

# Aplicaciones de los SIG y sensores remotos en las ciencias del agua

Dr. Carlos Alberto Mastachi Loza

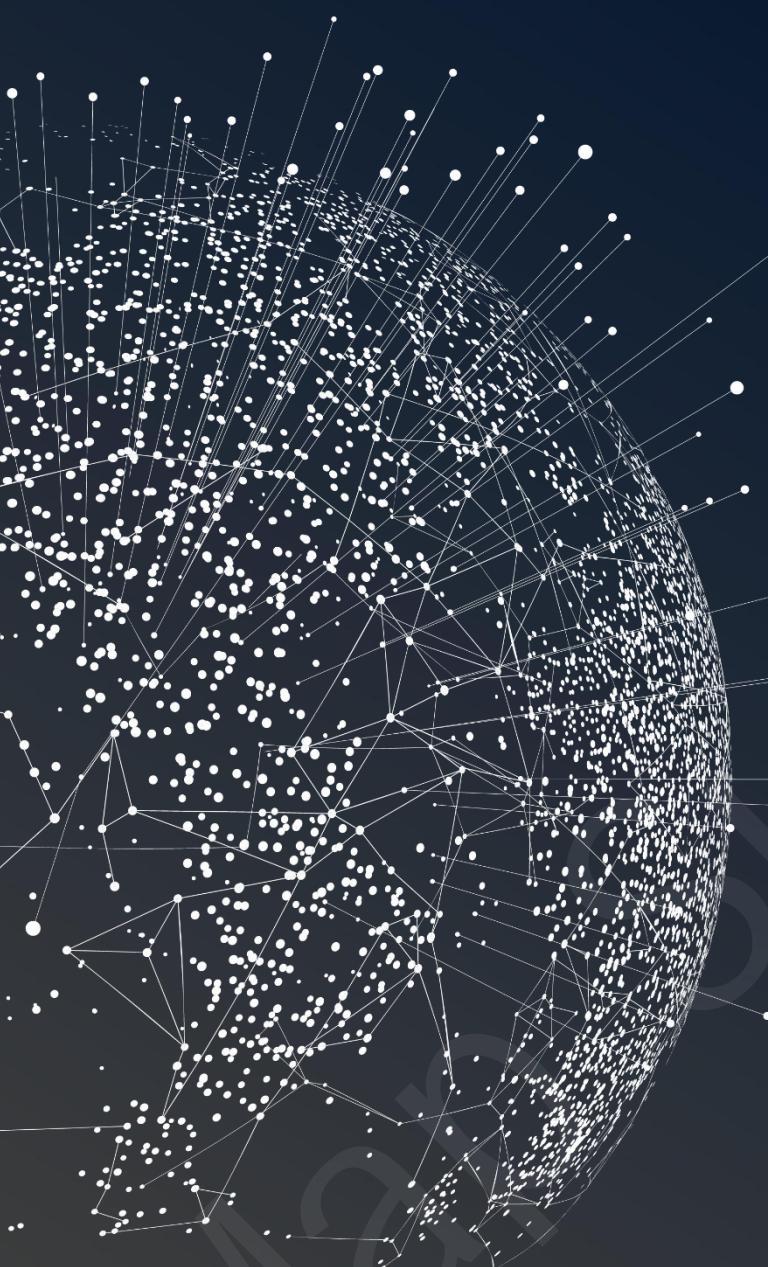
Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua



Universidad Autónoma del Estado de México



# CONTENIDO



Generalidades



Precipitación



Evaporación



Escurrimiento



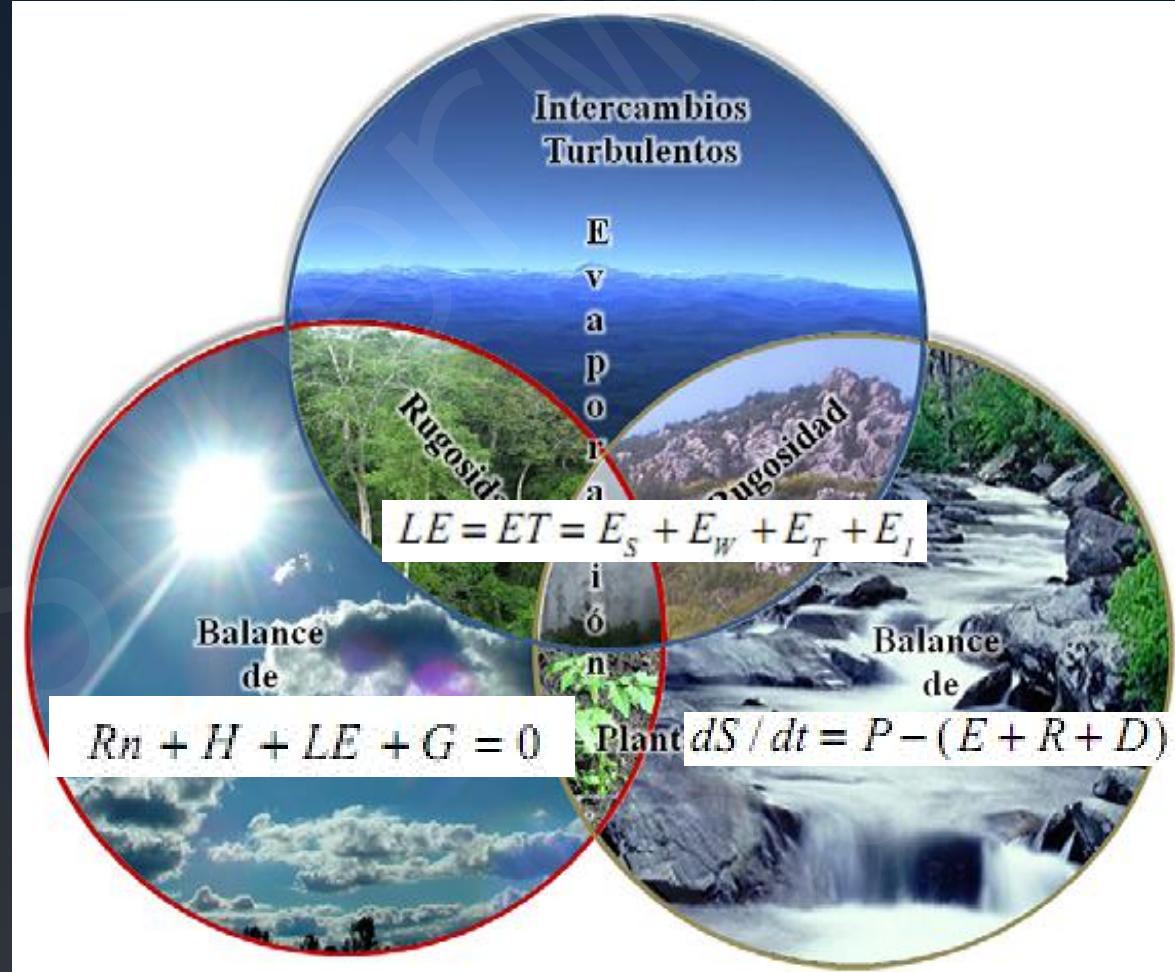
Infiltración



Calidad del Agua

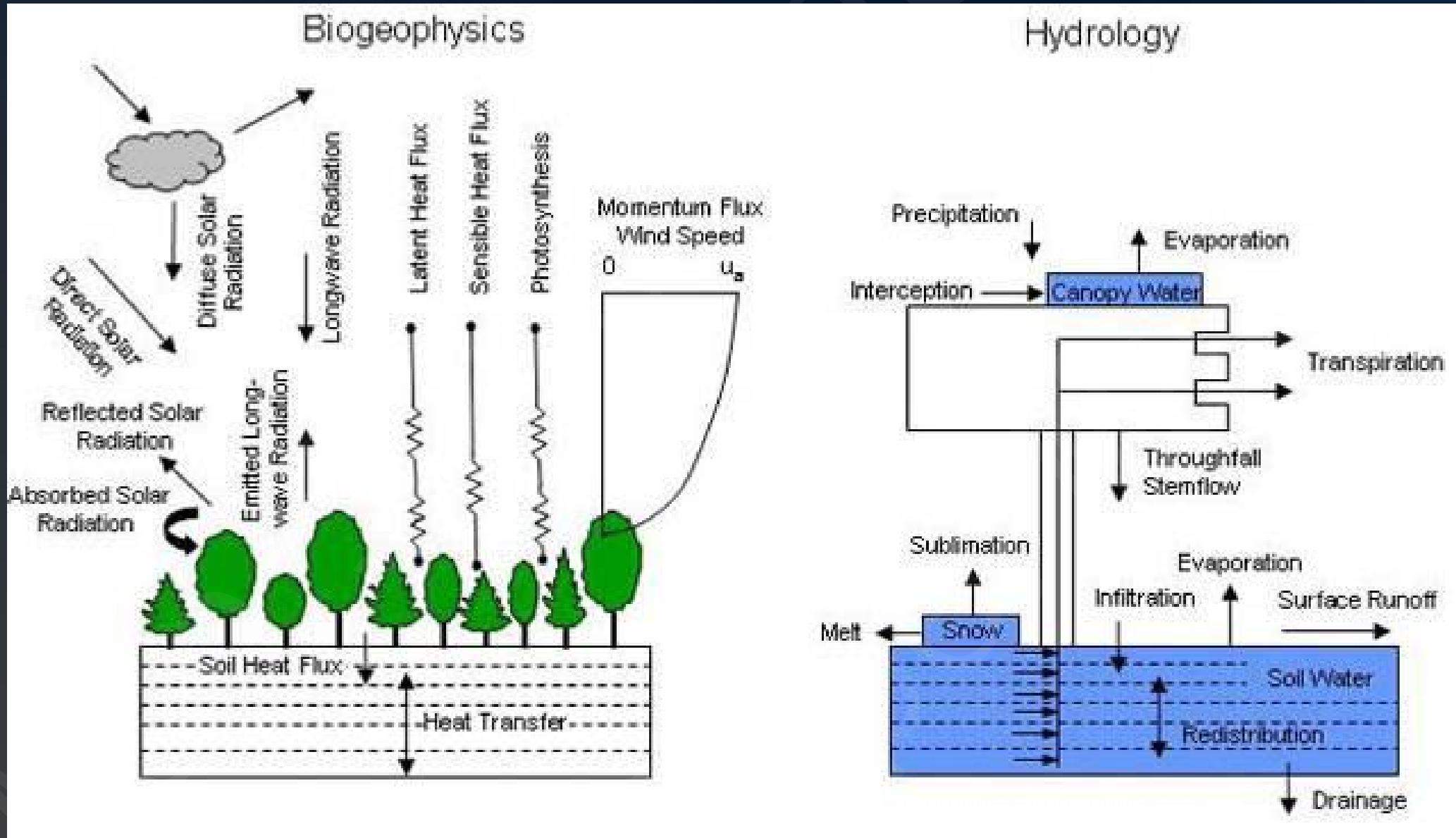


# Suelo- planta- Atmósfera



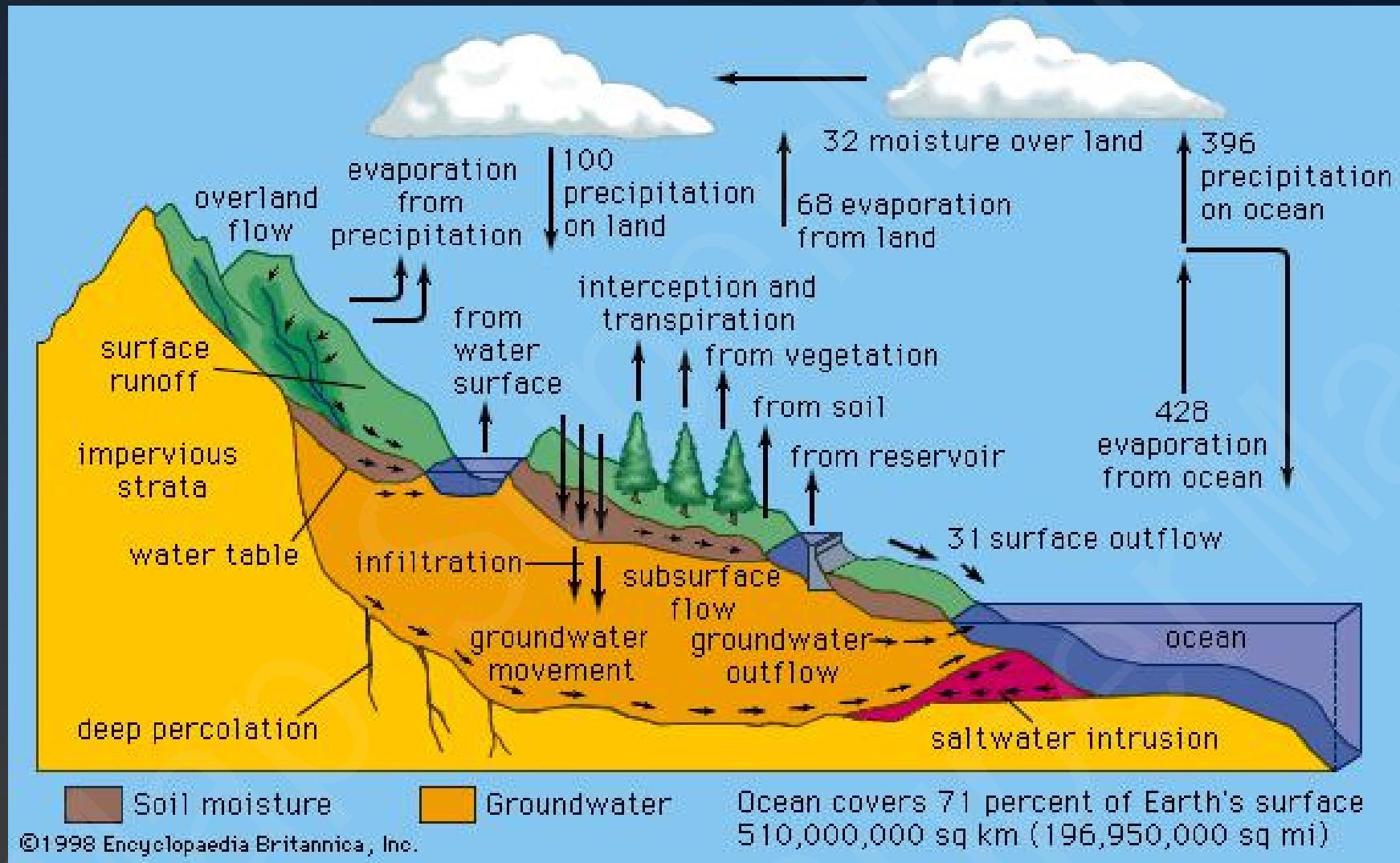


# Balance de masa y energía



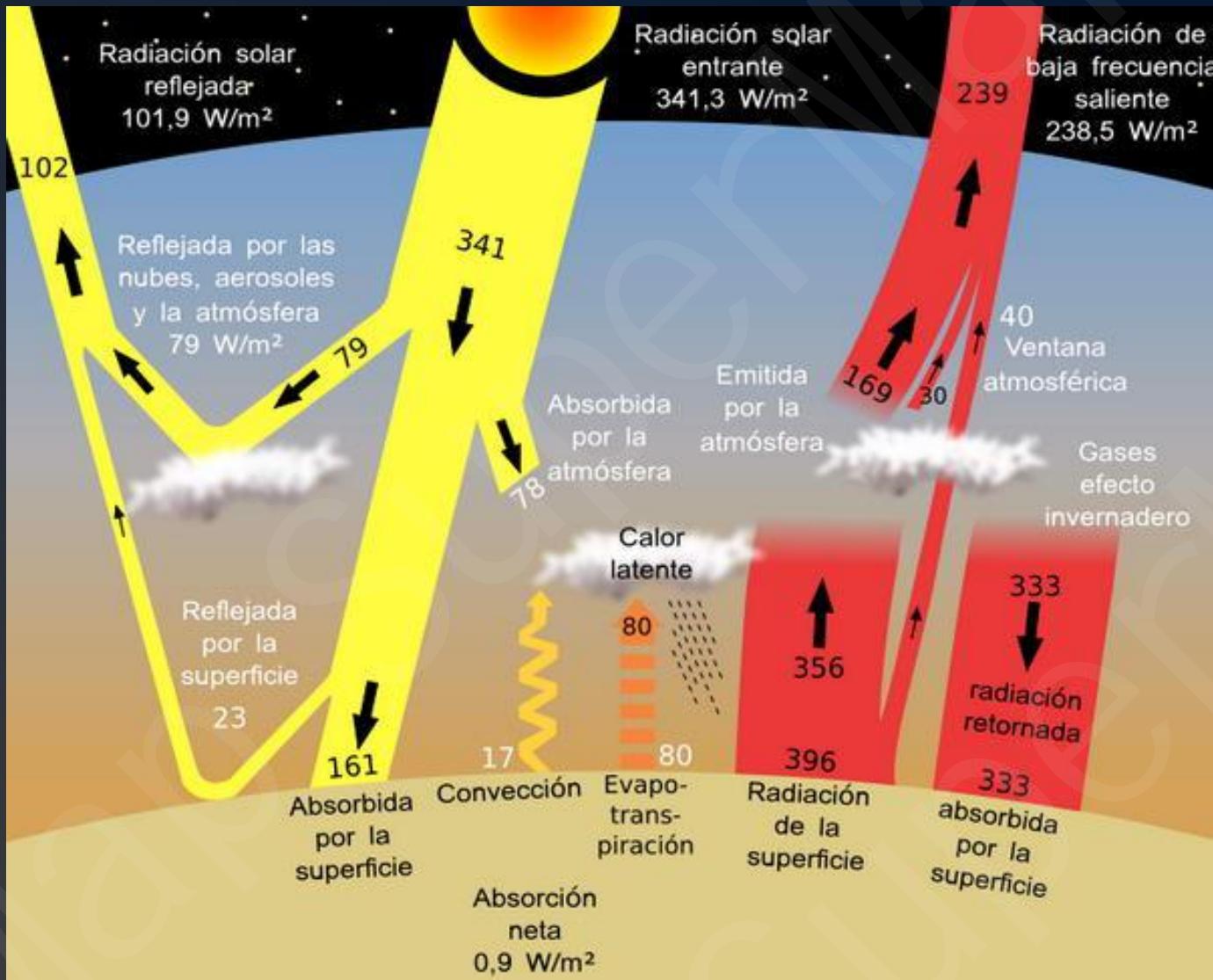


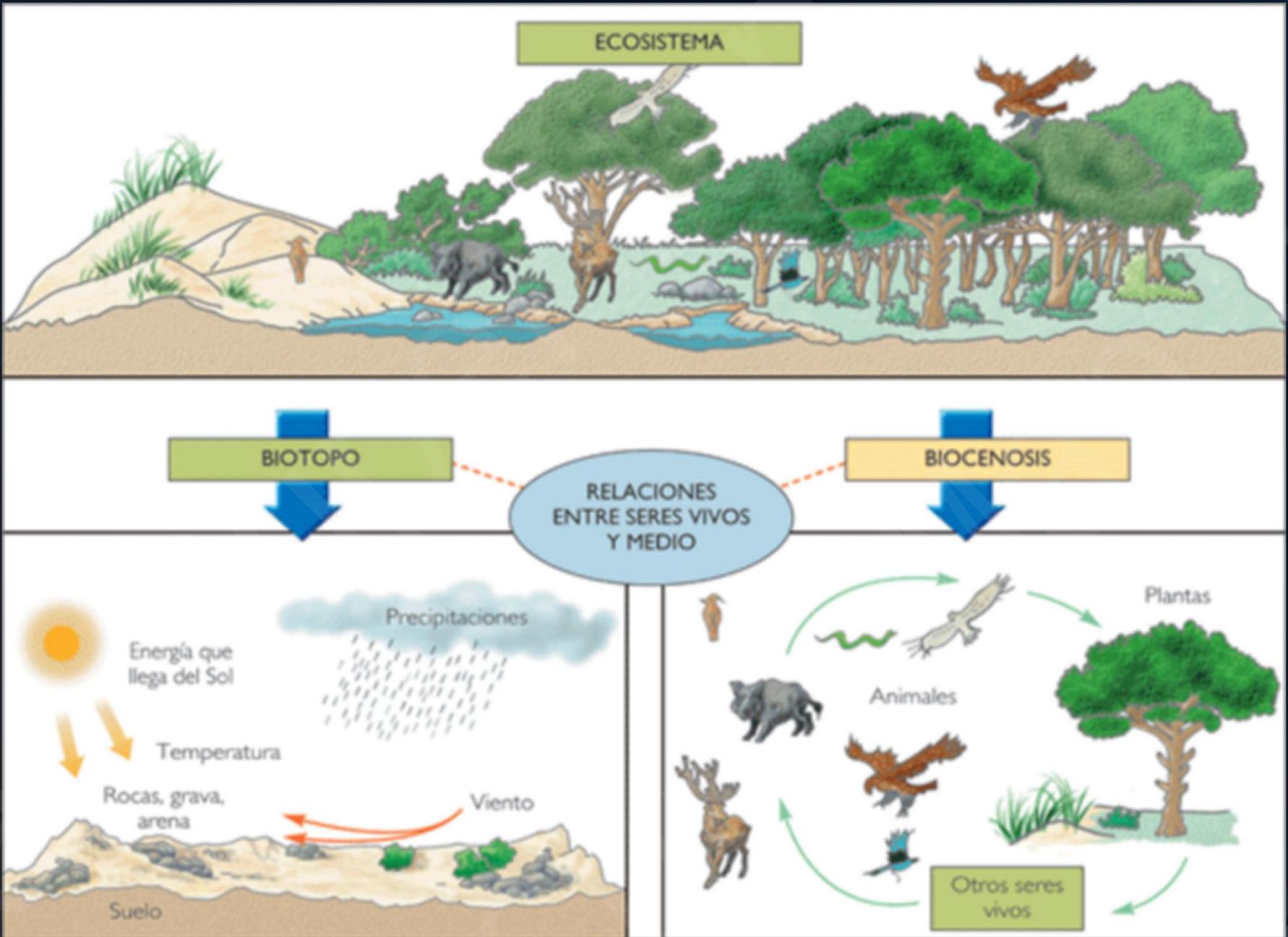
# Ciclo del agua en una cuenca natural

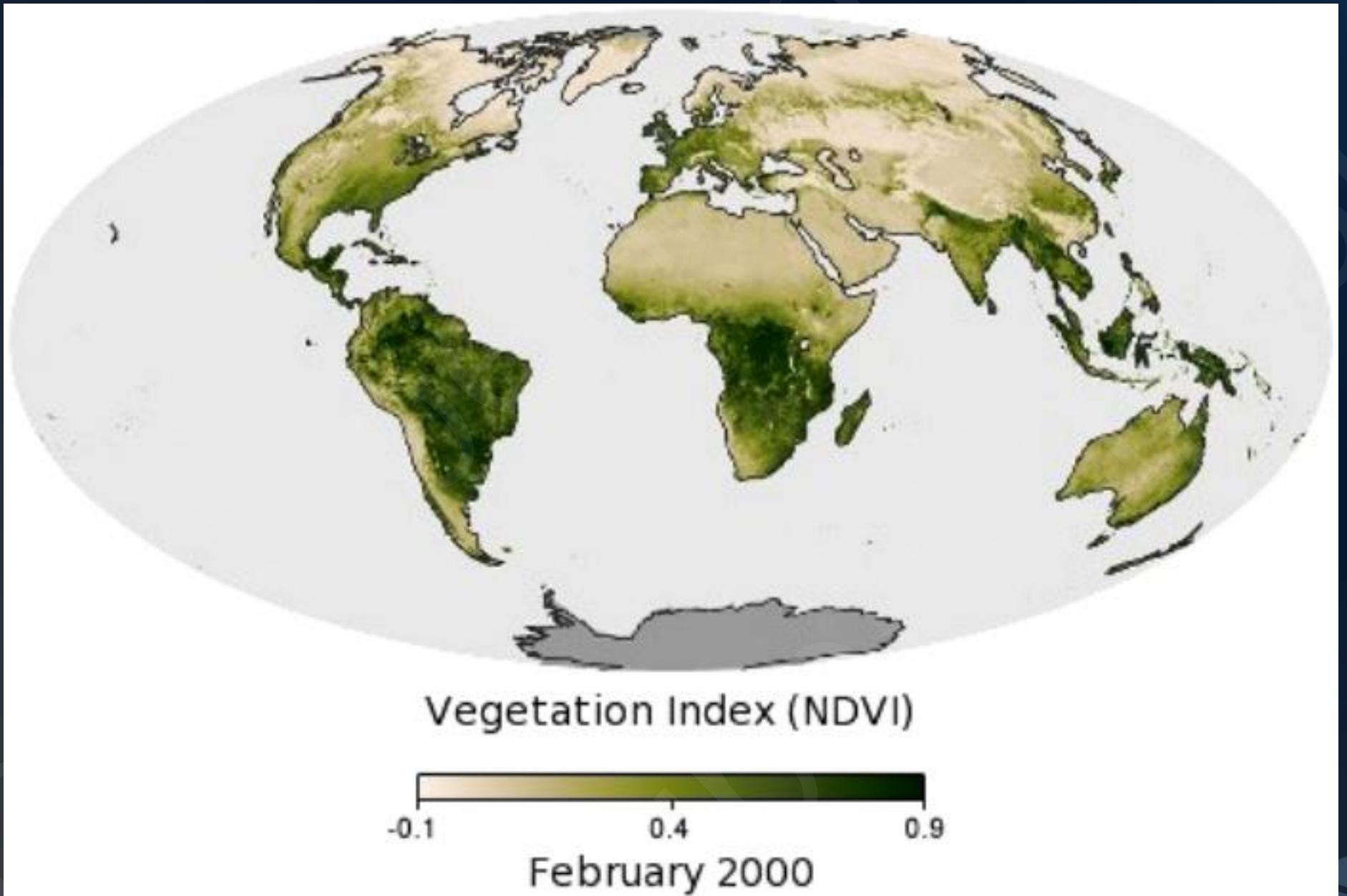




# Balance de energía



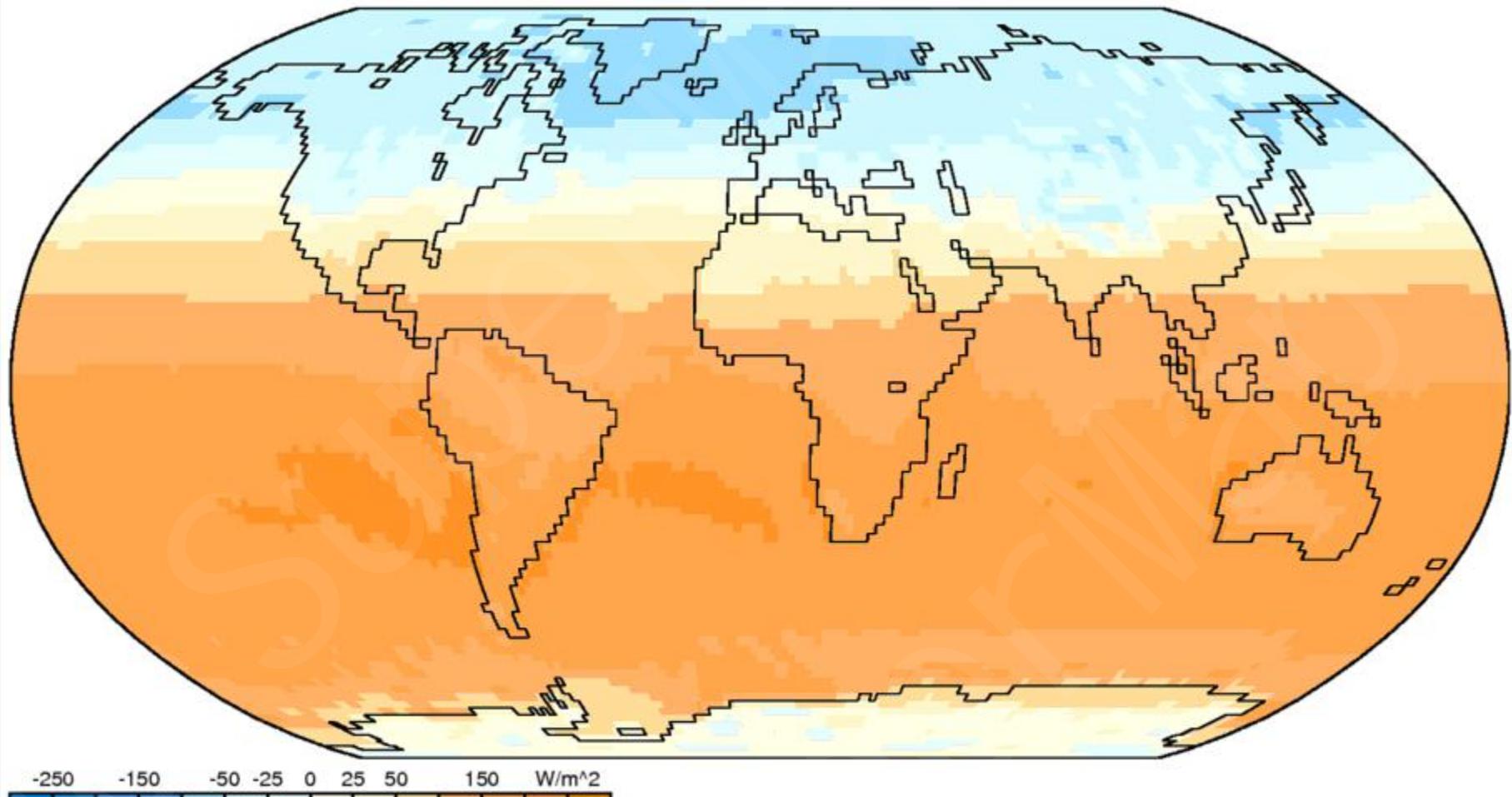






## Net Radiation

Jan



-250 -150 -50 -25 0 25 50  
W/m<sup>2</sup>

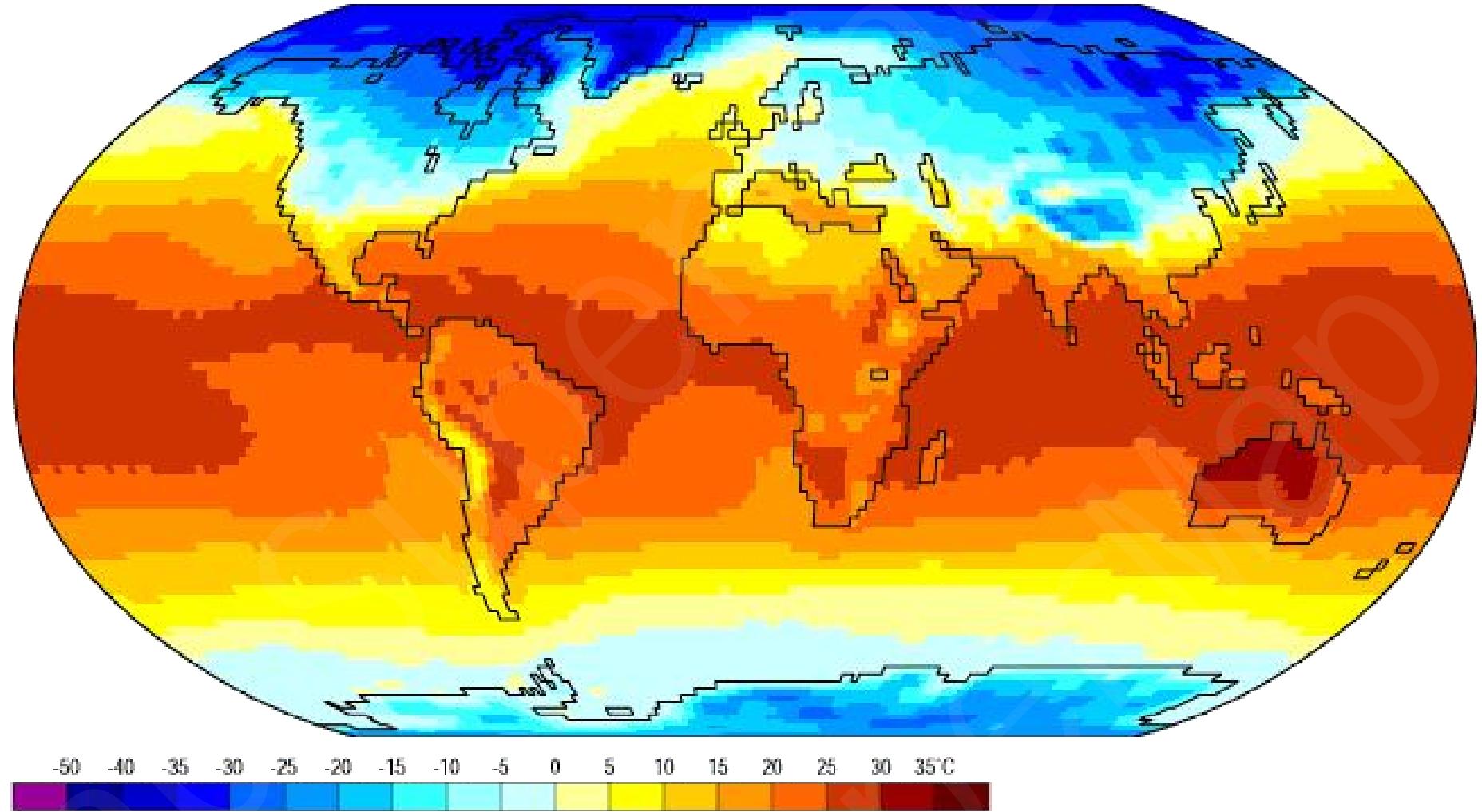
Climate Data: NCEP/NCAR Reanalysis at CDC [<http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/>]  
Images: <http://climvis.org>

(1971-2000 base period)



Air Temperature

Dec

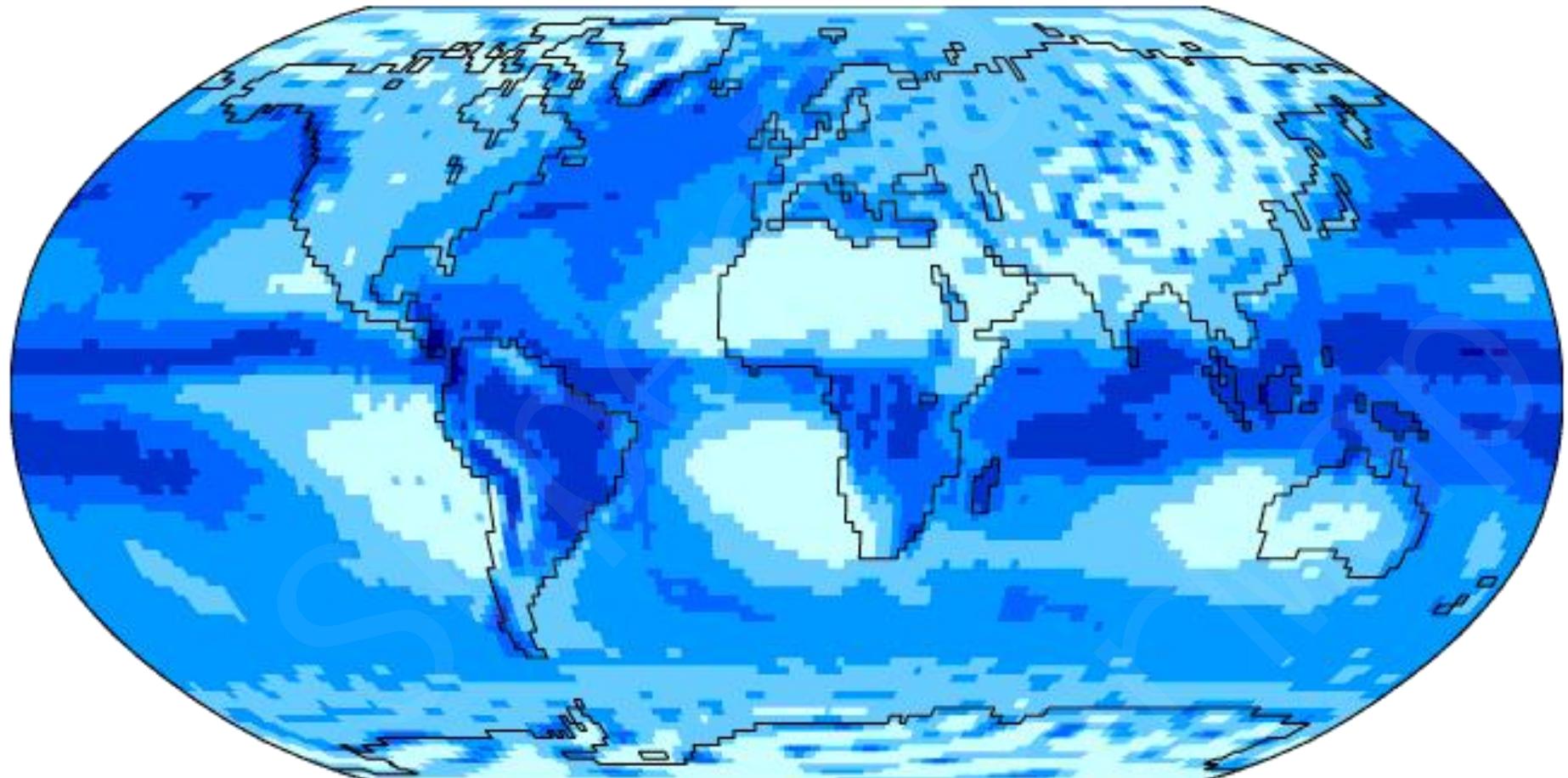


Data: NCEP/NCAR Reanalysis Project, 1959-1997 Climatologies  
Animation: Department of Geography, University of Oregon, March 2000



Precipitation

Dec

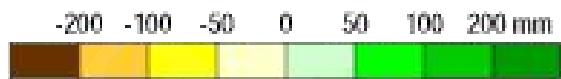
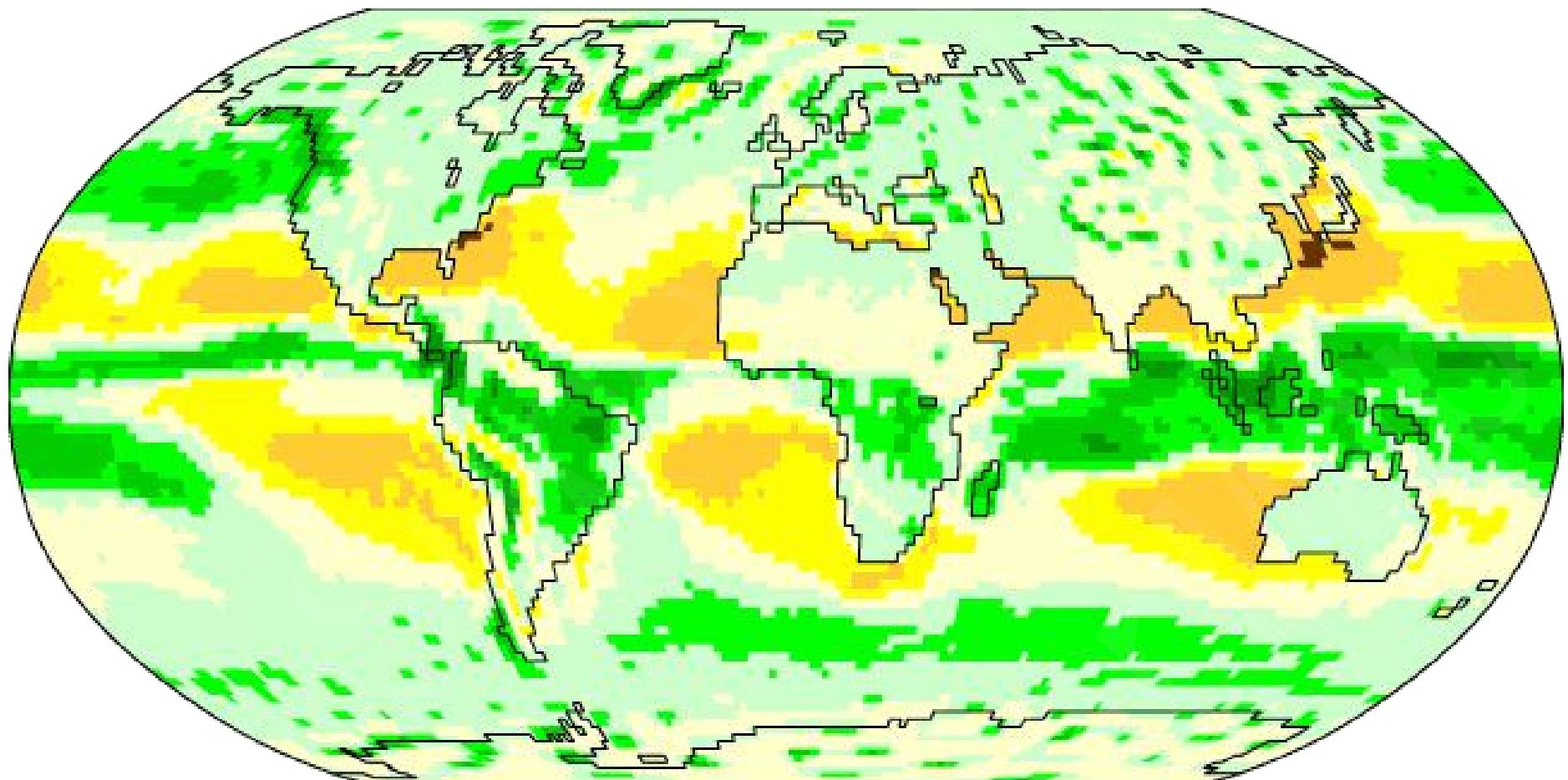


Data: NCEP/NCAR Reanalysis Project, 1959-1997 Climatologies  
Animation: Department of Geography, University of Oregon, March 2000



P-E

Dec



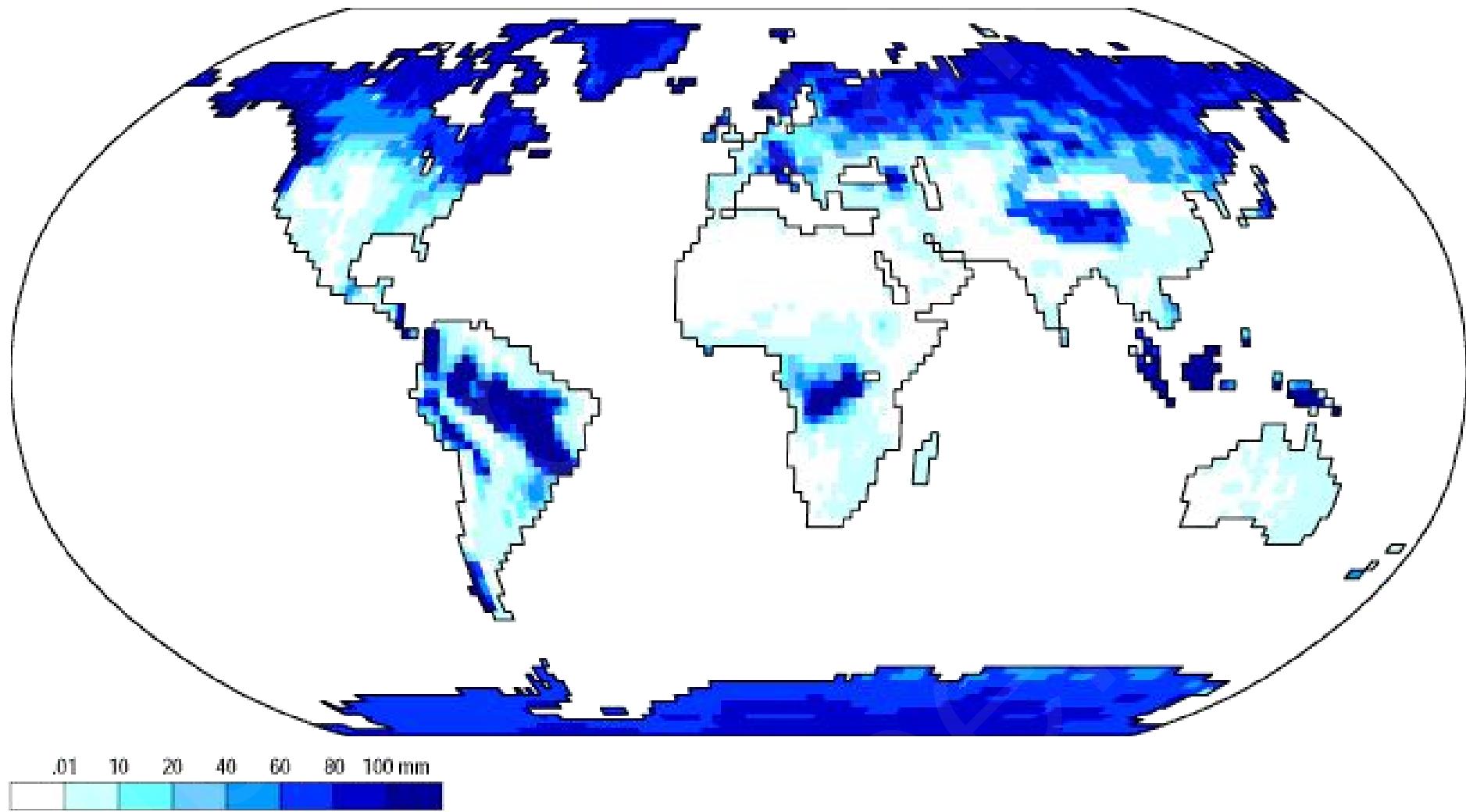
Data: NCEP/NCAR Reanalysis Project, 1959-1997 Climatologies  
Animation: Department of Geography, University of Oregon, March 2000





Run Off/Water Surplus

Dec

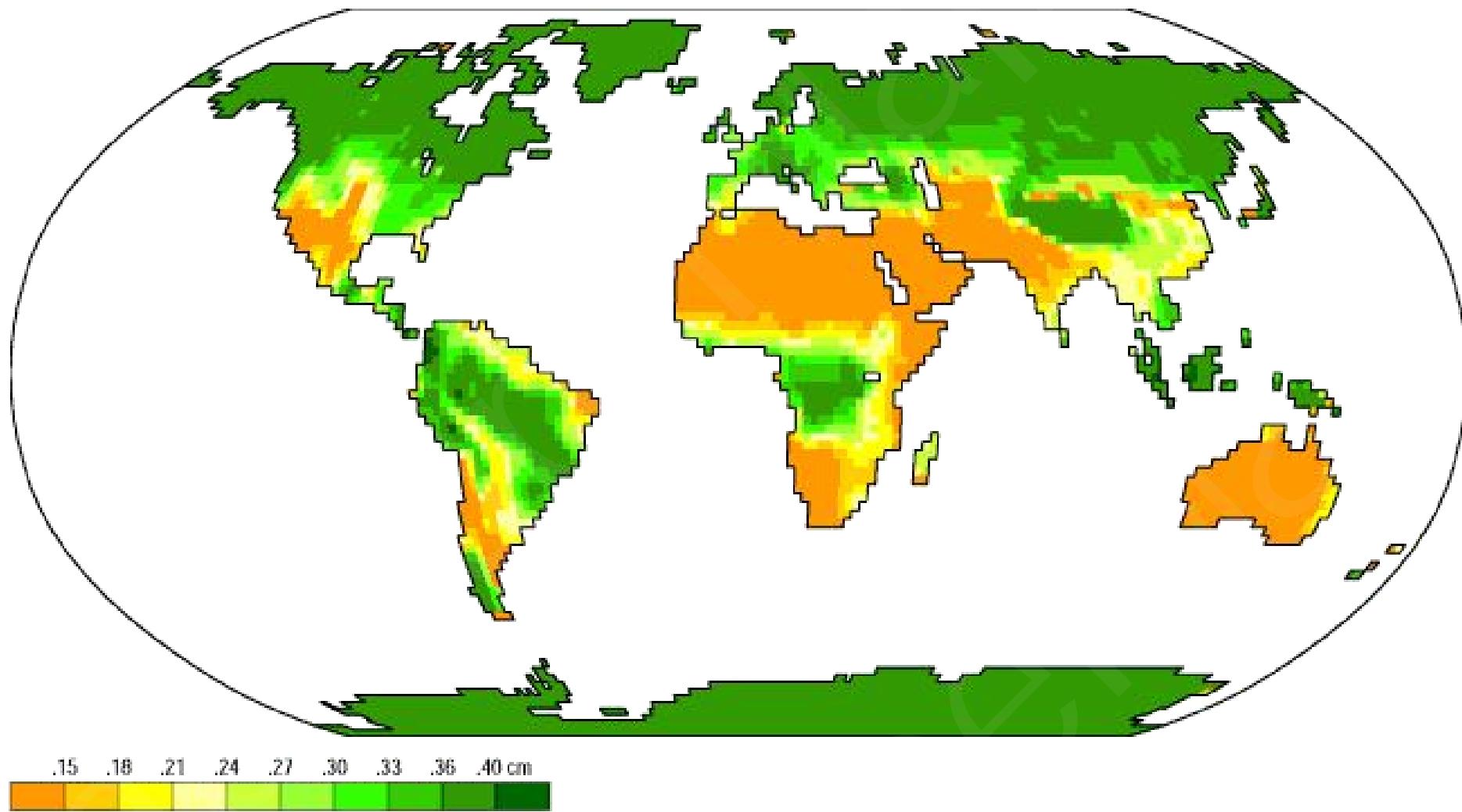


Data: NCEP/NCAR Reanalysis Project, 1959-1997 Climatologies  
Animation: Department of Geography, University of Oregon, March 2000



Soil Moisture

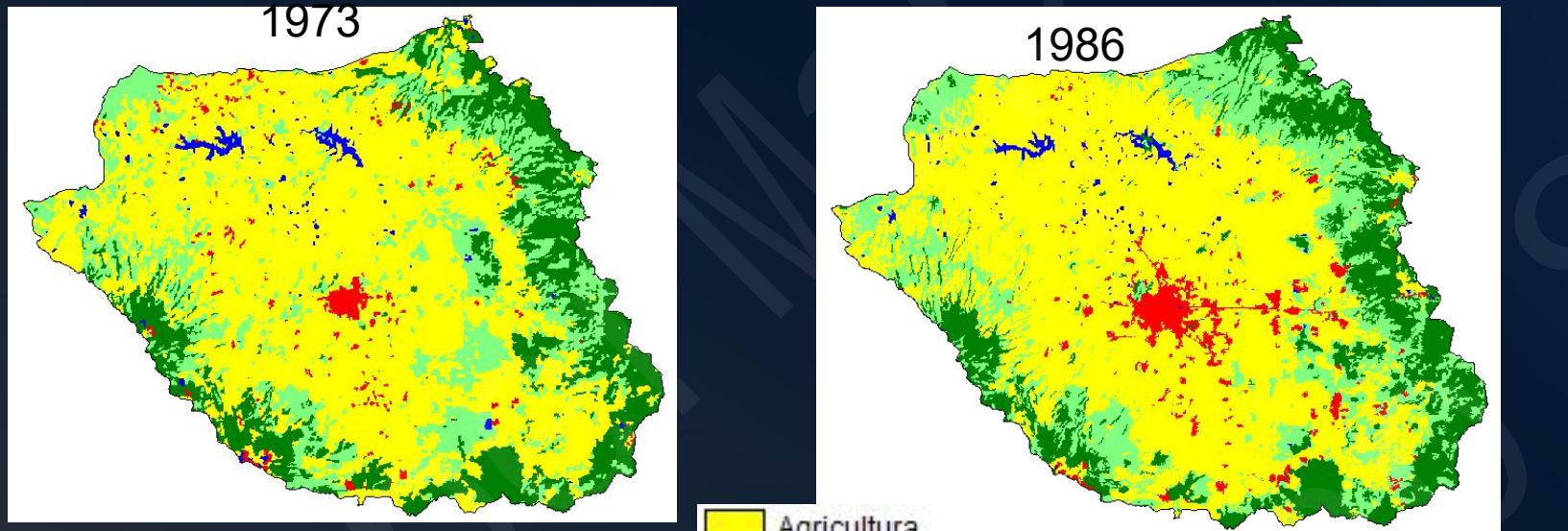
Dec



Data: NCEP/NCAR Reanalysis Project, 1959-1997 Climatologies  
Animation: Department of Geography, University of Oregon, March 2000

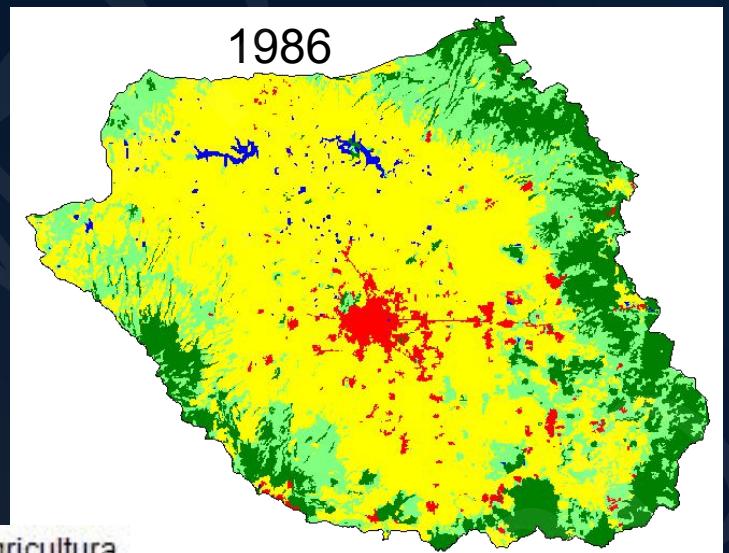
# Precipitación (modificación local)



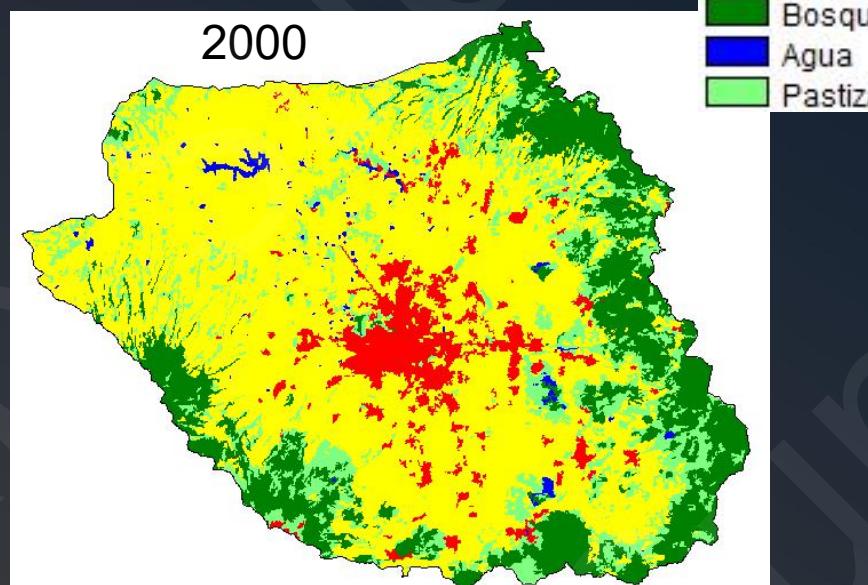


1973

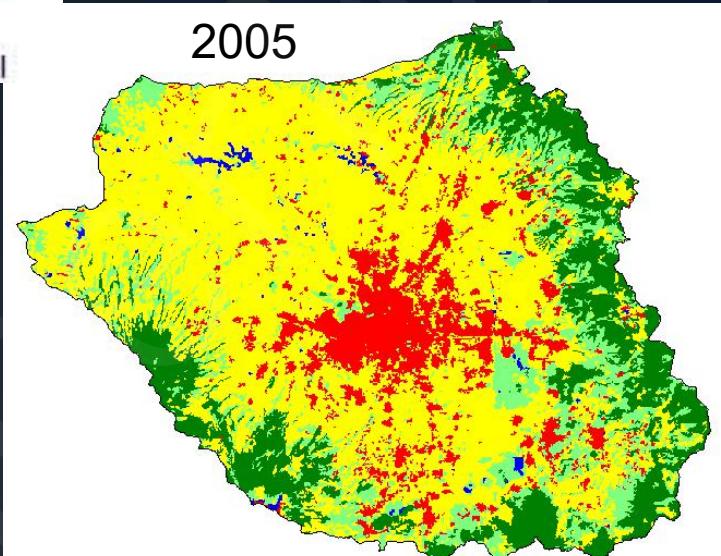
Agricultura  
Urbano  
Bosque  
Agua  
Pastizal



1986



2000



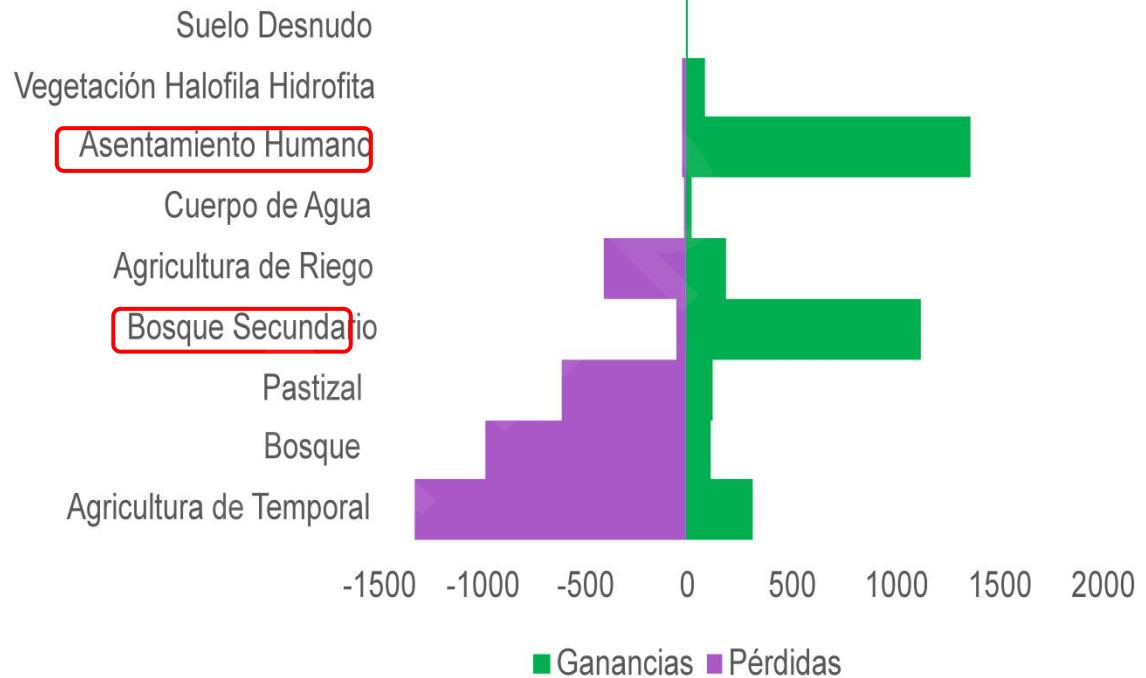
2005

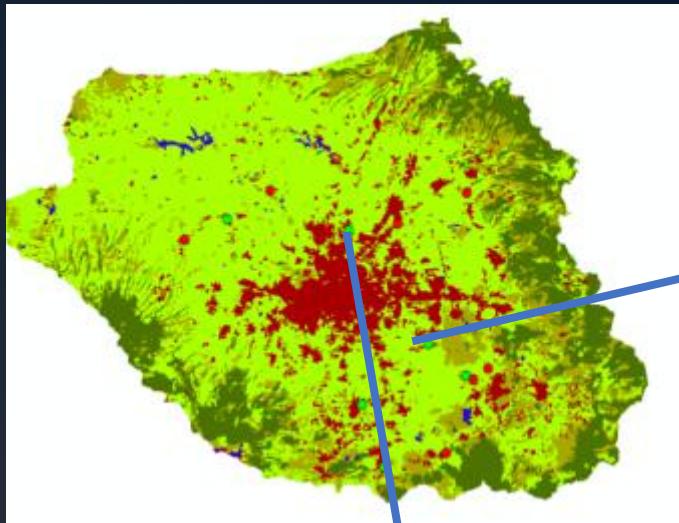


# ANÉLISIS DE CAMBIO DE USO DE SUELO

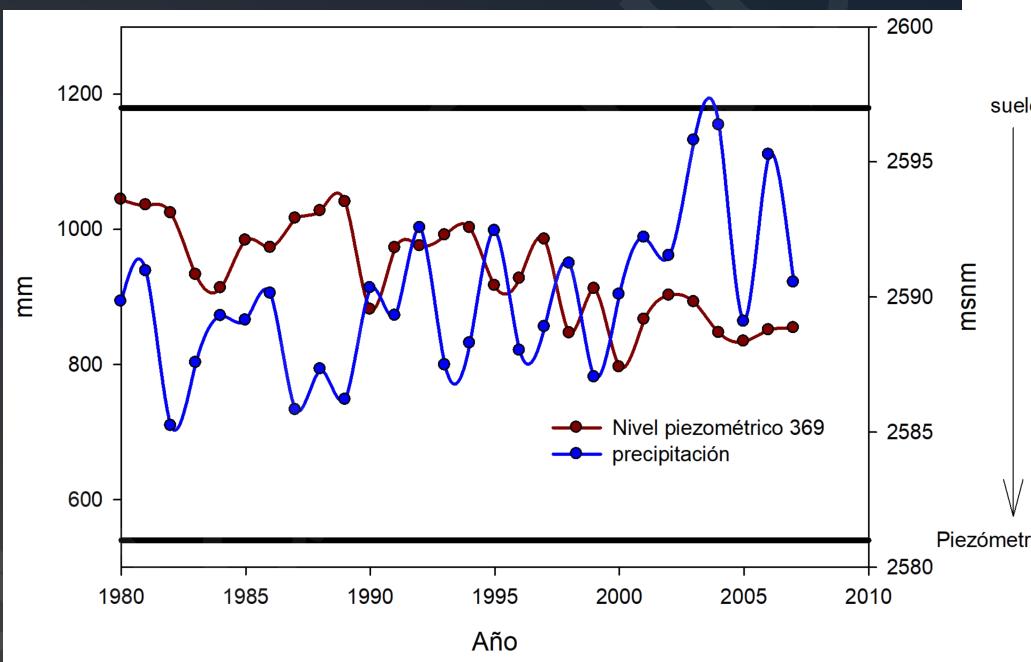
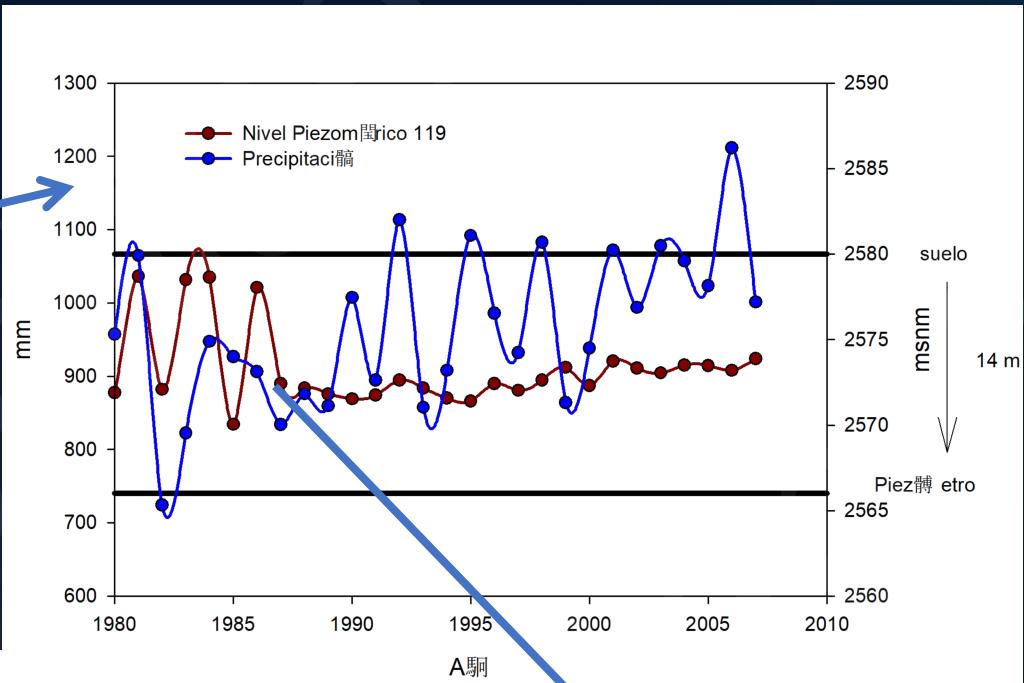
Categoría	Agricultura de temporal	Bosque	Pastizal	Bosque secundario	Agricultura de riego	Cuerpo de agua	Asentamiento humano	Vegetación halófila hidrófila	Suelo desnudo
Agricultura de temporal	15261*	114	426	39	34	1	34	0	0
Bosque	52	4524*	161	29	0	0	0	0	0
Pastizal	62	79	2474*	30	65	1	0	22	0
Bosque secundario	279	1752	235	846*	0	0	0	0	0
Agricultura de riego	141	2	192	0	6805*	18	6	15	0
Cuerpo de agua	3	0	16	0	30	197*	0	0	0
Asentamiento humano	2091	4	74	0	580	0	1794*	0	0
Vegetación halófila hidrófila	3	0	84	0	94	0	0	101*	0
Suelo desnudo	0	0	11	0	0	0	0	0	11*

Cambio de uso de suelo de la CACARL de 1993 a 2013





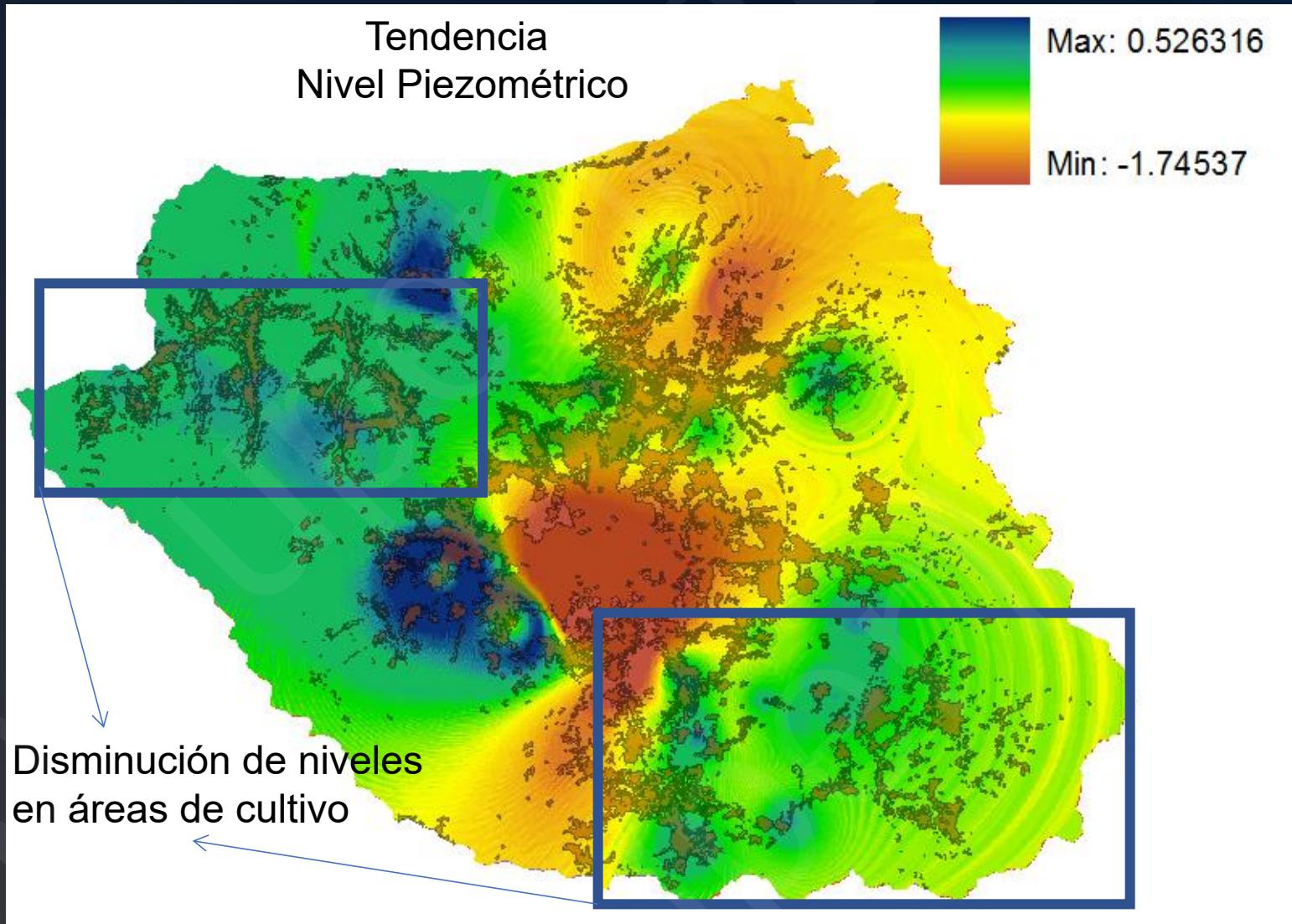
Dentro de la mancha Urbana



1986  
Mancha urbana

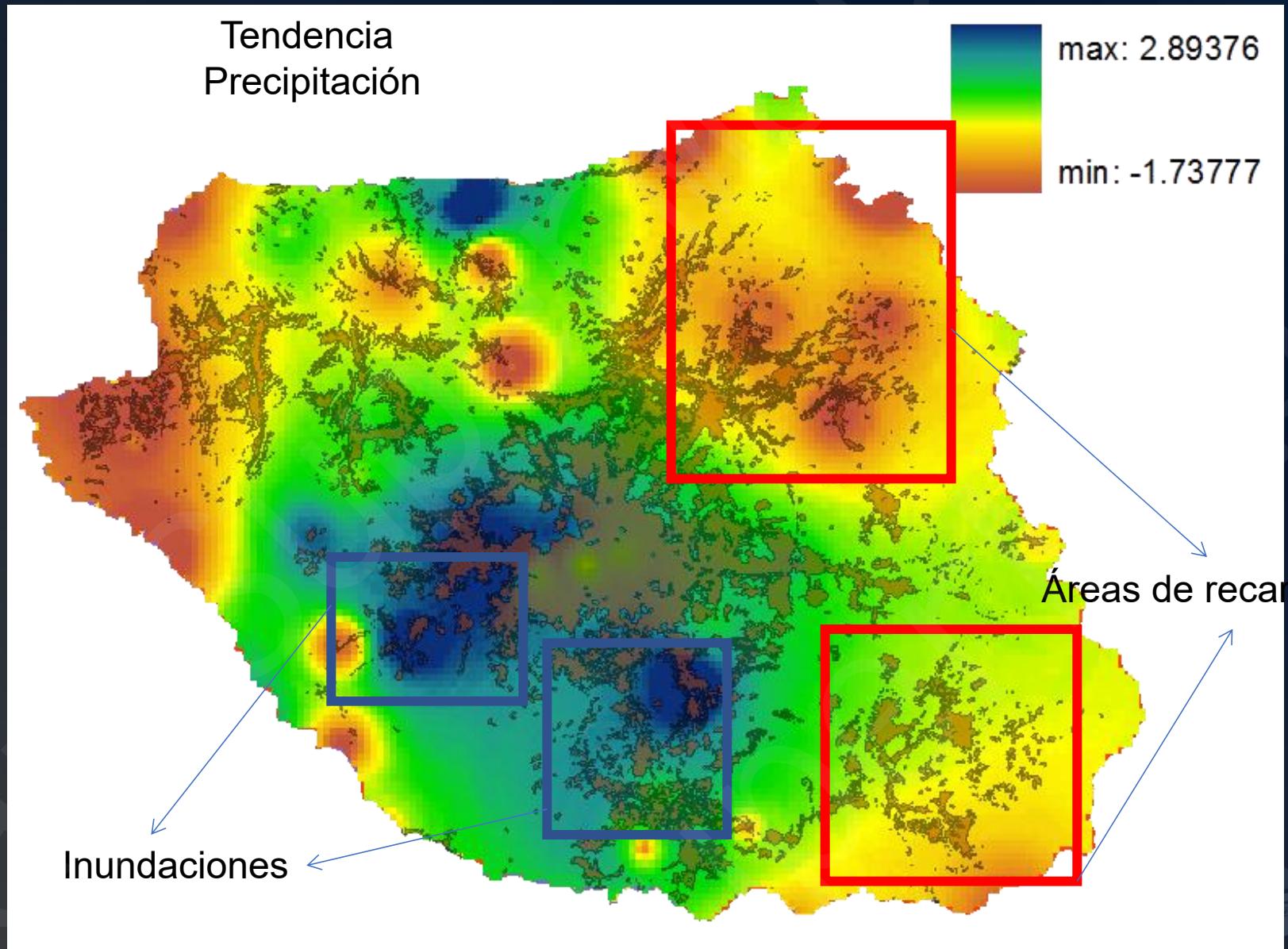


# Área Urbana 2020



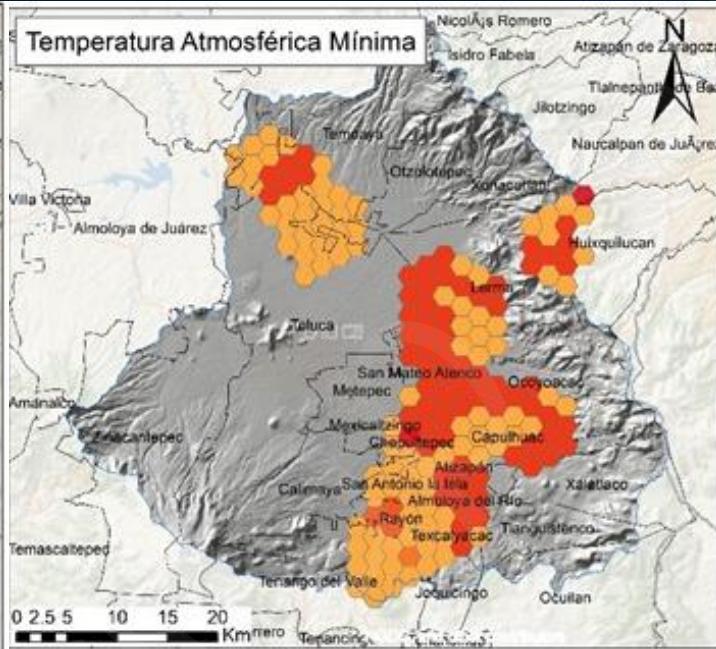
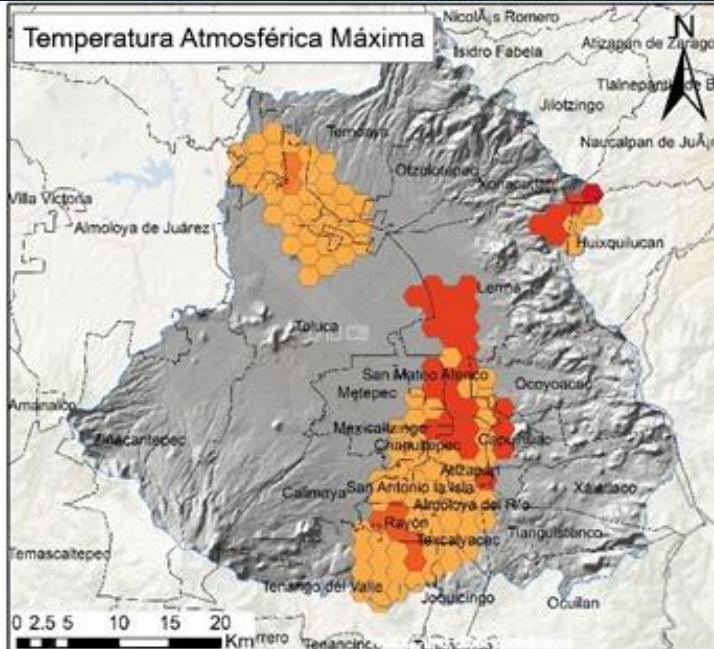
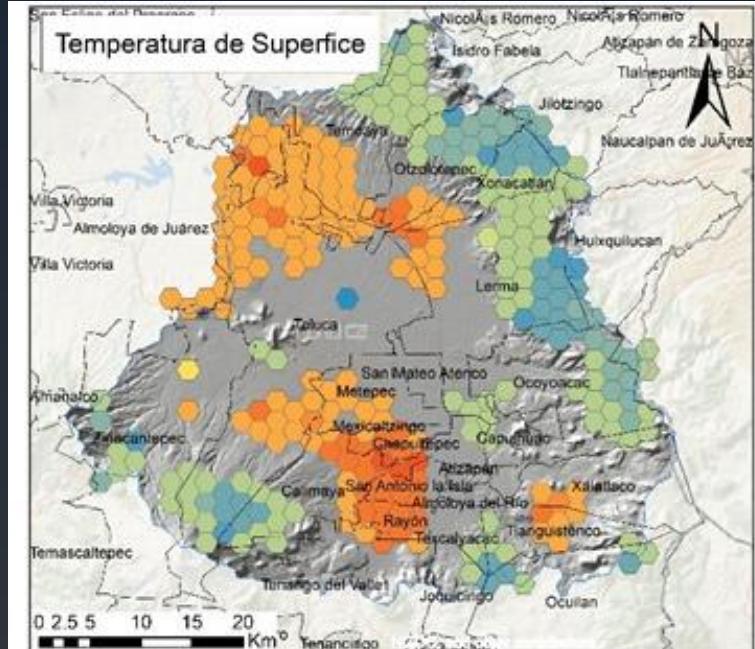


# Área Urbana 2020





# Isla de calor Urbana



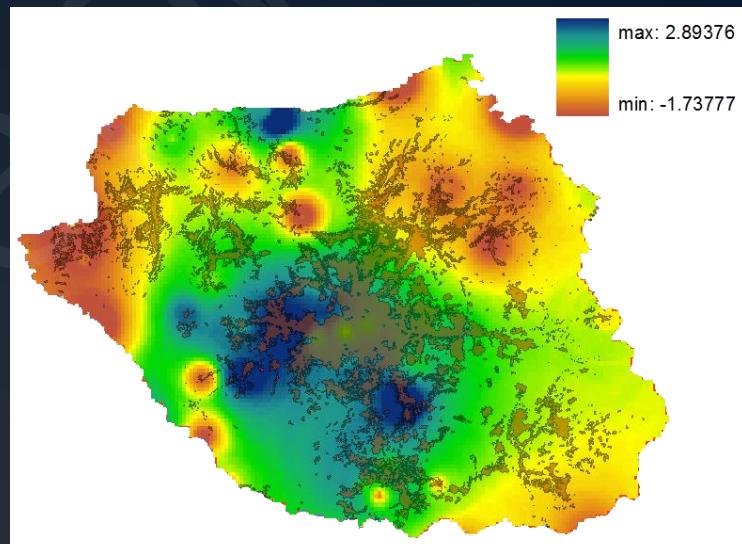
## Simbología

CACARL

### Punto Cálido Emergente de Temperatura

- Punto Frío Nuevo
- Punto Frío Consecutivo

- |                          |                          |                            |
|--------------------------|--------------------------|----------------------------|
| Punto Frío Intensificado | Punto Frío Histórico     | Punto Cálido Decreciente   |
| Punto Frío Persistente   | Sin Patrón Detectado     | Punto Cálido Persistente   |
| Punto Frío Decreciente   | Punto Cálido Histórico   | Punto Cálido Intensificado |
| Punto Frío Esporádico    | Punto Cálido Oscilatorio | Punto Cálido Consecutivo   |
| Punto Frío Oscilatorio   | Punto Cálido Esporádico  | Punto Cálido Nuevo         |





# Precipitación (regionalización de la sequía)



## RESULTADOS

### PRUEBA DE IDONEIDAD

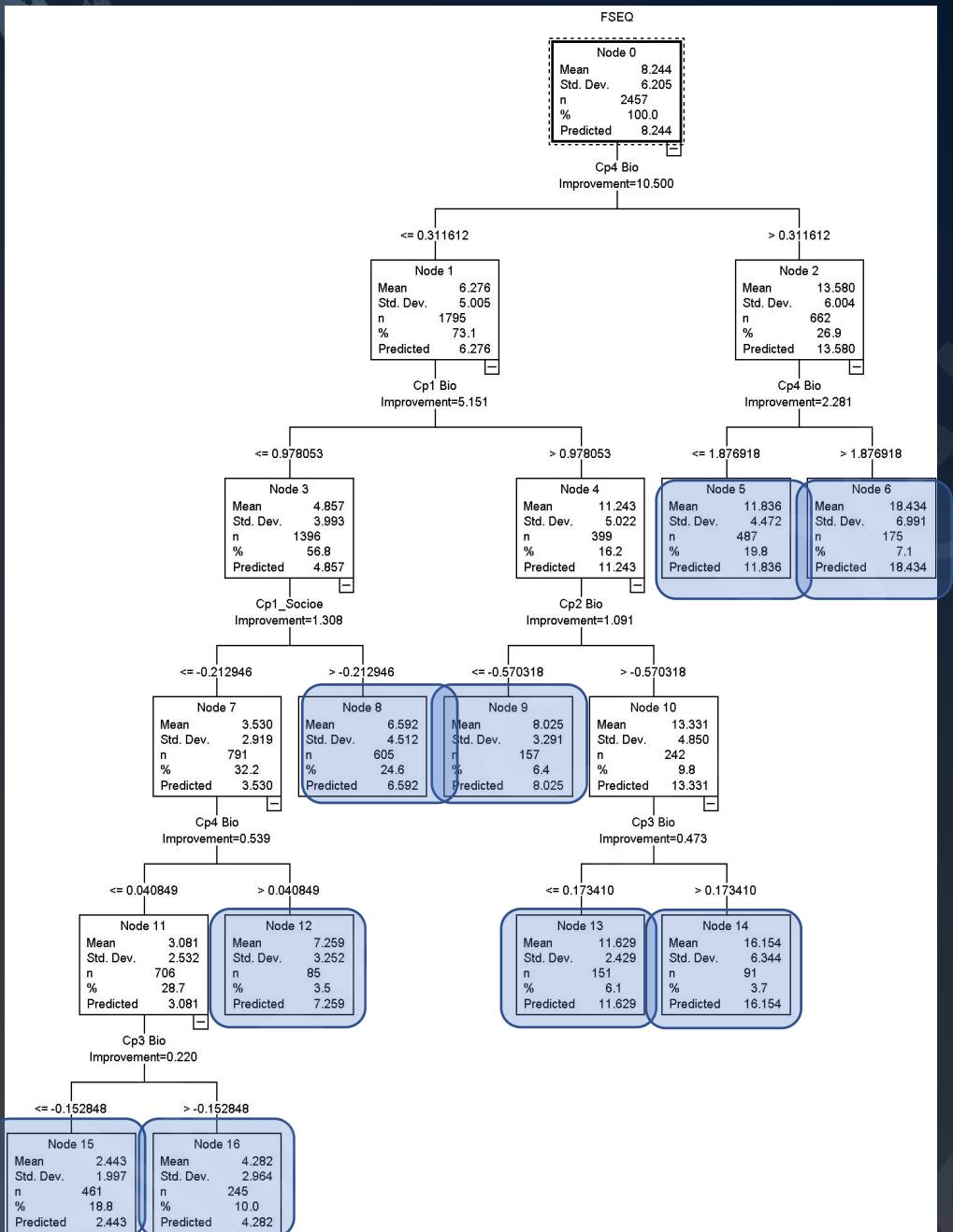
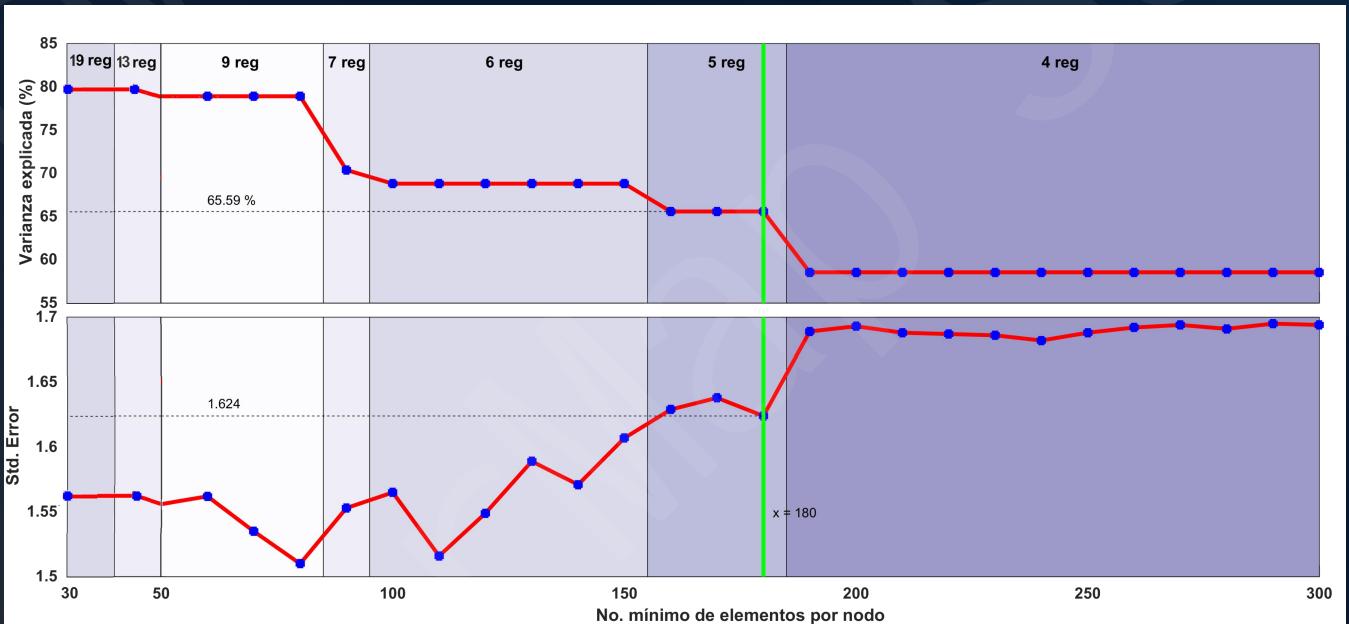
### ANÉLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

91.7%

64.3%

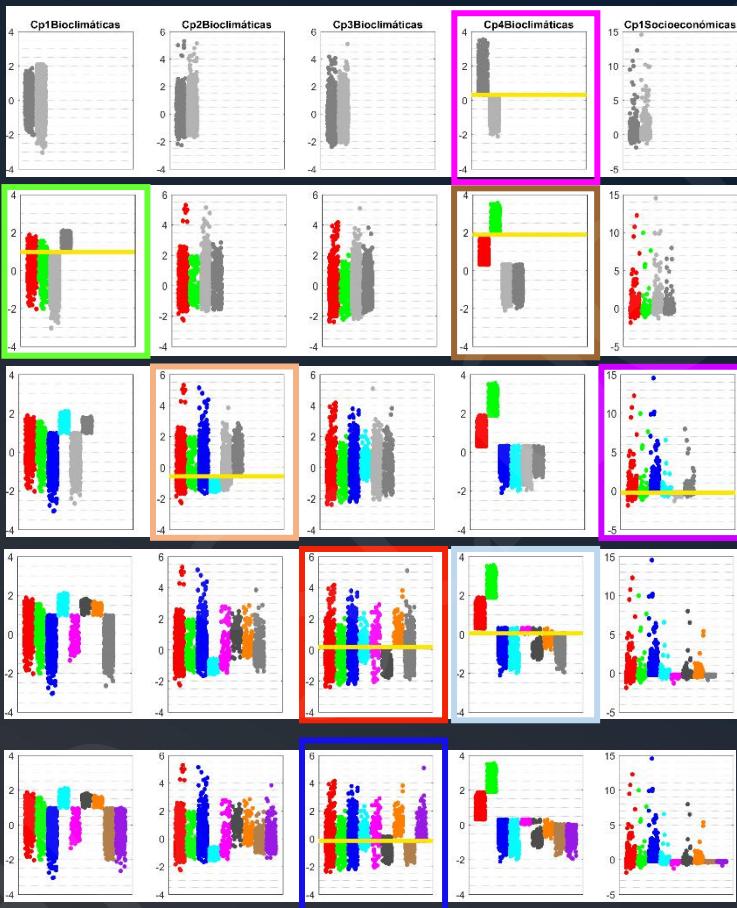
Prueba de idoneidad	Grupo de variables	Estadístico
KMO	Climáticas	.874
	Socioeconómicas	.571



**CART**



## PROCESO DE DIVISIÓN





## REGIONES FINALES

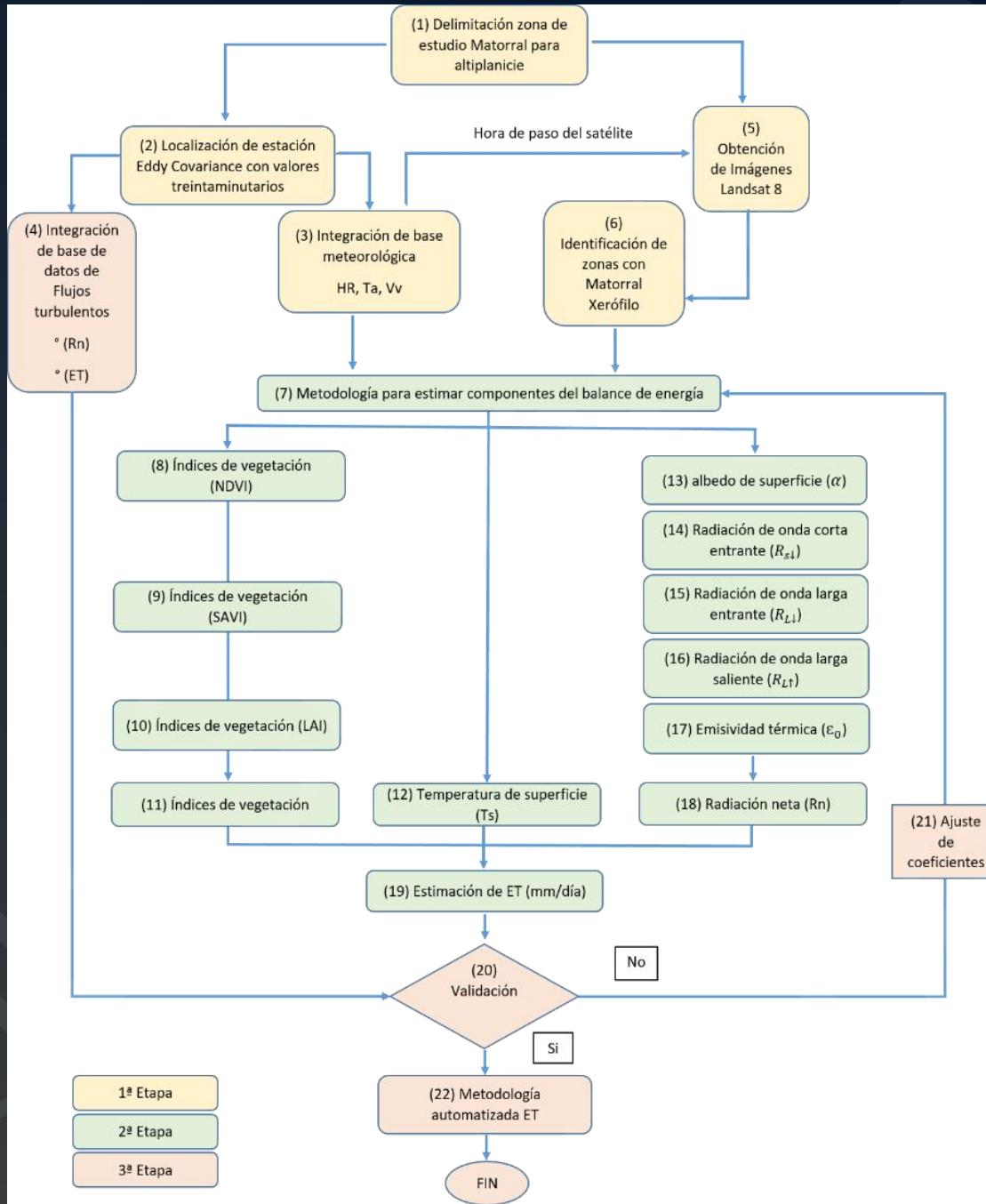


- REGIÓN 1: Los municipios que pertenecen a esta región presentan el mayor valor de producción de agricultura de riego. Así como de valor de producción ganadera.
- REGIÓN 2: Ha experimentado las sequías de mayor intensidad y presentan la mayor cantidad de defunciones.
- REGIÓN 3: Los municipios de esta región son los que presentan mayor densidad de población. Y han experimentado la mayor cantidad de incendios forestales.
- REGIÓN 4: En esta región el sector al cual se le destina más cantidad de agua es a las termoeléctricas. Los municipios de esta región presentan la precipitación más baja durante el mes más seco.
- REGIÓN 5: Es una región donde el suelo predominante de los municipios es “Natural”. Es la segunda región que ha presentado períodos de sequía de menor intensidad.
- REGIÓN 6: Es la región sur que presenta mayor superficie de ANP. Se encuentran los municipios que cuentan con la mayor cantidad de EPG.
- REGIÓN 7: Los municipios que pertenecen a esta región son los que presentan un menor valor de producción por la A. de riego. Es la región que muestra la menor cantidad de incendios forestales.
- REGIÓN 8: En esta región se localizan los municipios con menor densidad de población. Así como también menos cantidad de EPG y EPM. Ha experimentado períodos de sequía de menor intensidad.
- REGIÓN 9: En esta región se encuentran los municipios con menor cantidad de PT y caudal tratado. Es la región sur en la que se localizan los municipios con mayor valor de producción de agricultura de riego.



# EVAPORACIÓN





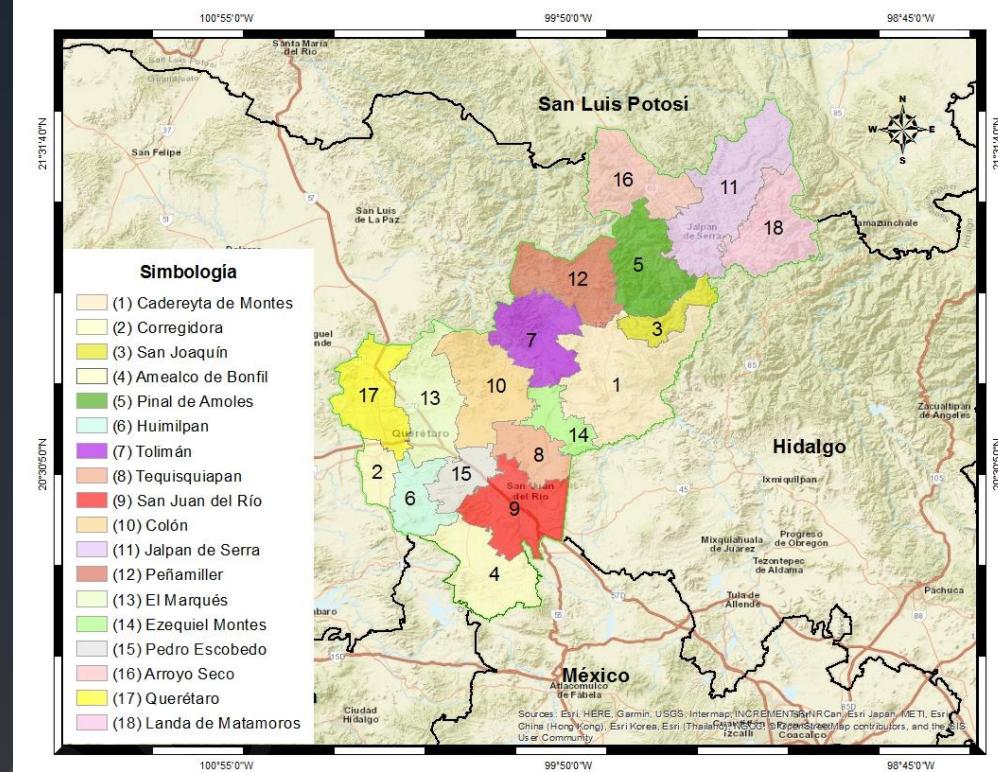


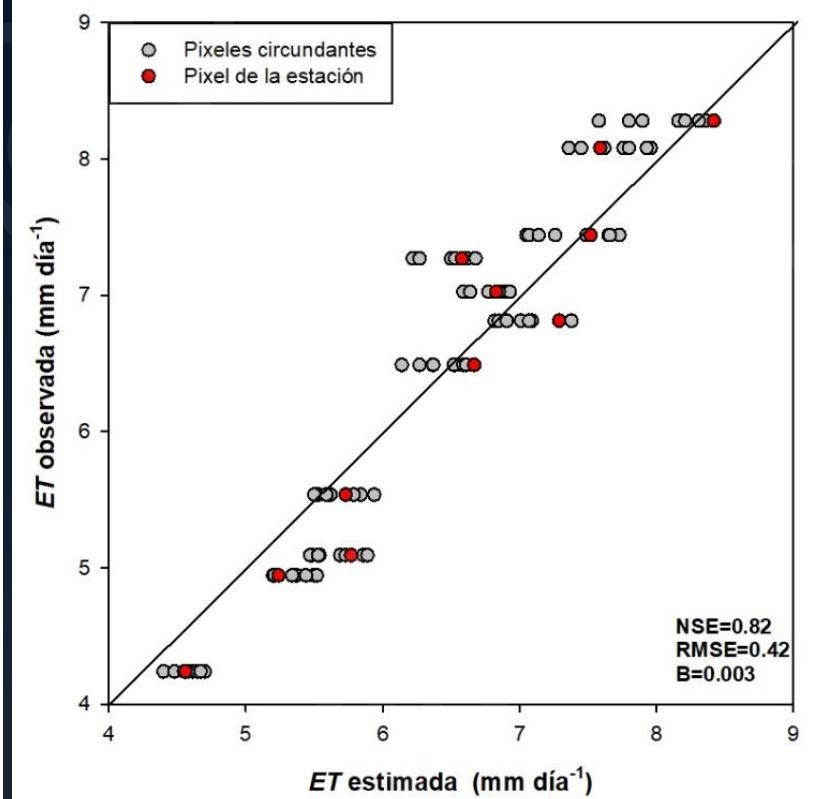
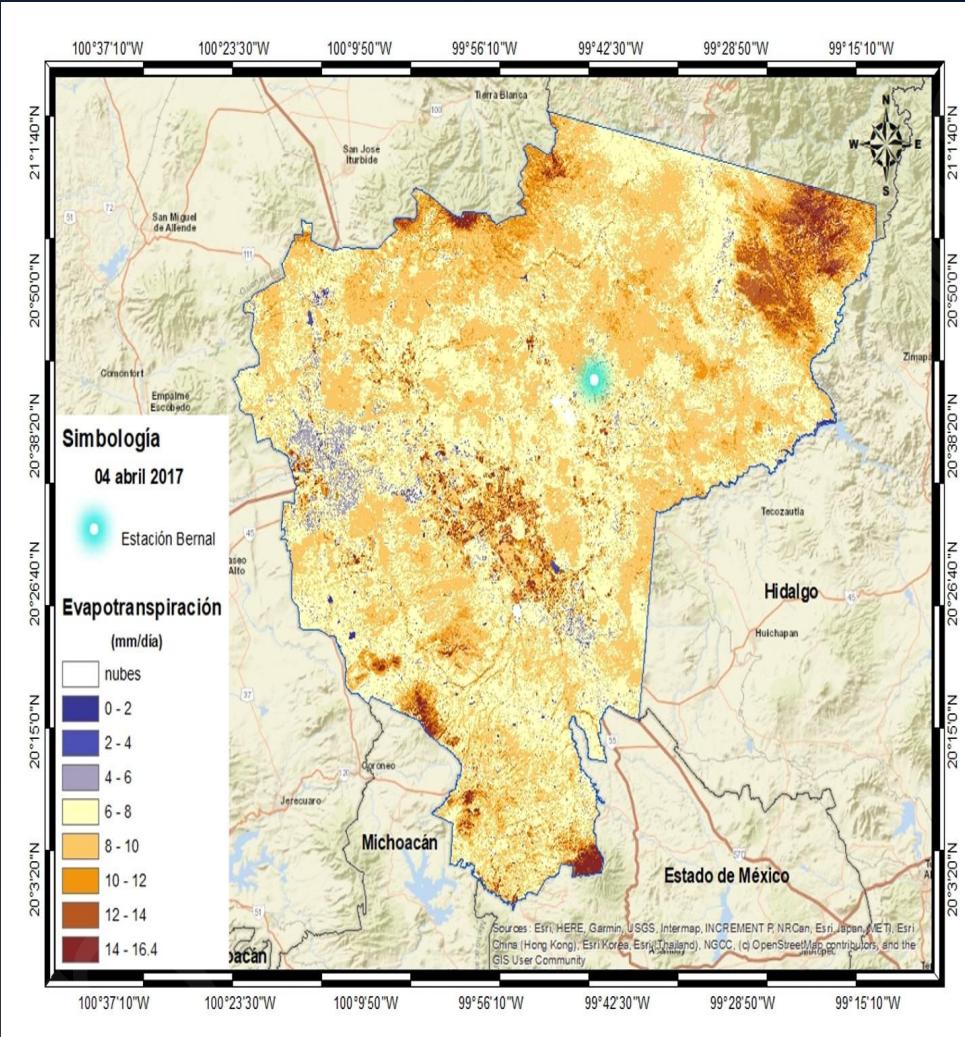
Imagen Landsat 8	Path 27 y Row 46
Clima predominante	Semiárido (5 065.05 km <sup>2</sup> )
Vegetación predominante	Matorral Xerófilo
Superficie total	7 553.78 km <sup>2</sup>
Municipios que abarca	14

Cadereyta	Corregidora
Amealco	Huimilpan
Tolimán	Tequisquiapan
San Juan del Río	Colón
El marqués	Ezequiel Montes
Pedro Escobedo	Querétaro
San Joaquín	Peñamiller



Estación de flujos turbulentos	
Ubicación	Ezequiel Montes, Qro
Altitud	2050 msnm
Temperatura media anual	16.7 ° C
Precipitación media anual	550 mm
Registro continuo	30 minutos
Administrador	UAQ





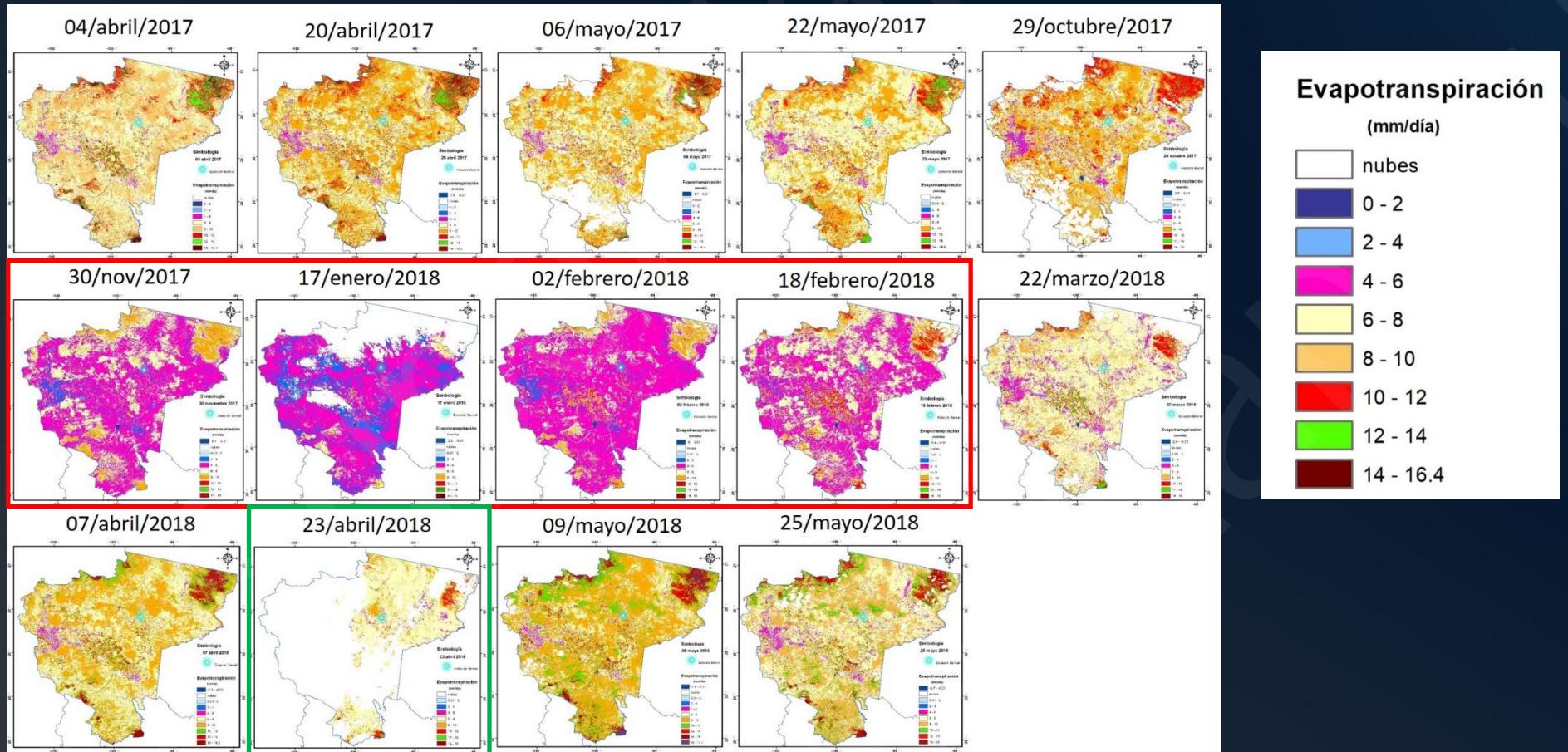
Nivel de desempeño

Muy bueno       $0.75 < \text{NSE} > 1$

Bueno       $0.65 < \text{NSE} > 0.75$

Satisfactorio       $0.5 < \text{NSE} > 0.65$

Insatisfactorio       $\text{NSE} \leq 0.5$





# ESCURRIMIENTO (erosión)



# METODOLOGÍA

**K** Factor de susceptibilidad de erosión

**R** Factor de lluvia y escurrimiento

**L** Factor de largo de la pendiente

**S** Factor de magnitud de la pendiente

**C** El factor cubierta vegetal

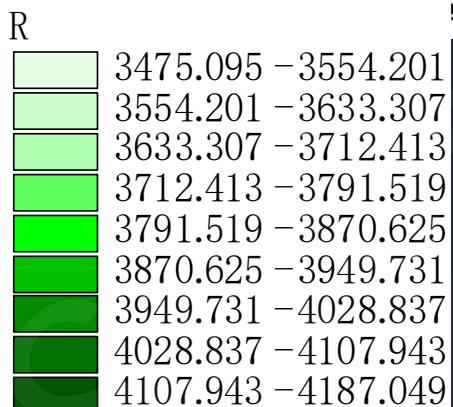
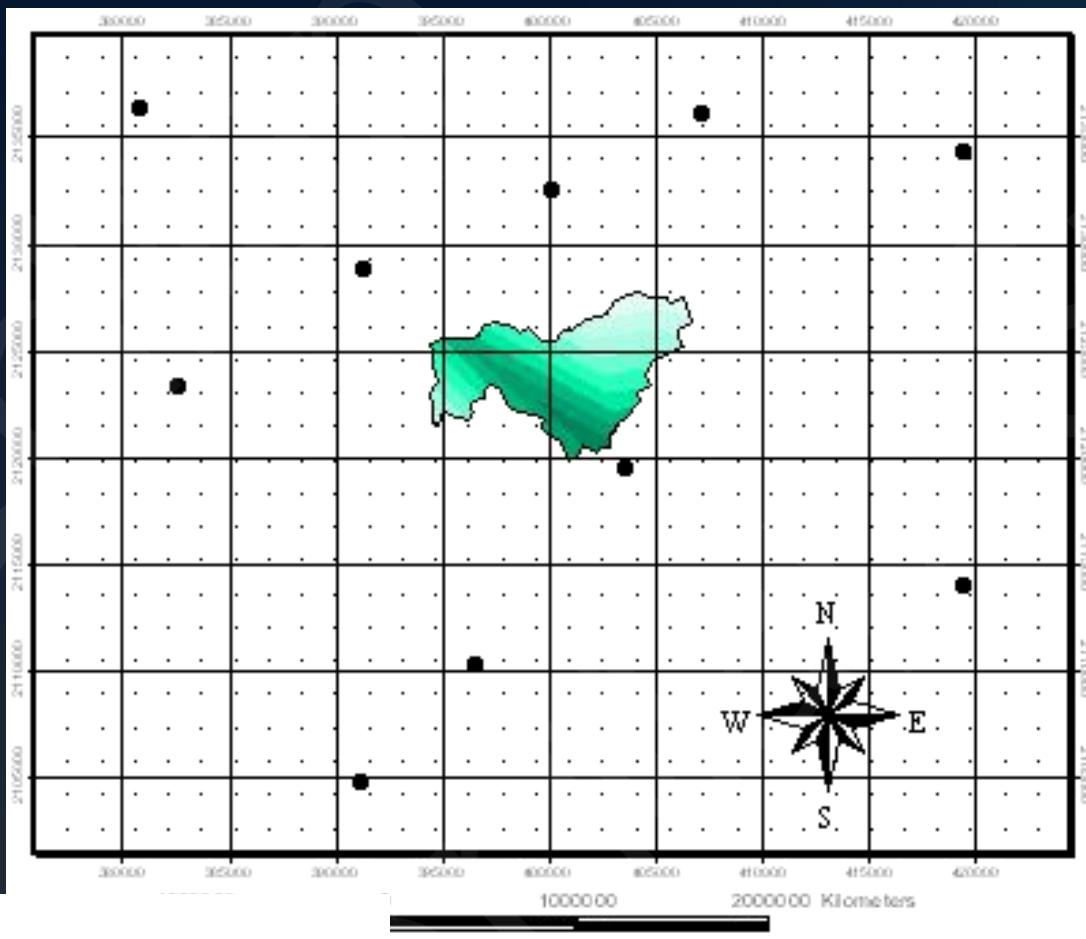
**P** Factor de prácticas de apoyo de conservación





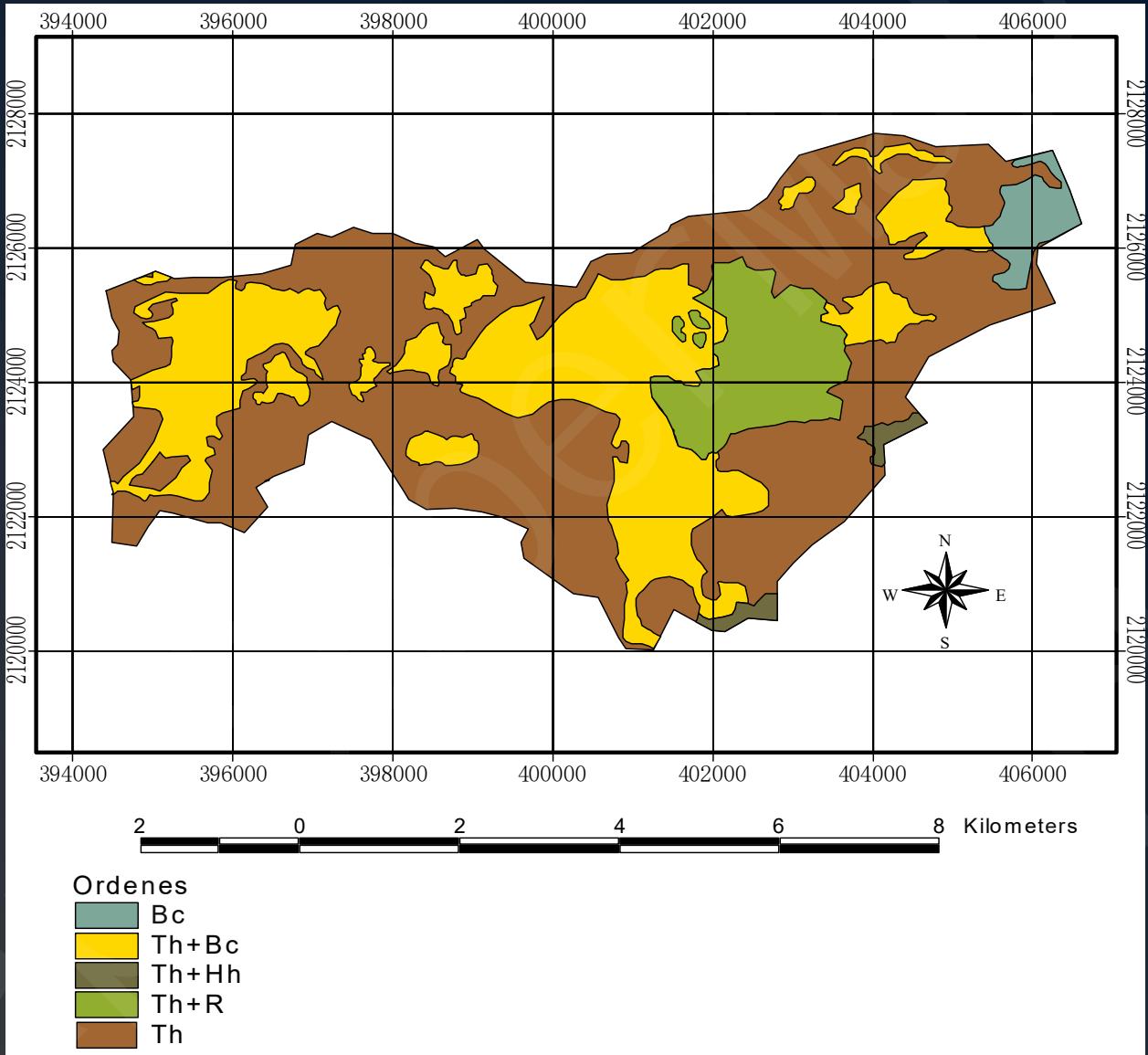
# R Factor de lluvia y escurrimiento

Estación	Precipitación media anual (mm)
Amanalco de Becerra	1203.9000
Nevado de Toluca	1226.2100
Puente Andaro	815.9000
San Fco. Oxtotilpan	1299.7000
San Fco. Tlalcilcalpa	751.1000
Santa María del Monte	838.6000
Temascaltepec	1252.0000
Psa. Valle de Bravo	885.3000
Palos Mancornados	896.0000
Acambay	820.3000





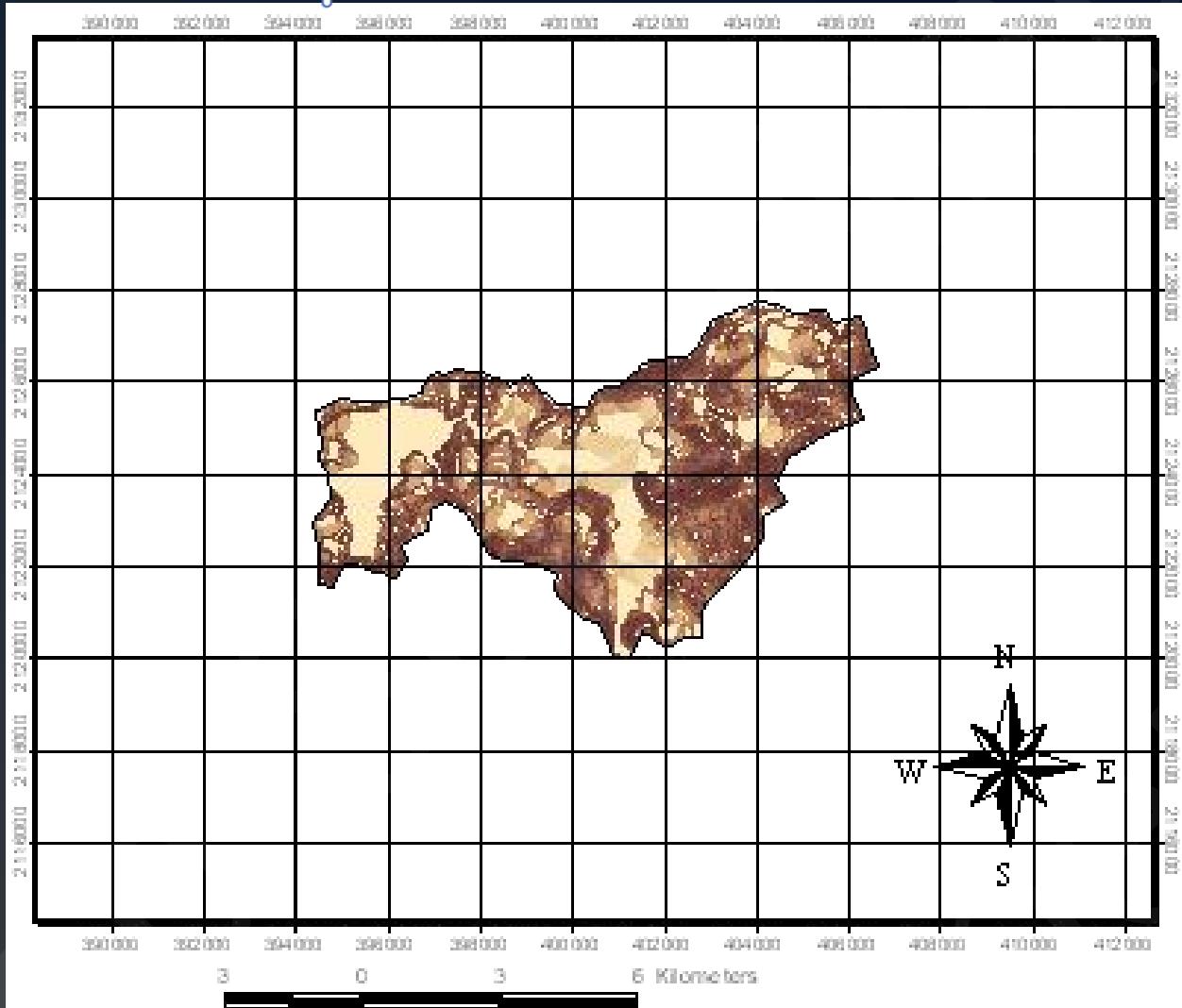
# K Factor de susceptibilidad de erosión



Suelo	Coeficiente de erosión
Andosol	0.02
Andosol y Cambisol	0.03
Andosol y Feozem haplico	0.033
Andosol y Regosol	0.03
Cambisol	0.04



## L Factor de largo de la pendiente



## S Factor de magnitud de la pendiente

$$L = (\lambda / 22.1)m$$

$$m = \beta / (1 + \beta)$$

$$\begin{aligned}\beta &= (\sin \theta / 0.0896) / 3.0 \\ &(\sin \theta) 0.8 + 0.56\end{aligned}$$

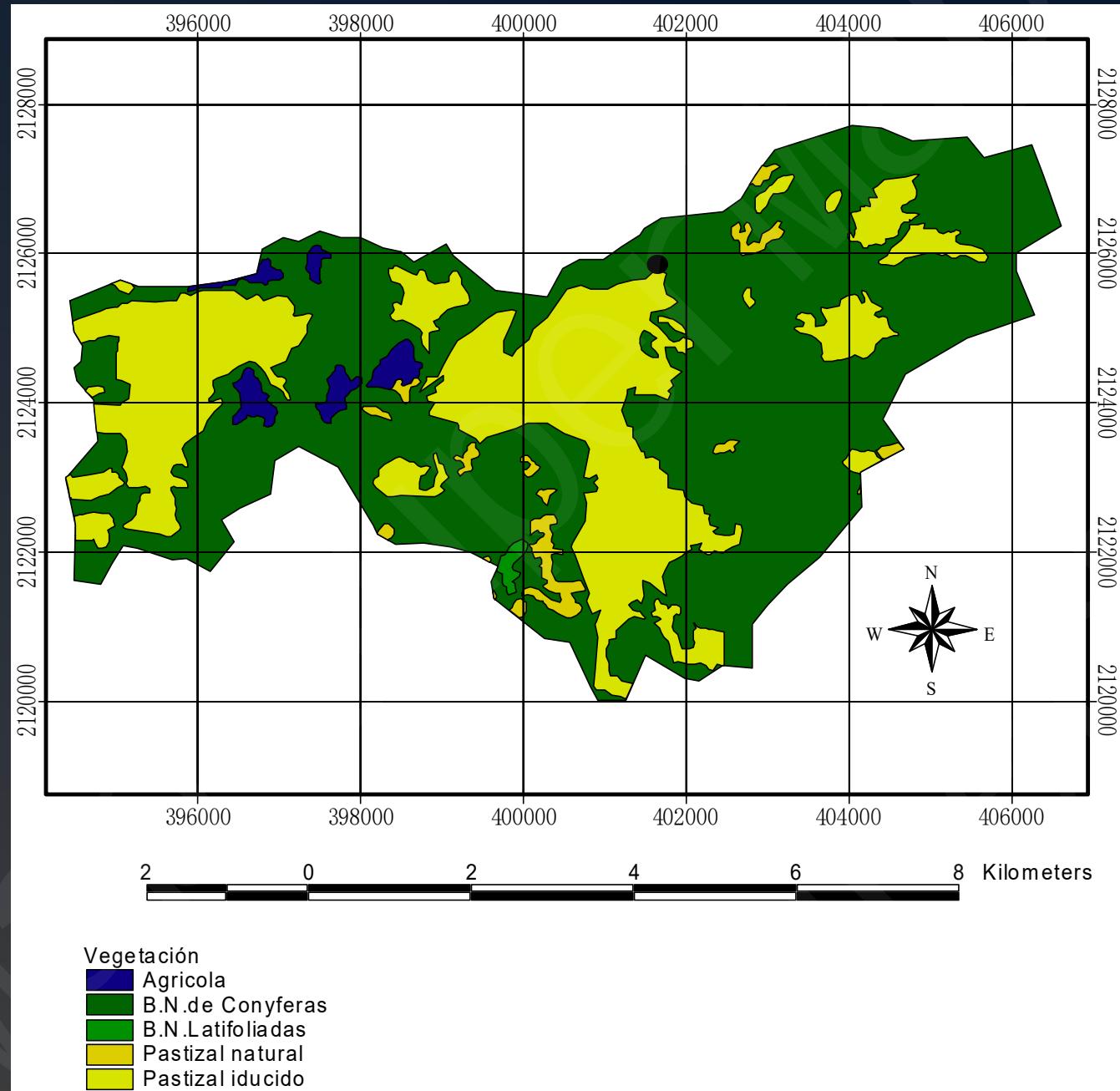
$$S = 16.8 \sin \theta - 0.5$$

LS

0.56–1.391
1.391–2.222
2.222–3.053
3.053–3.884
3.884–4.716
4.716–5.547
5.547–6.378
6.378–7.209
7.209–8.04



# C El factor cubierta vegetal

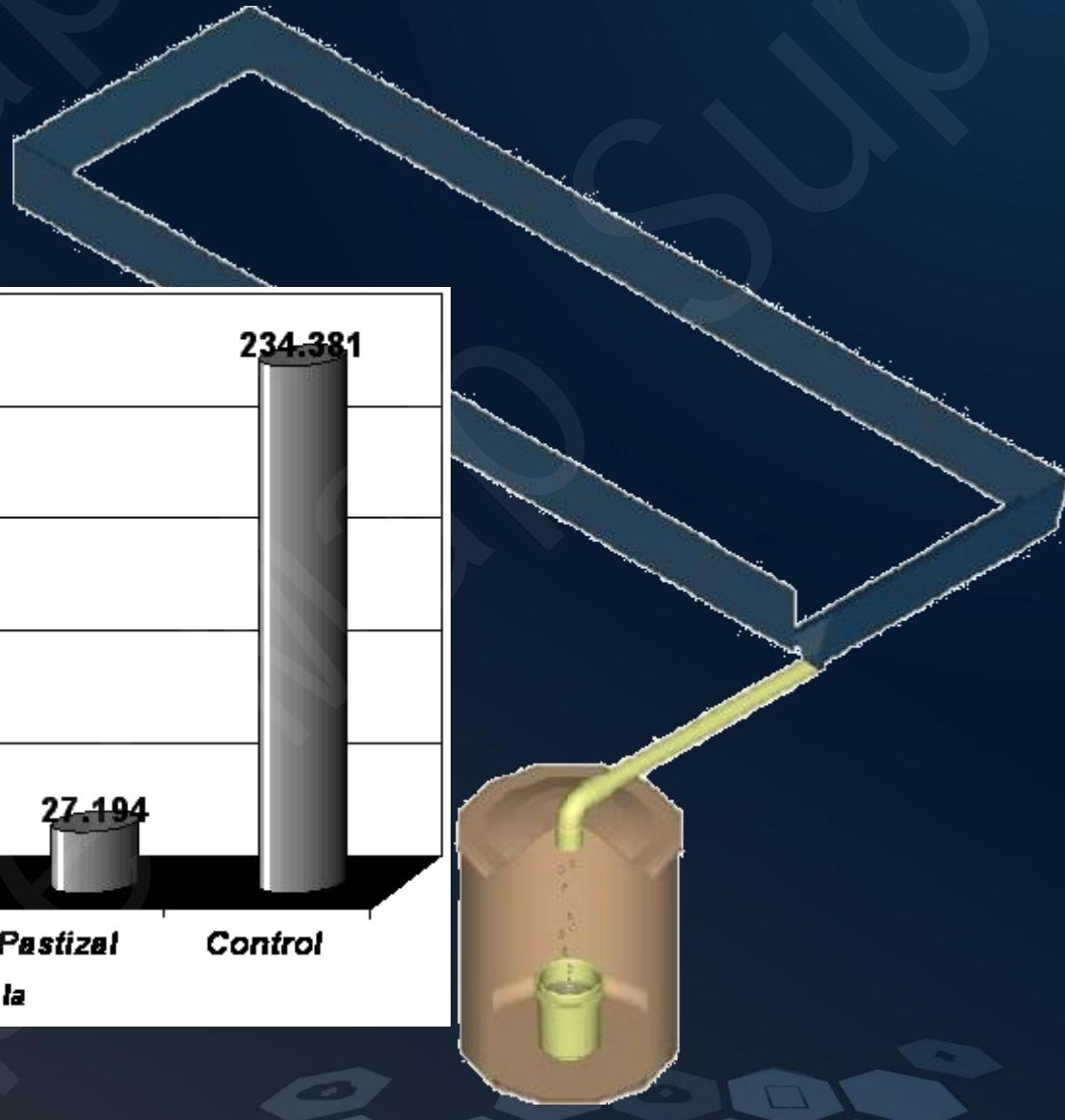
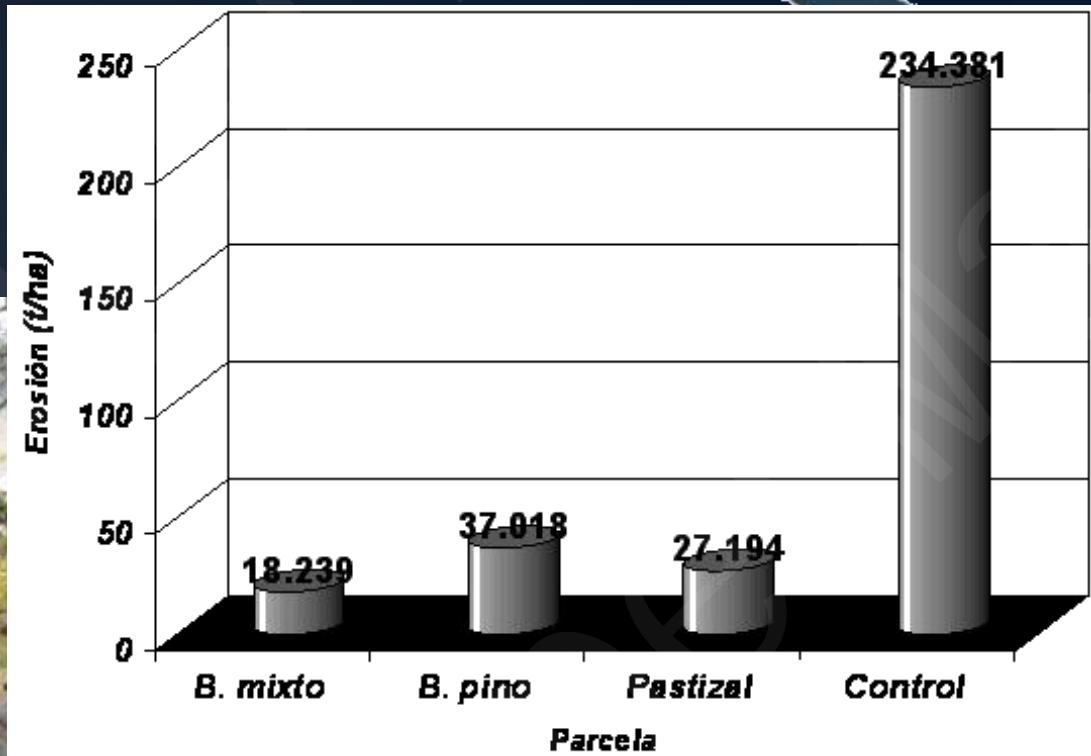


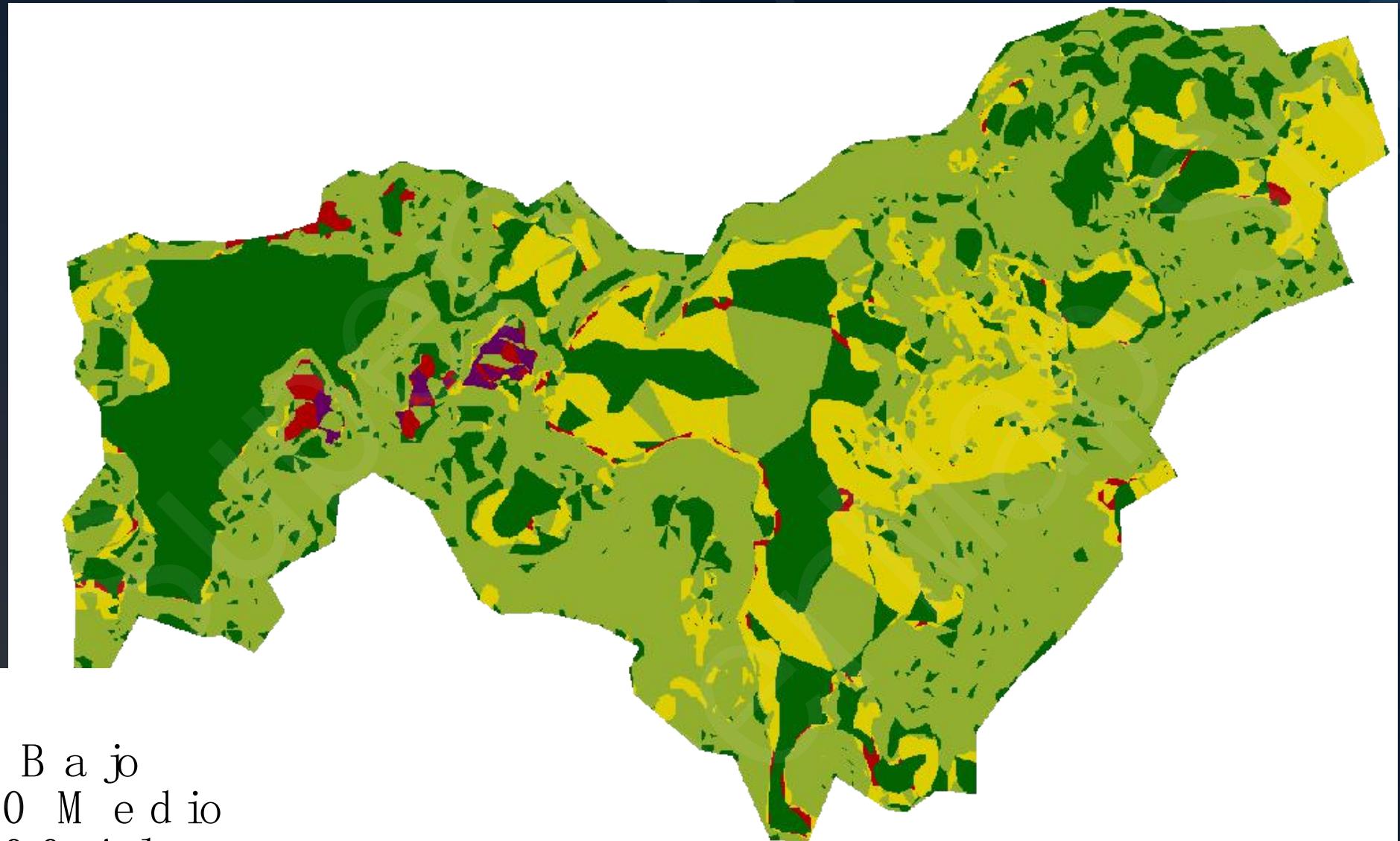
A decorative graphic at the bottom right consists of several overlapping hexagons containing various icons related to data and technology, such as a person, a speech bubble, a gear, a magnifying glass, and a square.

Tipo de Vegetación	Factor C
Bosque de coníferas	0.78
Pastizal natural	0.158
Pastizal inducido	0.116.
Cultivo (maíz)	0.039

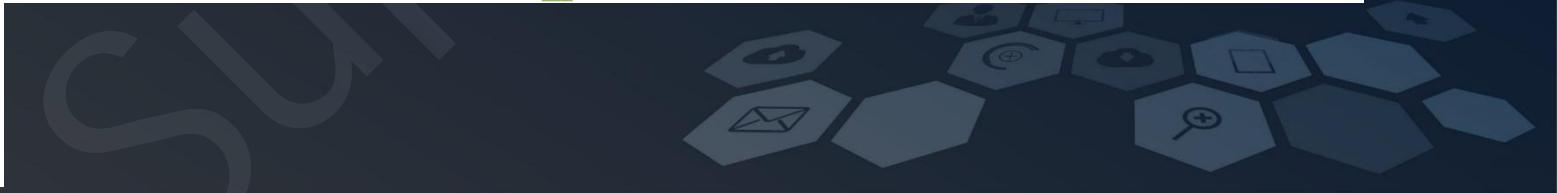
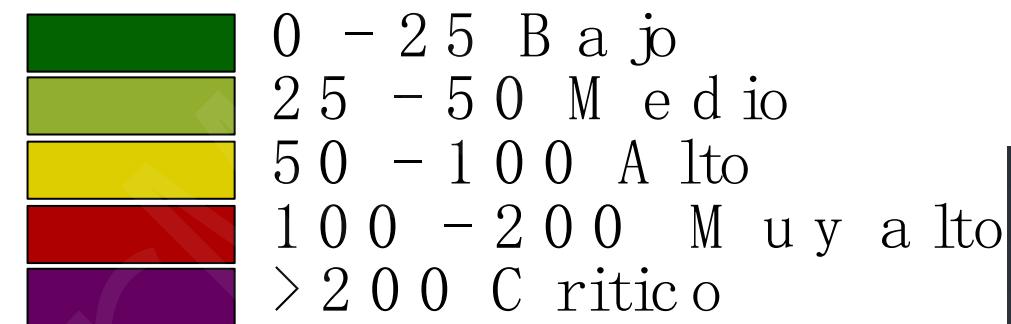


# Erosión, escurrimiento superficial e Infiltración





A

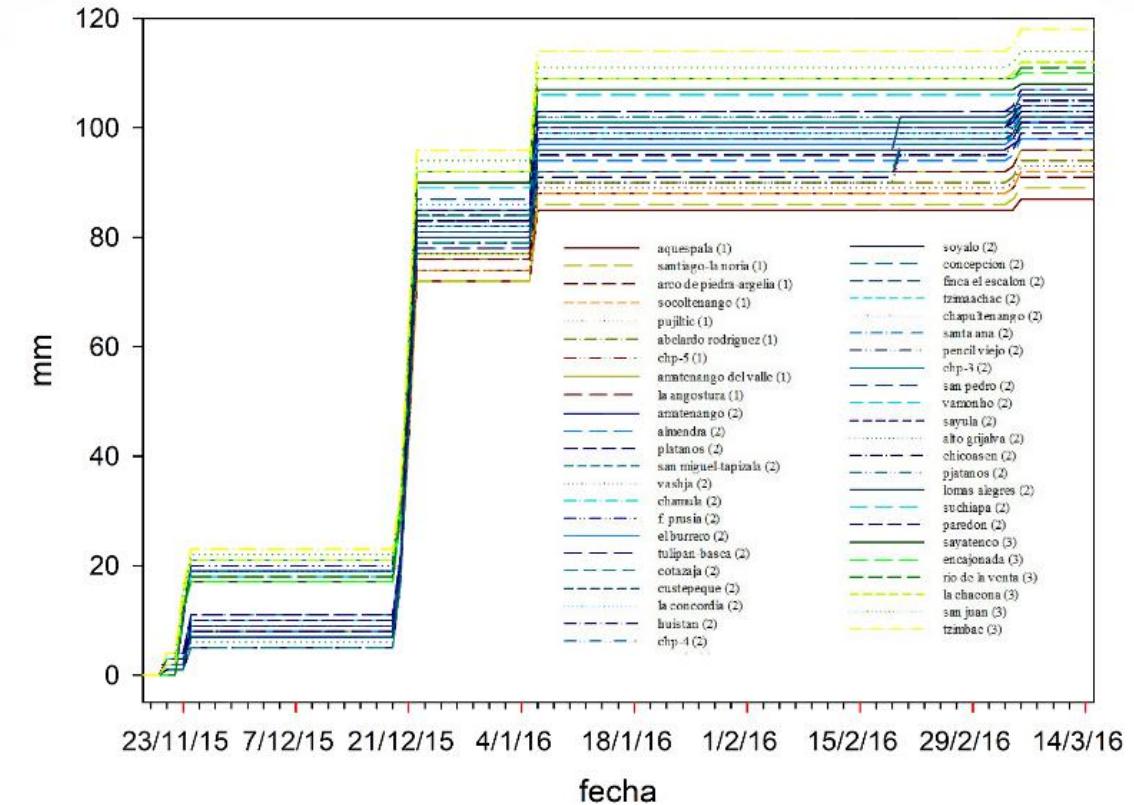
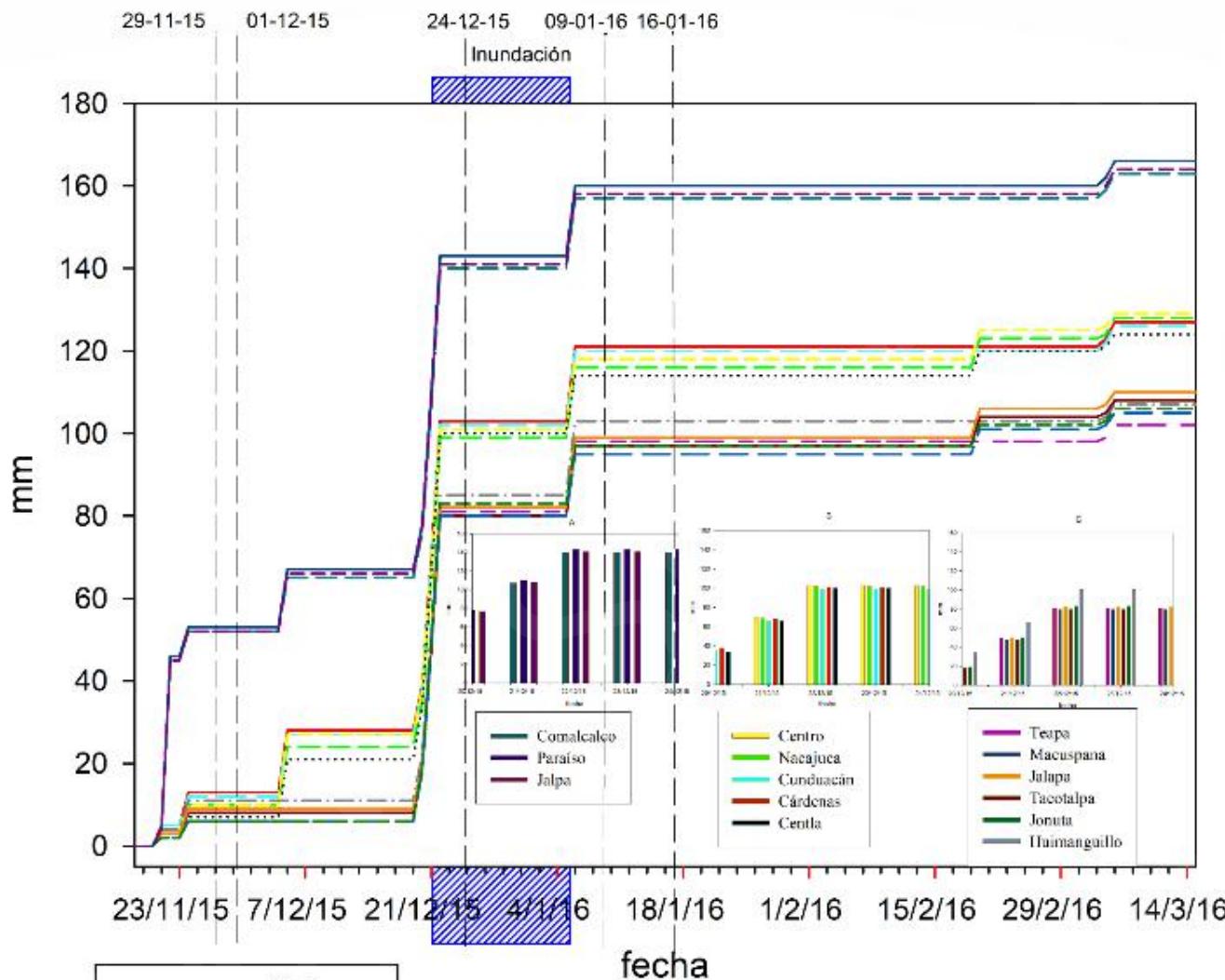


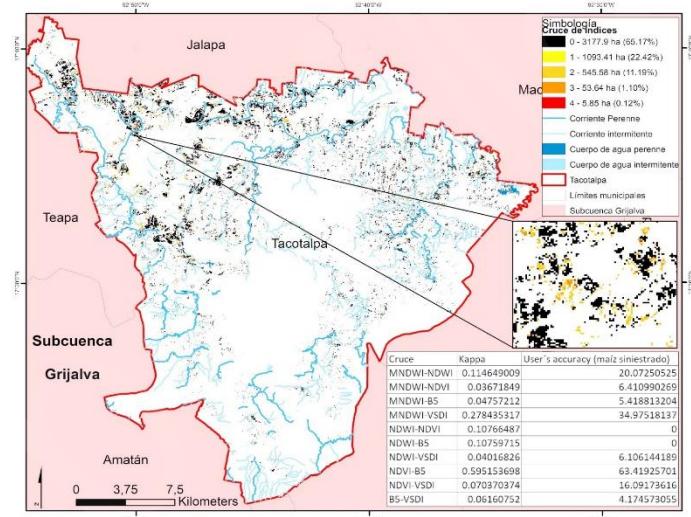
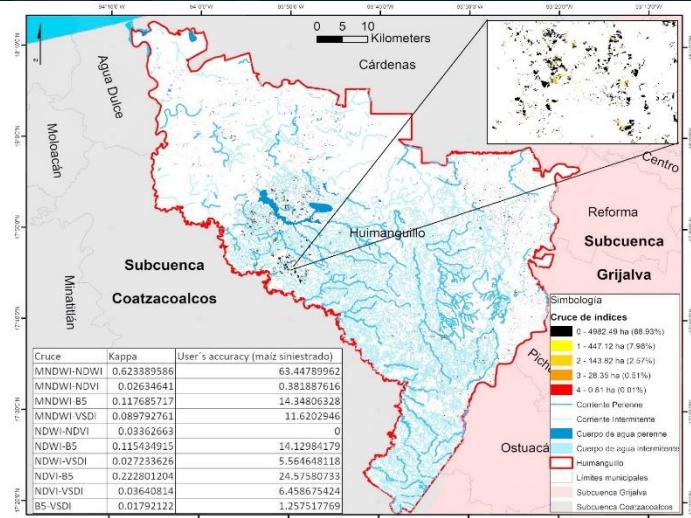
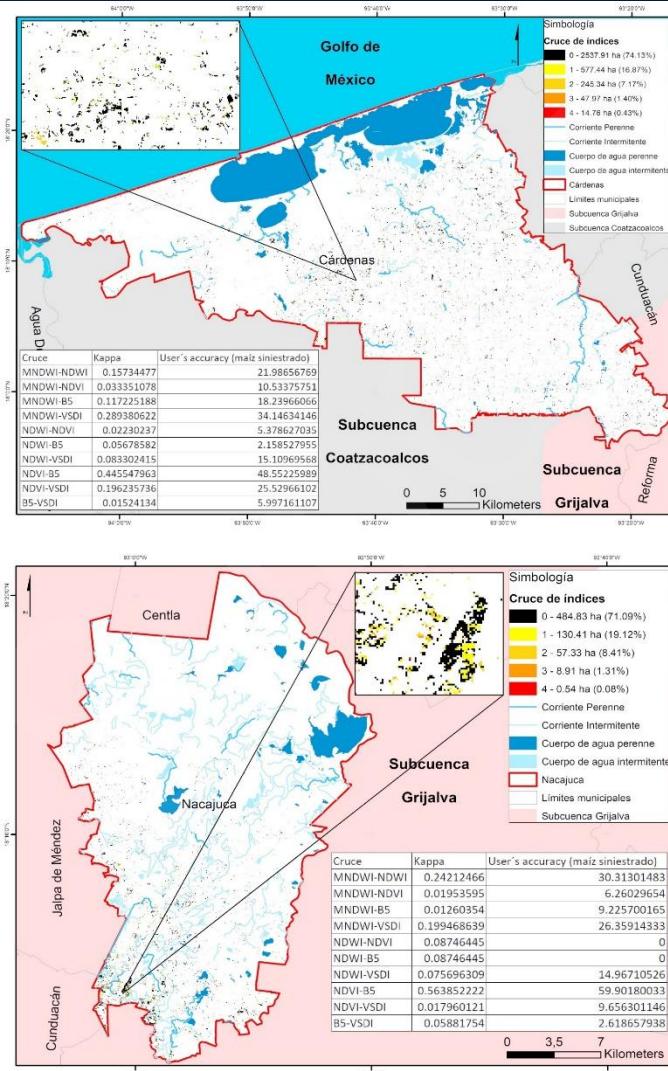


# ESCURRIMIENTO (inundaciones)



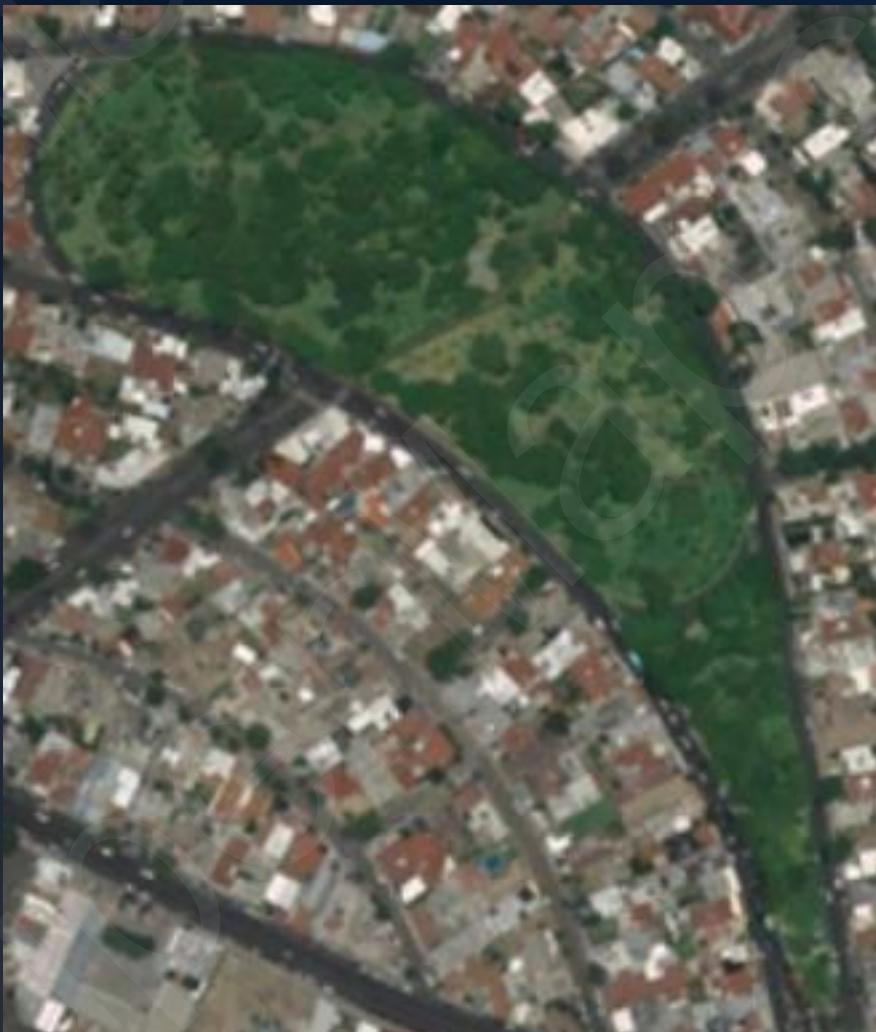
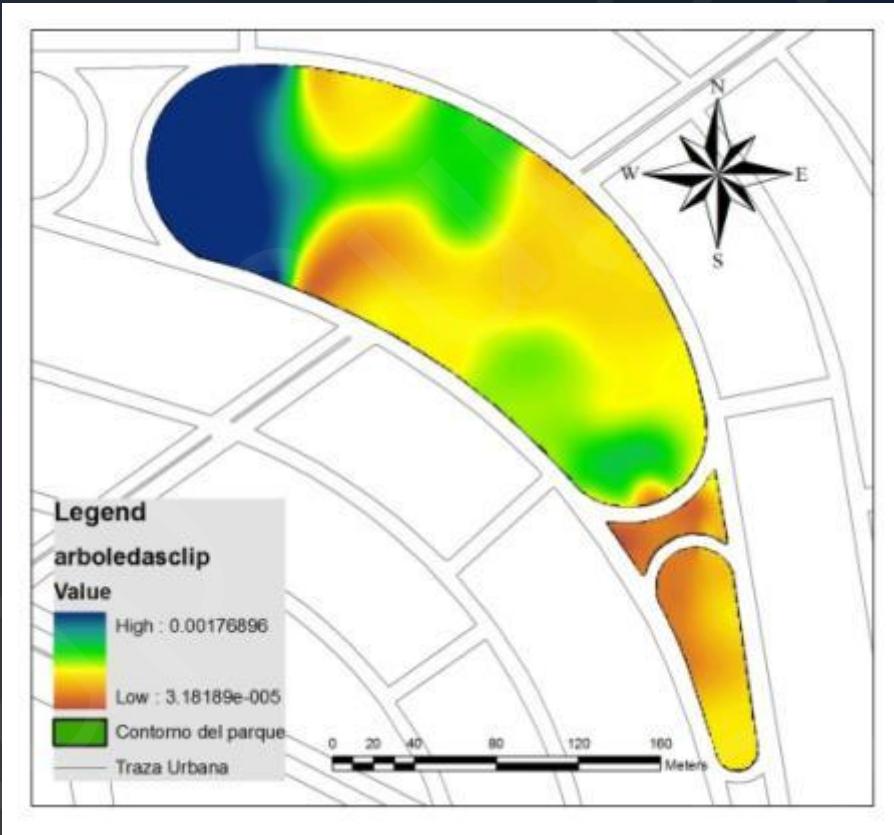
# Resultados: Identificación de zonas inundadas





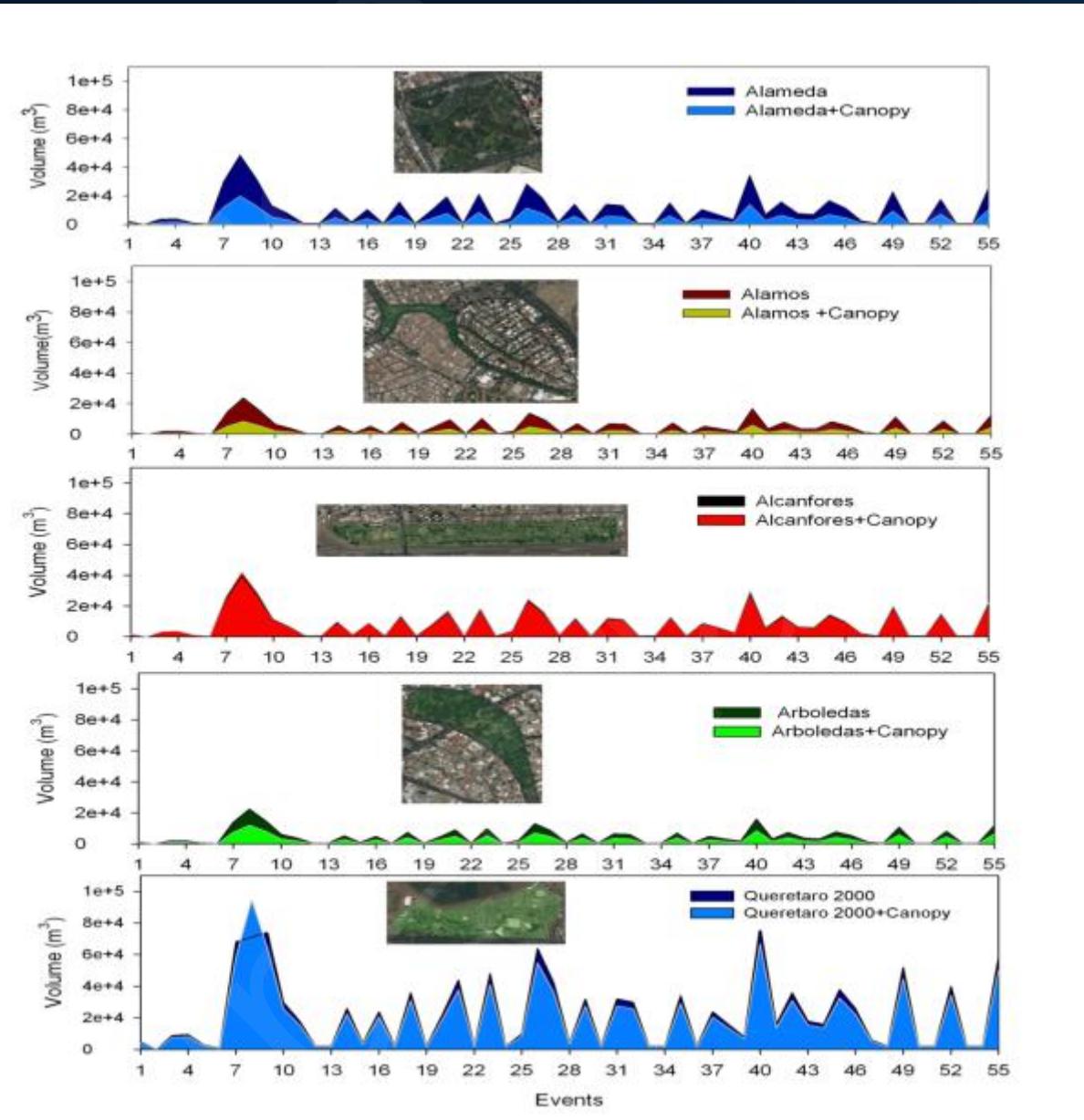
# INFILTRACIÓN





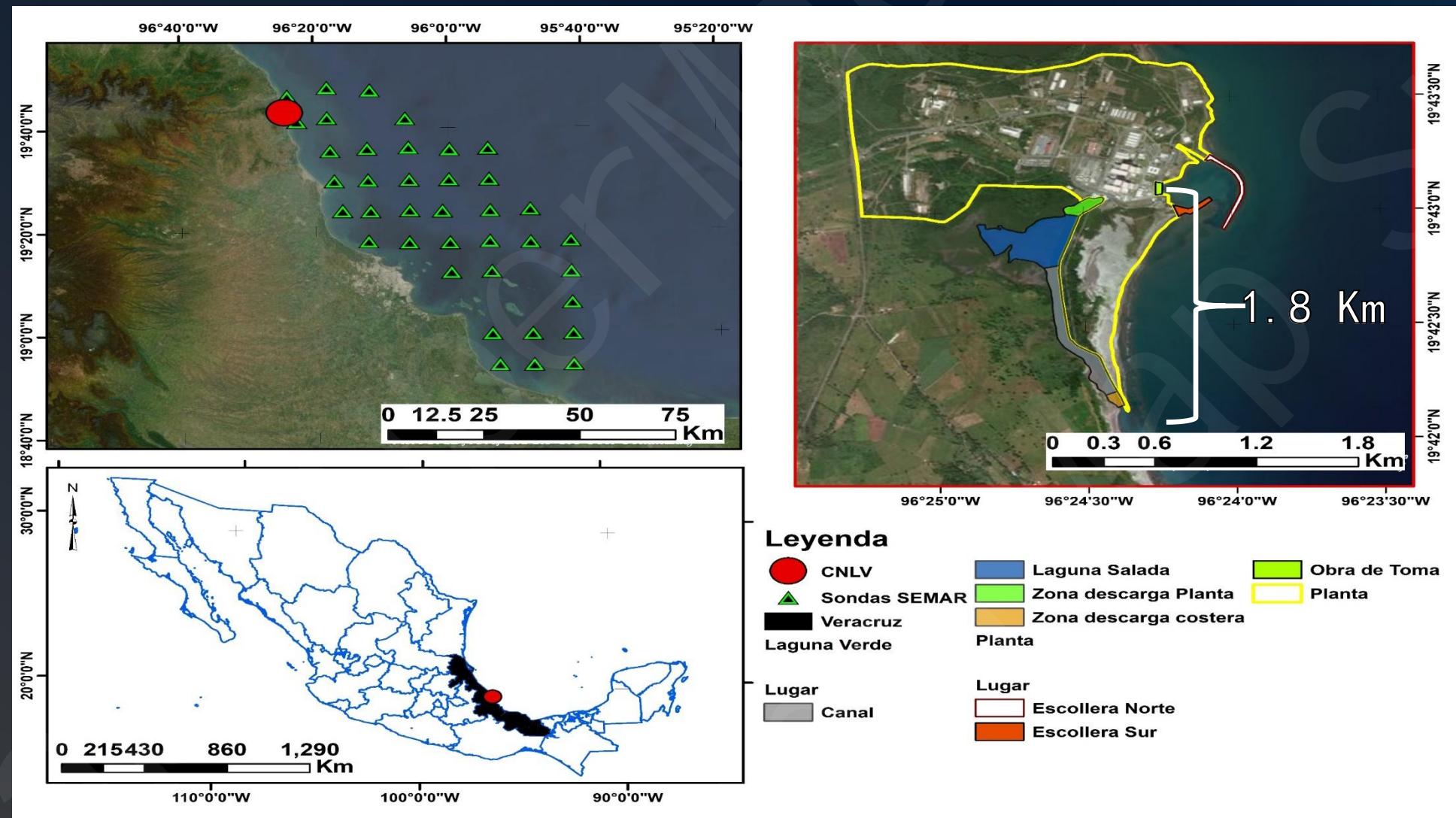


URBAN PARK	EXTENTION (ha)	PLANT COVER
Alameda Central	8.885	79%
Alamos	4.335	86%
Alcanfores	7.231	15%
Arboledas	3.549	62%
Cerro de las Campanas	4.082	71%
Querétaro 2000	20.025	19%





# Calidad del Agua (Plumas térmicas)

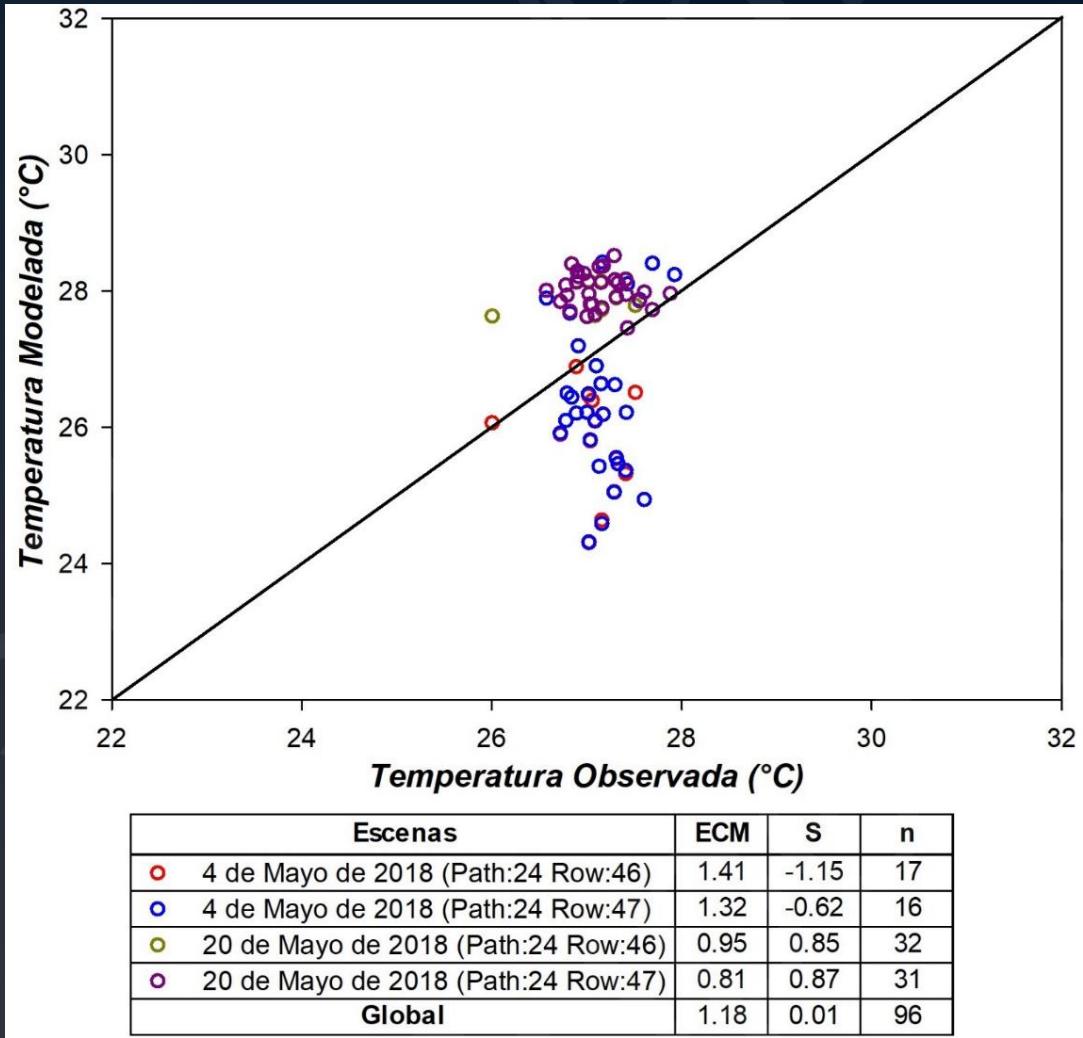


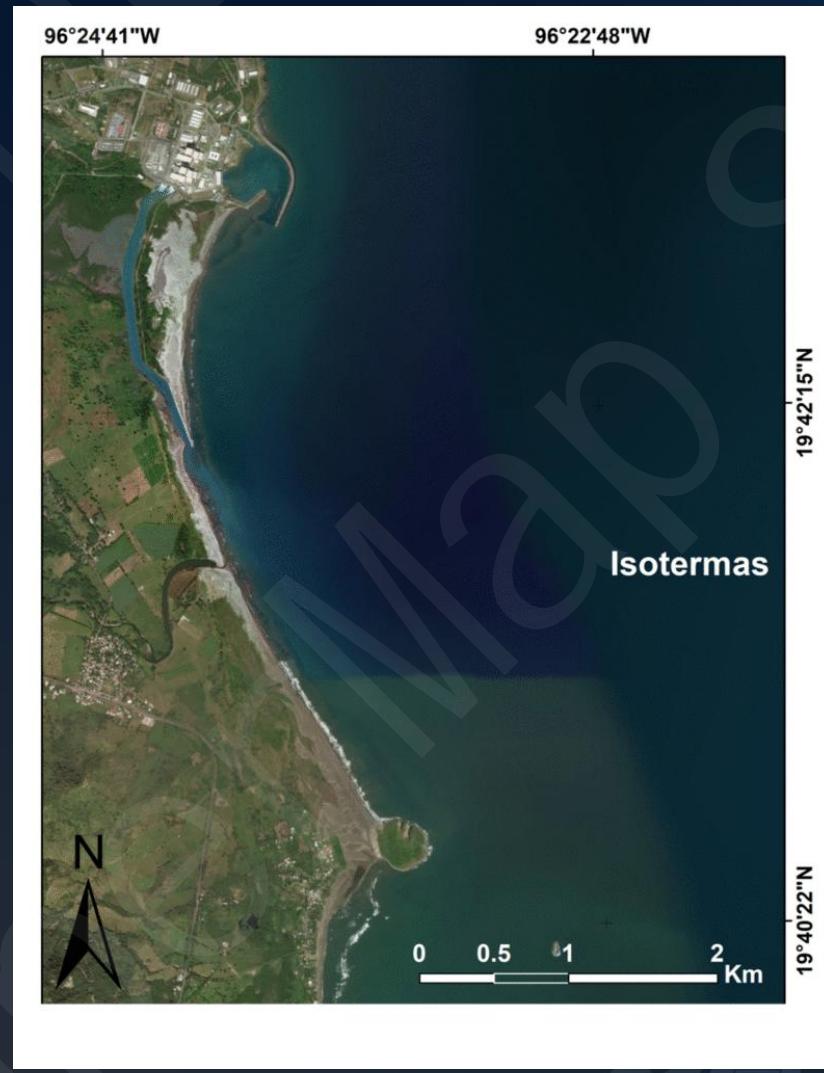
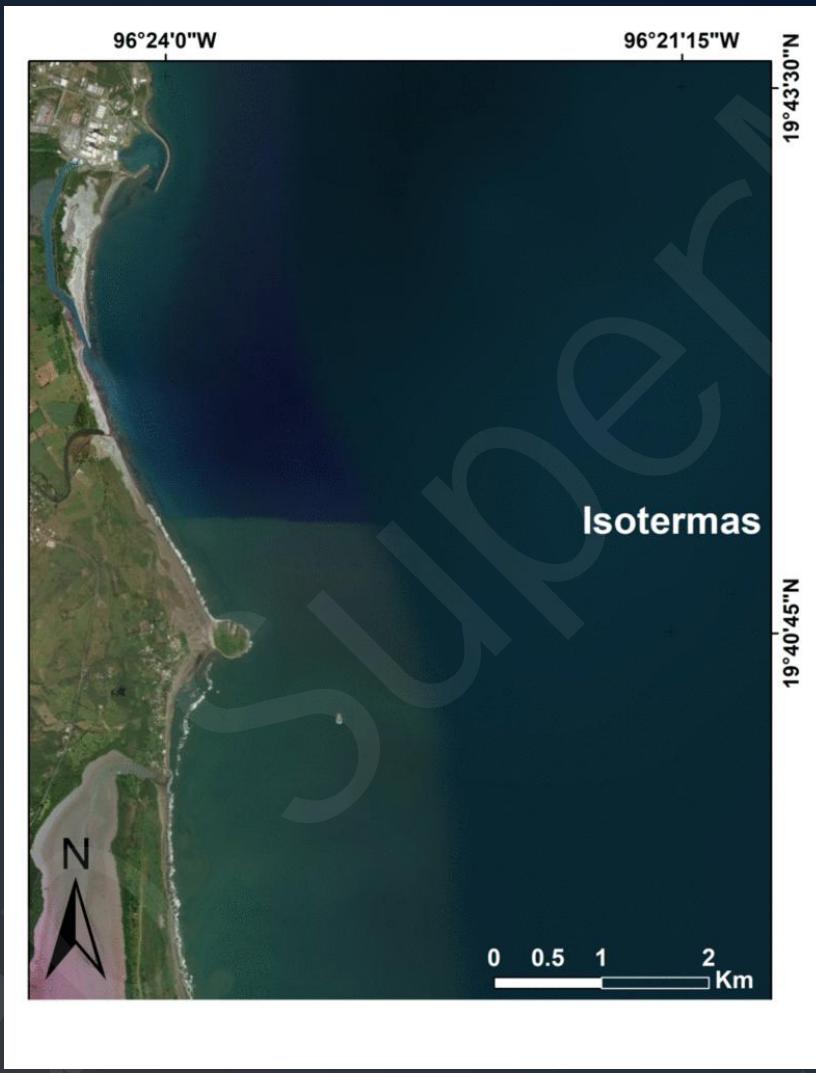


Etapas	Parámetro	Ecuación	Fuente
Preprocesamiento	Radiancia	$L \lambda' = M_L * Q_{cal} + A_L$	(USGS, 2019)
Determinación de TsM	Radiancia Térmica Corregida	$R_C = \frac{L_{t,10} - R_p}{\tau_{NB}} - (1 - \varepsilon_{NB})$	Allen, Tasumi, & Trezza, 2007
	Temperatura Superficial del Mar	$T_s M = \frac{K_2}{\ln \left[ \frac{\varepsilon_{NB} K_1}{R_c} + 1 \right]}$	

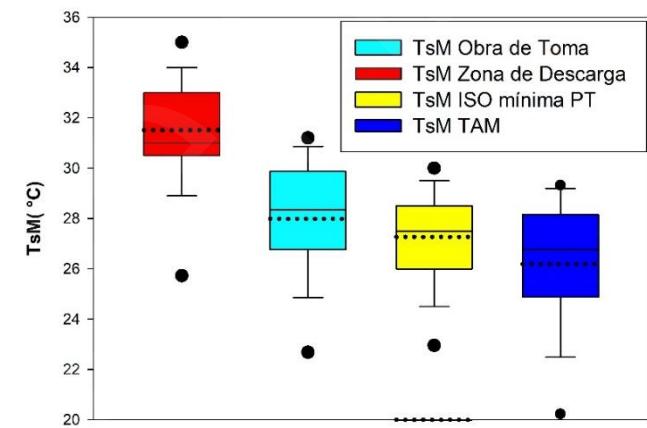
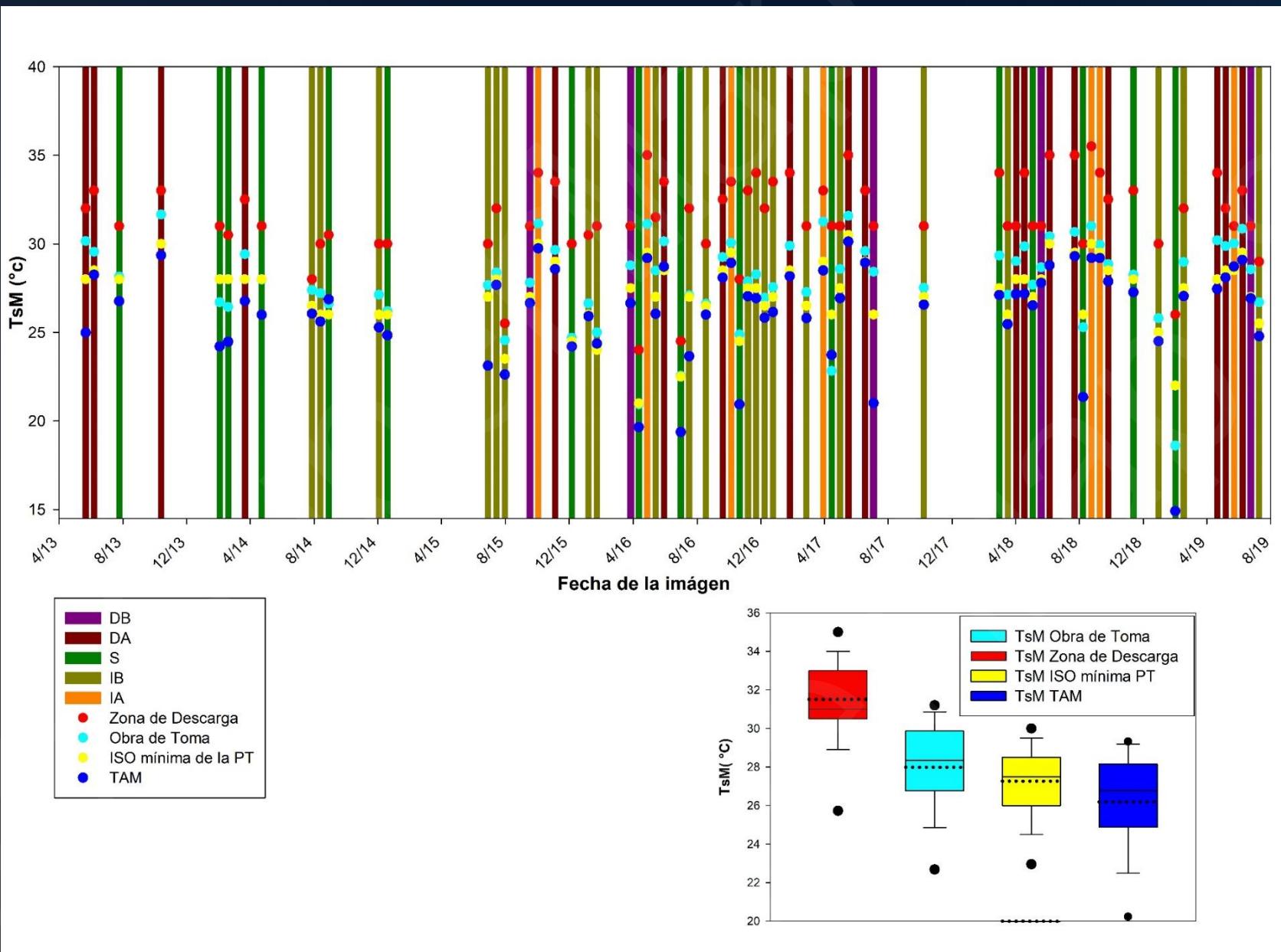


# Validación











## Análisis Direccional\_Correlación Circular (CC)

### Variables

#### Dirección Pluma Térmica

#### Dirección Corrientes Marinas

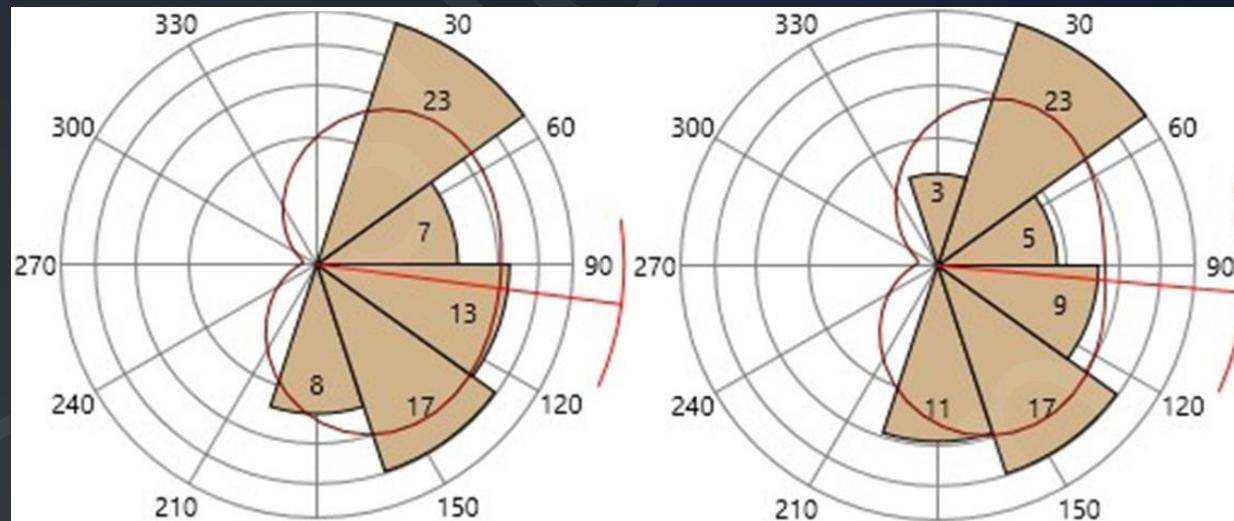
N=68

Media: 97.545

Media: 95.139

Coeficiente de Correlación Circular: 0.96989

Prueba de Jammalamadaka-Sengupta para CC



### Análisis Direccional (2 muestras)

#### Variables

Lluvias (Pluma Térmica)

Secas (Pluma Térmica)

N= 38

N= 30

Media= 109.08

Media= 83.06

Rayleigh's R= 24.30

Rayleigh's R= 19.42

Prueba de Watson-William

Overall Kappa= 1.70

Overall R= 42.61

U= 3.67

p (same mean)= 0.06

### Análisis Direccional (2 muestras)

#### Variables

Lluvias (Corrientes Marinas)

Secas (Corrientes Marinas)

N= 38

N= 30

Media= 108.46

Media= 77.67

Rayleigh's R= 21.31

Rayleigh's R= 16.35

Prueba de Watson-William

Overall Kappa= 1.34

Overall R= 36.33

U= 3.70

p (same mean)= 0.059



**Gracias**

