

Taller N°4
MÉTODOS HEURÍSTICOS
Río Bedó, Mutatá-Antioquia

Carolina García Cadavid

Edier Aristizabal

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Minas
Cartografía Geotécnica

Octubre 2023

Taller N°4

MÉTODOS HEURÍSTICOS

Río Bedó, Mutatá-Antioquia

1. GENERALIDADES

La cuenca hidrográfica del Río Bedó, situada en la zona sur del municipio de Mutatá, en el departamento de Antioquia, Colombia. Esta cuenca se integra en la extensa red fluvial del Río Sucio, desempeñando un papel esencial como uno de sus afluentes.

En su cuenca alta y media, presenta grandes zonas muy boscosas. Entre los elementos que enriquecen la cuenca del Río Bedó, se destacan diversos afluentes que contribuyen a su caudal y carácter, entre ellos, se pueden mencionar el Río El Encanto, la Quebrada El Uvino, la Quebrada de Los Micos, la Quebrada La Bonga y la Quebrada Bedocito.

Además de su relevancia ambiental, la cuenca del Río Bedó también tiene importancia para las comunidades locales, que dependen de sus recursos hídricos y de los beneficios que brinda a la agricultura y la vida silvestre. Por tanto, es esencial garantizar su conservación y protección, no sólo como un ecosistema valioso, sino también como un activo fundamental para el bienestar de quienes habitan en su entorno.

- **ÁREA** → 40.93 km²
- **PERÍMETRO** → 36.77 km
- **ALTITUD MÁXIMA** → 1350 msnm
- **ALTITUD MÍNIMA** → 155 msnm
- **ALTURA PROMEDIO** → 534 msnm
- **LONG AXIAL LARGO** → 11.5 km
- **LONG AXIAL ANCHO** → 7.05 km
- **PENDIENTE PROMEDIO** → 19.5°
- **LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL** → Aprox. 11.14 km

2. Análisis Jerárquico de Procesos (AHP)

El AHP utiliza comparaciones entre pares de elementos, construyendo una matriz a partir de estas comparaciones, que mide el juicio del tomador de decisiones de la importancia concerniente a cada criterio, agregando homogeneidad y cierto grado de certeza. Un ejemplo de esta matriz con la escala determinada es esta:

Pair-wise comparison 9 point continuous rating scale								
Extremely Less important 1/9	V. Strongly 1/7	Strongly 1/5	Moderately 1/3	Equally Important 1	Moderately More Important 3	Strongly 5	V. Strongly 7	Extremely 9
Aspect	Aspect	Elevation	Lithology	Plan curvature	Profile curvature	Slope gradient	Factor weights	Consistency ratio (CR)
Aspect	1						0.0657	0.07
Elevation	3	1					0.1929	
Lithology	3	3	1				0.2569	
Plan curvature	1	1/5	1/3	1			0.0715	
Profile curvature	3	1	1	1	1		0.1478	
Slope gradient	3	1	1	5	3	1	0.2651	

Entonces lo primero que definiremos la matriz de nuestro modelo, la cual es la siguiente:

	Pendiente	F. Acumulado	Aspecto	Geología	Elevación	Curvatura
Pendiente	1	7	3	3	5	1
F. Acumulado	1/7	1	1/5	1/5	1/3	1/5
Aspecto	1/3	5	1	1	3	1/3
Geología	1/3	5	1	1	3	1/3
Elevación	1/5	3	1/3	1/3	1	1/5
Curvatura	1	5	3	3	5	1

Esta matriz anterior consiste en organizar una serie de factores en orden de jerarquía, asignando valores numéricos a valoraciones subjetivas sobre la relativa importancia de cada factor. Los pesos son obtenidos generalmente a través de los valores y vectores propios de la matriz. El vector propio que corresponde al mayor valor propio genera la prioridad relativa de los factores. También puede ser obtenido normalizando cada columna de la matriz de comparación, y calculando el promedio de las filas para resolver la matriz.

En nuestro caso, se obtuvo una jerarquía teniendo en cuenta los resultados de importancia para la decisión de ocurrencia de movimientos en masa del taller anterior y además el criterio propio para definir el peso de cada una de estas variables para el modelo. Tenemos una jerarquía de la siguiente forma que es lo que se plasmó en la matriz:

- *Curvatura*: Es la variable más importante ya que se a criterio se obtuvo que era significativa para la evaluación de la ocurrencia de MenM (Según los valores y gráficas obtenidas en el anterior taller) y describe muy bien la forma en la que se encuentra el terreno, para este modelo es una variable decisiva.
- *Pendiente*: Es la variable que sigue en importancia ya que se a criterio se obtuvo que era significativa para la evaluación de la ocurrencia de MenM (Según los valores y

gráficas obtenidas en el anterior taller) y es una variable que involucra directamente la ladera y sus características entonces se considero en este peso.

- *Geología:* Es la variable que sigue en importancia (junto con aspecto) ya que se a criterio se obtuvo que era significativa para la evaluación de la ocurrencia de MenM (Según los valores y gráficas obtenidas en el anterior taller) y es una variable que puede ser muy importante por las características intrínsecas que tiene las rocas y los depósitos que posee la cuenca, ya que nos dan las características físicas y químicas muy importante para el análisis geotécnico de los taludes.
- *Aspecto:* Es la variable que sigue en importancia (junto con geología) ya que se a criterio se obtuvo que era significativa para la evaluación de la ocurrencia de MenM (Según los valores y gráficas obtenidas en el anterior taller) y es una variable que puede ser muy importante por la cercanía que tiene la cuenca a fallas, por lo que las direcciones puede mostrarnos un comportamiento estructural muy fuerte en la cuenca y ser un causa fuerte de los MenM.
- *Elevación:* Es la variable que sigue en importancia ya que se a criterio se obtuvo que era significativa para la evaluación de la ocurrencia de MenM (Según los valores y gráficas obtenidas en el anterior taller) y es una variable que puede tener cierta importancia dentro del modelo por que esta puede estar relacionada con cambios significativos en la temperatura, además, las áreas de mayor elevación a menudo experimentan mayores niveles de precipitación, lo que puede saturar los suelos y aumentar la probabilidad de MenM.
- *Flujo Acumulado:* Es la ultima variable en importancia ya que se a criterio se obtuvo que no era significativa para la evaluación de la ocurrencia de MenM (Según los valores y gráficas obtenidas en el anterior taller) y es una variable que puede tener cierta importancia dentro del modelo pero en muy poca medida, aunque debería tenerse en cuenta en cierta medida ya que este controla muchos aspectos importantes de los MenM como la infiltración, escorrentía y la saturación de los suelos (presión de poros).

Después con esta matriz se sacaron sus valores propios, y al de mayor valor se le sacó, el vector propio normalizado.

```
w=vector_norm[:,0]
print(w)

[0.32098264+0.j 0.03481494+0.j 0.13483415+0.j 0.13483415+0.j
 0.06143817+0.j 0.3097551 +0.j]
```

Estos valores nos ilustran que la primera variable Pendiente tiene un peso del 32%, la segunda variable Flujo Acumulado del 3%, la tercera variable Aspecto del 13%, la cuarta variable Geología del 13%, la quinta variable Elevación del 6%, y la sexta variable Curvatura del 30%.

Después se calcula la consistencia del análisis con el índice de consistencia, con que representa el valor propio máximo, n que corresponde a la longitud de la matrix, y el índice de consistencia aleatorio.

```
CI=(values[0]-len(values))/(len(values)-1)
CR= CI/1.24
print(CR)
(0.03253223333514873+0j)
```

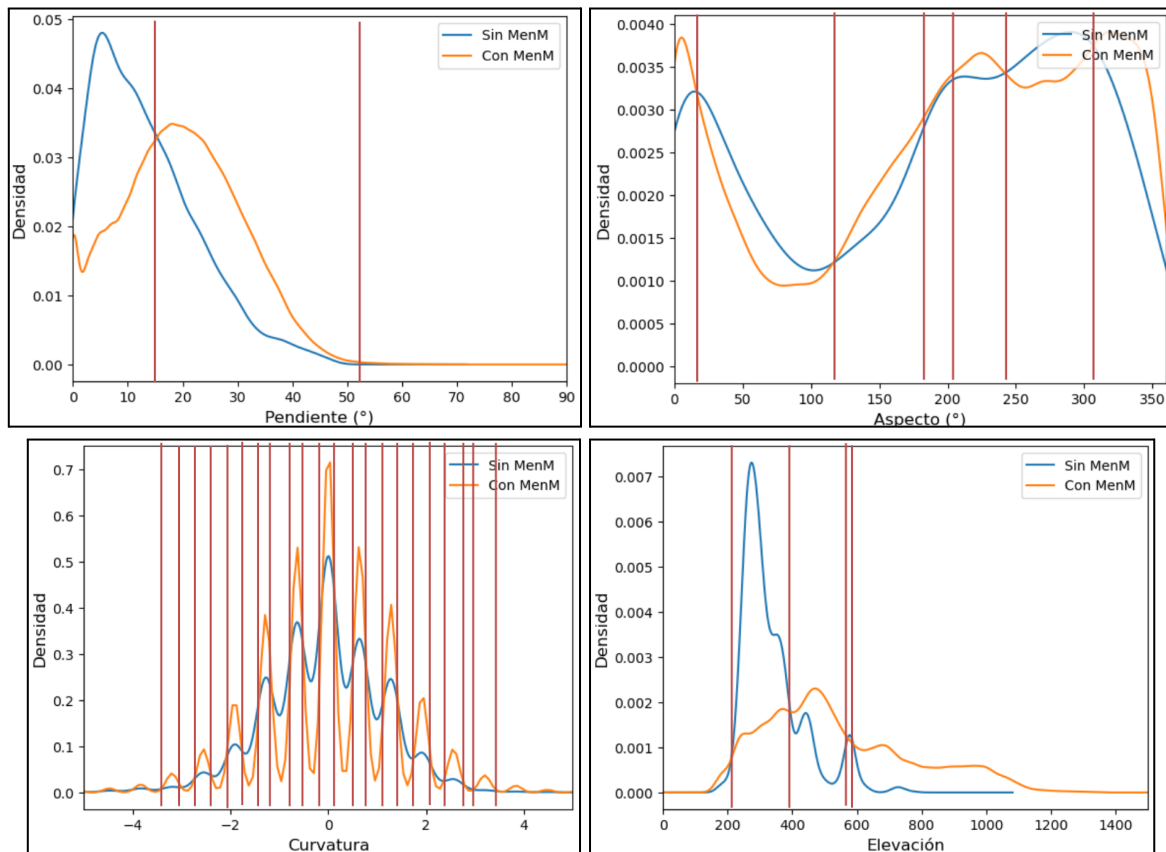
Se obtiene un radio de consistencia $0.03 < 0.1$ por lo tanto el análisis está correcto.

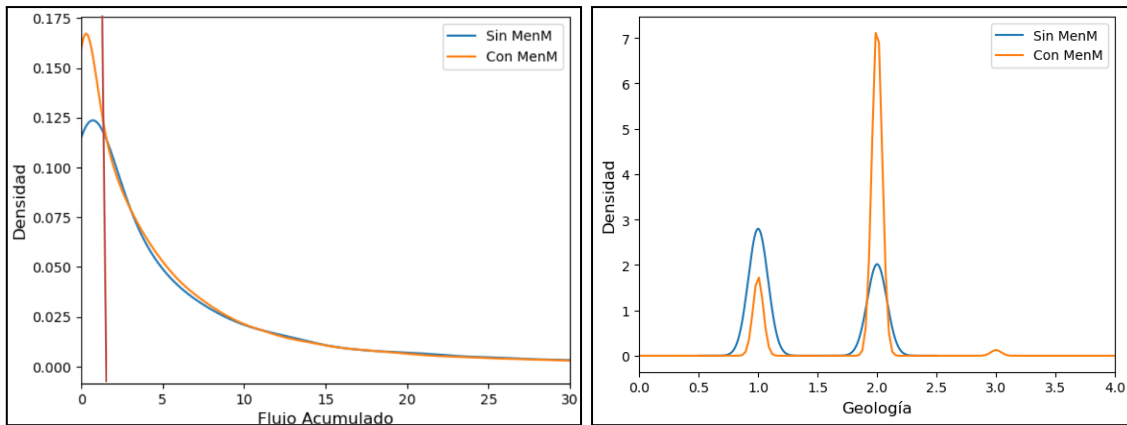
3. Método Combinado

Para este método, estos mapas se deben reclasificar en clases y pesos con criterio de experto, para este caso se utilizarán valores a las clases en un rango de 0 a 1 (donde 0 significa baja incidencia en la ocurrencia de movimientos en masa y 1 significa muy alta).

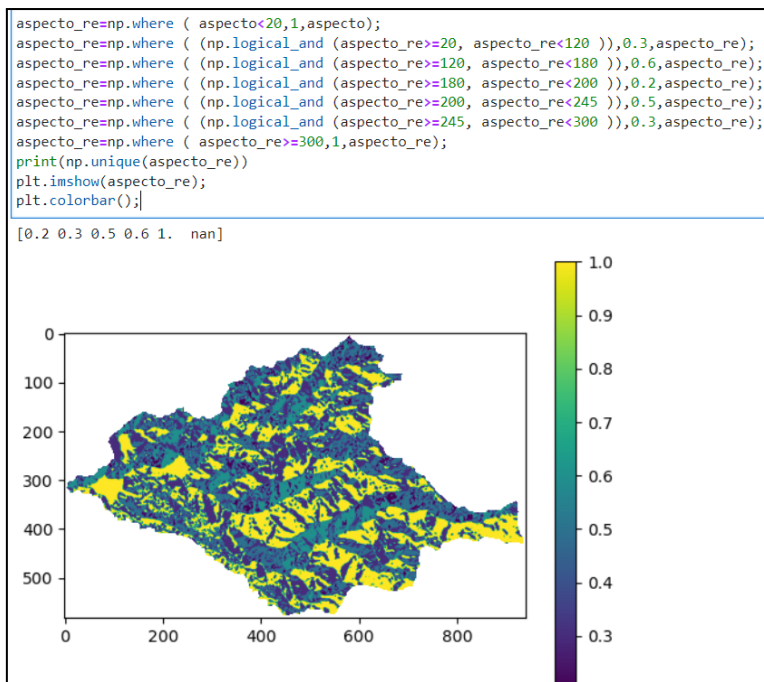
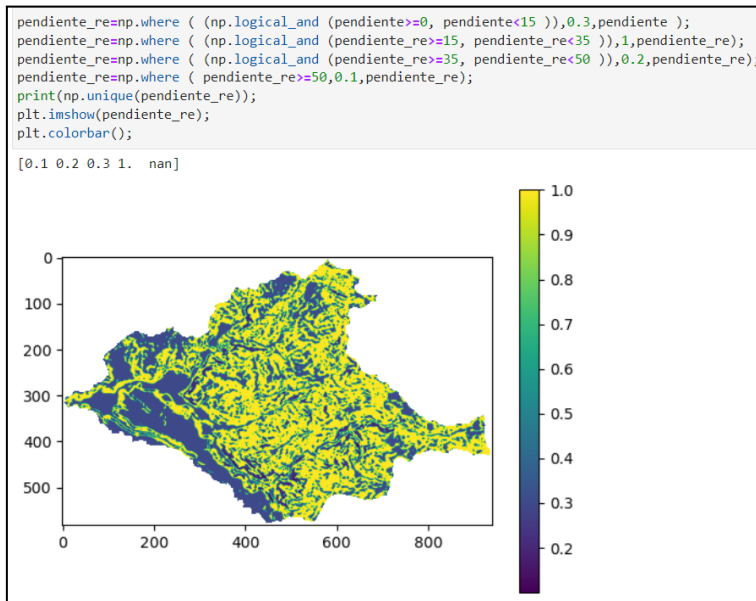
Estos rangos o divisiones, serán definidos por medio de las gráficas anteriormente obtenidas que relacionan la densidad de las variables con la ocurrencia o no de MenM.

Para cada una de las variables se reclasifica según las gráficas mostradas posteriormente, ya que con sus cruces se puede llegar a una idea de intervalos de reclasificación.





Según las gráficas anteriores se hizo la reclasificación así:

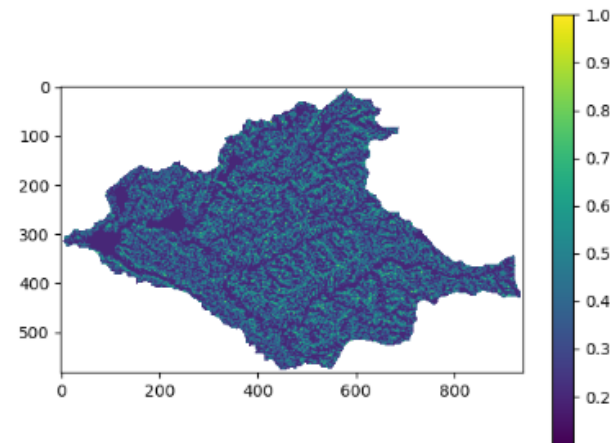


```

curvatura_re=np.where ( curvatura<-3.6,0.1,curvatura);
curvatura_re=np.where ( (np.logical_and (curvatura_re>=-3.6, curvatura_re<-3.1 )),0.4,curvatura_re);
curvatura_re=np.where ( (np.logical_and (curvatura_re>=-3.1, curvatura_re<-2.8)),0.1,curvatura_re);
curvatura_re=np.where ( (np.logical_and (curvatura_re>=-2.8, curvatura_re<-2.5 )),0.5,curvatura_re);
curvatura_re=np.where ( (np.logical_and (curvatura_re>=-2.5, curvatura_re<-2.1 )),0.1,curvatura_re);
curvatura_re=np.where ( (np.logical_and (curvatura_re>=-2.1, curvatura_re<-1.75 )),0.7,curvatura_re);
curvatura_re=np.where ( (np.logical_and (curvatura_re>=-1.75, curvatura_re<-1.4 )),0.1,curvatura_re);
curvatura_re=np.where ( (np.logical_and (curvatura_re>=-1.4, curvatura_re<-1.2 )),0.8,curvatura_re);
curvatura_re=np.where ( (np.logical_and (curvatura_re>=-1.2, curvatura_re<-0.8 )),0.2,curvatura_re);
curvatura_re=np.where ( (np.logical_and (curvatura_re>=-0.8, curvatura_re<-0.55)),1,curvatura_re);
curvatura_re=np.where ( (np.logical_and (curvatura_re>=-0.55, curvatura_re<-0.3)),0.2,curvatura_re);
curvatura_re=np.where ( (np.logical_and (curvatura_re>=-0.3, curvatura_re<0.2 )),1,curvatura_re);
curvatura_re=np.where ( (np.logical_and (curvatura_re>=0.2, curvatura_re<0.5 )),0.2,curvatura_re);
curvatura_re=np.where ( (np.logical_and (curvatura_re>=0.5, curvatura_re<0.8 )),1,curvatura_re);
curvatura_re=np.where ( (np.logical_and (curvatura_re>=0.8, curvatura_re<1.15 )),0.2,curvatura_re);
curvatura_re=np.where ( (np.logical_and (curvatura_re>=1.15, curvatura_re<1.4 )),1,curvatura_re);
curvatura_re=np.where ( (np.logical_and (curvatura_re>=1.4, curvatura_re<1.7 )),0.1,curvatura_re);
curvatura_re=np.where ( (np.logical_and (curvatura_re>=1.7, curvatura_re<2.1 )),0.7,curvatura_re);
curvatura_re=np.where ( (np.logical_and (curvatura_re>=2.1, curvatura_re<2.4)),0.1,curvatura_re);
curvatura_re=np.where ( (np.logical_and (curvatura_re>=2.4, curvatura_re<2.75 )),0.5,curvatura_re);
curvatura_re=np.where ( (np.logical_and (curvatura_re>=2.75, curvatura_re<2.9)),0.1,curvatura_re);
curvatura_re=np.where ( (np.logical_and (curvatura_re>=2.9, curvatura_re<3.35 )),0.4,curvatura_re);
curvatura_re=np.where ( curvatura_re>=3.35,0.1,curvatura_re);
print(np.unique(curvatura_re))
plt.imshow(curvatura_re);
plt.colorbar();

```

[0.1 0.2 0.4 0.5 0.7 1. nan]

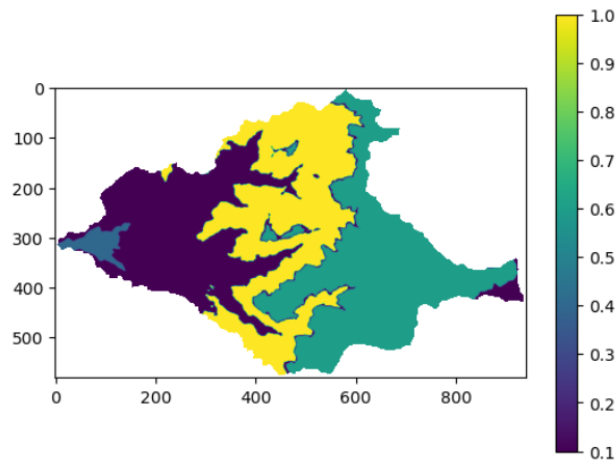


```

elevation_re=np.where ( elevation<120,0.1,elevation);
elevation_re=np.where ( (np.logical_and (elevation_re>=120, elevation_re<210)),0.4,elevation_re);
elevation_re=np.where ( (np.logical_and (elevation_re>=210, elevation_re<395 )),0.1,elevation_re);
elevation_re=np.where ( (np.logical_and (elevation_re>=395, elevation_re<555 )),1,elevation_re);
elevation_re=np.where ( (np.logical_and (elevation_re>=555, elevation_re<570 )),0.1,elevation_re);
elevation_re=np.where ( (np.logical_and (elevation_re>=570, elevation_re<1100 )),0.6,elevation_re);
elevation_re=np.where ( elevation_re>=1100,0.1,elevation_re);
print(np.unique(elevation_re))
plt.imshow(elevation_re);
plt.colorbar();

```

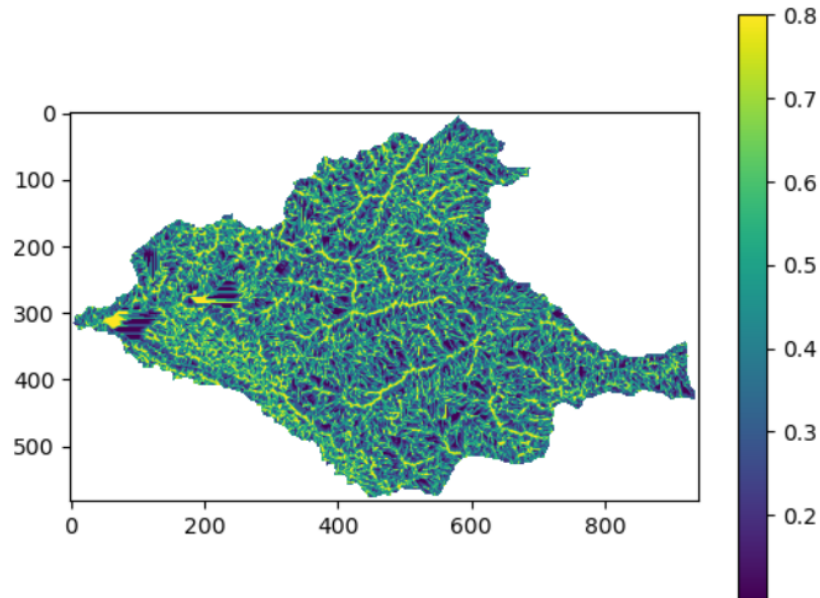
[0.1 0.4 0.6 1. nan]



```

flujo_re=np.where (flujo<1.3,0.8,flujo);
flujo_re=np.where ( (np.logical_and (flujo_re>=1.3,flujo_re<8)),0.3,flujo_re);
flujo_re=np.where (flujo_re>=8,0.1,flujo_re);
print(np.unique(flujo_re))
plt.imshow(flujo_re);
plt.colorbar();
    
```

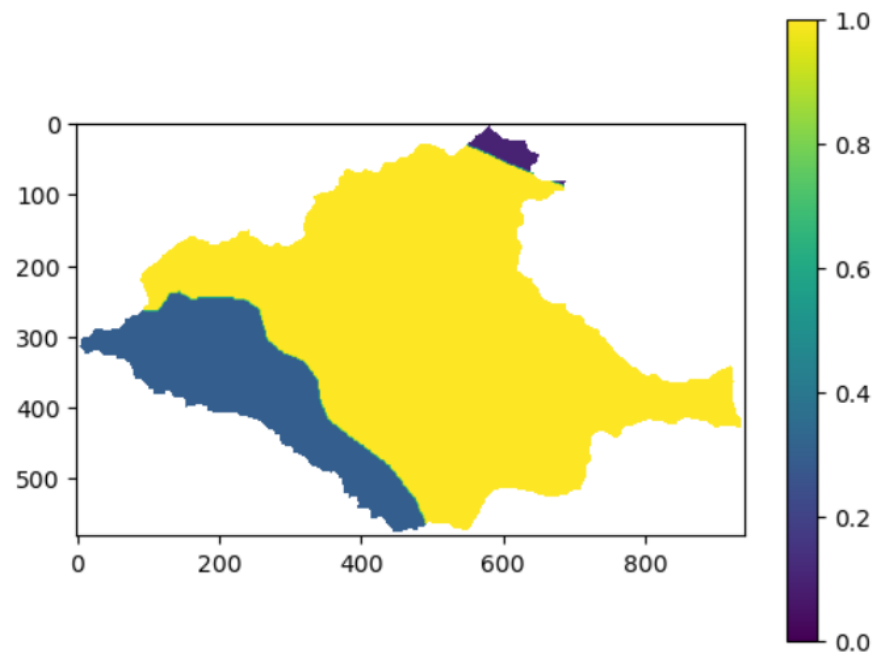
[0.1 0.3 0.8 nan]



```

geologia_re=np.where ( geologia==1,0.3,geologia)
geologia_re=np.where ( geologia_re==2,1,geologia_re)
geologia_re=np.where ( geologia_re==3,0.1,geologia_re)
geologia_re=np.where ( geologia_re==15,0.0,geologia_re)
print(np.unique(geologia_re))
plt.imshow(geologia_re);
plt.colorbar();
    
```

[0. 0.1 0.3 1. nan]



Luego hallamos el Índice de Susceptibilidad, se aplica la ecuación de IS y se obtiene el mapa.

```
: print(w[0],w[1],w[2],w[3],w[4])  
(0.33413327325209213+0j) (0.1250591982970175+0j) (0.12505919829701748+0j) (0.05344175191857191+0j) (0.3341332732520923+0j)
```

