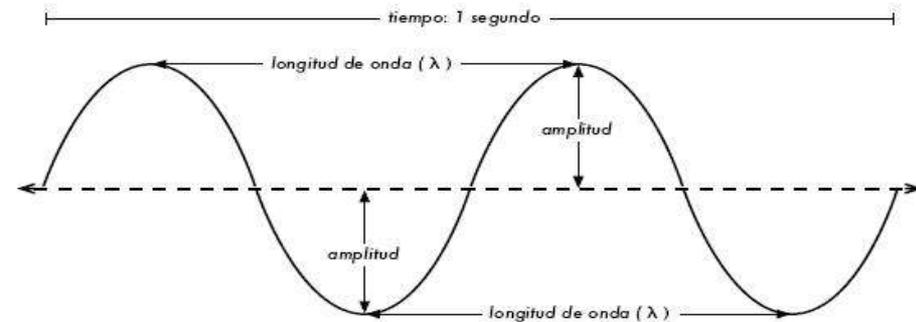
Comportamiento del fotón = ondas (Joules)

Frecuencia (f): # de crestas en 1 seg (Hetz)

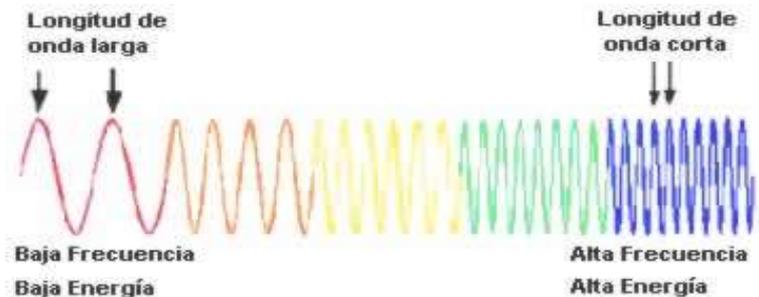
Longitud ( $\lambda$ ): distancia entre crestas ( $\mu\text{m}$ )

Si la frecuencia  $\uparrow$  la longitud  $\downarrow$

**Y la energía ????**



Longitud de onda, amplitud, y frecuencia.



### Longitud de onda (metros)

Radio  $10^3$     Microondas  $10^{-2}$     Infrarojo  $10^{-5}$     **Visible**  $5 \times 10^{-6}$     Ultravioleta  $10^{-8}$     Rayos-X  $10^{-10}$     Rayos Gamma  $10^{-12}$



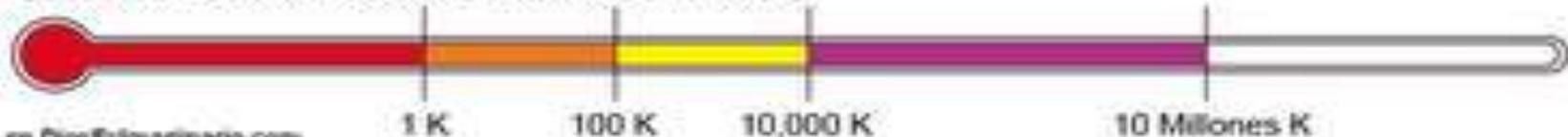
### Del tamaño de...



### Frecuencia (Hz)



### Temperatura de los cuerpos emitiendo la onda (K)

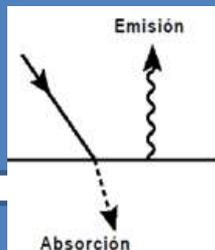


Visto en DiosEstimaria.com

# Radiación solar, materia y atmósfera

## Absorción

- Proceso de retención de la radiación solar por una sustancia para convertirla en calor



## Ventana atmosférica

- Los gases de la atm. absorben cierta radiación (rayos X, GAMMA y UV) y permiten el paso del visible, IR y microondas.

## Emisión

- Después que la materia absorbe la radiación puede emitirla hacia la atmósfera o transmitirla a algún cuerpo cercano

Reflexión

Transmisión

Dispersión (scattering)



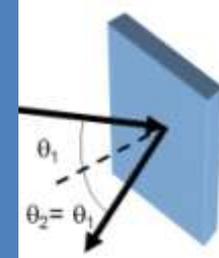
# Radiación solar, materia y atmósfera

## Ventana atmosférica

- Los gases de la atm. absorben cierta radiación (rayos X, GAMMA y UV) y permiten el paso del visible, IR y microondas.

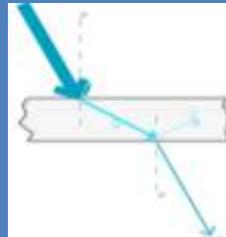
## Reflexión

- La energía rebota en un objeto de manera total o parcial
- La energía reflejada es la medida por un sensor



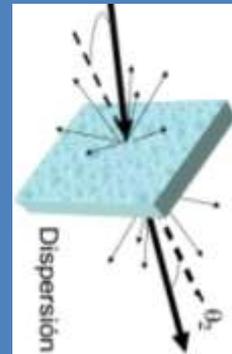
## Transmisión

- Paso de la energía a través de una sustancia no opaca, ej: vidrio, atm.
- El ángulo de salida se modifica



## Dispersión (scattering)

- Paso de la energía a través de una sustancia no opaca, ej: gases atm.
- La luz se descompone totalmente, mie y rayleigh

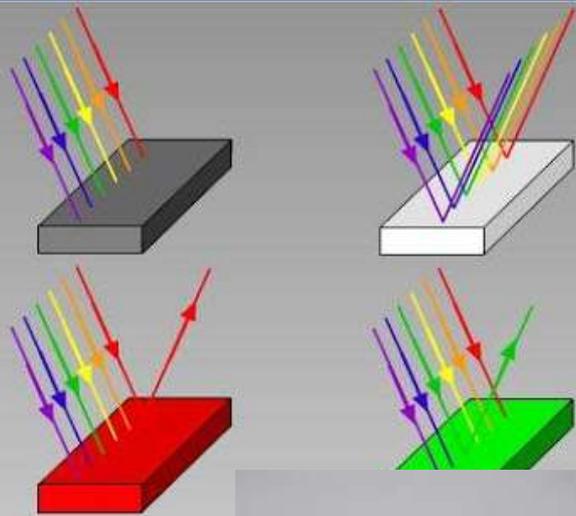


Todo pasa simultáneamente

Toda la radiación medida por los sensores pasa por la atmósfera y esto produce deformaciones de la imagen

# Radiación solar, materia y atmósfera

## Absorción y Emisión



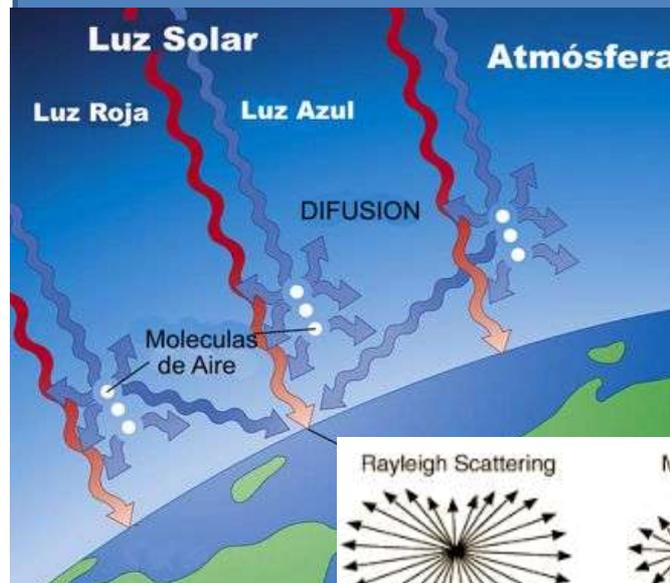
## Reflexión



## Transmisión



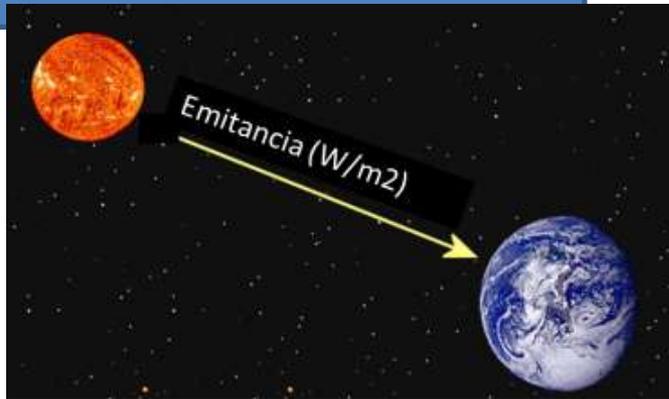
## Dispersión (scattering)



# Radiación solar y medición

## Emitancia (M)

- Cantidad de energía que se transmite cada segundo por cada  $m^2$  de la superficie emisora ( $W/m^2$ )  
-----sol-----



## Irradiancia (E)

- La ventana atmosférica permite el paso de cierta energía solar
- "E" es la energía que llega a través del espacio ( $W/m^2$ )
- La constante solar es la energía solar que llega a la atm, no la que la atraviesa



# Radiación solar y medición

Irradiancia (E)

Reflectancia ( $\rho$ )

- Es el % de la irradiancia que refleja la superficie receptora

Absortancia ( $\alpha$ )

- Es la % de la irradiancia que absorbe la superficie receptora

Transmitancia ( $\tau$ )

- Es la % de la irradiancia que transmite la superficie receptora

Radiancia (L)

- Total de energía radiada por m<sup>2</sup> y por ángulo sólido de medida, se mide en watts/estereorradian por m<sup>2</sup> (W/sr. m<sup>2</sup>)
- Luz después de haber pasado por la atm y que llega al sensor



## SENSORES PASIVOS



Captan las radiaciones emitidas por los objetos a partir de la energía solar.

## SENSORES ACTIVOS

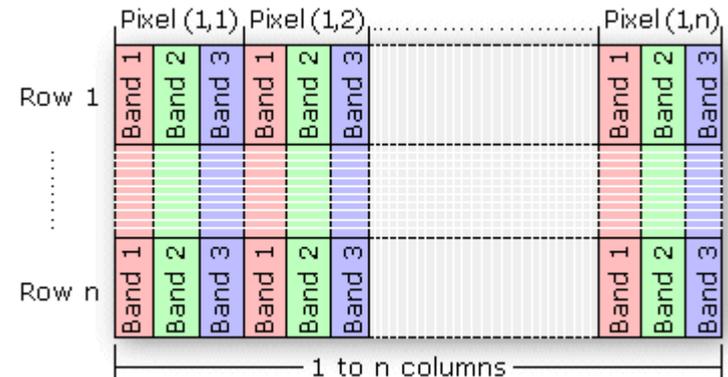


Emiten su propia energía (RADAR)

# Sensor + formatos

BIP = Banda intercalada por pixel

los datos para las bandas 1, 2 y 3 se escriben para el primer píxel en la columna 1, los datos para las bandas 1, 2 y 3 se escriben para el primer píxel en la columna 2, y así sucesivamente.



GeoTIFF es el formato estándar (distribución libre) de intercambio de imágenes de teledetección. Es un fichero o conjunto de imágenes que permite que información georreferenciada sea encajada en un archivo de imágenes de formato TIFF (mapa de bits).

Las imágenes guardadas por un GeoTIFF son de tipo \*.BIP (Pérez *et al.*, 2015)

Nombre

- LC80210492014348LGN00\_B1
- LC80210492014348LGN00\_B1.TIF.aux
- LC80210492014348LGN00\_B1.TIF.enp
- LC80210492014348LGN00\_B1.TIF.ovr
- LC80210492014348LGN00\_B2
- LC80210492014348LGN00\_B3
- LC80210492014348LGN00\_B4
- LC80210492014348LGN00\_B5
- LC80210492014348LGN00\_B6
- LC80210492014348LGN00\_B7
- LC80210492014348LGN00\_B8
- LC80210492014348LGN00\_B9
- LC80210492014348LGN00\_B10
- LC80210492014348LGN00\_B11
- LC80210492014348LGN00\_BQA
- LC80210492014348LGN00\_MTL

# METADATO

- Es un grupo de datos, o el dato del dato

```
GROUP = L1_METADATA_FILE
GROUP = METADATA_FILE_INFO
  ORIGIN = "Image courtesy of the U.S. Geological Survey"
  REQUEST_ID = "0501412141515_00033"
  LANDSAT_SCENE_ID = "LC80210492014348LGN00"
  FILE_DATE = 2014-12-14T21:16:40Z
  STATION_ID = "LGN"
  PROCESSING_SOFTWARE_VERSION = "LPGS_2.4.0"
END_GROUP = METADATA_FILE_INFO
GROUP = PRODUCT_METADATA
  DATA_TYPE = "L1T"
  ELEVATION_SOURCE = "GLS2000"
  OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"
  SPACECRAFT_ID = "LANDSAT_8"
  SENSOR_ID = "OLI_TIRS"
  WRS_PATH = 21
  WRS_ROW = 49
  NADIR_OFFNADIR = "NADIR"
  TARGET_WRS_PATH = 21
  TARGET_WRS_ROW = 49
  DATE_ACQUIRED = 2014-12-14
  SCENE_CENTER_TIME = 16:30:00.2942068Z
  CORNER_UL_LAT_PRODUCT = 16.95067
  CORNER_UL_LON_PRODUCT = -93.09204
  CORNER_UR_LAT_PRODUCT = 16.94047
  CORNER_UR_LON_PRODUCT = -90.95672
  CORNER_LL_LAT_PRODUCT = 14.84876
  CORNER_LL_LON_PRODUCT = -93.09109
  CORNER_LR_LAT_PRODUCT = 14.83988
  CORNER_LR_LON_PRODUCT = -90.97782
```

# Sensor + resolución



Resolución = capacidad de un sensor de discriminar superficies

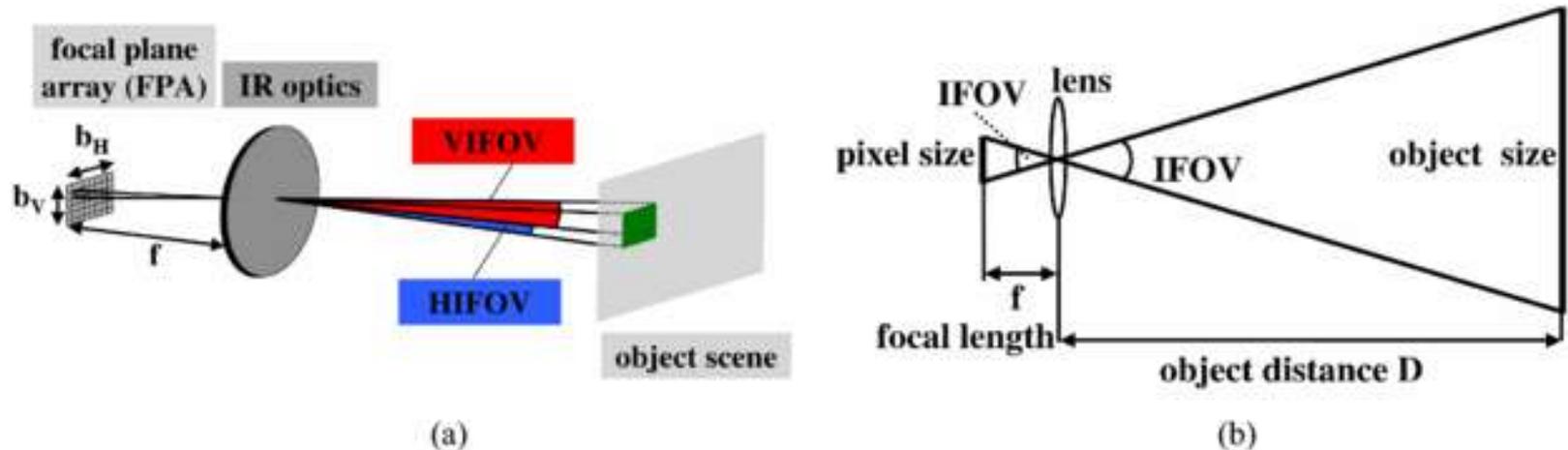
Si se mejora la lente, pero no se mejora la película, la imagen no es mejor, por lo tanto hay que mejorar TODOS LOS ELEMENTOS

## RESOLUCIONES

- 1) Espacial
- 2) Espectral
- 3) Radiométrica
- 4) Temporal

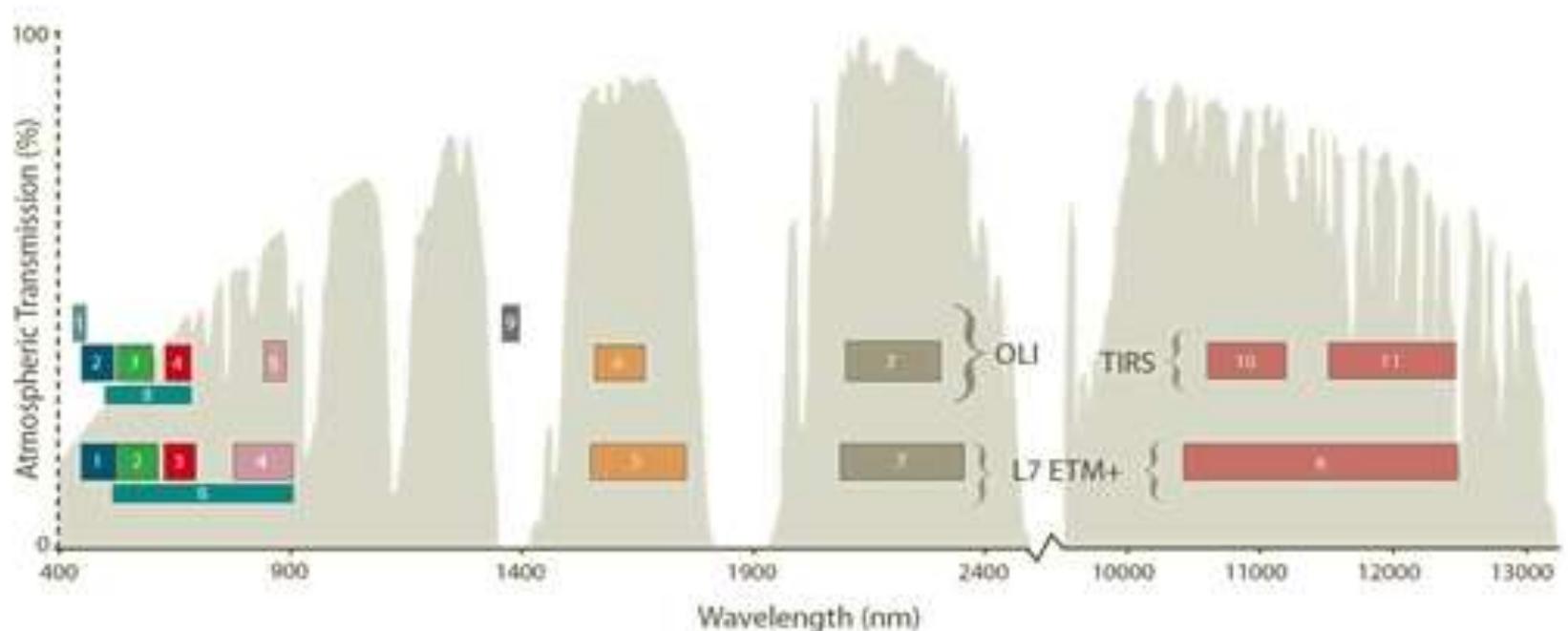
# RESOLUCIÓN ESPACIAL

- Designa al objeto pequeño que puede ser distinguido
- Cuanto menor sea el pixel existe menor probabilidad que sea un pixel compuesto



# RESOLUCIÓN ESPECTRAL

- Indica el # de bandas y el rango en el cual el sensor registra radiación electromagnética



# RESOLUCIÓN ESPECTRAL

Satélite	Lanzamiento (fin servicio)	Altitud (km)	Periodicidad (días)	Sensor	Banda: Intervalo espectral (µm)	Resolución espacial (m)
Landsat-1	23-7-72 (6-1-78)	917	18	RBV	(1) 0,48-0,57	80
					(2) 0,58-0,68	80
					(3) 0,70-0,83	80
				MSS	(4) 0,5-0,6	79
					(5) 0,6-0,7	79
					(6) 0,7-0,8	79
					(7) 0,8-1,1	79
Landsat-2	22-1-75 (25-2-82)	917	18	Idéntica configuración que Landsat -1		
Landsat-3	5-3-78 (31-3-83)	917	18	RBV	(1) 0,505-0,75	40
				MSS	(4) 0,5-0,6	79
					(5) 0,6-0,7	79
					(6) 0,7-0,8	79
					(7) 0,8-1,1	79
					(8) 10,4-12,6	240
Landsat-4	16-7-82 (83)	705	16	MSS	(4) 0,5-0,6	82
					(5) 0,6-0,7	82
					(6) 0,7-0,8	82
					(7) 0,8-1,1	82
				TM	(1) 0,45-0,52	30
					(2) 0,52-0,60	30
					(3) 0,63-0,69	30
					(4) 0,76-0,9	30
					(5) 1,55-1,75	30
					(6) 10,4-12,5	120
(7) 2,08-2,35	30					
Landsat-5	1-3-84	705	16	Idéntica configuración que el Landsat-4		
Landsat-6	5-10-93 (5-10-93)	705	16	Fallos en el sistema de comunicación No llego a funcionar		
Landsat-7	15-4-99	705	16	ETM	(1) 0,45-0,52	30
					(2) 0,52-0,60	30
					(3) 0,63-0,69	30
					(4) 0,76-0,9	30
					(5) 1,55-1,75	30
					(6) 10,4-12,5	120
					(7) 2,08-2,35	30
				PAN 0,50-0,90	15	

# RESOLUCIÓN ESPECTRAL

Landsat 7			Landsat 8		
Banda	Ancho (µm)	Resolución (m)	Banda	Ancho (µm)	Resolución (m)
			Band 1 Coastal	0.43 – 0.45	30
Band 1 Blue	0.45 – 0.52	30	Band 2 Blue	0.45 – 0.51	30
Band 2 Green	0.52 – 0.60	30	Band 3 Green	0.53 – 0.59	30
Band 3 Red	0.63 – 0.69	30	Band 4 Red	0.64 – 0.67	30
Band 4 NIR	0.77 – 0.90	30	Band 5 NIR	0.85 – 0.88	30
Band 5 SWIR1	1.55 – 1.75	30	Band 6 SWIR1	1.57 – 1.65	30
Band 7 SWIR2	2.09 – 2.35	30	Band 7 SWIR2	2.11 – 2.29	30
Band 8 Pan	0.52 – 0.90	15	Band 8 Pan	0.50 – 0.68	15
			Band 9 Cirrus	1.36 – 1.38	30
Band 6 TIR	10.40 – 12.50	30/60	Band 10 TIRS1	10.6 – 11.19	100
			Band 11 TIRS2	11.5 – 12.51	100

Satélite	Lanzamiento (fin servicio)	Sensor	Intervalo espectral ( $\mu$ m)	Resolución espacial (m)
SPOT-1	22 febrero 86 (31 diciembre 90) reactivado 13 enero 1997	HRV	(P) 0,51-0,73	10
			(XS1) 0,50-0,59	20
			(XS2) 0,61-0,68	20
			(XS3) 0,79-0,89	20
SPOT-2	22 enero 90	Idéntica configuración que el SPOT-1		
SPOT-3	26 septiembre 96 (14 noviembre 1996)	Idéntica configuración que el SPOT-1		
SPOT-4	24 marzo 98	HRVIR	(XS1) 0,50-0,59	20
			(XS2) 0,61-0,68	10 y 20
			(XS3) 0,79-0,89	20
			1,58-1,75	20
		VEGETATION	(B0) 0,43-0,47	1000
			(B1) 0,61-0,68	1000
			(B2) 0,78-0,89	1000
			(B3) 1,58-1,75	1000

Fuente: SpotImage-CNES (1999)

Sensor	Bandas	Resolución espacial	Anchura de la imagen	Reorientación	Período
IRS-1	4	5.8 m	70 Km	$\pm 26^\circ$	5 días
Ikonos-1	4	1m-4m	11 Km	$\pm 30^\circ$	1-3 días
QuickBird	4	1m-4m	27 Km	$\pm 30^\circ$	1-3 días

Tabla 7.6: Características de los principales sensores de alta resolución espacial

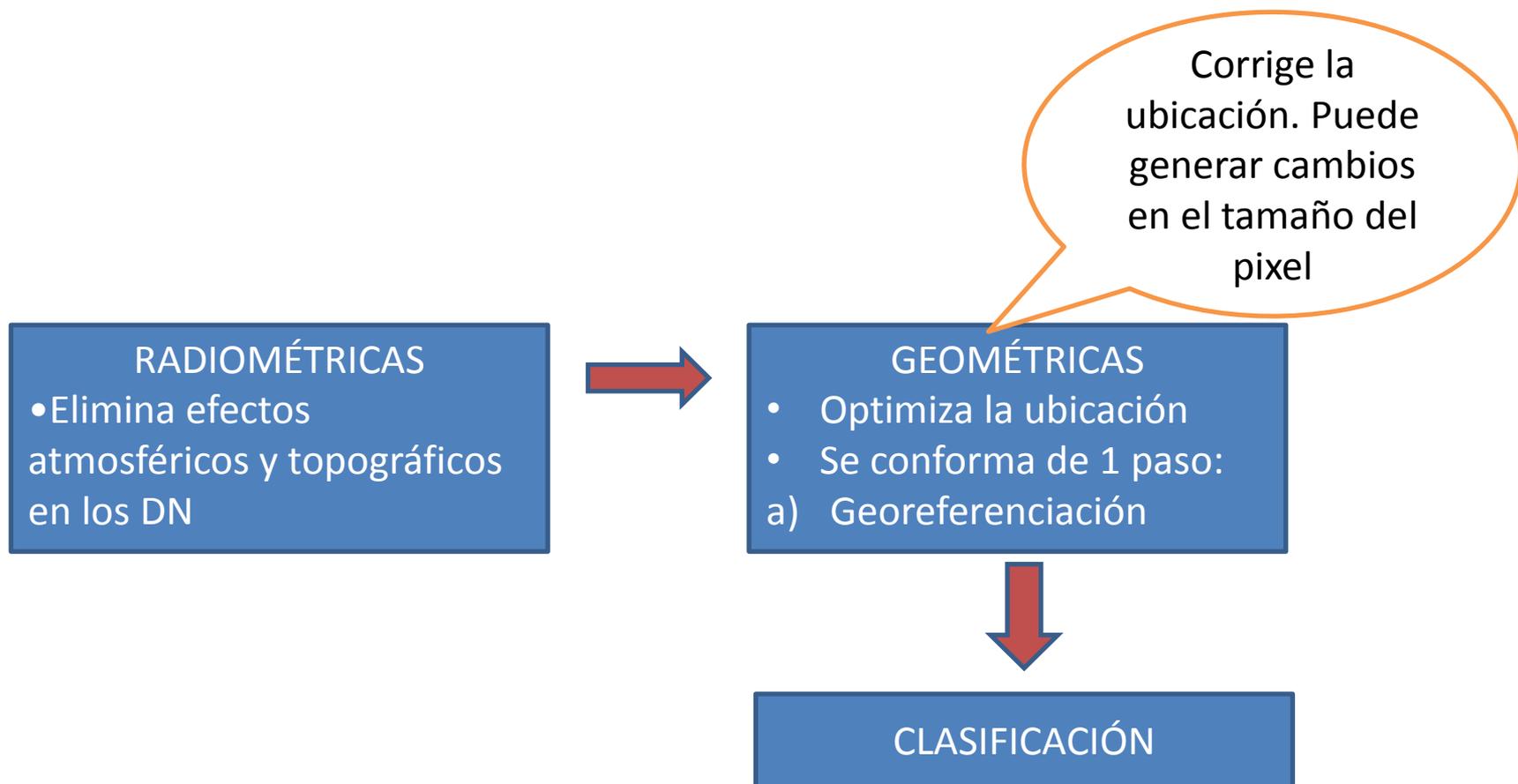
# RESOLUCIÓN RADIOMÉTRICA

- Hace referencia a la sensibilidad del sensor
- La radiancia recibida por el sensor se almacena como una señal eléctrica conocida como número digital o digital number (DN)
- Entre mayor sea el número en los que puede convertirse una señal eléctrica, mayor será la resolución radiométrica
- Una imagen de 8 bits =  $2^8 = 256$  niveles (0 a 255)

# RESOLUCIÓN TEMPORAL

- Frecuencia de cobertura que proporciona el sensor
- Esta en función de las características orbitales (altura, velocidad e inclinación)
  
- Meteosat: 30 min
- LandSat: 16 días
- SPOT: 26 días

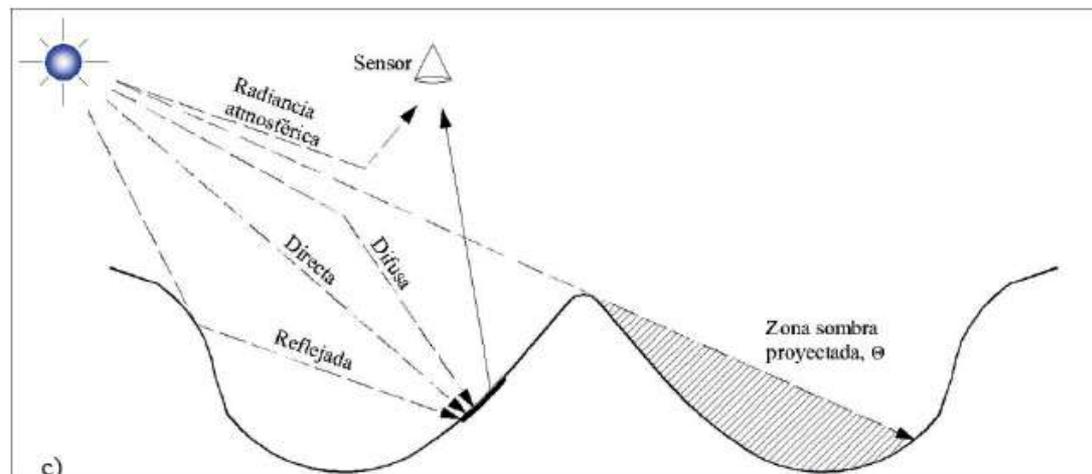
# Secuencia recomendada de corrección

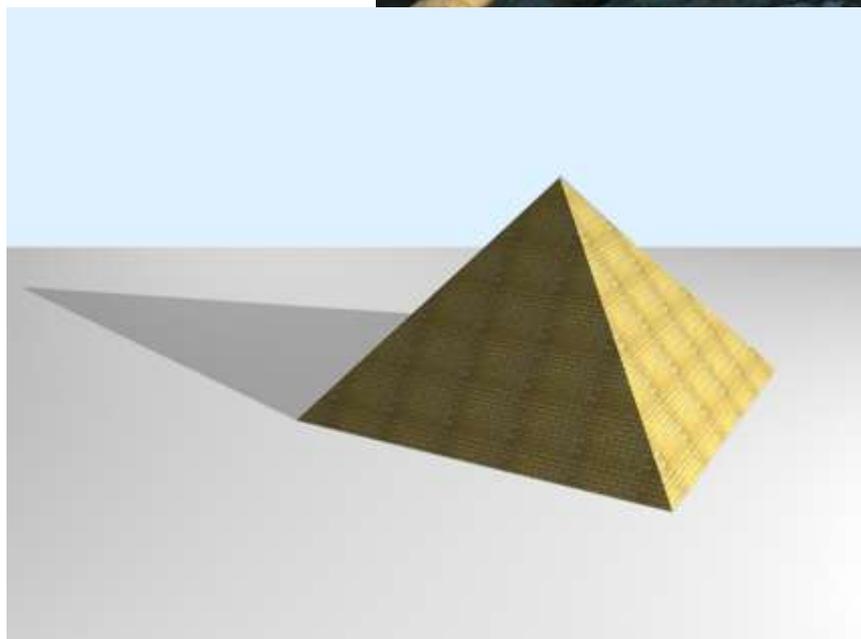


# Secuencia recomendada de corrección radiométrica

Se conforma de varios pasos:

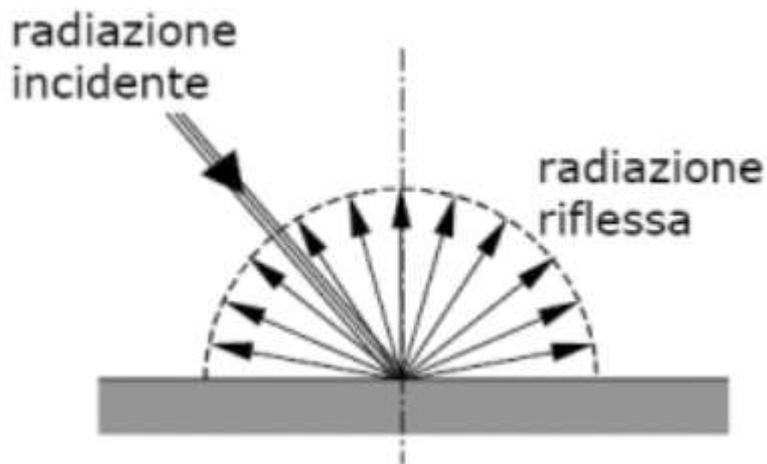
OBLIGATORIOS	a) DN a radiancia
	b) radiancia a reflectancia
	c) Eliminar sombras topograficas
OPCIONALES	a) Conservación de temperatura de brillo
	b) Corrección de bandeo
	c) Relleno de pixeles no registrados



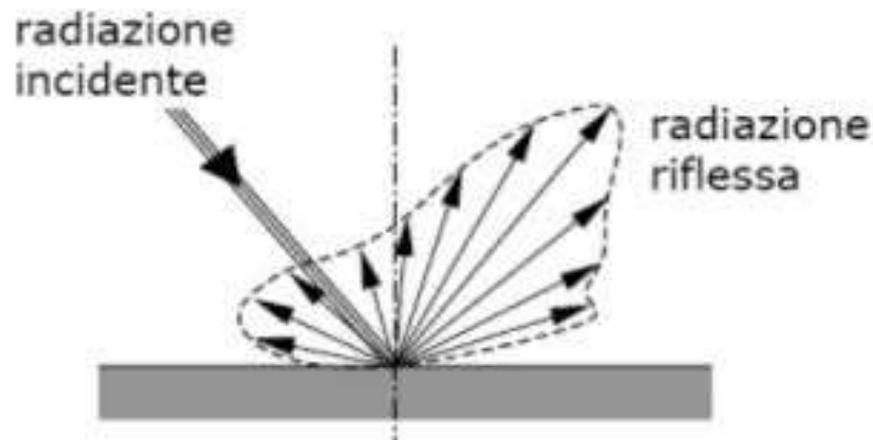


# Corrección topográfica

Superficies Lambertianas



Superficies No-Lambertianas



Esto es lo que ocurre en la naturaleza



Corrección del coeficiente C  
(Teillet *et al.*, 1982)

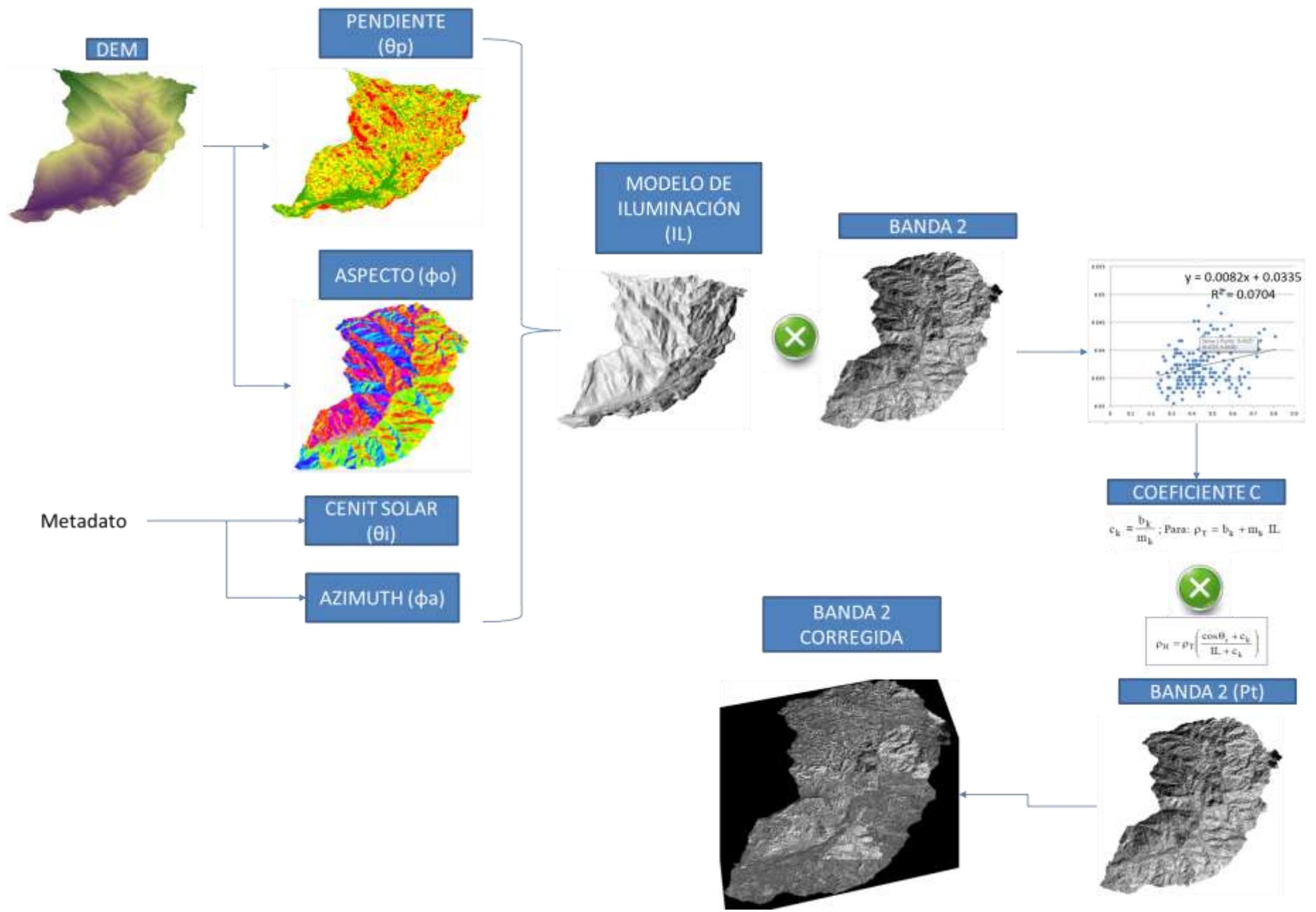
# Corrección topográfica

- Fundamento teórico: Disminuir la correlación existente entre la iluminación y el DN de cada banda de interés para que así la variación del DN se deba a la respuesta de la radiación sobre el terreno y no al aporte de la fuente de iluminación.
- Fundamento matemático: Regresión lineal simple (García, 2006; Riaño, 2000)

- La metodología se validó durante el período de noviembre 2014 a noviembre 2015
- 6 subcuencas ( $> 400 \text{ km}^2$ ) y 1 microcuenca ( $<70 \text{ km}^2$ ) en Chiapas
- Imágenes SPOT 5 y LandSat8.

\*\*\* Es de aplicación nacional, regional y local, para cualquier zona montañosa con topografía accidentada\*\*\*

$$IL = \cos \gamma_i = \cos \theta_p \cos \theta_s + \sin \theta_p \sin \theta_s \cos(\phi_a - \phi_s)$$



$$IL = \cos \gamma_i = \cos \theta_p \cos \theta_i + \text{sen} \theta_p \text{sen} \theta_i \cos(\phi_a - \phi_o)$$

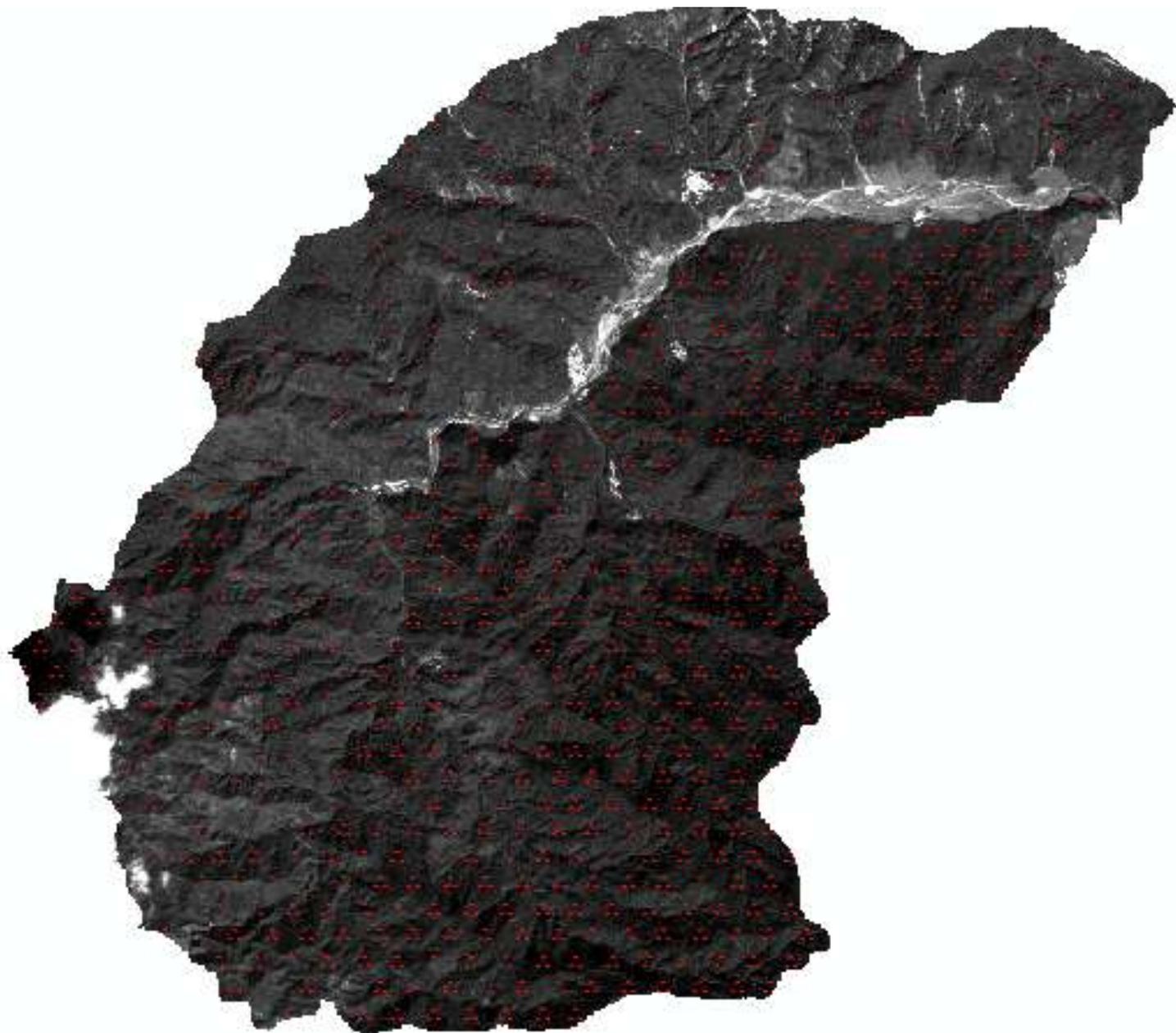
Donde:

$\theta_p$  = pendiente del terreno: La inclinación del terreno con respecto a la horizontal.

$\theta_i$  = ángulo cenital solar: El ángulo complementario de la elevación solar.

$\phi_a$  = ángulo azimutal solar: La dirección del sol con respecto al norte.

$\phi_o$  = ángulo de orientación: El ángulo existente entre el vector que señala el norte y la proyección sobre el plano horizontal del vector normal a la superficie en ese punto.



**SAGARPA**  
SECRETARÍA DE AGRICULTURA,  
GANADERÍA, DESARROLLO RURAL,  
PESCA Y ALIMENTACIÓN



  
ANIVERSARIO

Líder en ciencia y tecnología para el campo mexicano

```

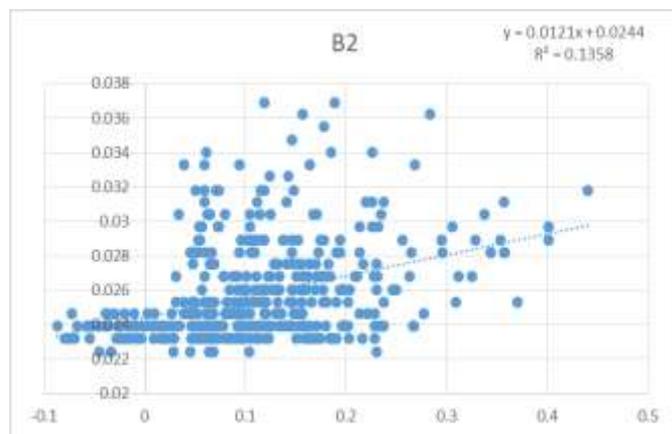
: ENVI ASCII output of file: C:\TOPOGRAFIA\2IL_SUBSET.TIF [wed oct 21 19:06:05 2015]
: File Dimensions: 28 samples x 32 lines x 2 bands
: Line Format      : (28f14.4)
:

```

```

99999.0000  99999.0000  99999.0000  99999.0000  99999.0000  99999.0000
99999.0000  99999.0000  99999.0000  99999.0000  99999.0000  99999.0000
99999.0000  99999.0000  99999.0000  99999.0000  99999.0000  0.0268
99999.0000  99999.0000  99999.0000  99999.0000  99999.0000  0.0268
99999.0000  99999.0000  99999.0000  99999.0000  99999.0000  0.0268
99999.0000  99999.0000  99999.0000  99999.0000  99999.0000  0.0260
99999.0000  99999.0000  99999.0000  99999.0000  0.0246  0.0268
99999.0000  99999.0000  99999.0000  99999.0000  0.0282  0.0304
99999.0000  99999.0000  99999.0000  99999.0000  0.0289  0.0311
99999.0000  99999.0000  99999.0000  0.0246  0.0253  0.0260
99999.0000  99999.0000  99999.0000  0.0260  0.0275  0.0253
99999.0000  99999.0000  99999.0000  0.0239  0.0260  0.0246
99999.0000  99999.0000  99999.0000  0.0239  0.0239  0.0260
99999.0000  99999.0000  0.0239  0.0239  0.0239  0.0275
99999.0000  99999.0000  0.0232  0.0232  0.0239  0.0239
99999.0000  99999.0000  0.0232  0.0239  0.0232  0.0246
99999.0000  0.0246  0.0232  0.0239  0.0224  0.0246
99999.0000  0.0253  0.0232  0.0246  0.0239  0.0239
99999.0000  0.0253  0.0239  0.0246  0.0239  0.0232
99999.0000  0.0239  0.0232  0.0232  0.0239  0.0232
0.0246  0.0232  0.0232  0.0232  0.0239  0.0239
0.0239  0.0239  0.0232  0.0232  0.0239  0.0253
0.0232  0.0239  0.0239  0.0253  0.0246  0.0246
99999.0000  0.0253  0.0268  0.0297  0.0275  0.0246
99999.0000  0.0246  0.0268  0.0289  0.0275  0.0260
99999.0000  99999.0000  0.0282  0.0268  0.0253  0.0253
99999.0000  99999.0000  0.0260  0.0282  0.0289  0.0297
99999.0000  99999.0000  99999.0000  0.0311  0.0304  0.0333
99999.0000  99999.0000  99999.0000  0.0311  0.0289  0.0297
99999.0000  99999.0000  99999.0000  99999.0000  0.0246  0.0268
99999.0000  99999.0000  99999.0000  99999.0000  0.0253  0.0289
99999.0000  99999.0000  99999.0000  99999.0000  99999.0000  0.0318  99
99999.0000  99999.0000  99999.0000  99999.0000  99999.0000  99999.0000
99999.0000  99999.0000  99999.0000  99999.0000  99999.0000  99999.0000

```



Parámetro “ck” es el cociente entre la pendiente ( $b_k$ ) y el término independiente ( $m_k$ ) de la ecuación de regresión entre la  $p_T$  y la IL.

$$c_k = \frac{b_k}{m_k}; \text{ Para: } \rho_T = b_k + m_k \text{ IL}$$

$$\rho_H = \rho_T \left( \frac{\cos \theta_i + c_k}{\text{IL} + c_k} \right)$$

Se mejora la clasificación entre **40-50%** con respecto a imágenes clasificadas sin corrección topográfica.

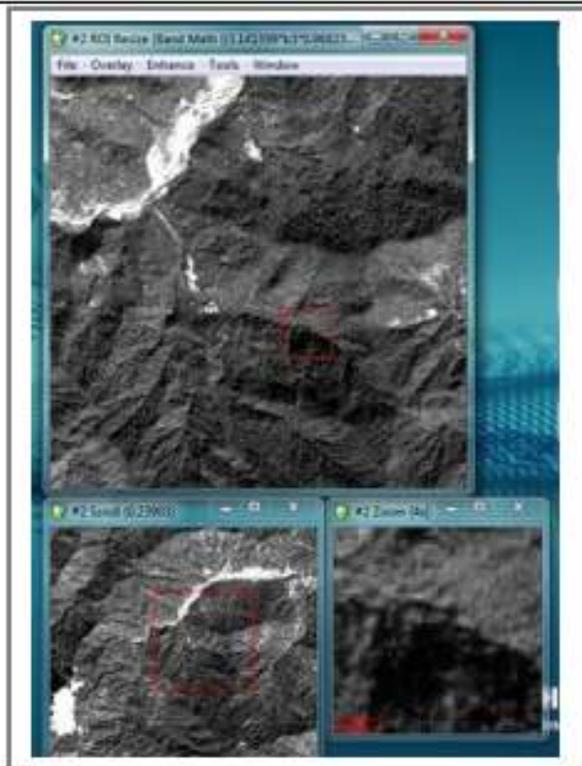


Imagen de zona con topografía accidentada sin ninguna corrección.

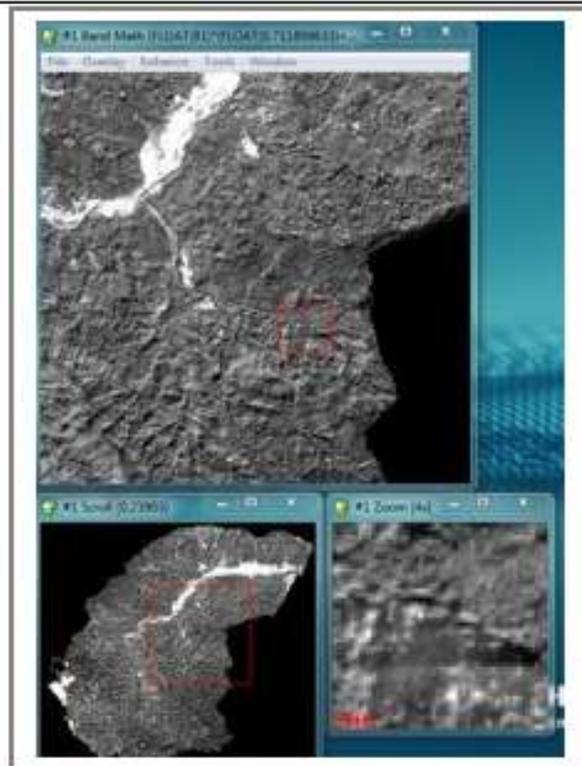


Imagen de zona con topografía accidentada con correcciones.

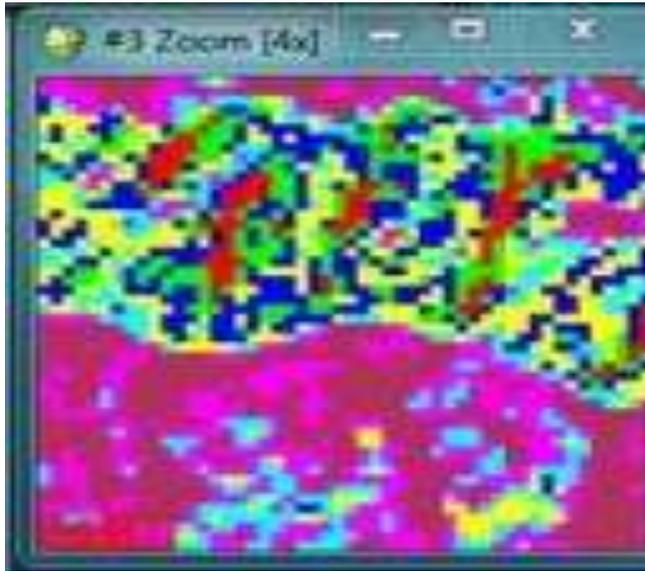


Imagen clasificada donde **no** se aplicó el método. Se observa una marcada diferencia en la clasificación vegetal de ambas laderas.

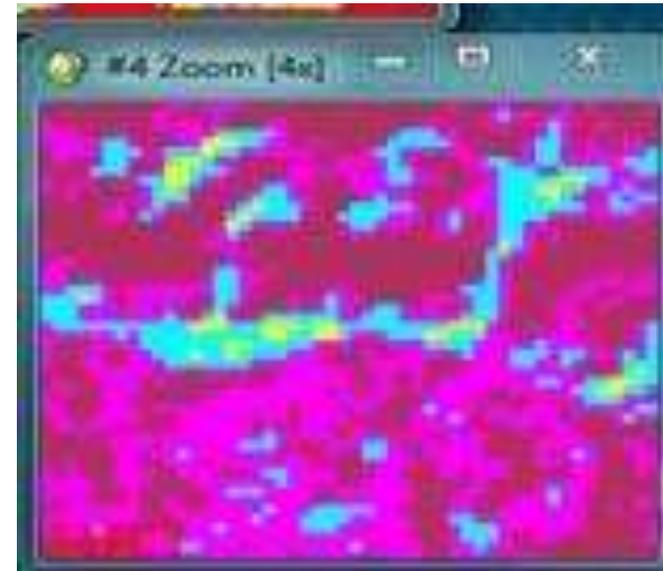


Imagen clasificada de la donde se aplicó el método de corrección. Se observa una clasificación vegetal mas homogénea en ambas laderas.

por M.C. Itzel Castro Mendoza  
[castro.itzel@inifap.gob.mx](mailto:castro.itzel@inifap.gob.mx)  
01800 088 2222 ext. 86305