

# Corrección topográfica de la imagen para mejorar las clasificaciones en zonas montañosas. Modelos y métodos.

I Jornada de Corrección Topográfica de Imágenes  
de Satélite

*Campus de Mieres. Universidad de Oviedo. 17 de diciembre de 2009.*



**Universidad de Oviedo**  
La Universidad de Asturias



**Universidad  
de Alcalá**



Red Nacional de Teledetección Ambiental.  
Asociación Española de Teledetección (AET)

# Índice

1. Introducción al problema. El cociente  $\tau$ .
2. Vectores y ángulos involucrados en la radiancia detectada por el sensor:
  - a) El vector gradiente topográfico,  $\vec{g}$
  - b) El vector solar,  $\vec{s}$
  - c) El vector de observación,  $\vec{e}$
  - d) El ángulo  $i$  y el  $\cos i$
  - e) El ángulo  $e$  y el  $\cos e$
3. Tipos de superficie y modelos de radiancia. Fórmulas para  $\tau$ .
  - a) Superficies lambertianas. Método del coseno.
  - c) *Variaciones*: Método empírico-estadístico. Corrección C.
  - b) Superficies no lambertianas. Modelos de Minnaert.

#### 4. Corrección topográfica. Proceso operativo:

- a) Visualización del problema: Imagen óptica, MDE y datos solares.
- b) Imágenes derivadas del MDE:  $\rho_x$ ,  $\rho_y$  y  $\cos e$
- c) Imagen obtenida del MDE y de los datos solares:  $\cos i$
- d) Obtención de la constante  $k$  de Minnaert para cada banda de la imagen.
- e) Cálculo del cociente  $\tau$  para cada banda de la imagen.
- f) Corrección topográfica de cada banda:

$$ND_{\text{corregido}} = ND_{\text{observado}} \cdot \tau$$

- g) Comprobación visual de los resultados.

# 1. Introducción al problema. El cociente $\tau$

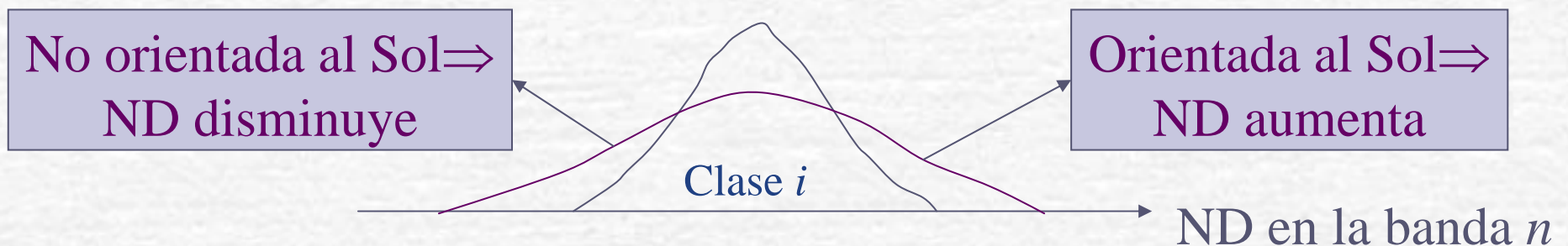
## Clasificación digital:

Cada cubierta  $\Rightarrow$  un rango determinado de ND en cada banda



## Pero en zonas montañosas:

Cada cubierta amplía su rango de ND, ya que éste valor no sólo depende de la cubierta, sino también de su orientación al Sol.



- **PROBLEMA**: Los resultados de la clasificación son pobres.

## SOLUCIÓN:

En **zonas montañosas**, previamente a la clasificación, ha de realizarse la **corrección topográfica de la imagen**  $\Rightarrow$

*Homogeneizar el valor de ND entre las zonas más y menos iluminadas, "aplanando" la superficie:  $ND(+☀) \downarrow$  y  $ND(-☀) \uparrow$*

*Una forma de hacerlo  $\rightarrow$  El cociente  $\tau = \frac{L_H}{L_I} \alpha \frac{ND_H}{ND_I}$*

$L_I$  es la radiancia recibida por el sensor de una superficie inclinada y  $L_H$  la que recibiría de la correspondiente superficie horizontal proyectada.

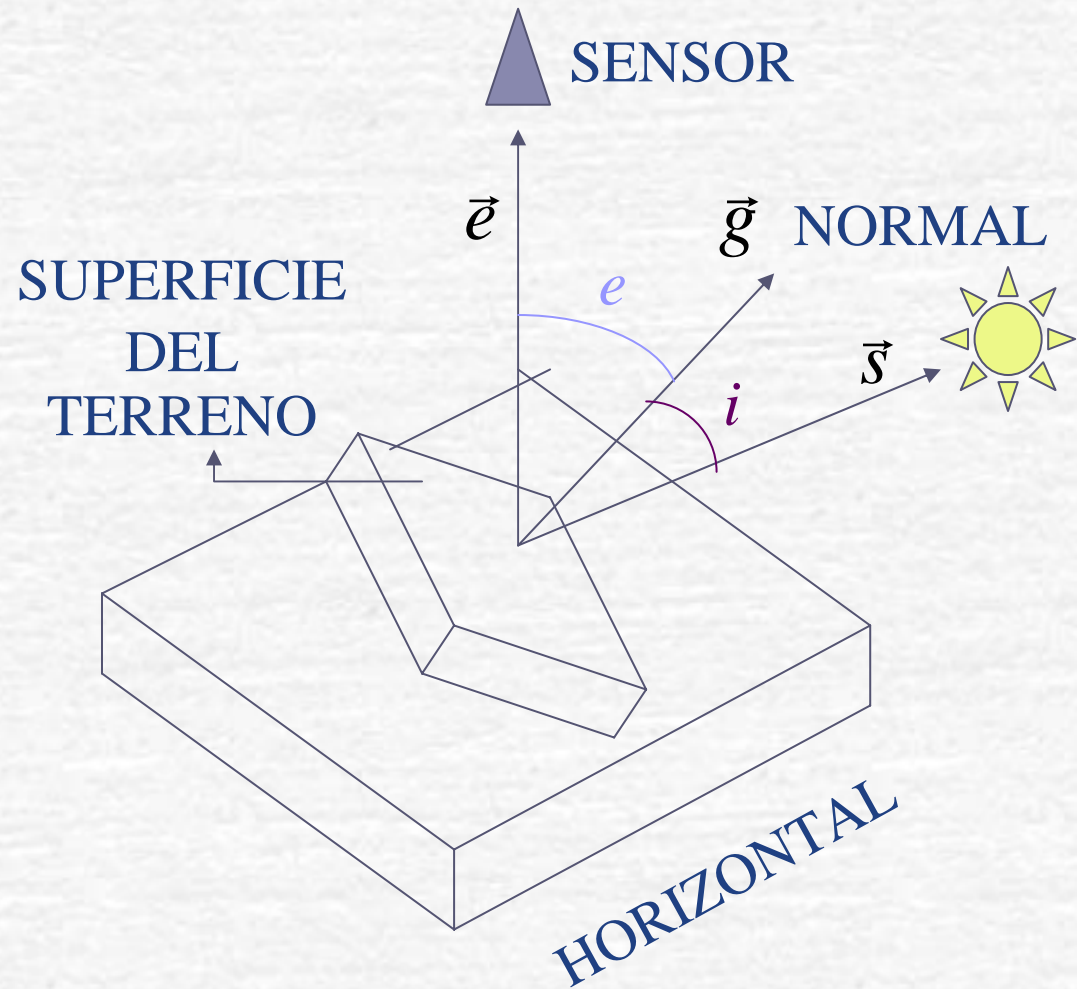
Corrección:  $ND_{\text{corregido}} = ND_{\text{observado}} \cdot \tau$

Casos:

- $\curvearrowright$  Zona orientada al Sol  $\Rightarrow L_I > L_H \Rightarrow \tau < 1 \Rightarrow ND_{\text{corregido}} < ND_{\text{observado}}$
- $\curvearrowright$  Zona no orient.al Sol  $\Rightarrow L_I < L_H \Rightarrow \tau > 1 \Rightarrow ND_{\text{corregido}} > ND_{\text{observado}}$
- $\curvearrowright$  Zona horizontal  $\Rightarrow L_I = L_H \Rightarrow \tau = 1 \Rightarrow ND_{\text{corregido}} = ND_{\text{observado}}$

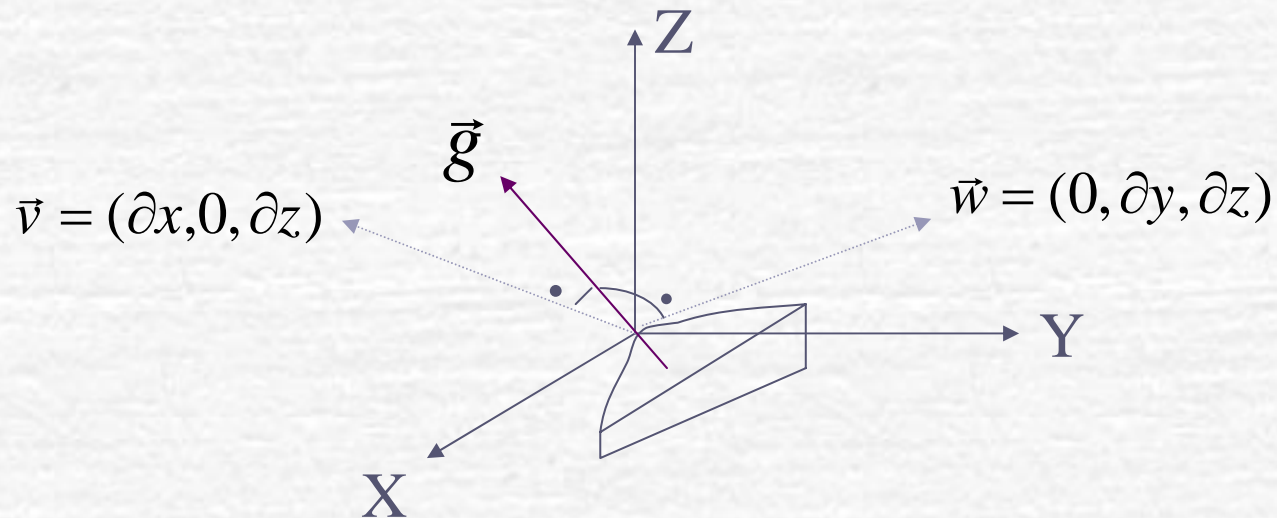
## 2. Vectores y ángulos involucrados en la radiancia detectada por el sensor:

- El vector gradiente topográfico,  $\vec{g}$
- El vector solar,  $\vec{s}$
- El vector de observación,  $\vec{e}$
- El ángulo  $i$
- El ángulo  $e$



## 2a) El vector gradiente topográfico, $\vec{g}$

- Es el vector gradiente de  $z$  en el punto  $(x,y)$ :



$$\vec{g} = \vec{v} \times \vec{w} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \partial x & 0 & \partial z \\ 0 & \partial y & \partial z \end{vmatrix} = \begin{pmatrix} -\partial y \partial z \\ -\partial x \partial z \\ \partial x \partial y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\partial z / \partial x \\ -\partial z / \partial y \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -p_x \\ -p_y \\ 1 \end{pmatrix}$$

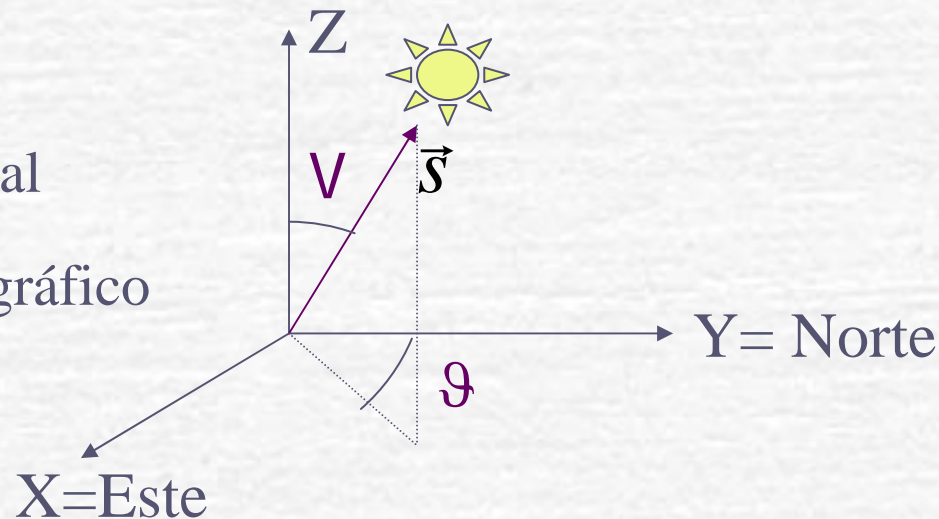
- Define la topografía y es  $\perp$  a la superficie topográfica en el pto  $(x,y)$

## 2b) El vector de iluminación solar, $\vec{s}$

- Define la posición del Sol en el momento de adquisición de la imagen:

$V$  = Ángulo cenital

$\vartheta$  = Acimut topográfico



$$\vec{s} = \begin{pmatrix} s_x \\ s_y \\ s_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} |\vec{s}| \sin V \sin \vartheta \\ |\vec{s}| \sin V \cos \vartheta \\ |\vec{s}| \cos V \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \tan V \sin \vartheta \\ \tan V \cos \vartheta \\ 1 \end{pmatrix}$$

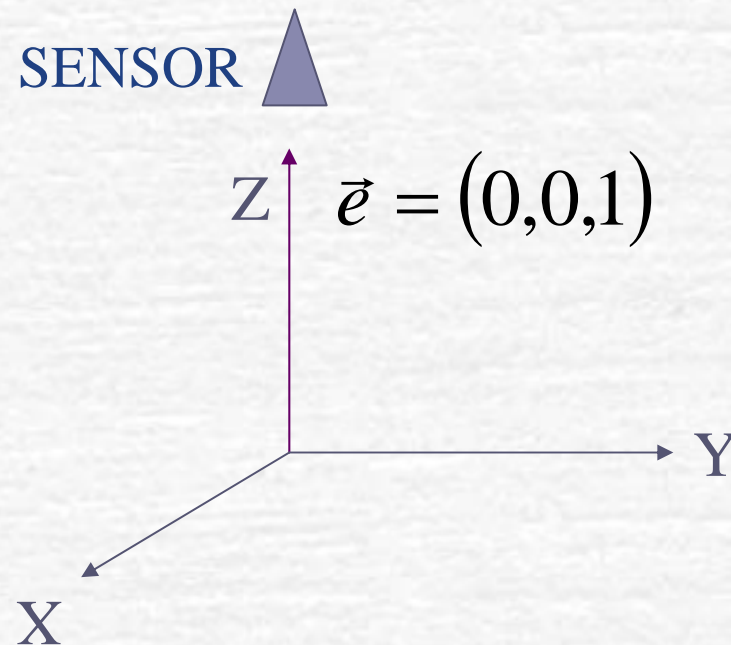
Haciendo  $|\vec{s}| = 1 / \cos V$



## 2c) El vector de observación, $\vec{e}$

- Define la posición del sensor en el momento de toma de la imagen:

*Pero nos ceñiremos a sensores de observación cenital*



## 2d) El ángulo $i$ y el $\cos i$

- El ángulo  $i$  es el formado por  $\vec{g}$  y  $\vec{s}$ :

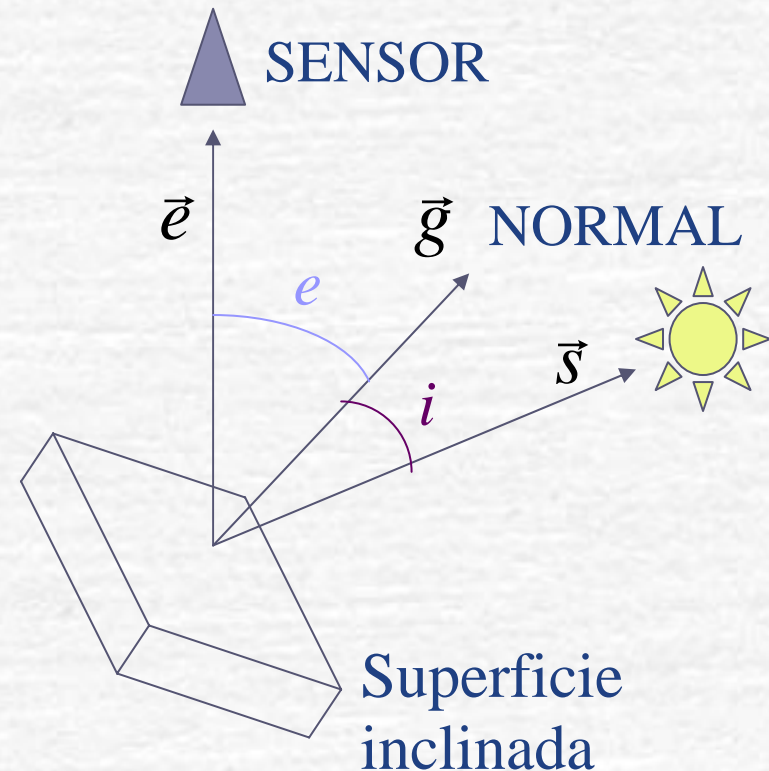
$$\vec{g} \cdot \vec{s} = |\vec{g}| \cdot |\vec{s}| \cdot \cos i$$

- El  $\cos i$  será entonces:

$$\cos i = \frac{1 - p_x s_x - p_y s_y}{\sqrt{1 + p_x^2 + p_y^2} \sqrt{1 + s_x^2 + s_y^2}}$$

Rango de valores:

- Ángulo  $i$  entre  $0^\circ$ - $90^\circ \Rightarrow \cos i$  entre 1 y 0  $\Rightarrow$  La iluminación va decreciendo
- Ángulo  $i$  entre  $90^\circ$ - $180^\circ \Rightarrow \cos i$  es negativo  $\Rightarrow$  No iluminación  $\Rightarrow L=0$



## 2e) El ángulo $e$ y el $\cos e$

- El ángulo  $e$  es el formado por  $\vec{g}$  y  $\vec{e}$ :

$$\vec{g} \cdot \vec{e} = |\vec{g}| \cdot |\vec{e}| \cdot \cos e$$

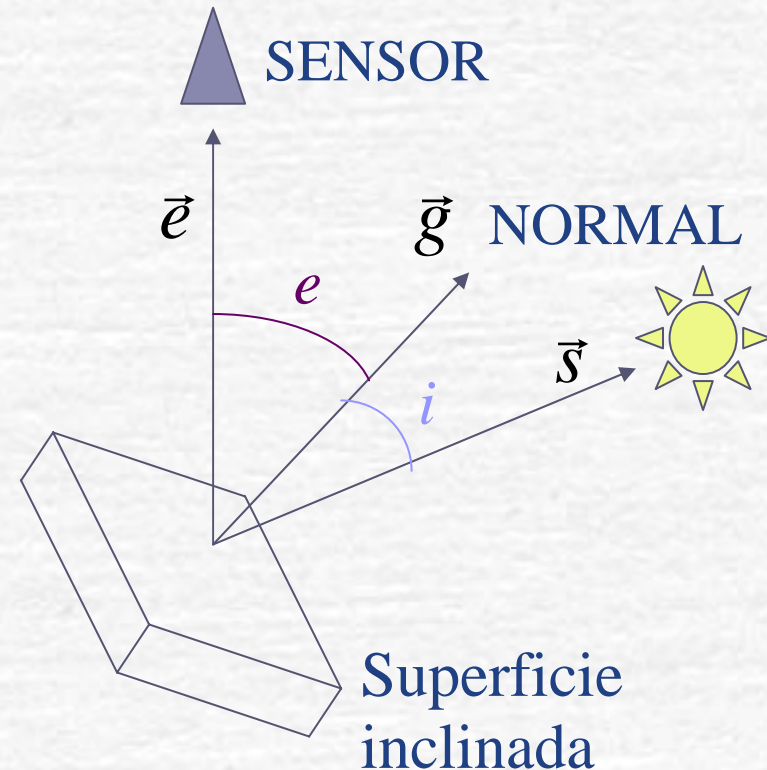
- El  $\cos e$  será para sensor cenital:

$$\cos e = \frac{1}{\sqrt{1 + p_x^2 + p_y^2}}$$

Rango de valores:

- $\cos e$  sólo puede tomar valores entre  $(0,1] \Rightarrow$  Ángulo  $e$  entre  $(90^\circ-0^\circ]$
- En este caso, de sensor cenital, el ángulo  $e$  coincide con el ángulo de pendiente,

$\alpha \Rightarrow p = \operatorname{tg} \alpha$ . Entonces  $\cos e = \cos \alpha$



Para el caso particular de una superficie horizontal:

$p_x = p_y = 0$

$\vec{g} = \vec{e} = (0,0,1)$

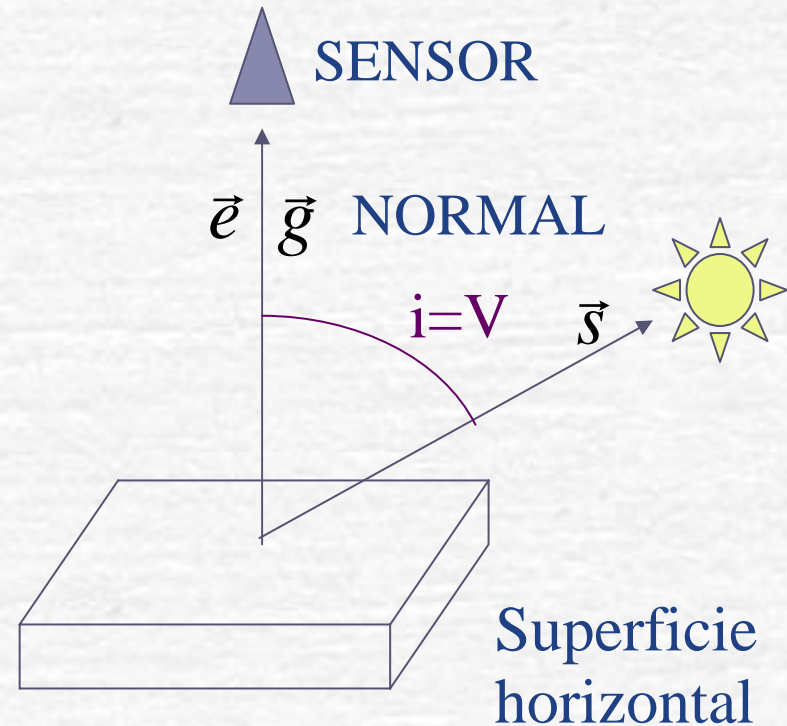
Ángulo  $e = 0^\circ$

Ángulo  $i = \text{Ángulo } V$

El  $\cos i$  será:

$$\cos i = \frac{1}{|\vec{s}|} = \frac{1}{\sqrt{1 + s_x^2 + s_y^2}} = \cos V$$

El  $\cos e$  será:  $\cos e = 1$



### 3. Tipos de superficie y modelos de radiancia. Fórmulas para $\tau$

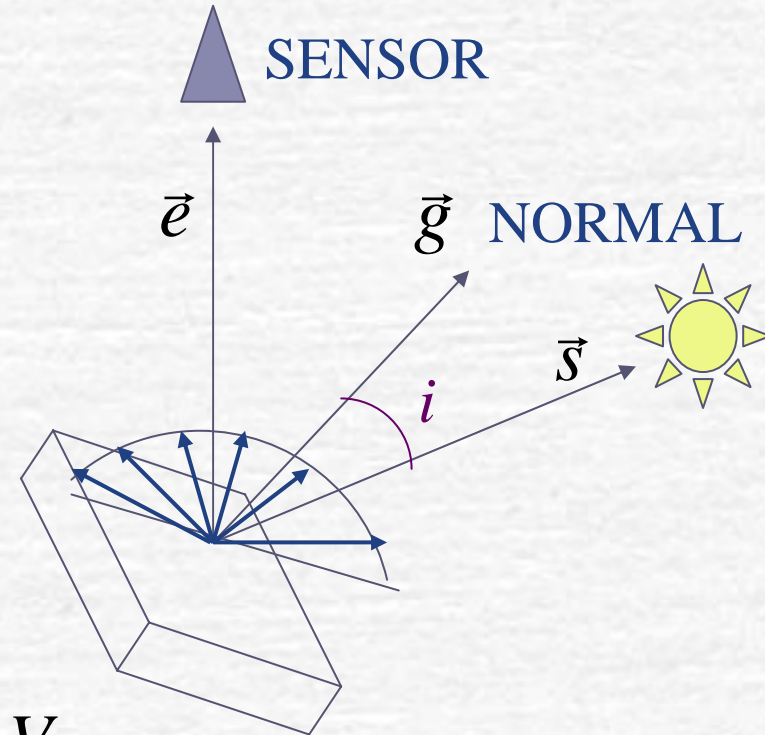
a) Superficies lambertianas:

*dispersan la luz uniformemente en todas las direcciones*

- La radiancia (L) recibida por el sensor se asume que es:

$$L = Cte \cdot \cos i$$

*e independiente de cos e*



- $\tau$  es :  $\tau = \frac{L_H}{L_I} = \frac{(\cos i)_H}{(\cos i)_I} = \frac{\cos V}{(\cos i)_I} \Rightarrow$  **Método del coseno**  
*Teillet et al. (1982), Civco(1989)*

Casos:

- Zona orientada al Sol  $\Rightarrow i_I < V \Rightarrow (\cos i)_I > \cos V \Rightarrow \tau < 1$
- Zona no orient.al Sol  $\Rightarrow i_I > V \Rightarrow (\cos i)_I < \cos V \Rightarrow \tau > 1$
- Zona horizontal  $\Rightarrow i_I = V \Rightarrow (\cos i)_I = \cos V \Rightarrow \tau = 1$

b) Superficies no lambertianas ¿serían no lambertianas?:  
*más realistas, dispersan la luz de forma no uniforme*

- Modelos de radiancia (L) diversos. El modelo de Minnaert (1941)?:

$$L(i, \lambda) = C(\cos i)^{k(\lambda)}$$

donde  $k(\lambda)$  es la constante de Minnaert (entre 0 y 1=caso lambertiano), que puede ser obtenida de la propia imagen (una para cada banda o  $\lambda$ ) convirtiendo en lineal la ecuación anterior:

$$L = C(\cos i)^k$$

$$\ln(L) = \ln C + k \cdot \ln(\cos i)$$

donde  $L_\lambda \propto ND_\lambda$

- $\tau$  para cada banda sería:

$$\tau = \frac{L_H}{L_I} = \frac{L(i_H, \lambda)}{L(i_I, \lambda)} = \frac{(\cos i)_H^k}{(\cos i)_I^k} = \frac{\left(\frac{1}{\sqrt{1+s_x^2+s_y^2}}\right)^k}{\left(\frac{1-p_x s_x - p_y s_y}{\sqrt{1+p_x^2+p_y^2} \sqrt{1+s_x^2+s_y^2}}\right)^k} = \left(\frac{\cos V}{\cos i}\right)^k$$

b) Superficies no lambertianas:

*más realistas, dispersan la luz de forma no uniforme*

- Modelos de radiancia (L) diversos. El modelo de Minnaert:

$$L(i, e, \lambda) = C(\cos i)^{k(\lambda)} (\cos e)^{k(\lambda)-1}$$

donde  $k(\lambda)$  es la constante de Minnaert (entre 0 y 1=caso lambertiano), que puede ser obtenida de la propia imagen (una para cada banda o  $\lambda$ ) convirtiendo en lineal la ecuación anterior:

$$L \cos e = C(\cos i)^k (\cos e)^k$$

$$\ln(L \cdot \cos e) = \ln C + k \cdot \ln(\cos i \cdot \cos e) \quad \text{donde } L_\lambda \propto ND_\lambda$$

- $\tau$  para cada banda sería:

$$\tau = \frac{L_H}{L_I} = \frac{L(i_H, 0, \lambda)}{L(i_I, e, \lambda)} = \frac{(\cos i)_H^k}{(\cos i)_I^k (\cos e)^{k-1}} = \frac{\left(\frac{1}{\sqrt{1+s_x^2+s_y^2}}\right)^k}{\left(\frac{1-p_x s_x - p_y s_y}{\sqrt{1+p_x^2+p_y^2} \sqrt{1+s_x^2+s_y^2}}\right)^k \left(\frac{1}{\sqrt{1+p_x^2+p_y^2}}\right)^{k-1}}$$

c) Variaciones al modelo del coseno:

Método empírico-estadístico: (Teillet *et al.*, 1982)

$$L(i, \lambda) = b_{\lambda} + m_{\lambda} \cos i$$

*asume una relación lineal entre la radiancia en cada banda y  $\cos i$ .*

Para una superficie horizontal:

$$L_H = b_{\lambda} + m_{\lambda} \cos V$$

- *La corrección sería entonces (por medio de una resta):*

$$L_H = L_i - m_{\lambda} \cos i + m_{\lambda} \cos V$$

- En este caso no se aplica  $\tau$ , sino una resta a la banda original *donde  $L_{\lambda} \propto ND_{\lambda}$*



c) Variaciones al modelo del coseno:

Corrección C: (Teillet *et al.*, 1982)

$$L(i, \lambda) = b_{\lambda} + m_{\lambda} \cos i$$

*basado también en el método empírico-estadístico.*

Para una superficie horizontal:

$$L_H = b_{\lambda} + m_{\lambda} \cos V$$

- *Pero la corrección sería por medio del cociente  $\tau$ :*

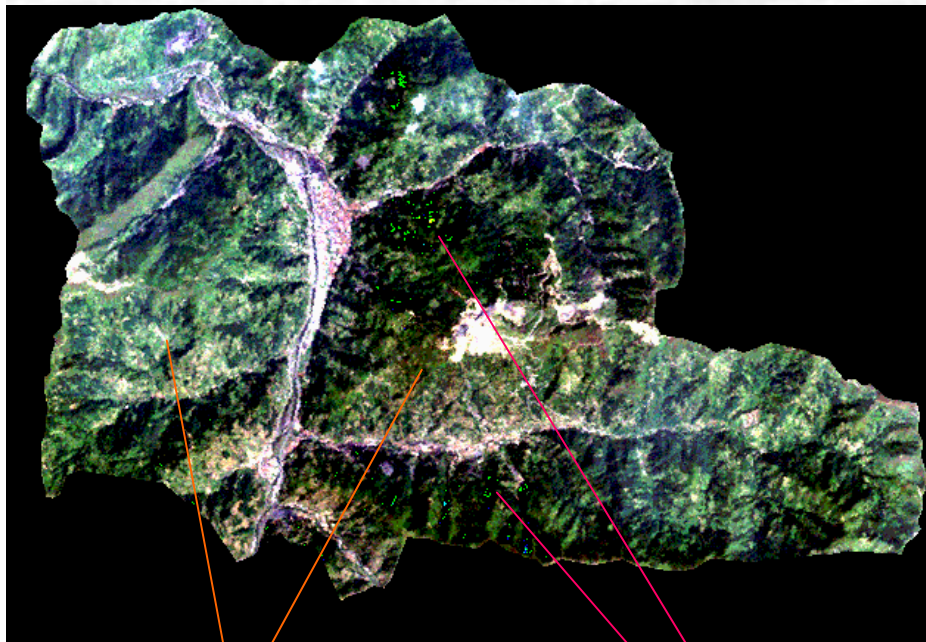
$$\tau = \frac{L_H}{L_I} = \frac{b_{\lambda} + m_{\lambda} \cos V}{b_{\lambda} + m_{\lambda} \cos i} = \frac{\frac{b_{\lambda}}{m_{\lambda}} + \frac{m_{\lambda}}{m_{\lambda}} \cos V}{\frac{b_{\lambda}}{m_{\lambda}} + \frac{m_{\lambda}}{m_{\lambda}} \cos i} = \frac{c_{\lambda} + \cos V}{c_{\lambda} + \cos i}$$

*donde  $c_{\lambda} = b_{\lambda} / m_{\lambda}$*

# 4. Corrección topográfica por el modelo de Minnaert. Proceso operativo

a) Visualización del problema: Imagen óptica, MDE y datos solares (para este ejemplo  $V=43.93^\circ$  y  $\vartheta=141.32^\circ$ )

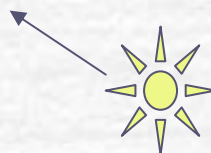
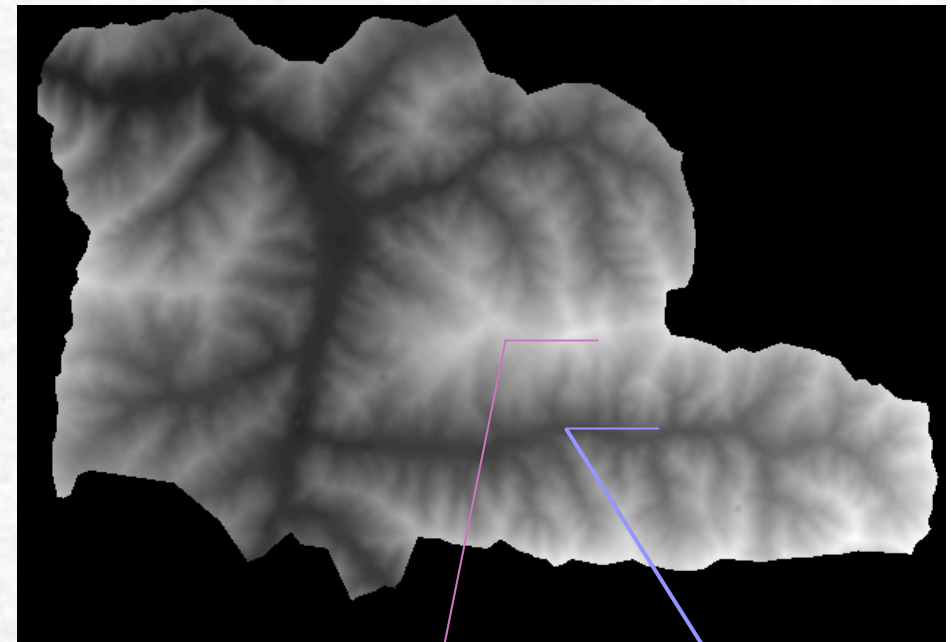
- Imagen Landsat-TM del concejo de Mieres (Composición=color real):



+ iluminación

- iluminación

- MDE correspondiente:



Cumbre

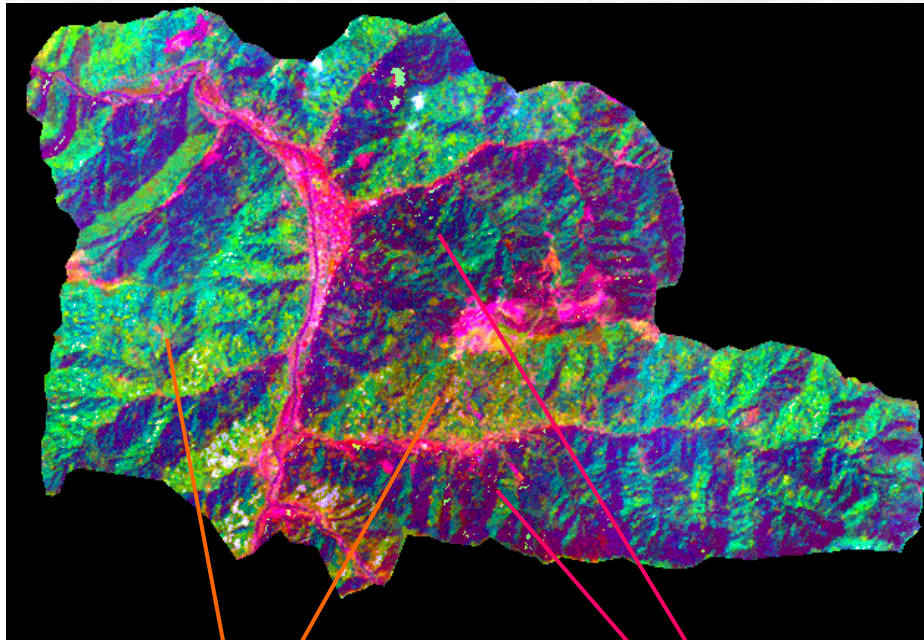
Valle

# 4. Corrección topográfica por el modelo de Minnaert. Proceso operativo

a) Visualización del problema: Imagen óptica, MDE y datos solares (para este ejemplo  $V=43.93^\circ$  y  $\vartheta=141.32^\circ$ )

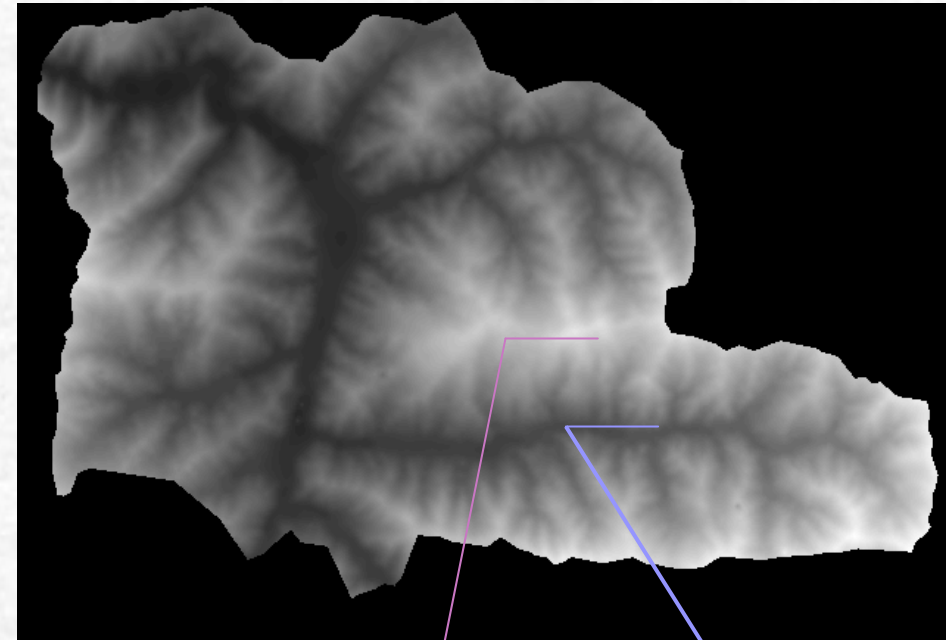
- Imagen Landsat-TM del concejo de Mieres (Composición=C. P.):

- MDE correspondiente:



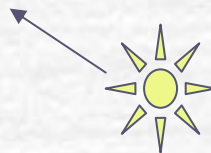
+ iluminación

- iluminación



Cumbre

Valle



## 4b) Imágenes derivadas del MDE: $\rho_x$ , $\rho_y$ y $\cos e$

- Cálculo de la pendiente  $\rho_x$  y  $\rho_y$  de cada punto (x,y) del MDE:

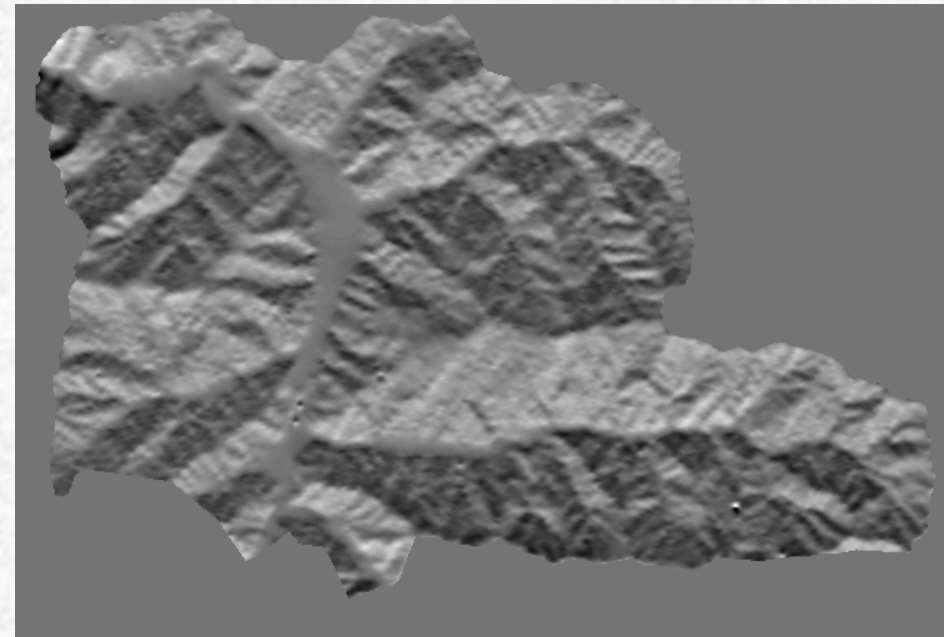
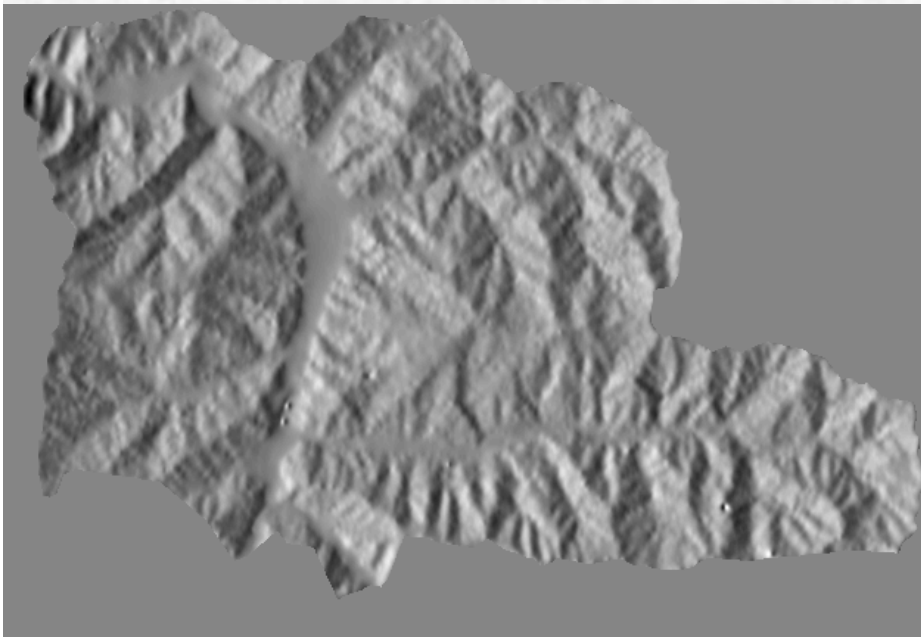
$\rho_x$  = en sentido  $x$  (O→E):

-1/180	0	1/180
-1/180	0	1/180
-1/180	0	1/180

*Filtros*

$\rho_y$  = en sentido  $y$  (S→N):

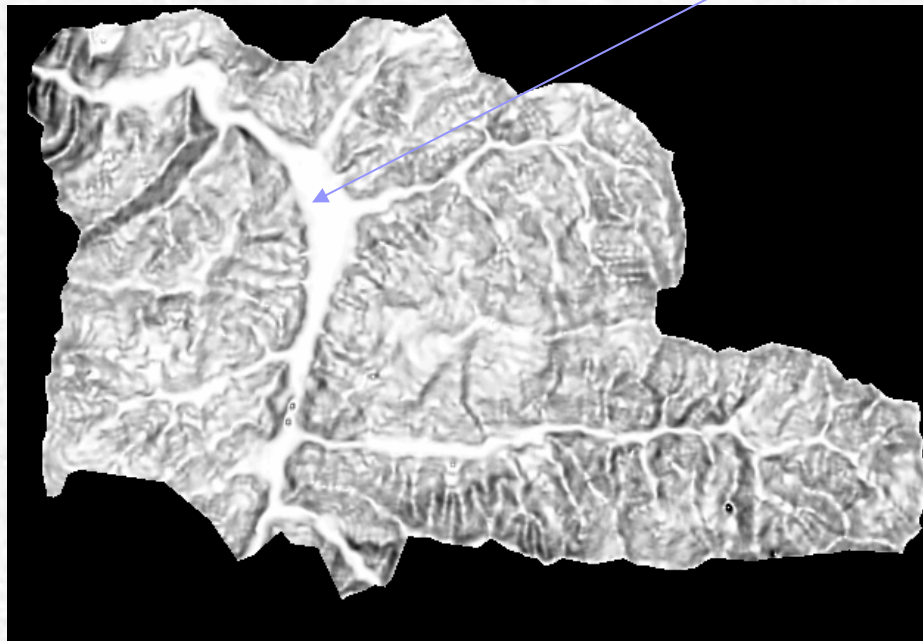
1/180	1/180	1/180
0	0	0
-1/180	-1/180	-1/180



- Obtenidas  $p_x$  y  $p_y$  se calcula  $\cos e$  en cada punto:

$$\cos e = \frac{1}{\sqrt{1 + p_x^2 + p_y^2}}$$

*para una superficie horizontal  $\Rightarrow \cos e = 1$*



## 4c) Imagen obtenida del MDE y de los datos solares: $\cos i$

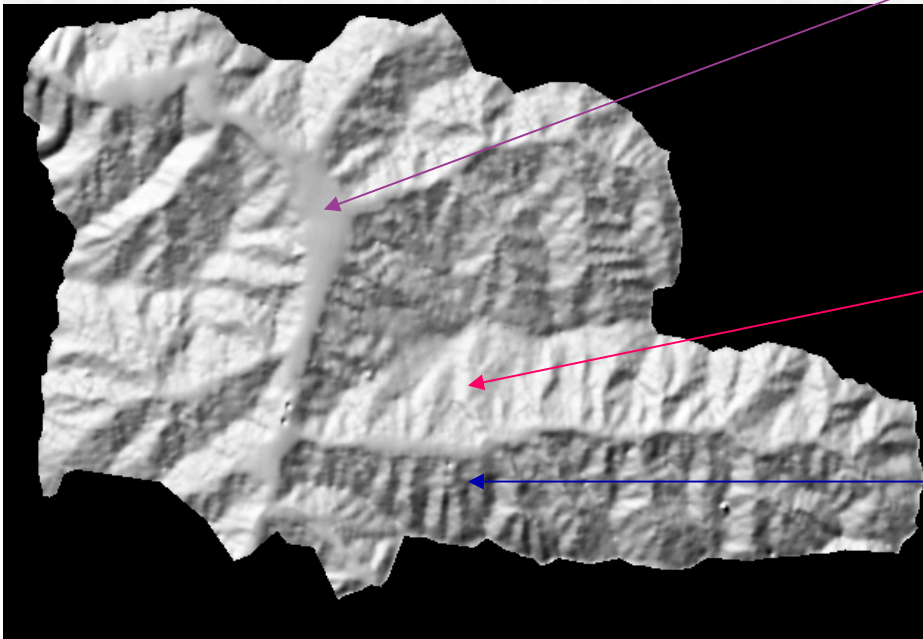
- El cálculo de  $\cos i$  en cada punto requiere  $p_x$  y  $p_y$  (*distintas para cada punto*) y las componentes del vector solar (ctes):

$$\vec{s} = (s_x, s_y, s_z) = (\tan V \sin \vartheta, \tan V \cos \vartheta, 1)$$

$$\cos i = \frac{1 - p_x s_x - p_y s_y}{\sqrt{1 + p_x^2 + p_y^2} \sqrt{1 + s_x^2 + s_y^2}} ;$$

*Para una superficie horizontal:*

$$\cos i = \frac{1}{|\vec{s}|} = \frac{1}{\sqrt{1 + s_x^2 + s_y^2}} = \cos V$$



*Se toman sólo los  $\cos i \geq 0$  ( $i$  entre  $0^\circ$ - $90^\circ$ )*

**Zona orientada al Sol (+ iluminada):**

$\cos i > \cos V$  ya que  $i < V$

**Zona no orient. al Sol (-iluminada):**

$\cos i < \cos V$  ya que  $i > V$

## 4d) Obtención de la constante $k$ de Minnaert para cada banda de la imagen

- Del modelo de Minnaert para  $L$  habíamos obtenido:

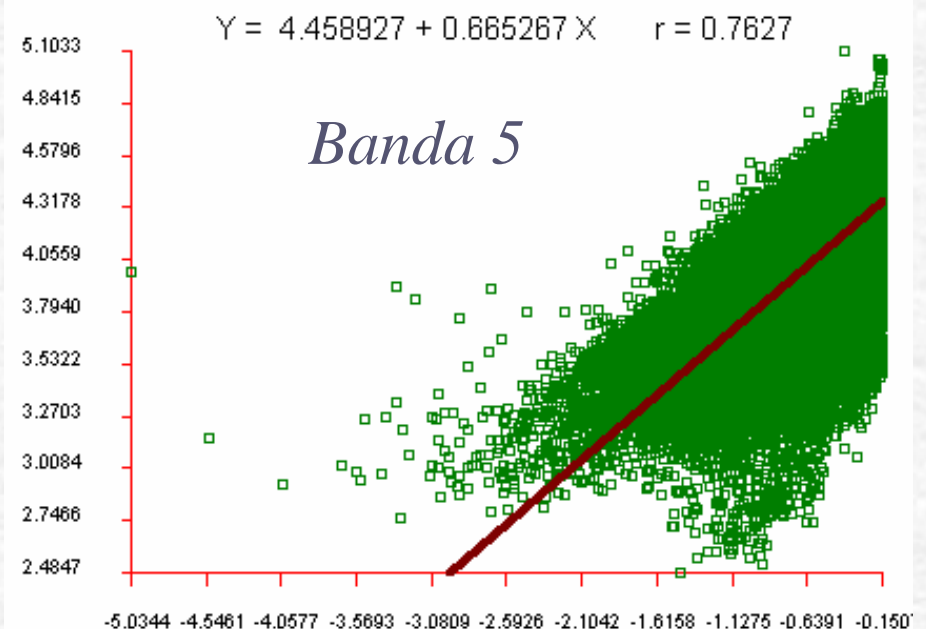
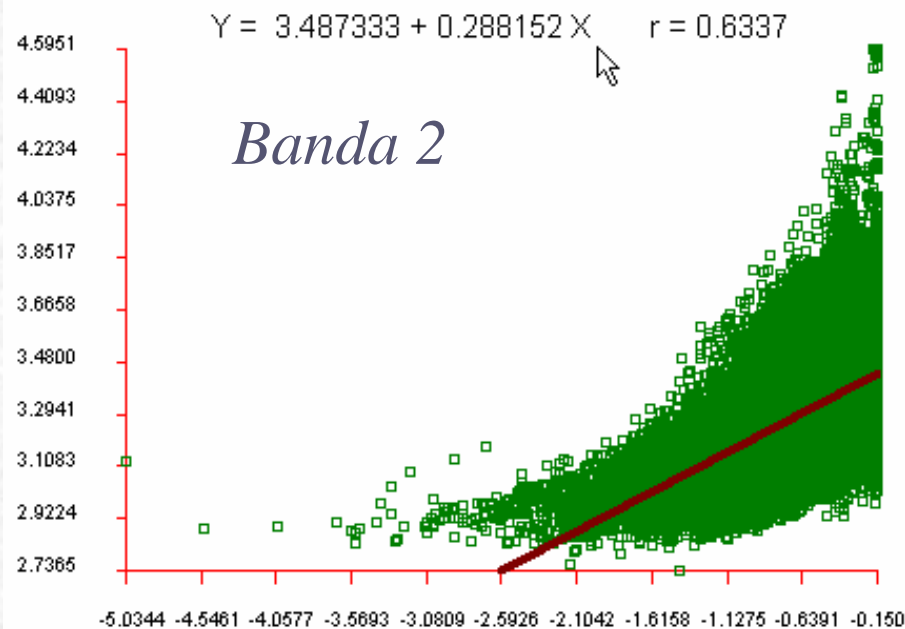
$$\ln(L \cdot \cos e) = \ln C + k \cdot \ln(\cos i \cdot \cos e) \quad \text{donde } L_\lambda \propto ND_\lambda$$

- $k(\lambda)$  es entonces la pendiente del ajuste lineal  $y=b+k \cdot x$ , donde:

$$y_{\text{BANDA } n} = \ln(ND_{\text{BANDA } n} \cdot \cos e) \longrightarrow \text{Se obtiene una } k \text{ (entre 0 y 1) para cada banda de la imagen}$$
$$x = \ln(\cos i \cdot \cos e)$$

*En este ejemplo  $k$  crece con  $\lambda \Rightarrow$  la superficie se hace más lambertiana con  $\lambda$*

$$(k_1 = 0.16, k_2 = 0.29, k_3 = 0.37, k_4 = 0.48, k_5 = 0.67, k_7 = 0.75)$$

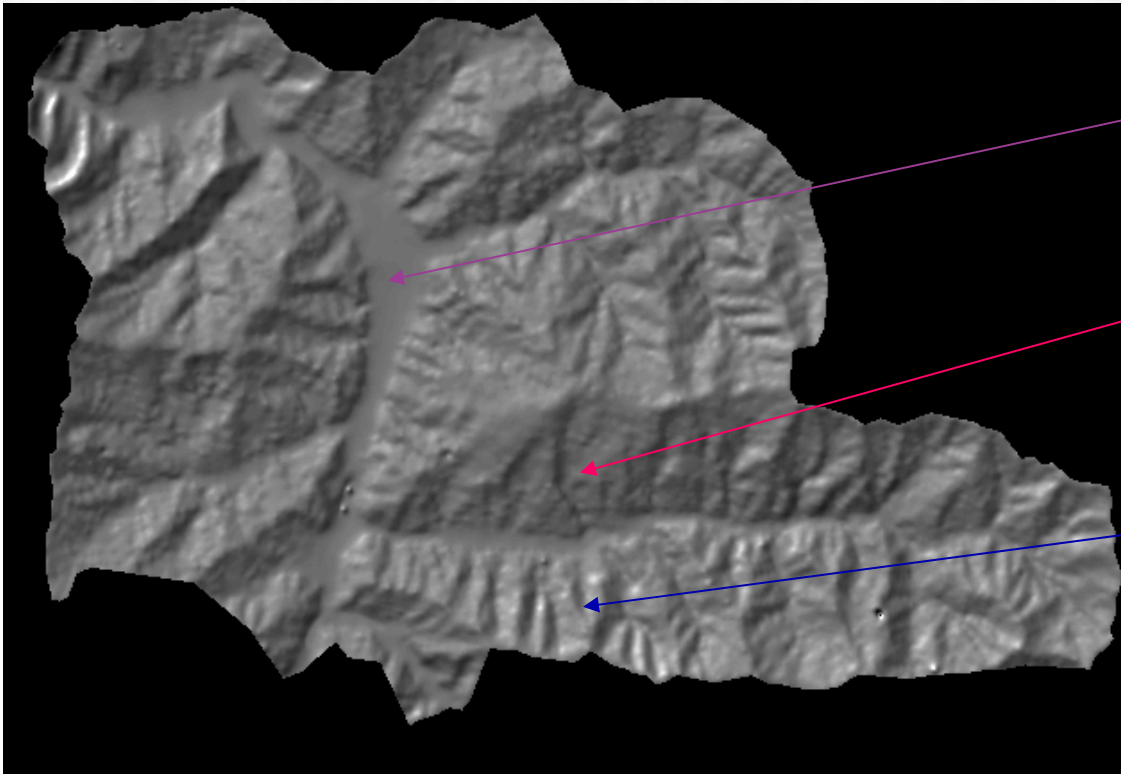


## 4e) Cálculo del cociente $\tau$ para cada banda de la imagen

Obtenida  $k(\lambda)$  para cada banda se calcula  $\tau(x,y)$ :

$$\tau = \frac{L_H}{L_I} = \frac{L(i_H, 0, \lambda)}{L(i_I, e, \lambda)} = \frac{(\cos i)_H^k}{(\cos i)_I^k (\cos e)^{k-1}} = \frac{\left(\frac{1}{\sqrt{1+s_x^2+s_y^2}}\right)^k}{\left(\frac{1-p_x s_x - p_y s_y}{\sqrt{1+p_x^2+p_y^2}\sqrt{1+s_x^2+s_y^2}}\right)^k \left(\frac{1}{\sqrt{1+p_x^2+p_y^2}}\right)^{k-1}}$$

*Ejemplo para la banda 2:*



*Para una superficie horizontal  $\Rightarrow \tau = 1$*

**Zona orientada al Sol (+ iluminada)  $\Rightarrow \tau < 1$**

**Zona no orient. al Sol (- iluminada)  $\Rightarrow \tau > 1$**



## 4f) Corrección topográfica de cada banda de la imagen

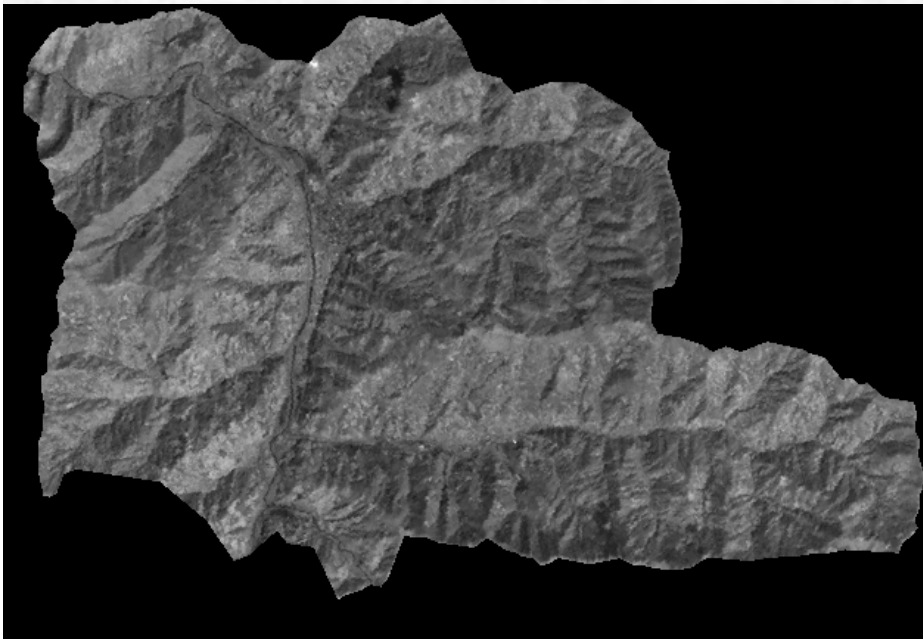
- Obtenido  $\tau(x,y)$  para cada banda, cada una se corrige según:

$$ND_{\text{corregido}} = ND_{\text{observado}} \cdot \tau$$

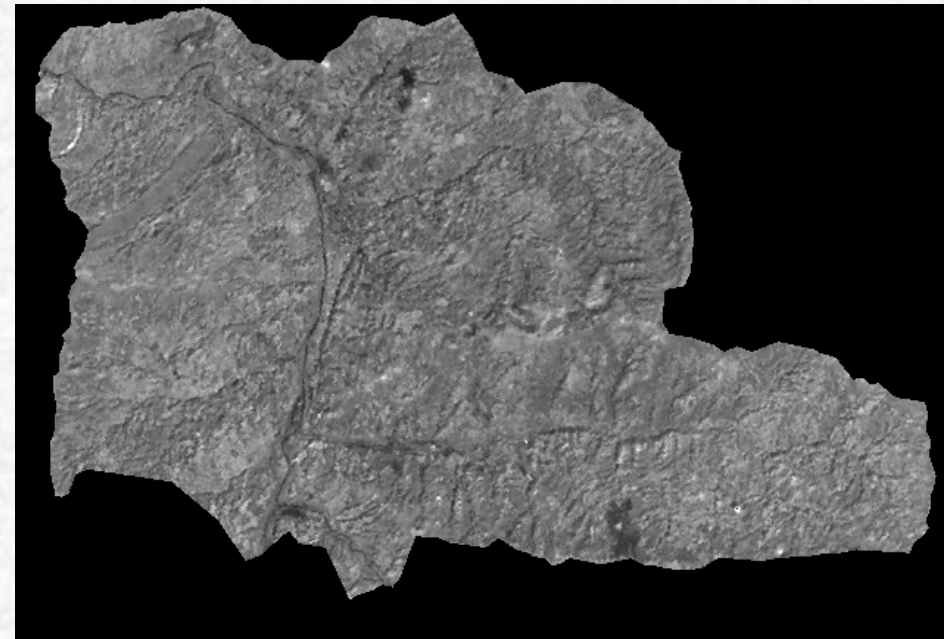
*Se homogeneiza el valor de ND entre las zonas más y menos iluminadas, "aplanando" la superficie:  $ND(+☀) \downarrow$  y  $ND(-☀) \uparrow$*

*Ejemplo para la banda 5:*

*Antes de la corrección:*



*Después de la corrección:*



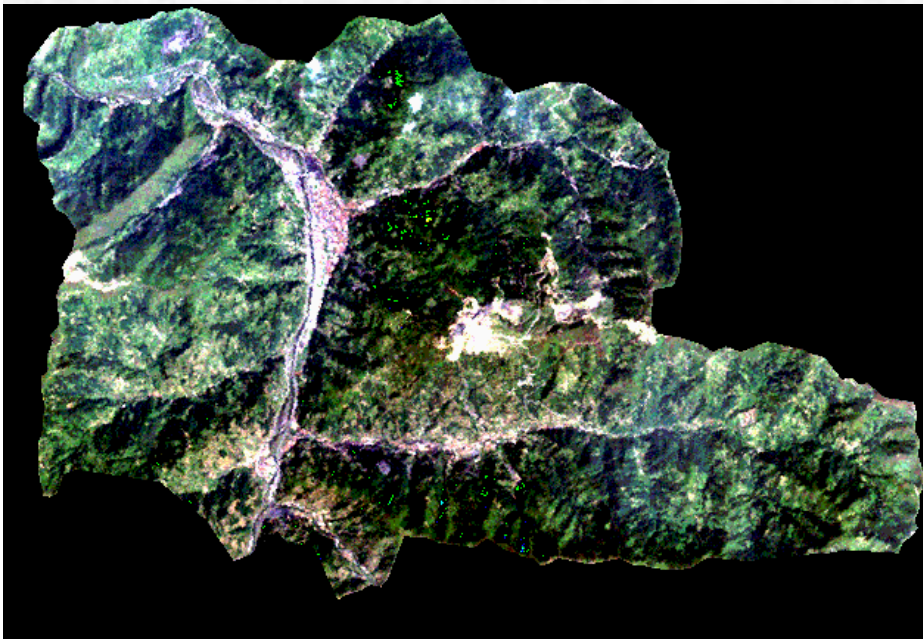
## 4g) Comprobación visual de los resultados

- Se observa finalmente que el problema inicial ha sido corregido, es decir, para cualquier composición en color, la topografía "desaparece" de la imagen

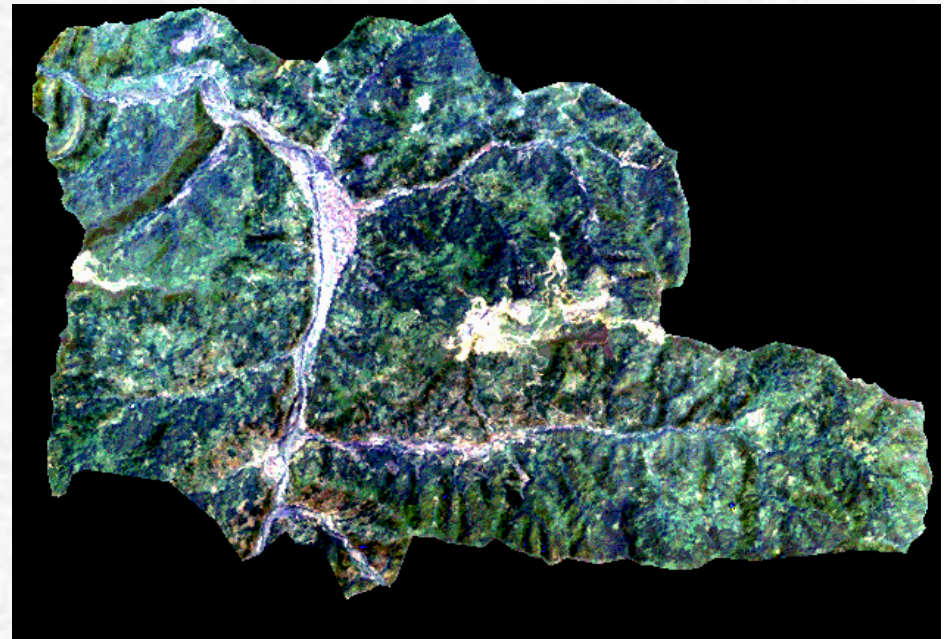
*Ejemplo: Imagen Landsat-TM del concejo de Mieres*

*(Composición = color real; RGB=321)*

*Antes de la corrección:*



*Después de la corrección:*



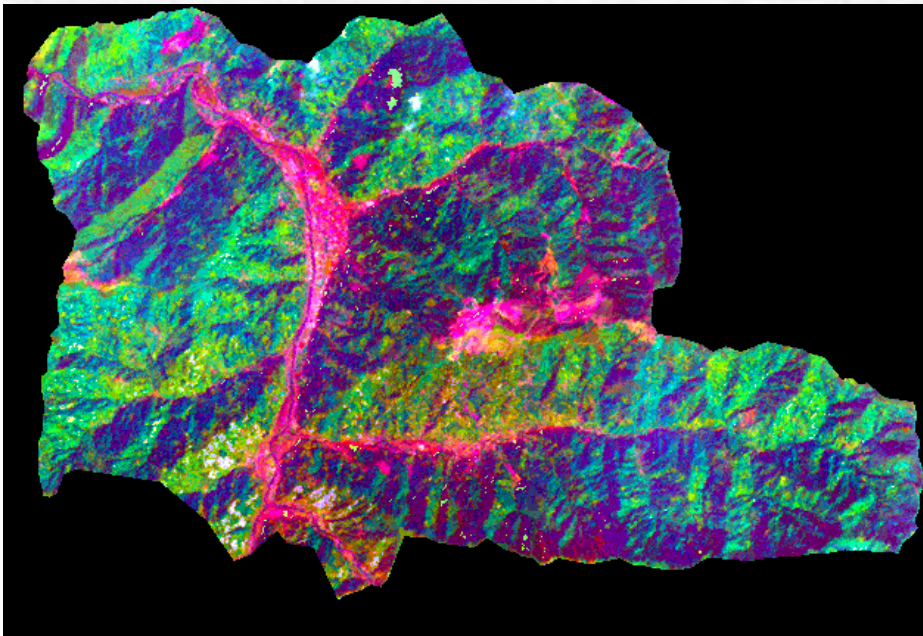
## 4g) Comprobación visual de los resultados

- Se observa finalmente que el problema inicial ha sido corregido, es decir, para cualquier composición en color, la topografía "desaparece" de la imagen

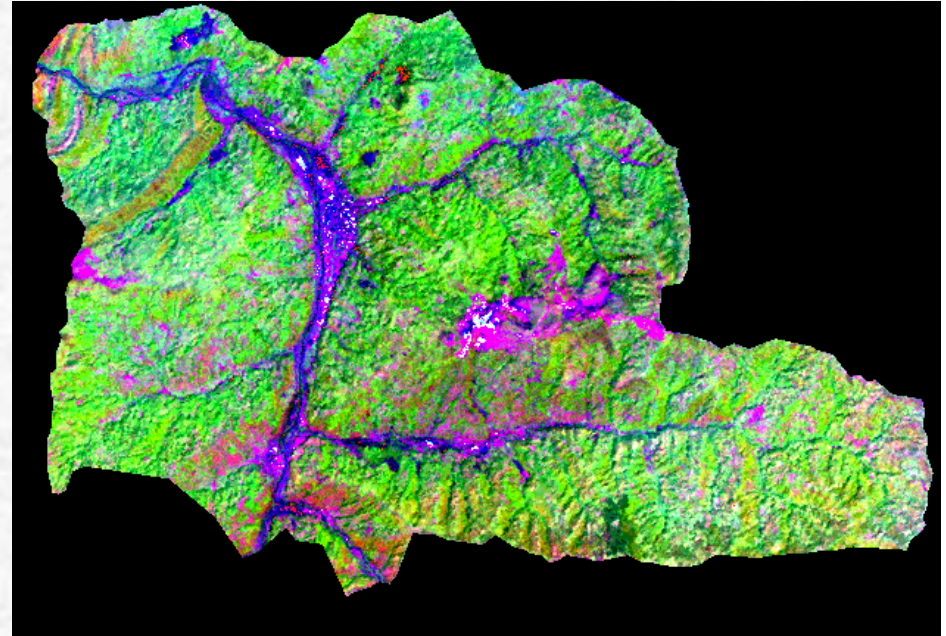
*Ejemplo: Imagen Landsat-TM del concejo de Mieres*

*(Composición = 3 primeras componentes principales)*

*Antes de la corrección:*



*Después de la corrección:*



# Colofón

- El *objetivo final de la corrección topográfica* es *mejorar las clasificaciones digitales realizadas sobre una imagen* en la que, debido a la fuerte topografía, se aprecian los efectos de diferente iluminación entre unas zonas y otras.
- Es una **corrección previa al proceso de clasificación**.

