

# Manejo sostenible y conservación de la biodiversidad acuática En la cuenca Magdalena-Cauca

## Modelación hidrológica Cuenca Río La Vieja

Bonilla-Pérez, L. P., Cañón-Hernández, J., Duque-Gardeazabal, N., Hernández-Castillo, B. E., Díaz-Barrios, M. C., Obregón-Neira, N., C., Quintana-Linares, A. M., Maldonado-Santafé L.C., Garzón-Riveros, J. C., Meneses-Suarez, L. M., Reina-Mora, I. H., Fuentes-Cabrero, C. A., Barros-Vanegas M. J., Gutiérrez-Cortés, A. L., Poloche-Hernández, J. F., Reyes-Motavita, M. C., Porto-Peralta, L. C., Quintana-Linares, A. M.

lbonillap@unal.edu.co; jecanoh@unal.edu.co; bhernandez@natura.org.co; mcecilia.diaz@natura.org.co; beacajuan@gmail.com

Programa de Modelamiento Ecohidrológico (PMEH)  
Componente 2 – Gestión de la Salud de los Ecosistemas  
Proyecto GEF Magdalena-Cauca Vive;  
Fundación Natura  
Carrera 21 # 39 – 43, Bogotá, D. C., Colombia.

### Introducción

Por medio de la modelación hidrológica de la cuenca Río La Vieja, a través de la herramienta SWAT, se pretende evaluar cómo los cambios en clima, uso de los suelos y otras actividades antrópicas influyen en el ciclo hidrológico y afectan el recurso hídrico y los servicios ecosistémicos asociados. La comprensión de estos impactos puede facilitar el desarrollo de estrategias sostenibles de manejo y gestión de cuencas hidrográficas.

En este trabajo se proyectaron y modelaron:

- Un escenario de demanda.
- 3 escenarios diferentes de uso de la tierra.
- 2 escenarios de cambio climático.

Sus resultados se incorporaron en el modelo hidrológico previamente calibrado y validado. De dichas simulaciones se generaron más de 15 combinaciones de escenarios de cambio climático, cambios en el uso del suelo y demanda de agua, que están disponibles para ser consultados, permitiendo fortalecer la toma de decisiones y la gestión de la cuenca con soporte técnico.

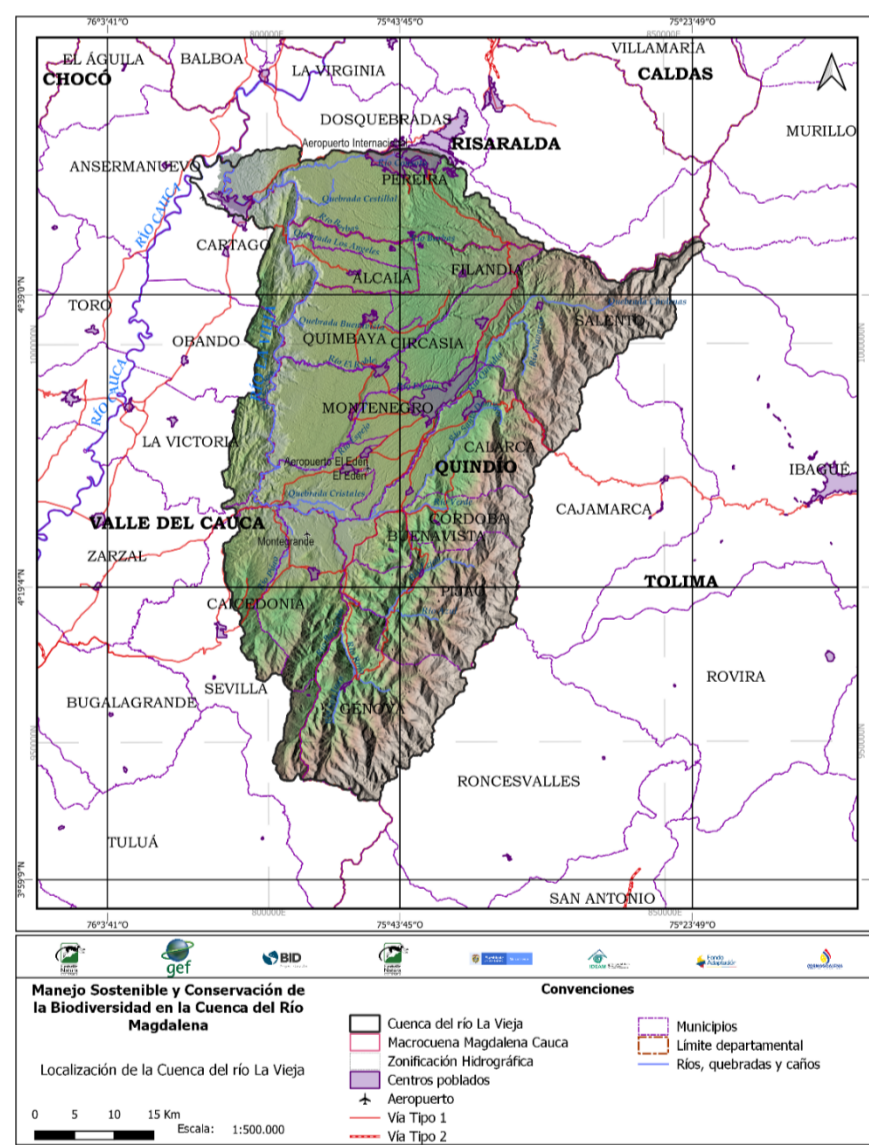
### Localización

Geográficamente, la cuenca del río La Vieja se enmarca dentro de las coordenadas: 4° 04' y 4° 49' de Latitud norte y 75° 24' y 75° 57' de Longitud oeste. Su territorio es compartido por tres departamentos:

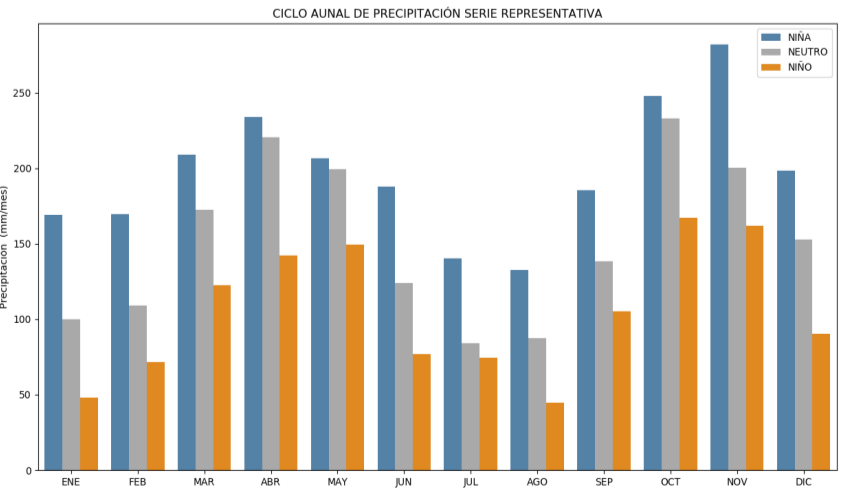
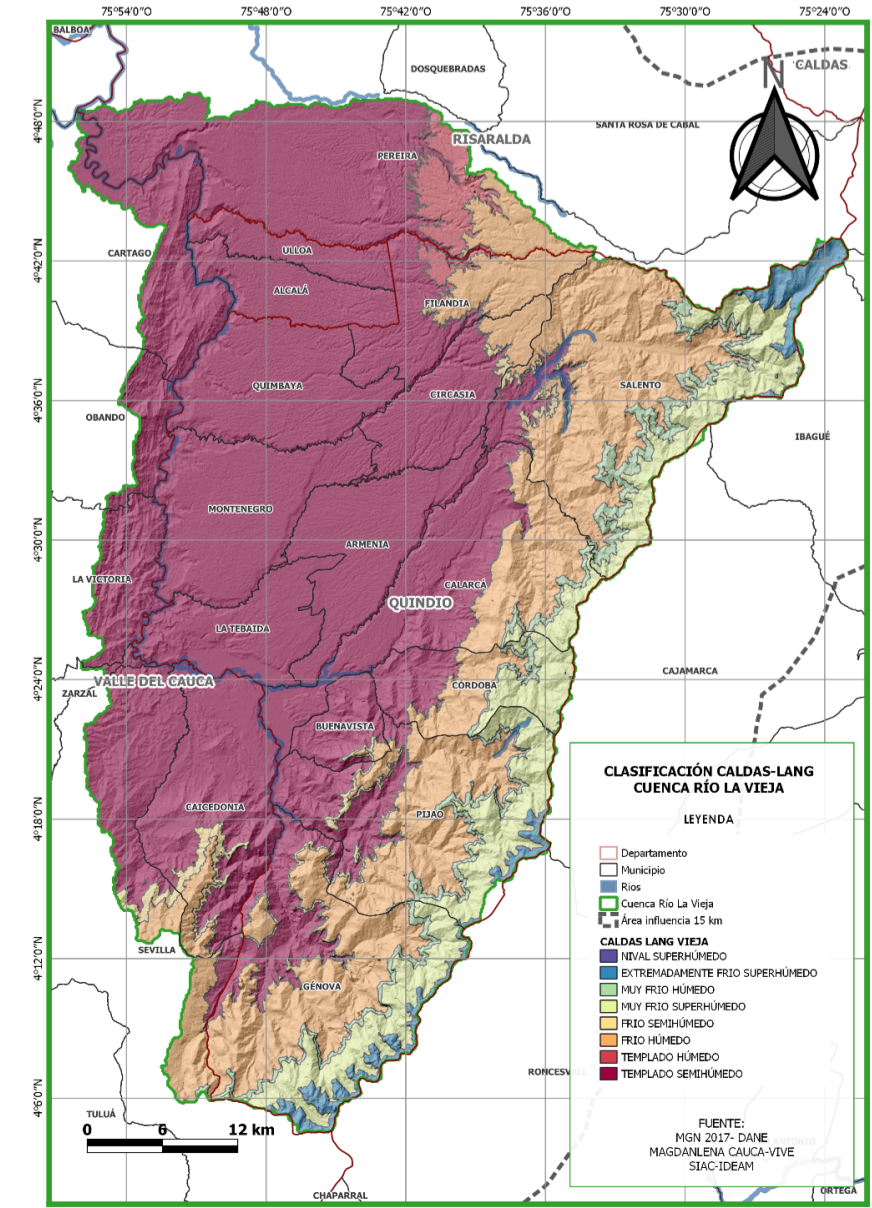
- Valle del Cauca, con el 21.65% del área de la cuenca.
- Risaralda, con el 10.59% del área de la cuenca.
- Quindío, con el 67.76% del área de la cuenca (Pomca, 2018).

El río La Vieja nace en la vertiente occidental de la cordillera Central y toma su nombre en la confluencia de los ríos Quindío y Barragán.

- Paisaje de montaña: donde las aguas producidas en las laderas de la cordillera son colectadas por el río Quindío, que entrega en la zona sur del río Barragán.
- Paisaje de piedemonte: se generan numerosas corrientes que drenan en sentido oriente-occidente, hasta tributar al cauce del río La Vieja.
- Occidente de la cuenca conformada por corrientes de agua que drenan de manera directa al río La Vieja, formando pequeños valles o sectores relativamente planos, en varios municipios de los tres departamentos. Fuente: CVC (2008).



### Clasificación Caldas-LANG



**Precipitación:** la precipitación dentro de la cuenca tiene un comportamiento de tipo bimodal, siendo los meses más lluviosos octubre-noviembre y marzo-abril, y los más secos son julio-agosto. Arriba, a modo de ejemplo, se presenta el ciclo interanual de la precipitación para la estación Cumarco (26125130).

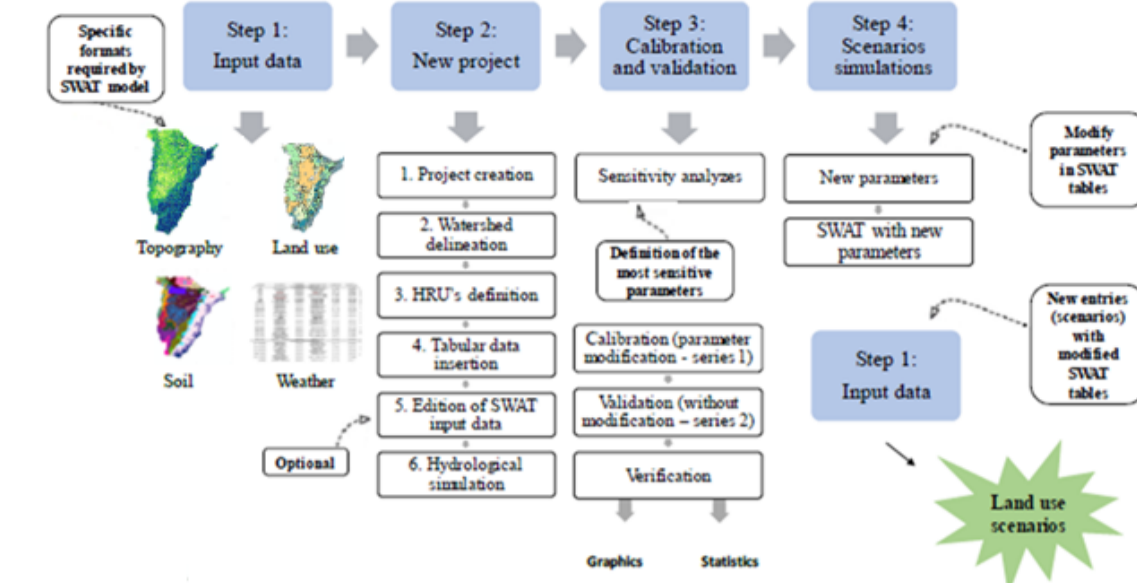
### METODOLOGÍA



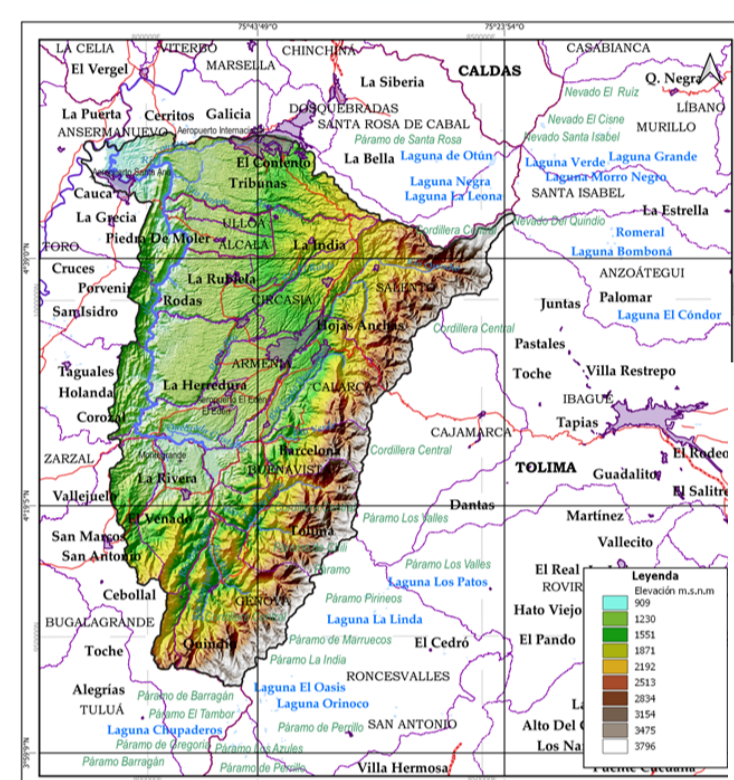
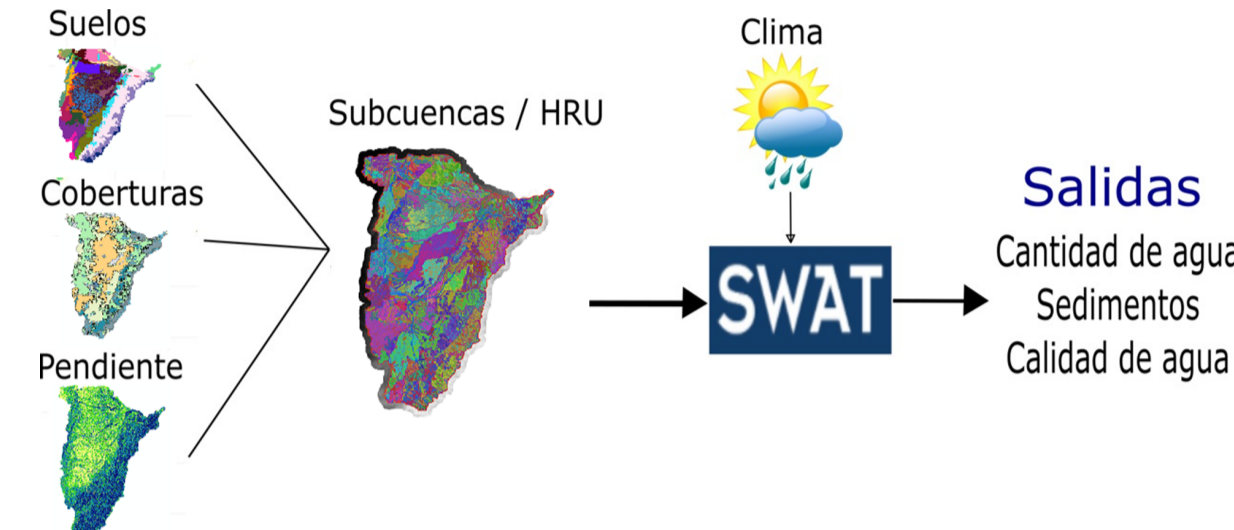
## Herramienta Hidrológica: SWAT (Soil Water Assessment Tool) <https://swat.tamu.edu/>

Modelo a escala de cuenca, espacialmente distribuido y semificadamente basado, que simula procesos de cuencas hidrográficas complejas: cambios (clima, uso y coberturas, practicas de manejo), cantidad y calidad de agua (nutrientes, sedimentos, pesticidas, bacterias (algas y oxígeno), entre otros (Unesco, 2012).

### Proceso de Modelación



### Configuración del modelo y datos de entrada



### 1. Modelo digital de terreno:

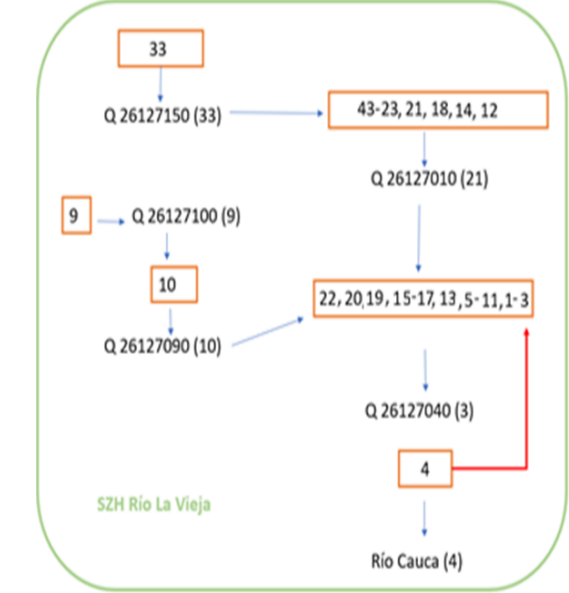
Satélite ALOS PALSAR (Advanced Land Observation Satellite) de la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (JAXA). Resolución Nativa: 12.5 m: <https://bit.ly/3ufnAom>

### 2. Subdivisión de subcuencas:

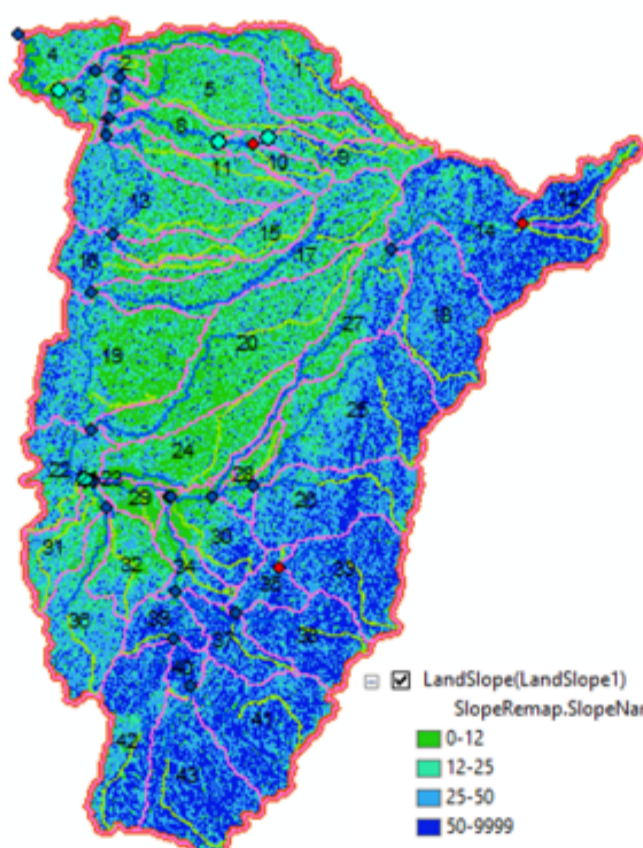


Número de subcuencas: 43  
Área de la cuenca: 2836.49 km<sup>2</sup>  
Área promedio subcuencas: 66 km<sup>2</sup>  
75% (tercer cuartil): Área < 109 km<sup>2</sup>

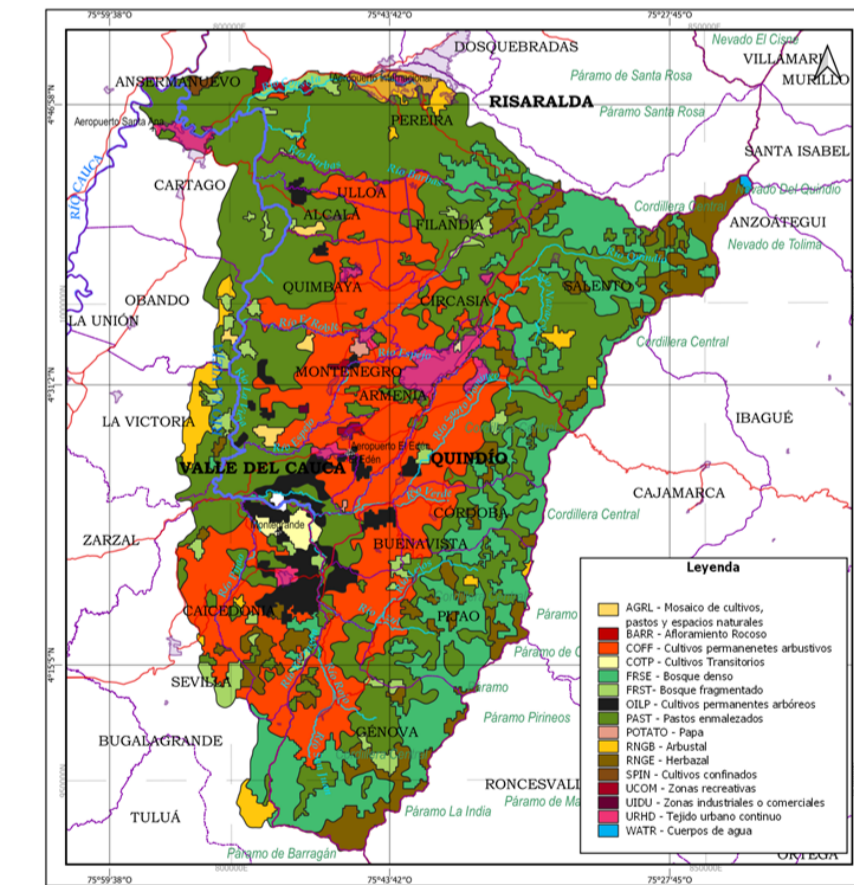
### Topología:



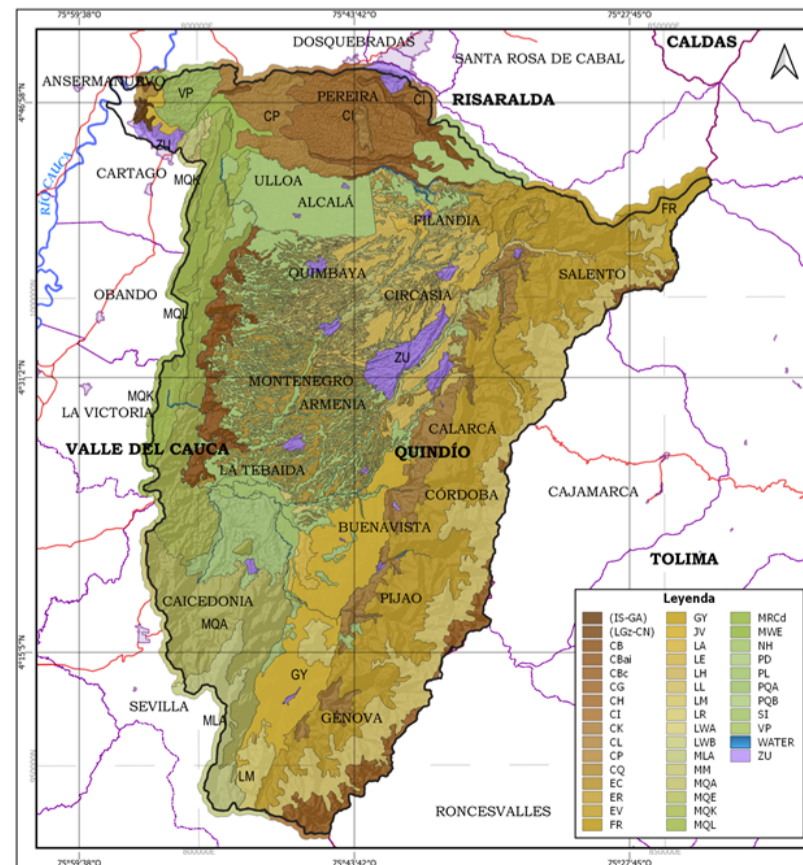
### 3. Pendientes:



### 4. Coberturas v usos del suelo:



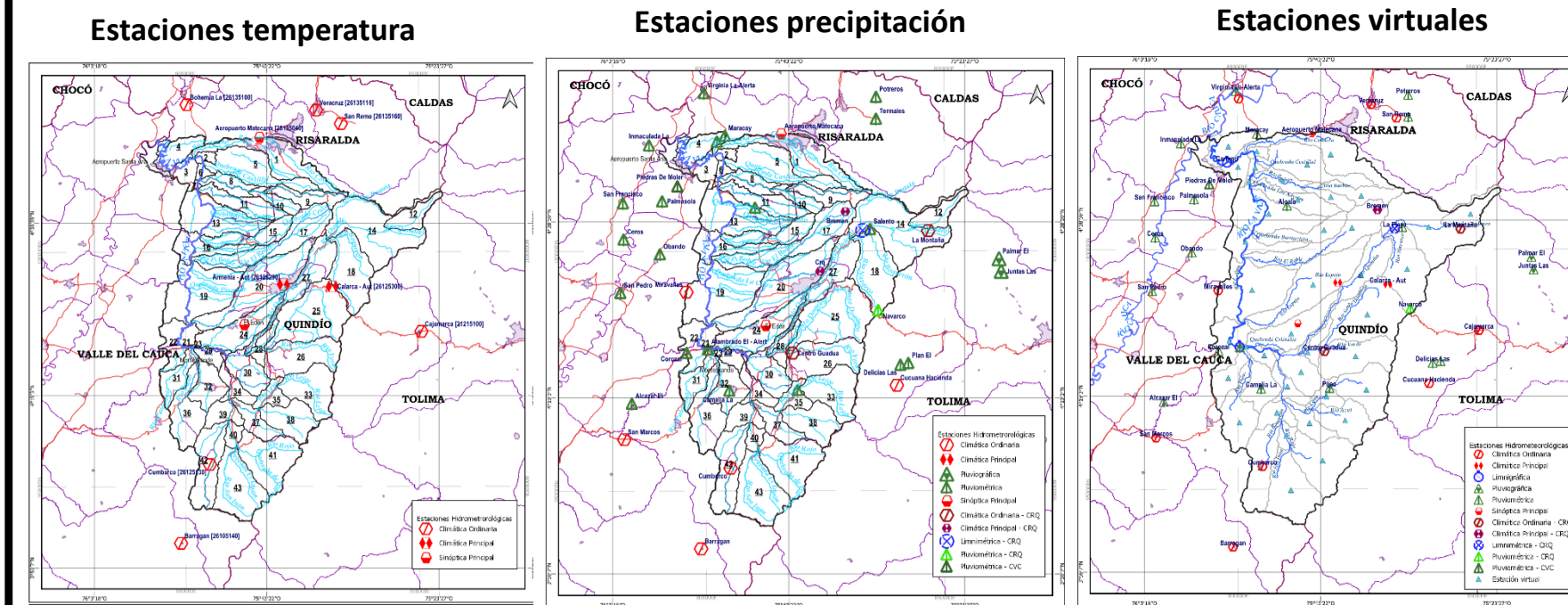
### 5. Suelos:



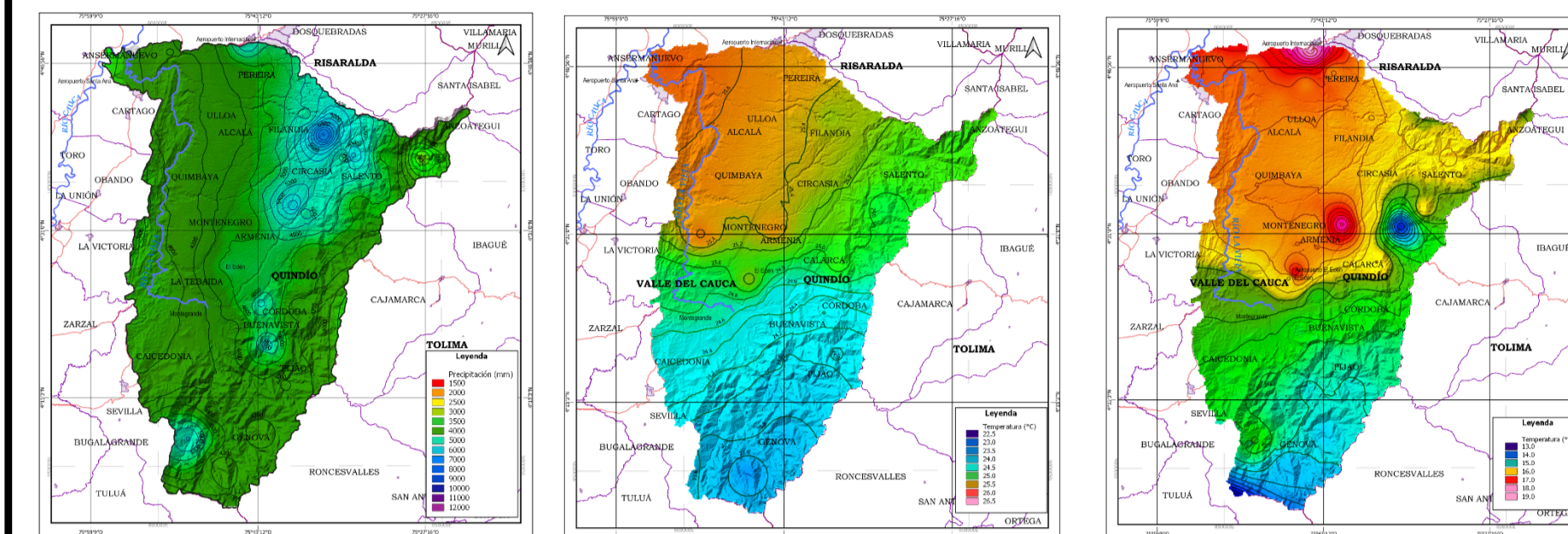
### Resumen configuración datos de entrada:

Características	Valor
Área	2836.4925 km <sup>2</sup>
Dem Res.	12.5
Suelos	39
Coberturas	16
Pendientes (%)	0 a >=50
Subcuencas	43
HRU	3306

### 5. Datos climáticos:



### Ejemplo: creación de campos de variables climáticas en estaciones virtuales para ingreso en SWAT

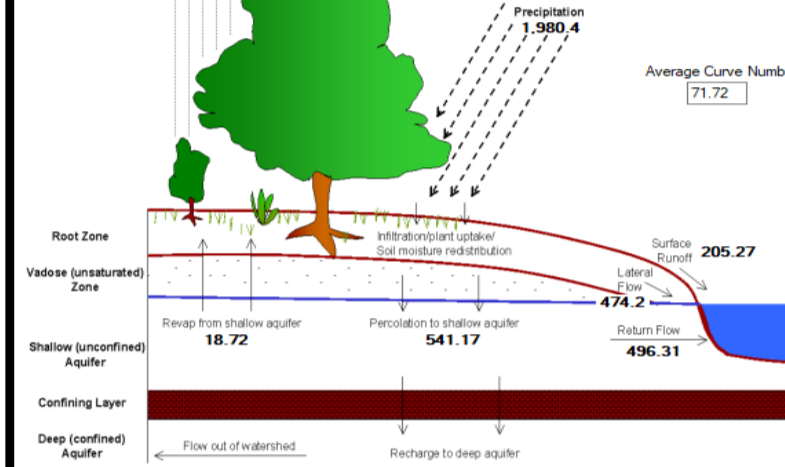


### Campo Precipitación media anual

### Campo Temperatura máxima media anual

### Campo Temperatura mínima media anual

### Calibración y validación del modelos



SWAT\_CUP: es un programa para la calibración de modelos SWAT. El programa puede usarse para realizar calibración, validación, análisis de sensibilidad (uno a uno y global) y análisis de incertidumbre. También tiene módulos gráficos para observar resultados de simulación, rangos de incertidumbre, gráficos de sensibilidad, visualización de cuencas hidrográficas e informes estadísticos (Abbaspour, 2007).

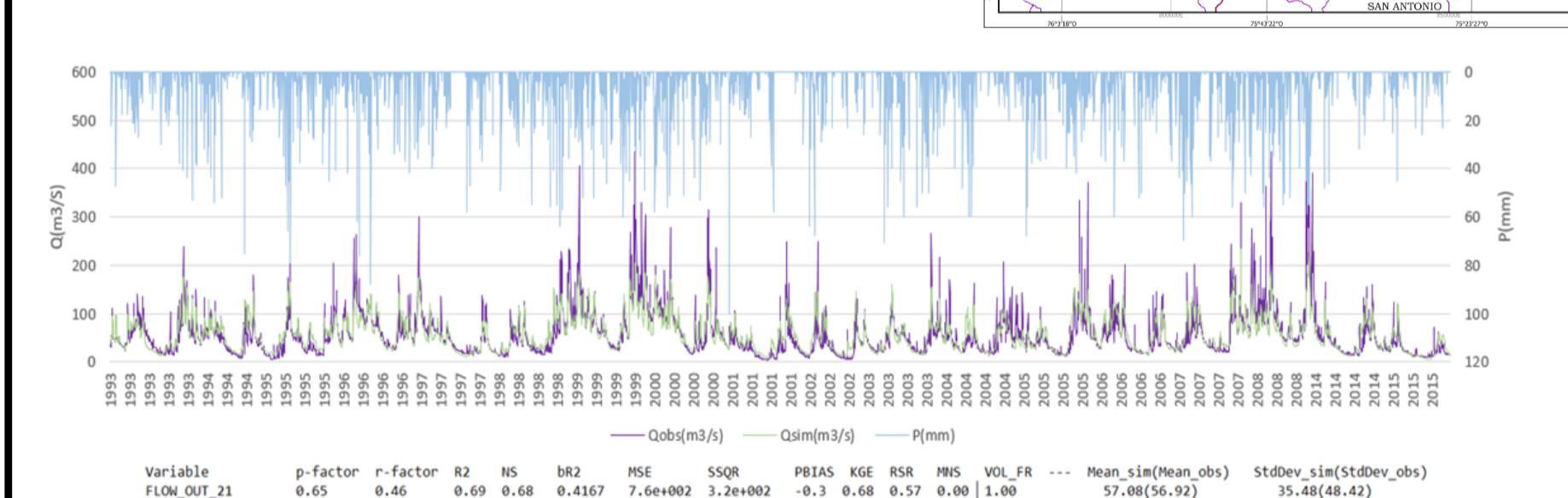
La calibración del modelo Hidrológico en cantidad de agua se realizó en dos bloques de calibración, en las estaciones El Alabrado [26127010] y Cartago [26127040].

Calentamiento: 1989-1993  
Calibración: 1993-2008  
Validación: 2008-2015

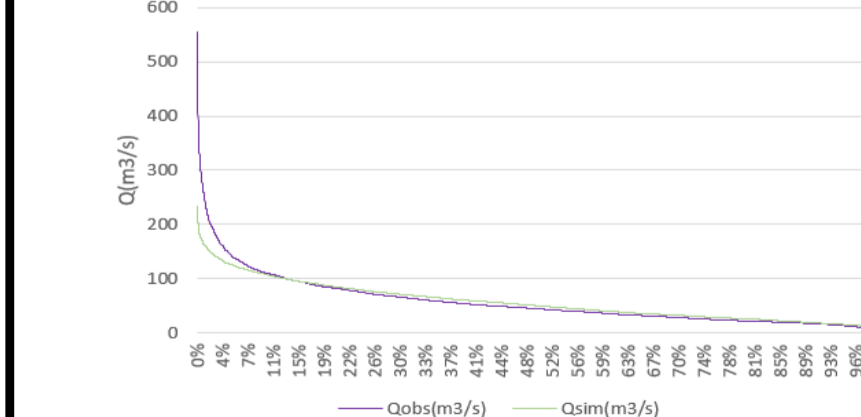
### Topología Calibración-Validación



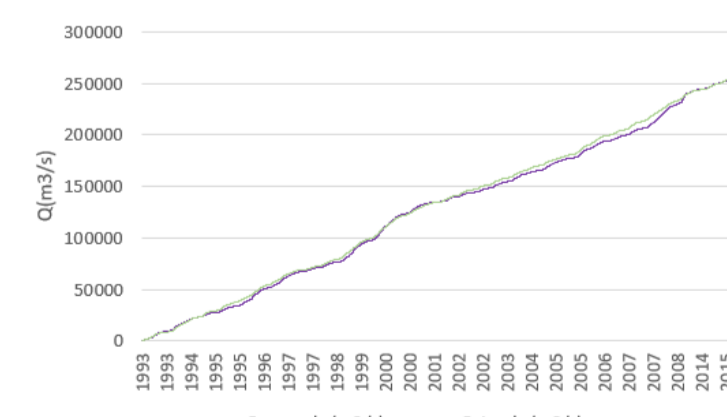
### Estación el alabrado [26127010]



### Curva de Duración de caudales



### Acumulada de caudales



### Estación Cartago [26127040]

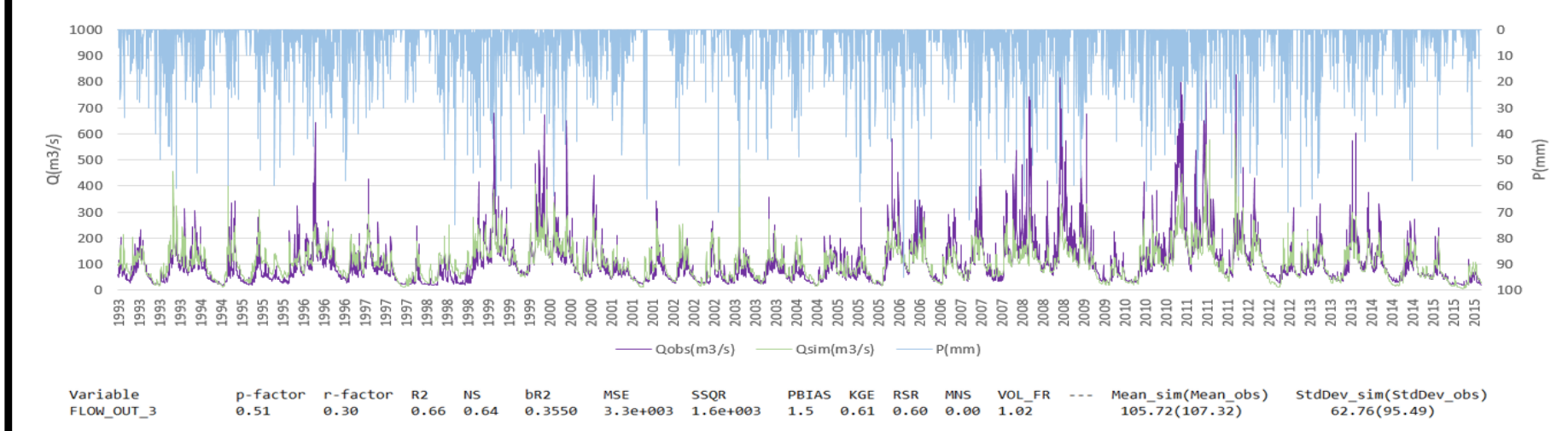
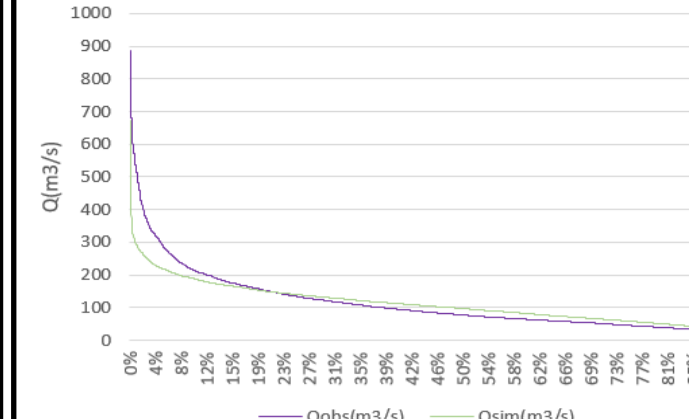
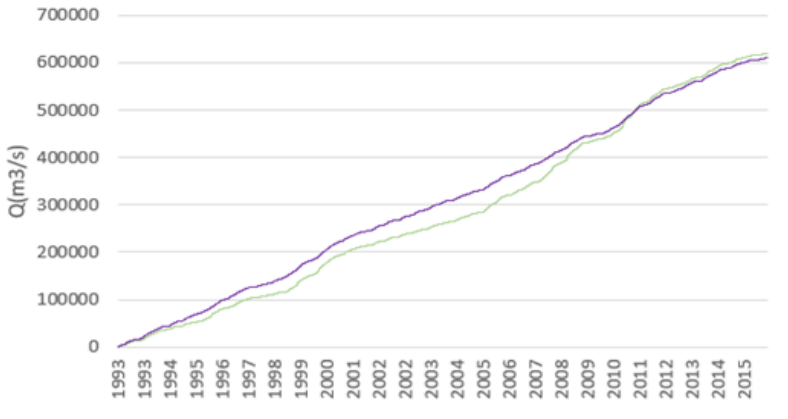


Figura 27

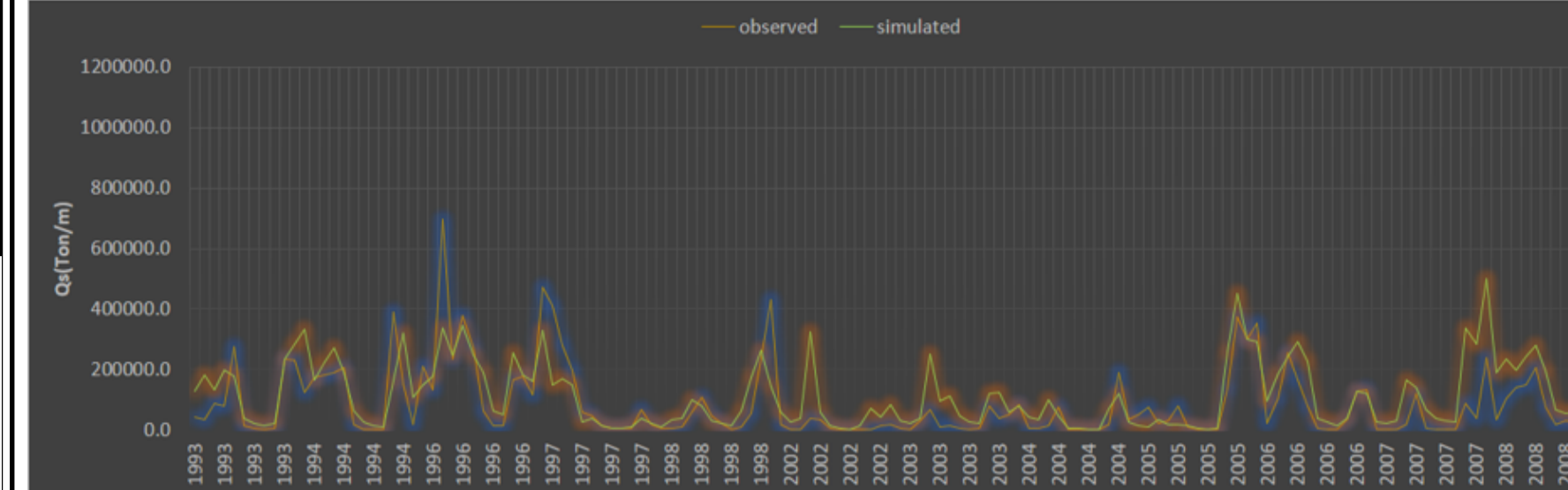
### Curva de duración de caudales



### Acumulada de caudales



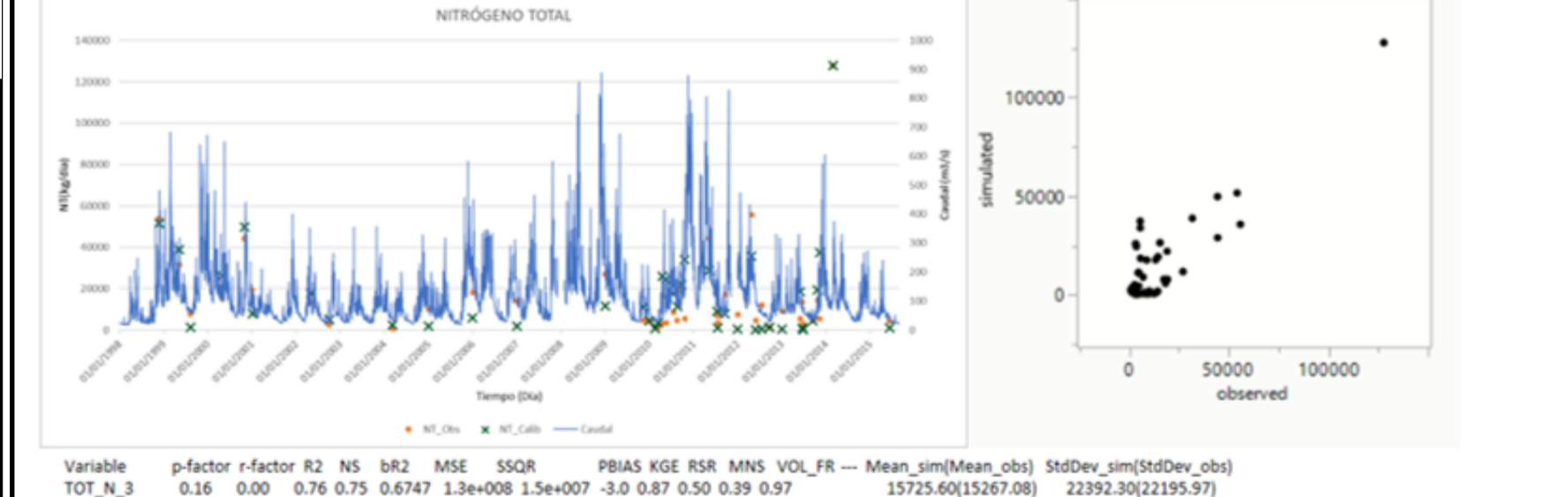
### Sedimentos: estación El Alabrado [26127010]



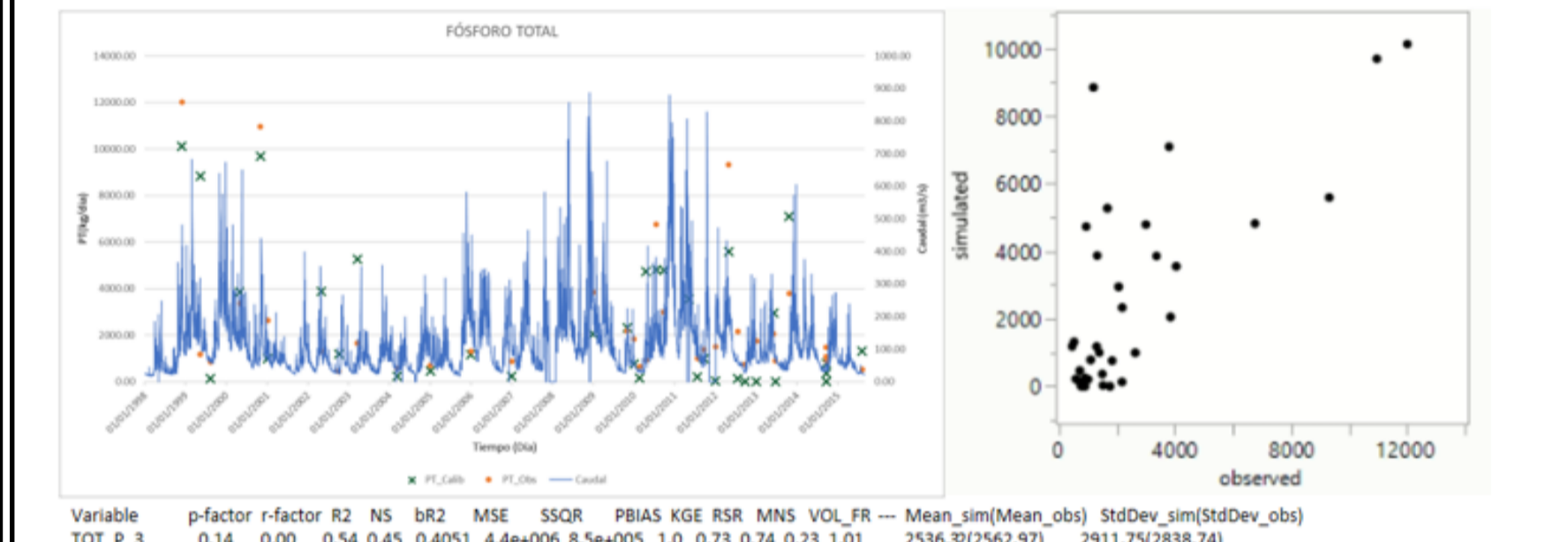
### Nutrientes estación Cartago [26127040]:

periodo: 1993-2015, Datos=1998-2015, #DATOS=1-2 valores/año. Función objetivo: eficiencia Kling-Gupta (KGE).

### Nitrógeno total:



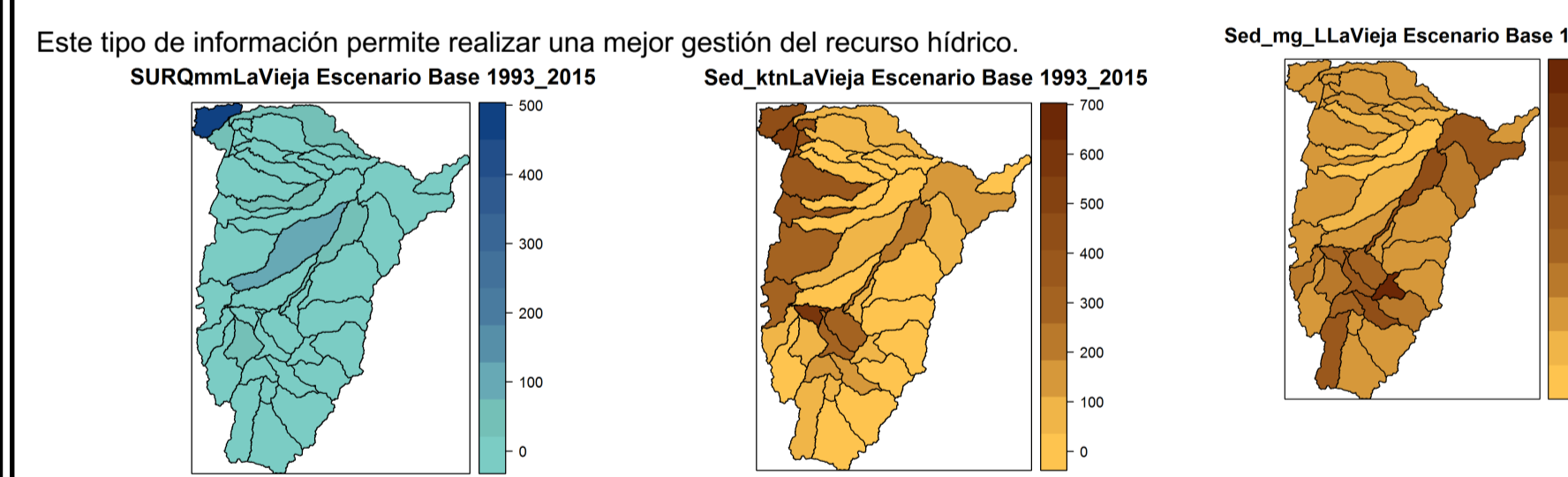
### Fósforo total:



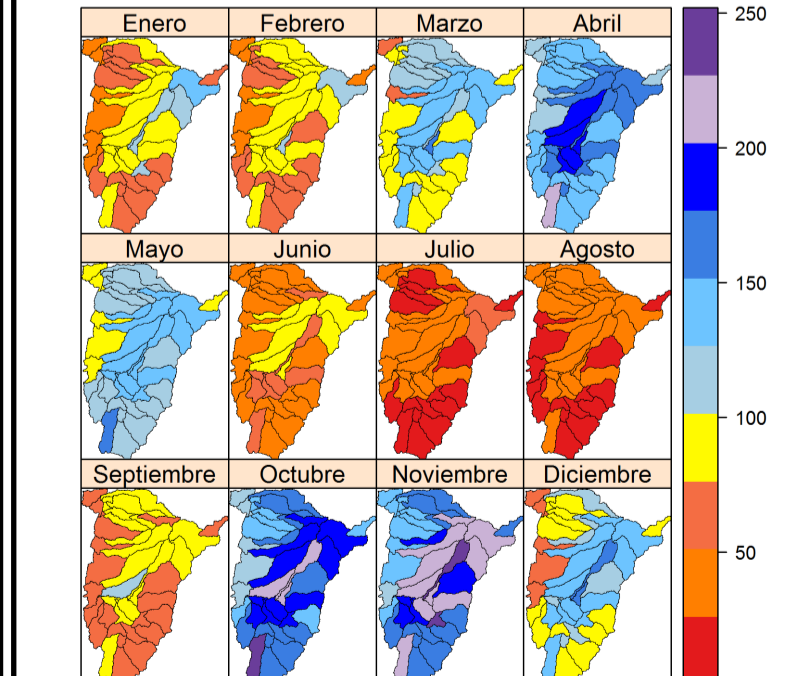
### Resultados escenario base o de referencia (1993-2015):

- A continuación se muestran algunos resultados espaciales para la cuenca.
- La escorrentía multianual para el periodo base nos indica qué cantidad de agua fluye por cada una de las subcuencas e integra los sistemas de drenaje superficial, mientras que la concentración y carga de sedimentos nos indican, por ejemplo, donde se pierde suelo por erosión hídrica.
- La Oferta hídrica superficial multimensual muestra los patrones estacionales de la zona de estudio y los meses y subcuencas en los cuales se presenta el mayor déficit de agua ( ejemplo: junio, julio, agosto) y las subcuencas más afectadas por la escasez del recurso ( ejemplo: subcuenca 25, Río Santo Domingo). De forma similar, el índice de aridez permite medir el grado de suficiencia o insuficiencia de la precipitación para el sostenimiento de los ecosistemas de una región. De esta forma podemos evidenciar los meses donde los excedentes y déficits en la precipitación pueden acarrear problemas, tanto para los ecosistemas, como para los pobladores.

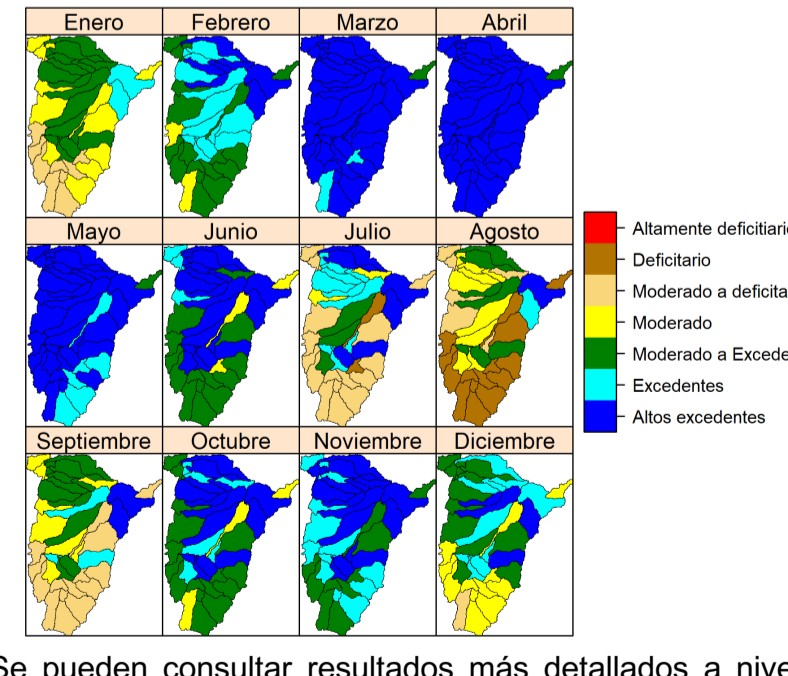
Este tipo de información permite realizar una mejor gestión del recurso hídrico.



### Oferta hídrica TS (mm) LaVieja Escenario Base 1993\_2015



### Índice de Aridez LaVieja Escenario Base 1993\_2015



Se pueden consultar resultados más detallados a nivel de subcuenca de cantidad, sedimentos y calidad de agua. Como ejemplo, se muestra la serie de caudales diarios para la subcuenca 33 Río Lejos, donde se observan los años históricos de mayores caudales (1999, 2008, 2011, 2012) y los más secos (1998, 2001, 2003), al igual que el régimen bimodal se refleja en la variación intra-anual del caudal y su magnitud.

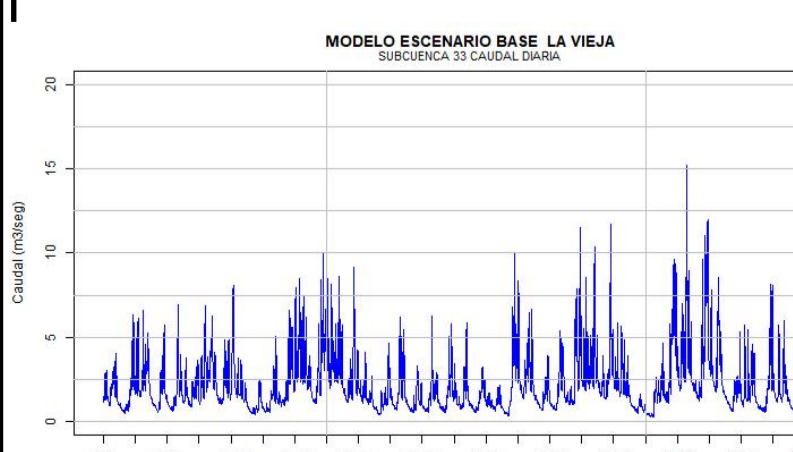


Figura 38

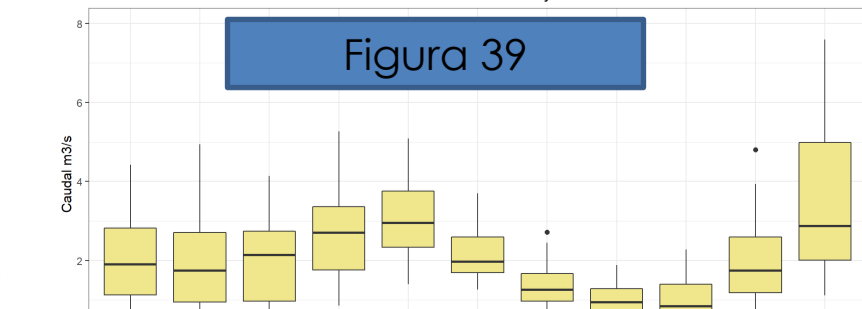
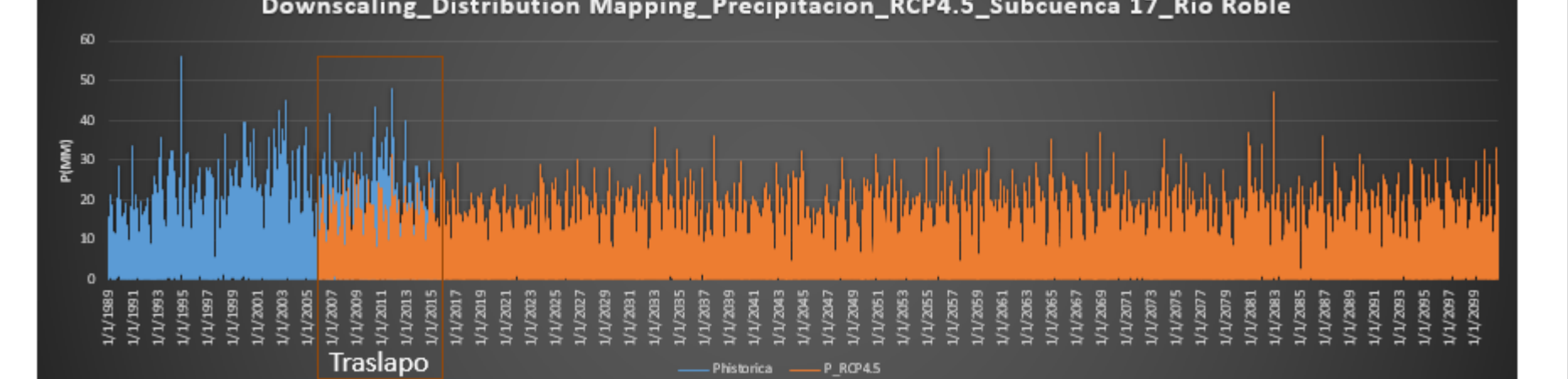
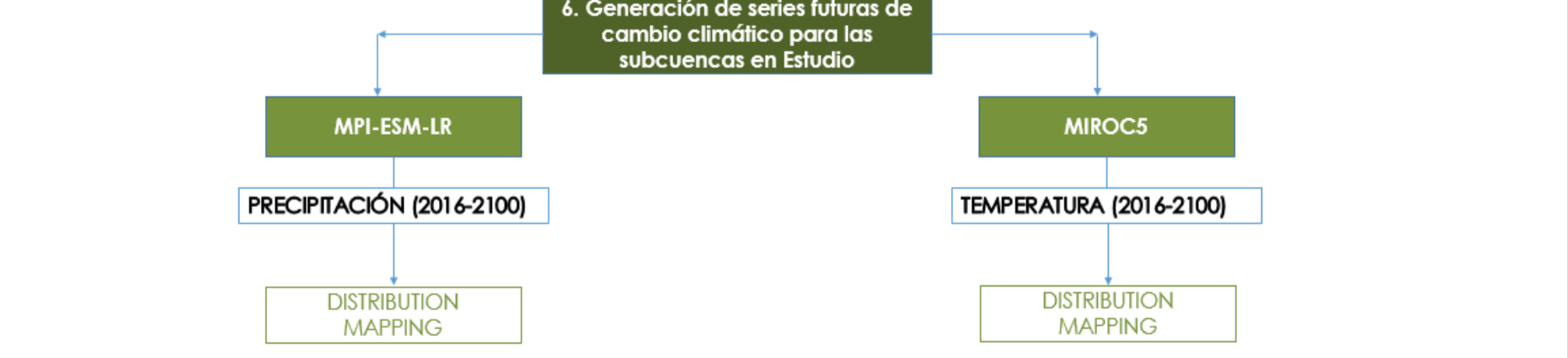
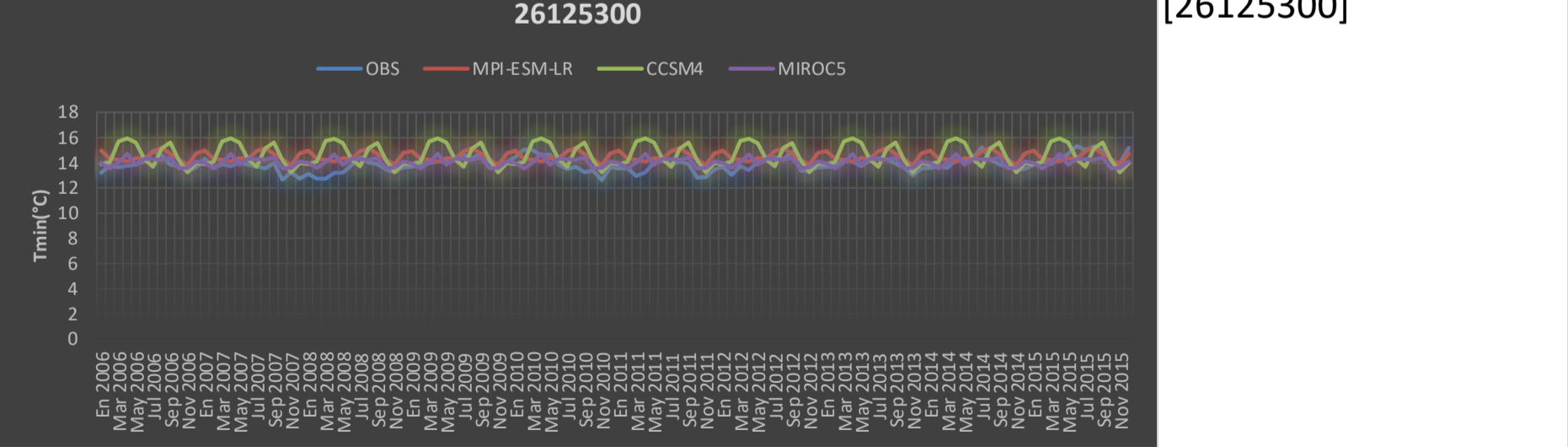
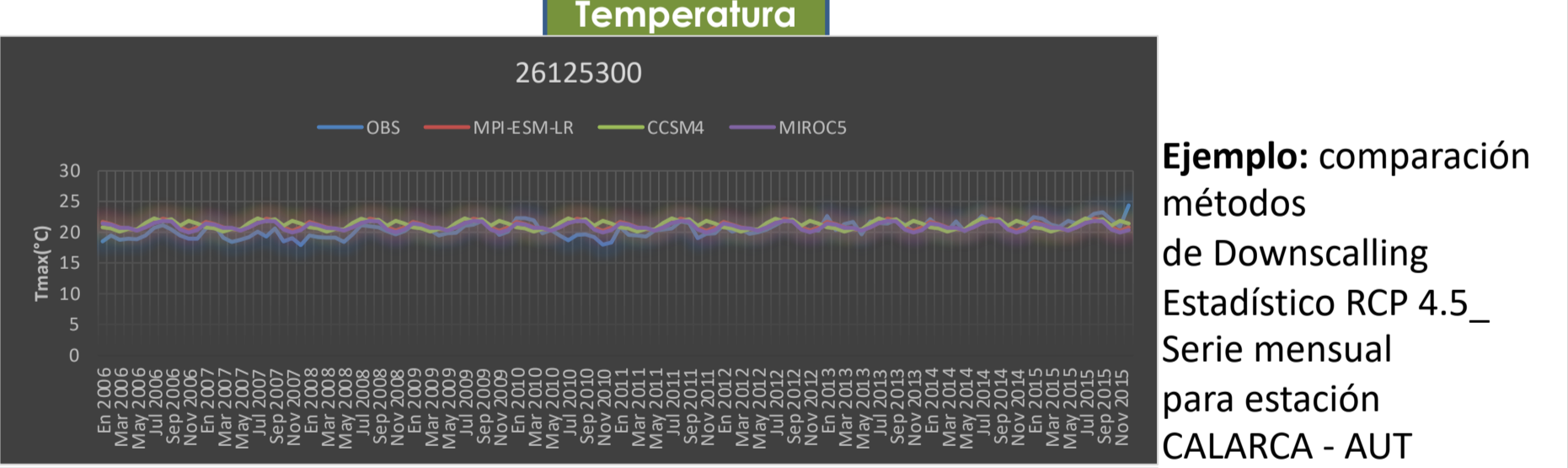
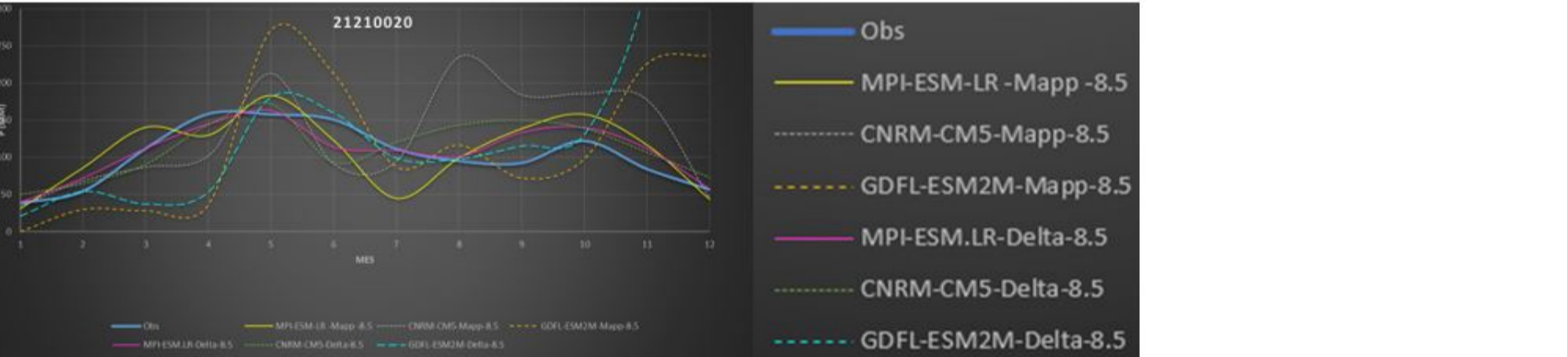
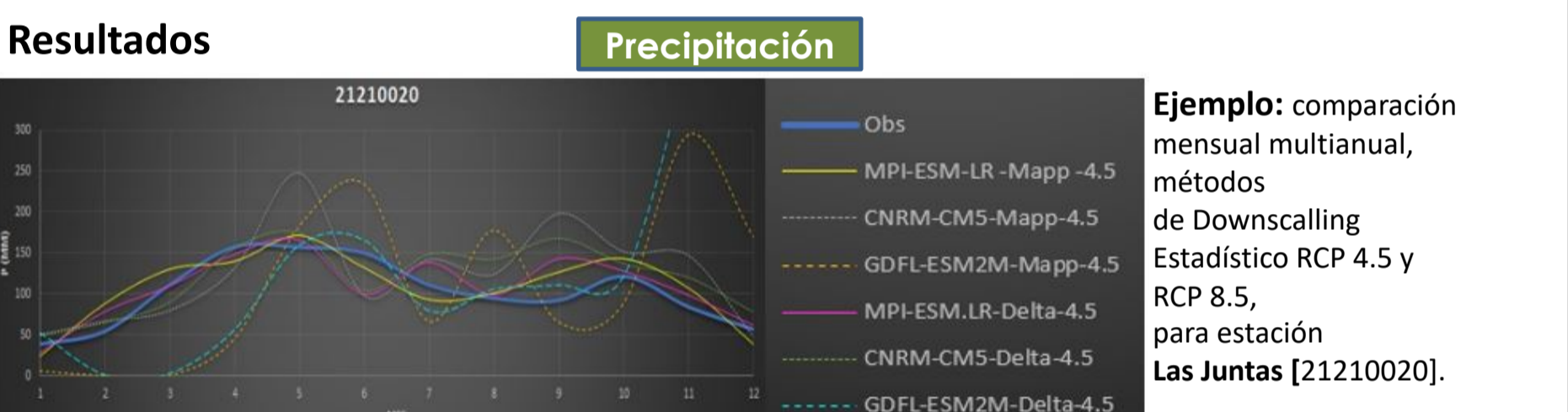
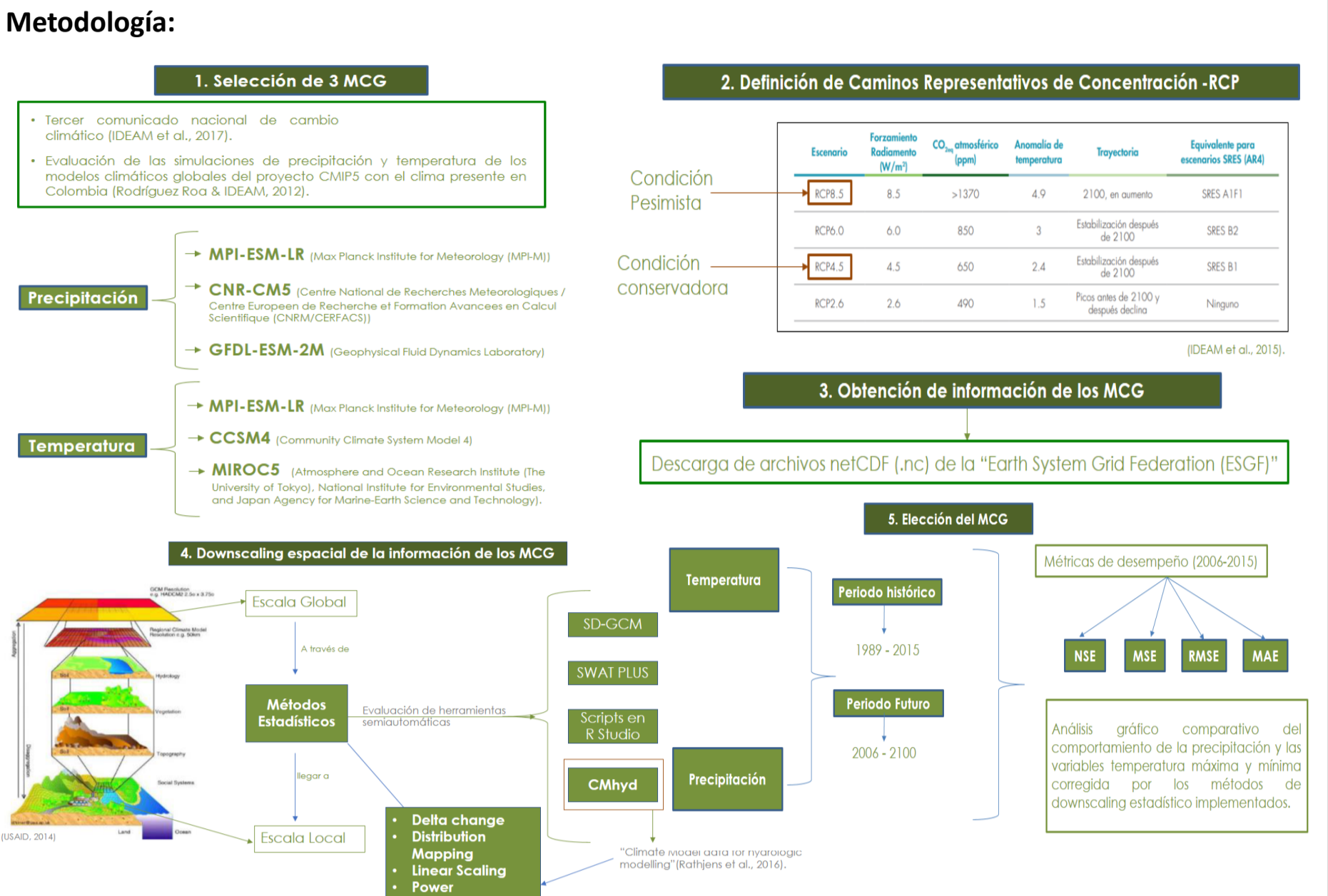


Figura 39

# Escenarios de cambio climático

**Downscaling Estadístico**  
**Objetivo:** reducción, proyección y generación a escala geográfica local y escala temporal diaria de las variables precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima, para ser utilizada en la evaluación de los posibles efectos del cambio climático, en la respuesta hidrológica de la cuenca Río La Vieja con el modelo SWAT.

- Insumos:**
- Localización y series históricas de 36 estaciones en Tierra de P, preseleccionadas para la ventana del río La Vieja (1989-2015).
  - Localización y series históricas de 11 estaciones en Tierra de T, preseleccionadas para la ventana del río La Vieja (1989-2015).
  - Localización y series históricas de T y P para 43 estaciones virtuales generadas durante la modelación hidrológica en SWAT (1989-2015).

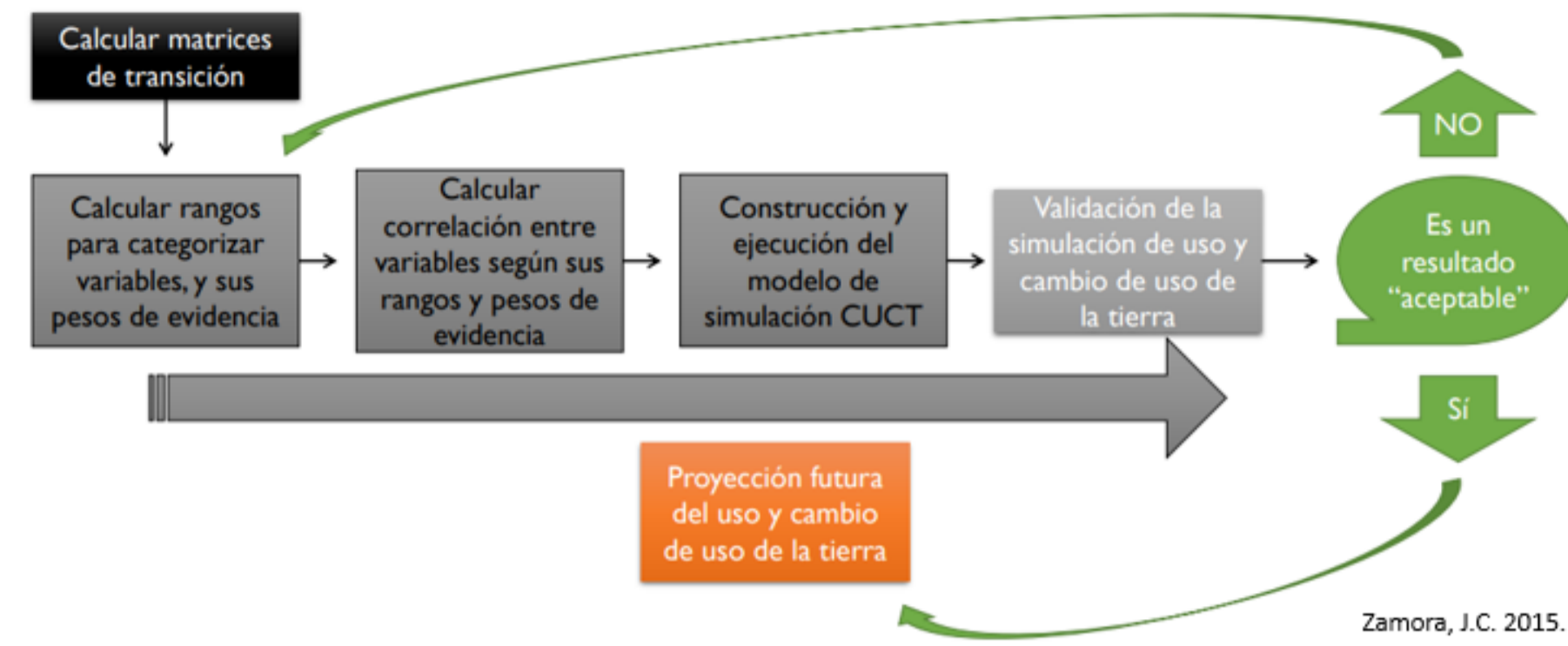


Ejemplo Downscaling Estadístico con método Distribution Mapping para variable Precipitación RCP 4.5 subcuenca 17 Río Roble.

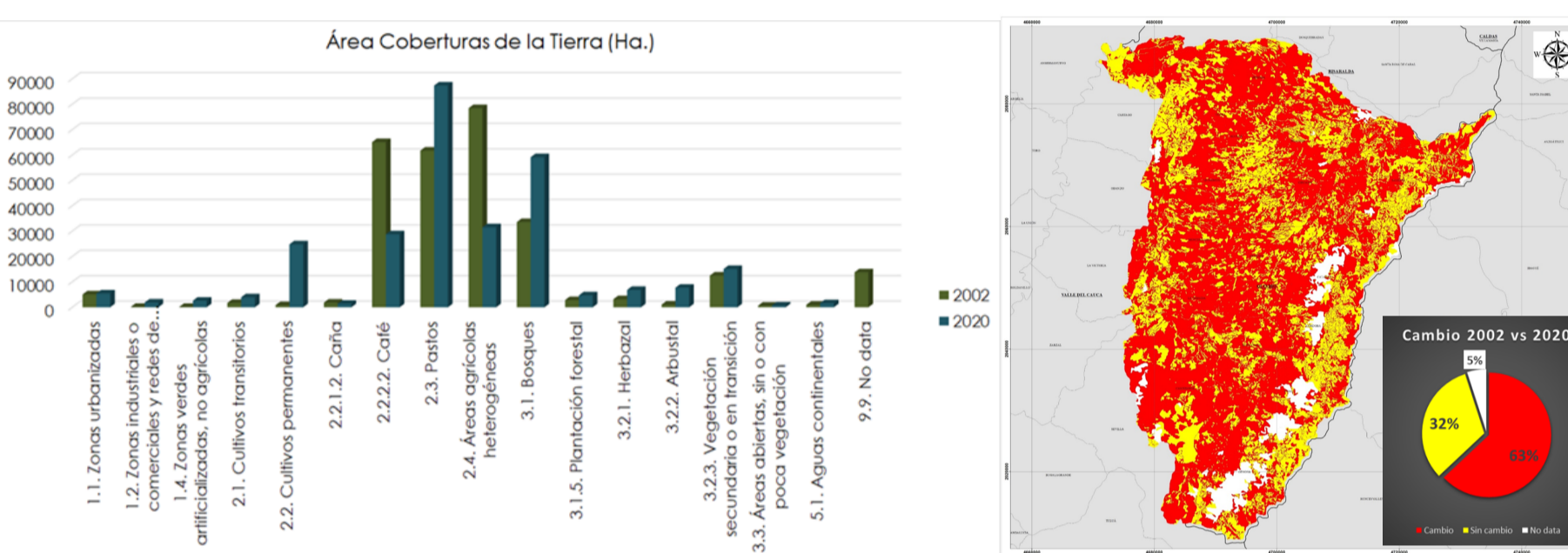
# Escenarios de cambio de uso del suelo y coberturas

**Objetivo:** desarrollar, configurar y simular los posibles escenarios futuros de uso y cobertura del suelo, según las dinámicas del paisaje inherentes a la cuenca, y cuyos resultados son incorporados en la Modelación hidrológica de la cuenca Río La Vieja.

**Metodología:** software: Dinamica-Ego (Disponible en: <http://csr.ufmg.br/dinamica>)

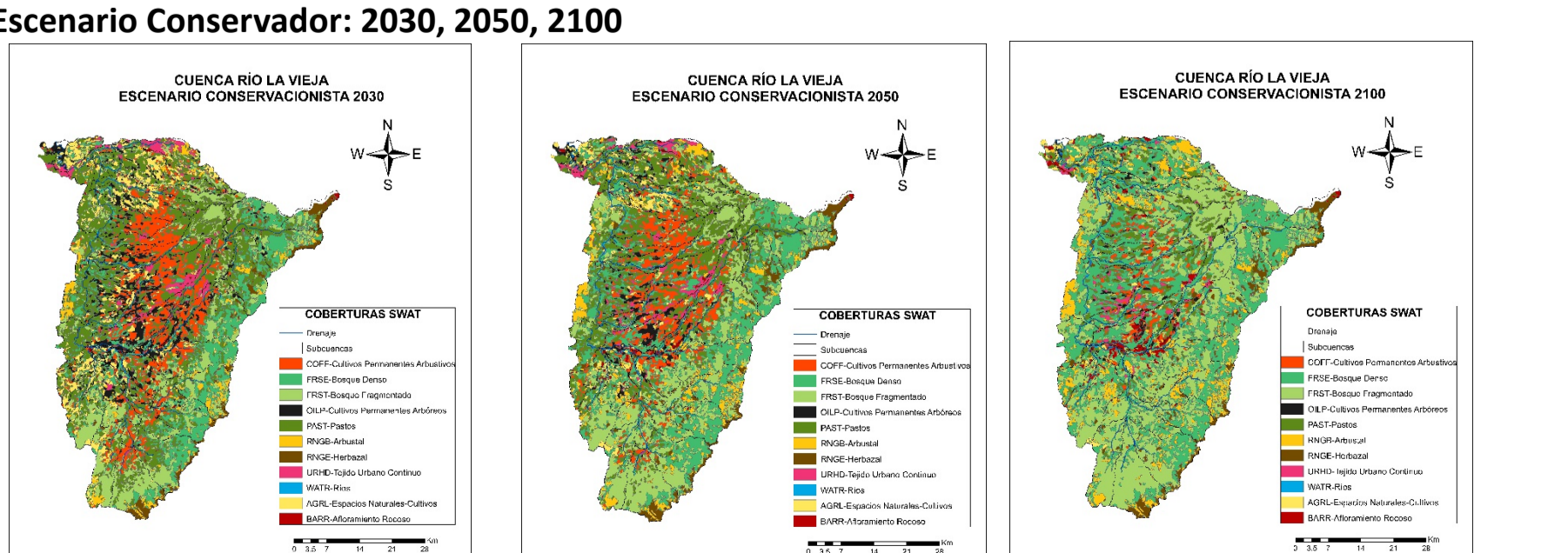
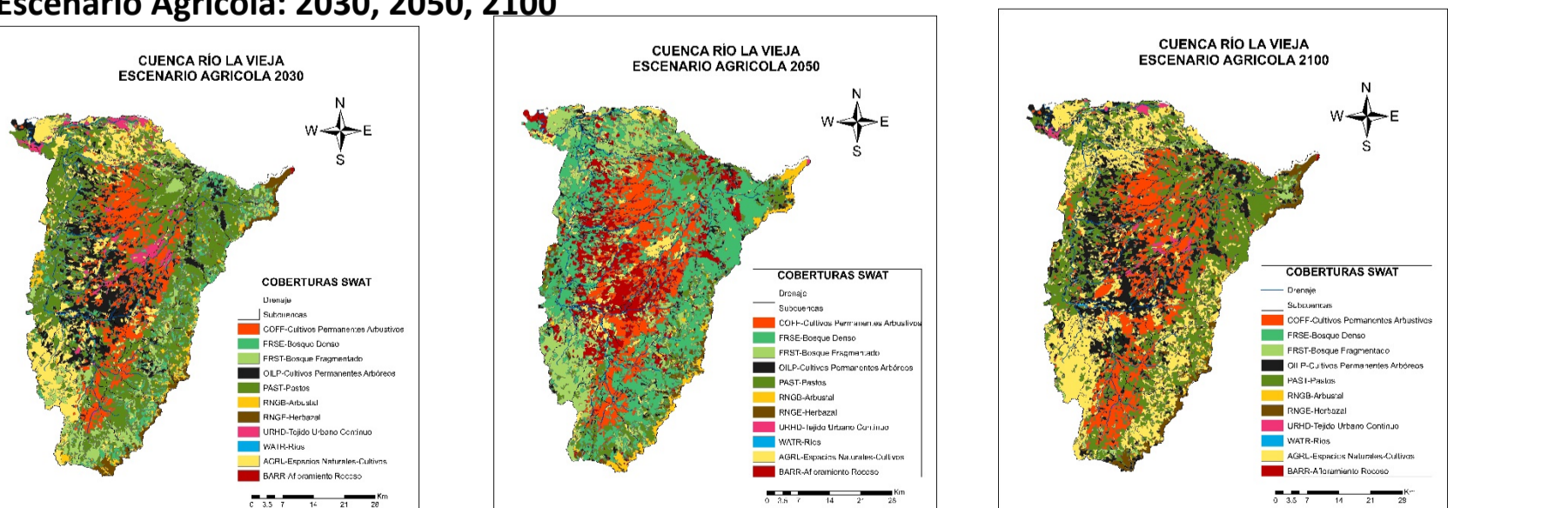
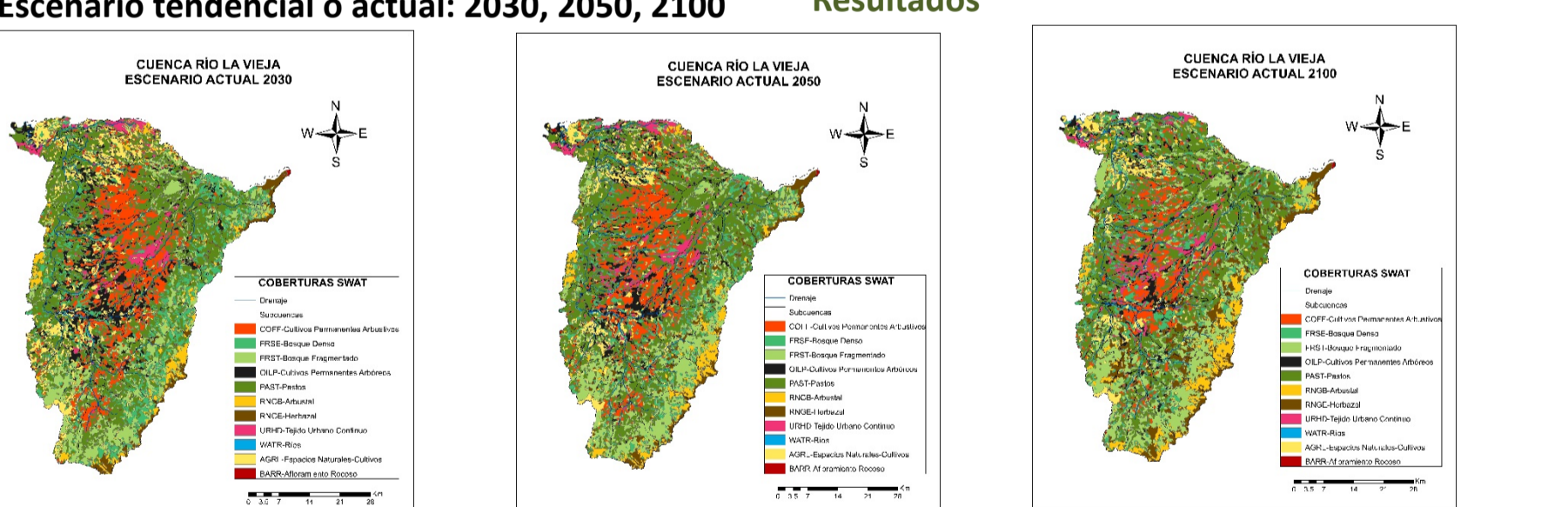
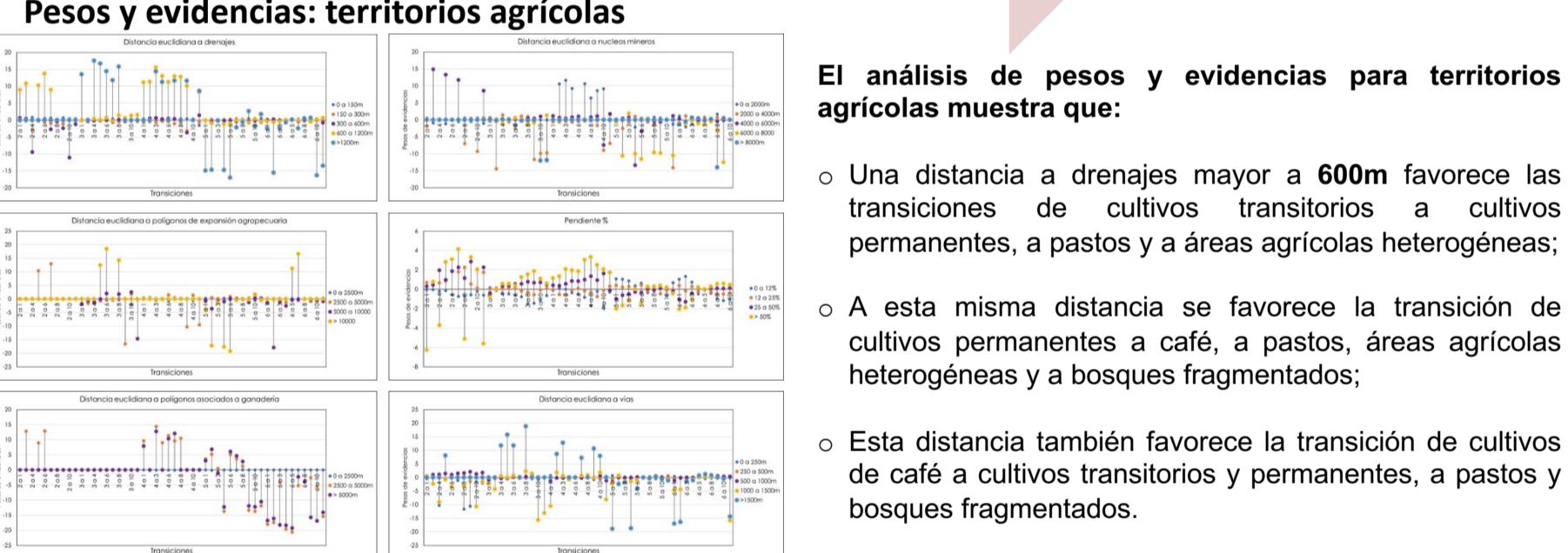


**Caracterización de Coberturas:** interpretación de coberturas y cambios en usos de la tierra disponibles para los años 2002, 2009, 2012 y 2020. En cuanto a las coberturas agrícolas, para el año 2020 la más representativa en área es la de **pastos**, con el **30,8%**, seguida por los **cultivos permanentes** con el **10,9%**, **áreas agrícolas heterogéneas** con el **11,1%** y los **cultivos transitorios**, con apenas el **1,4%**. Entre los cultivos permanentes, se destaca el **café**, con una cobertura que abarca el **10,1%** de la cuenca. Para las áreas naturales y seminaturales la cobertura más importante es la de **bosques**, con el **26,2%**, seguida por **áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva** que abarcan el **5,1%**.



**Cambios en las coberturas año 2002 – año 2020**

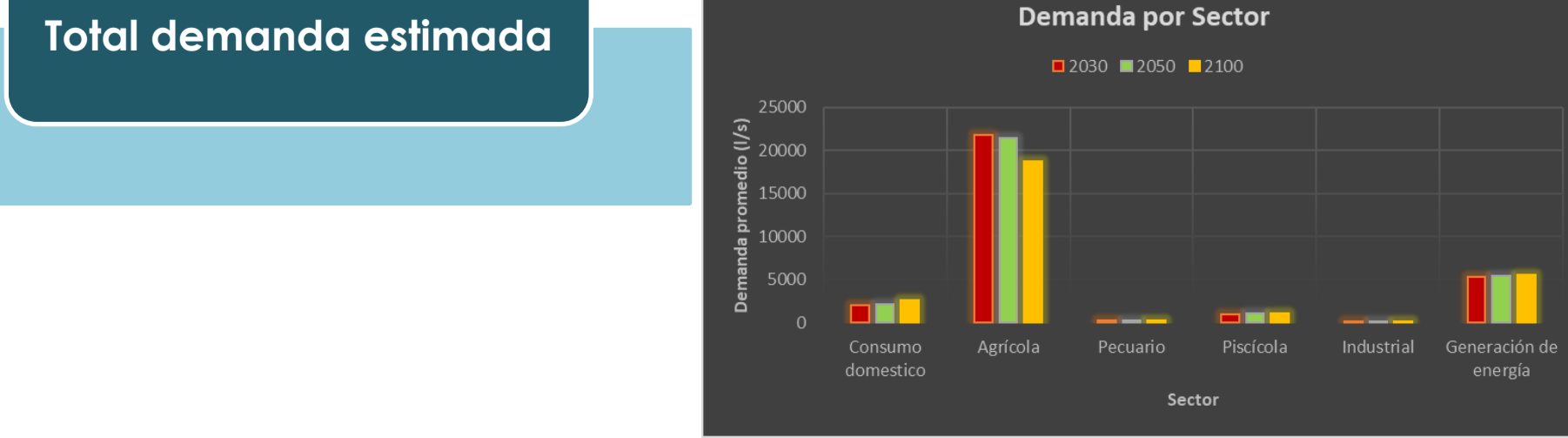
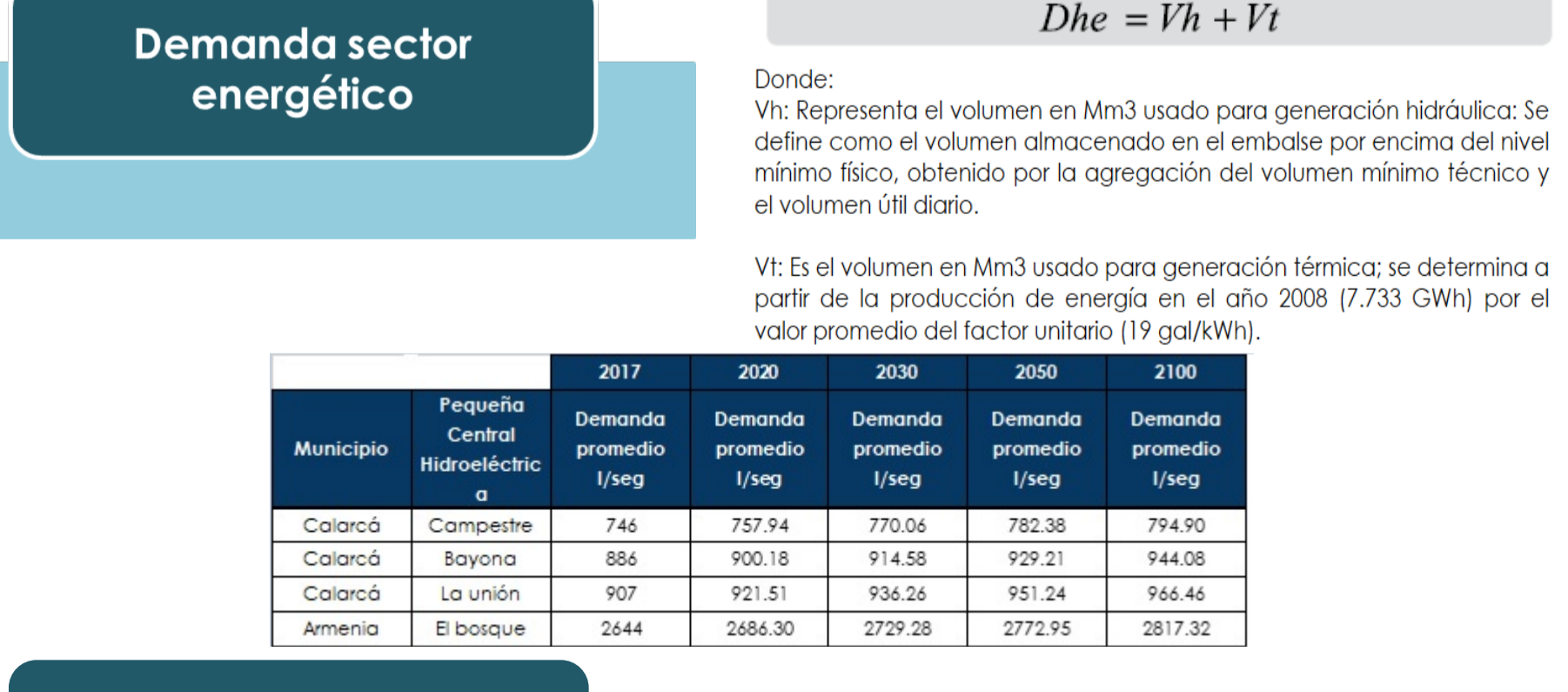
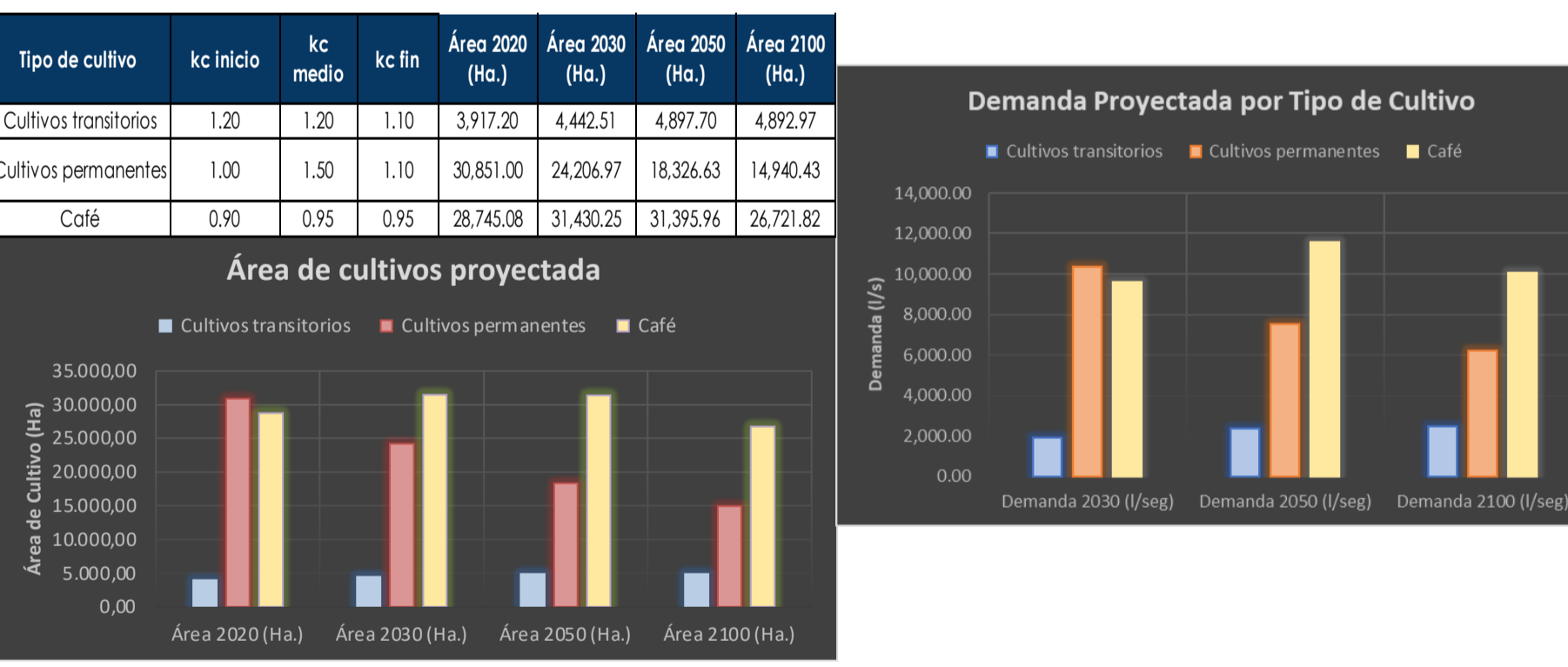
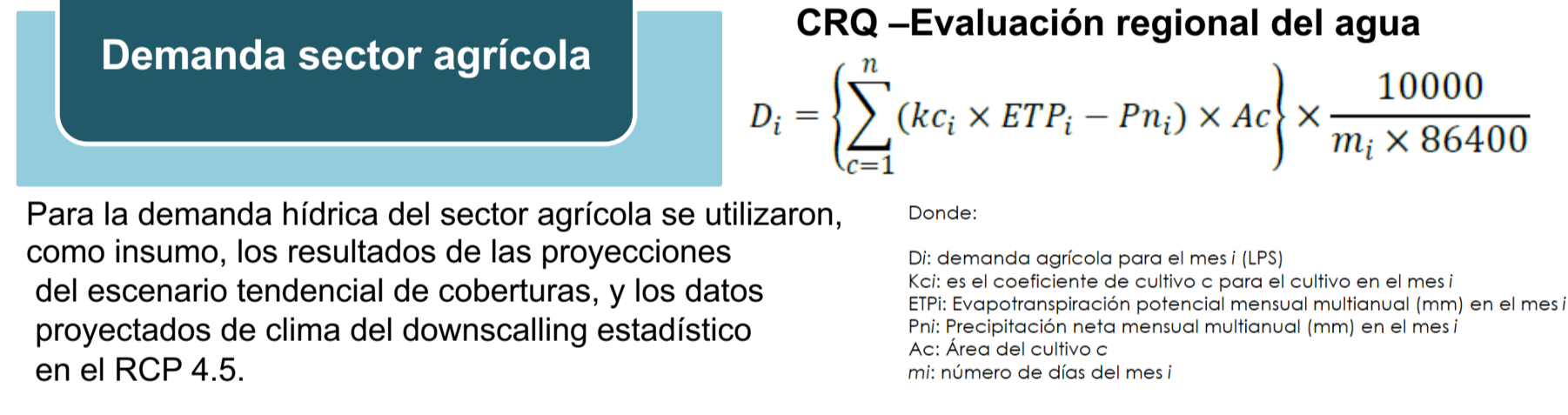
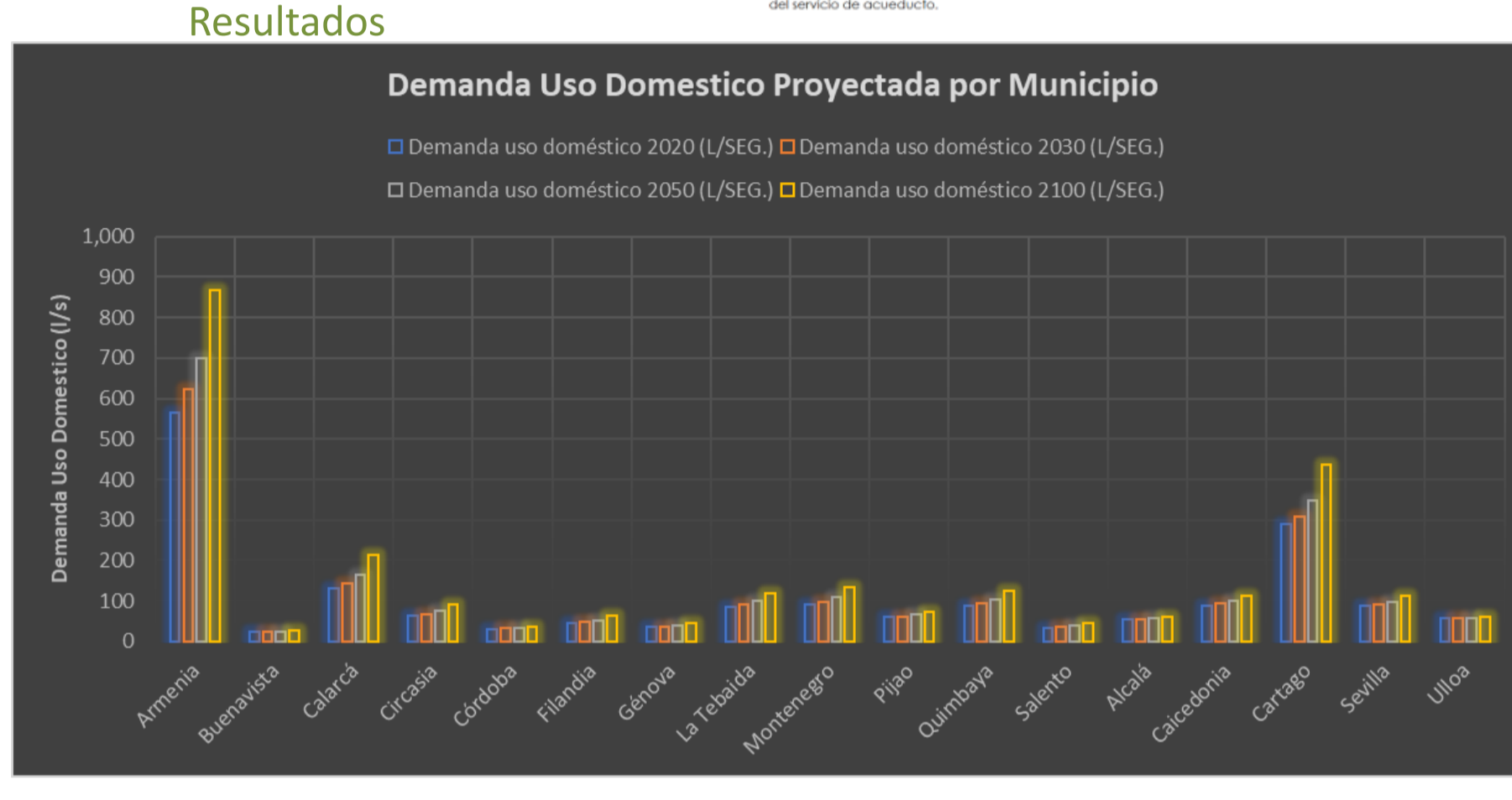
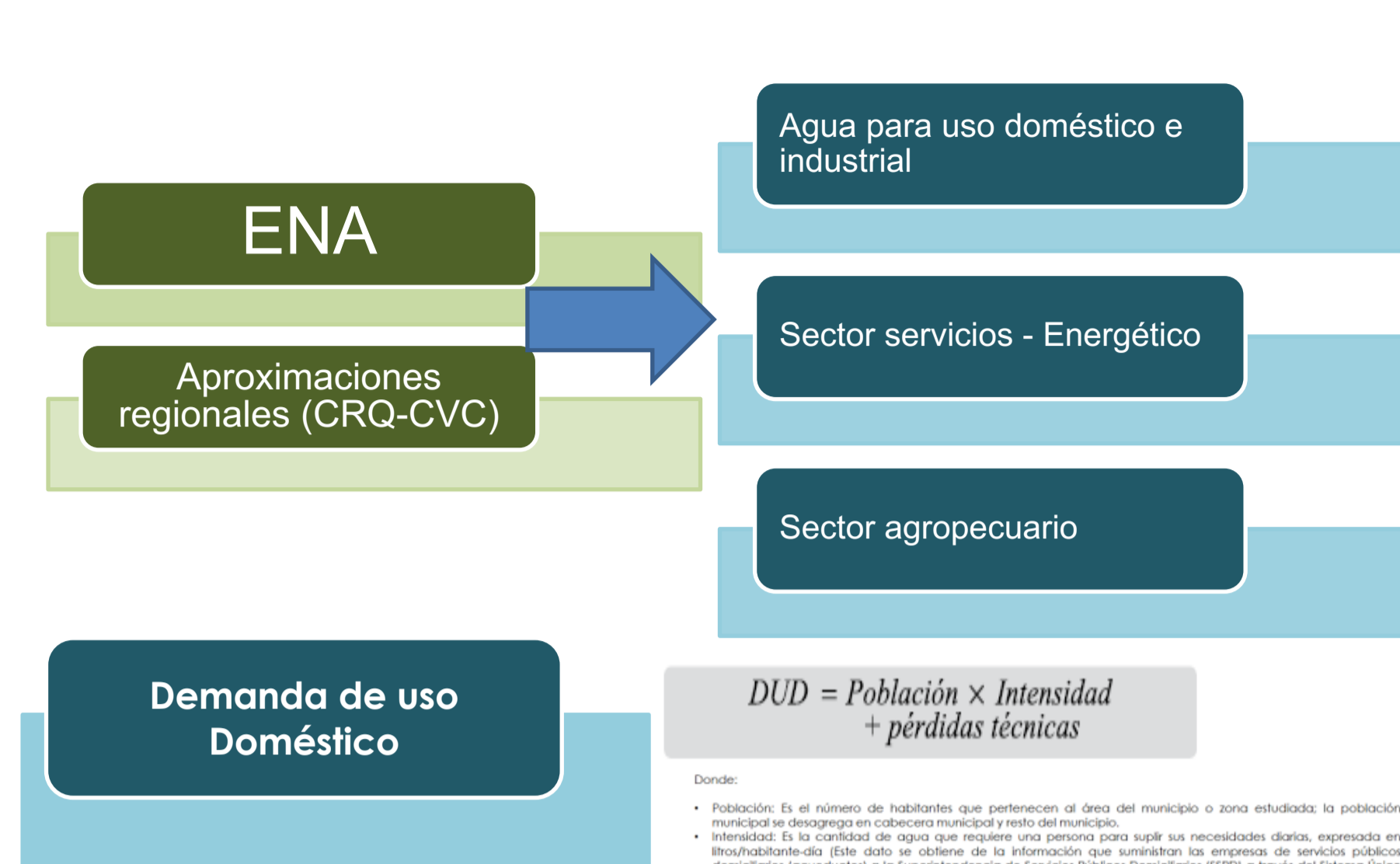
**Modelación:** paisaje inicial, coberturas año 2002; paisaje final, coberturas año 2020. Análisis de más de 100 transiciones.



# Proyección demanda de agua sectorial futura

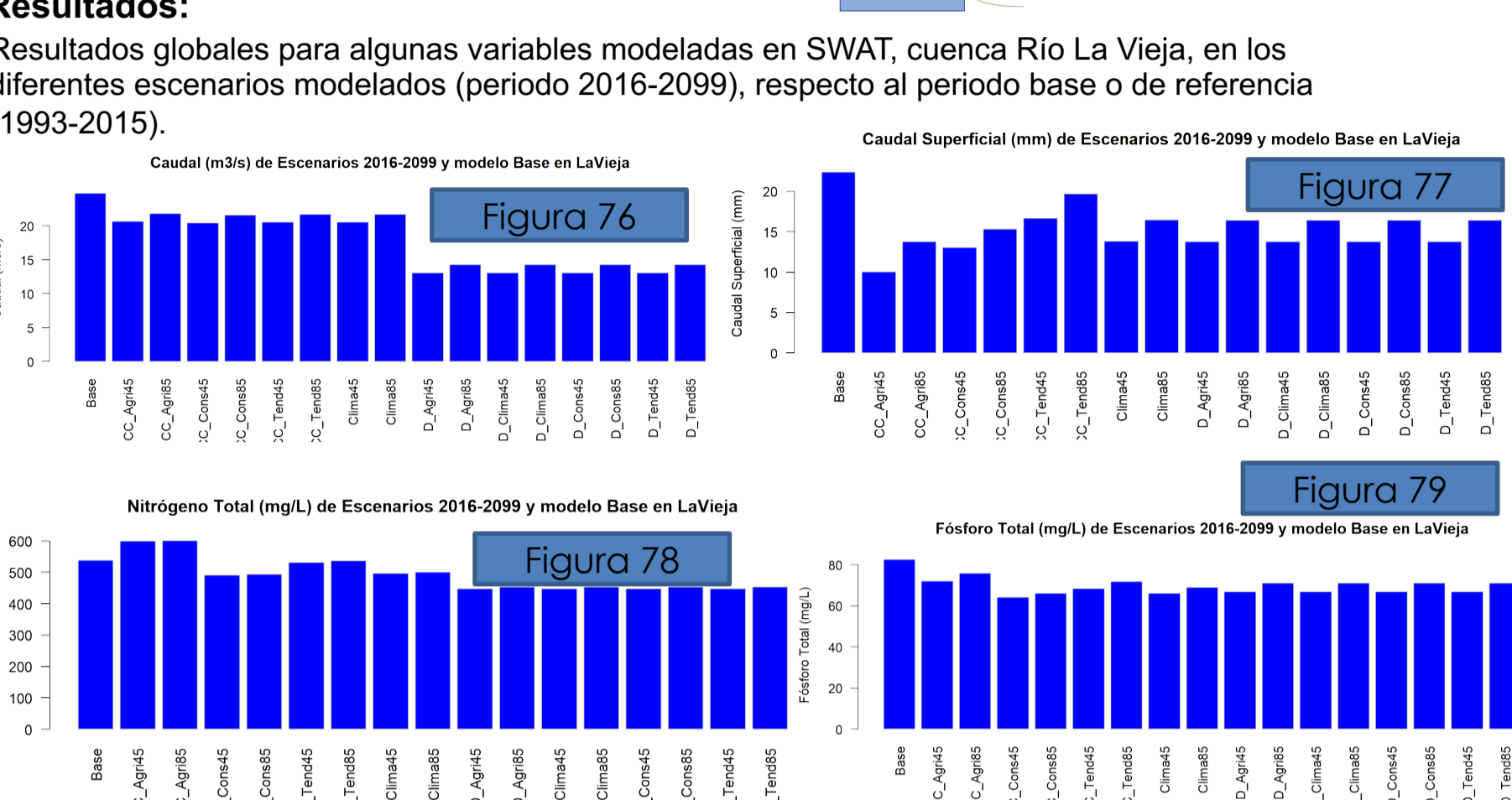
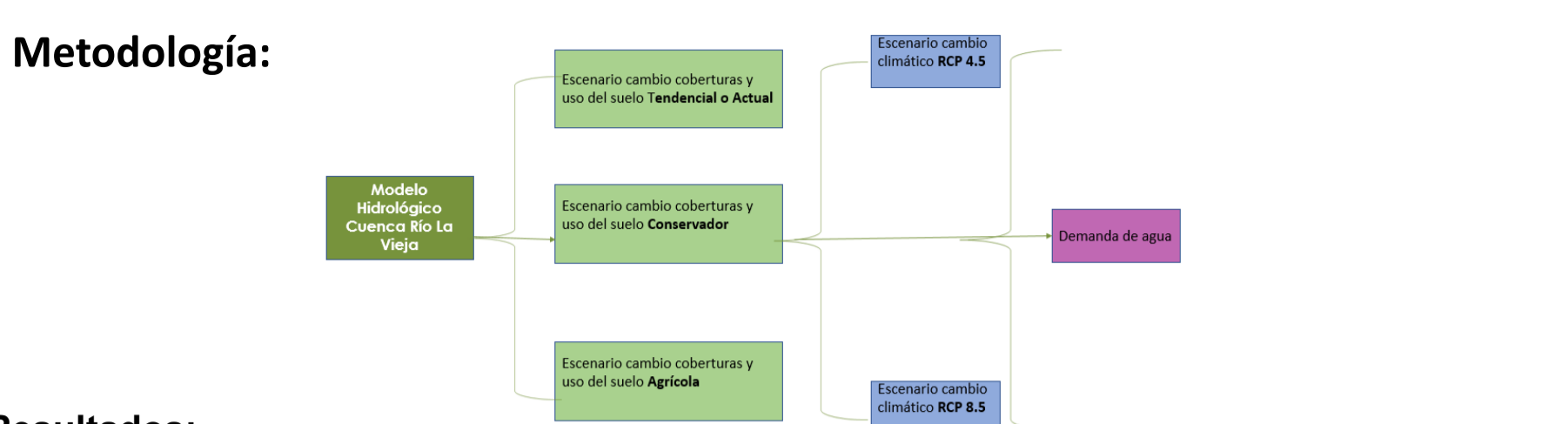
**Objetivo:** generar y estimar las proyecciones sectoriales de demanda de agua futuras, para la incorporación de los resultados en la Modelación hidrológica de la cuenca Río La Vieja.

**Metodología:** la demanda hídrica corresponde a la sumatoria de las demandas sectoriales (actividades antrópicas sociales y económicas) expresada en millones de metros cúbicos. En su mayoría, los datos se recopilaron de información secundaria y bases de datos de entidades nacionales y regionales.

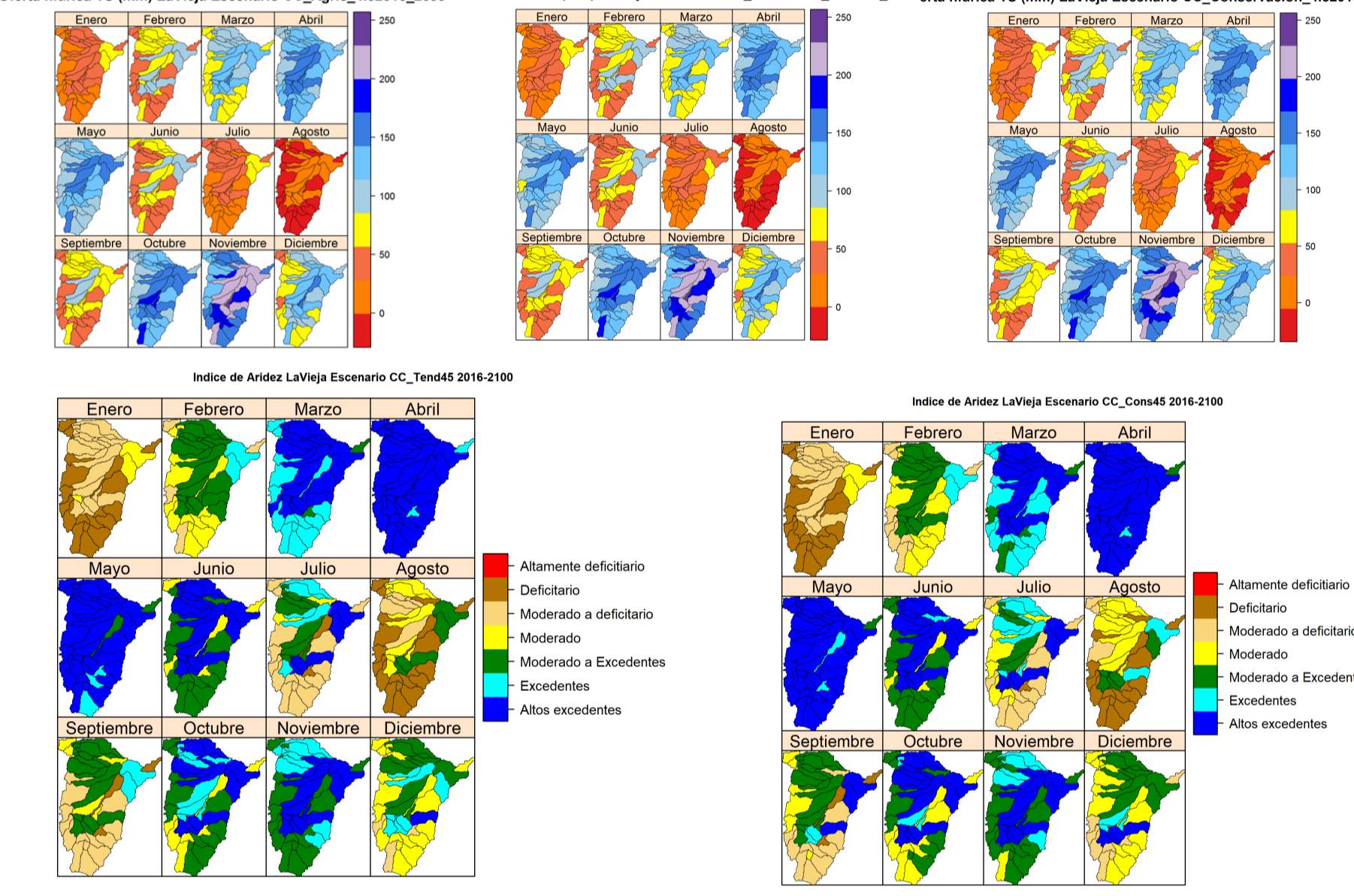


# Modelación hidrológica de escenarios

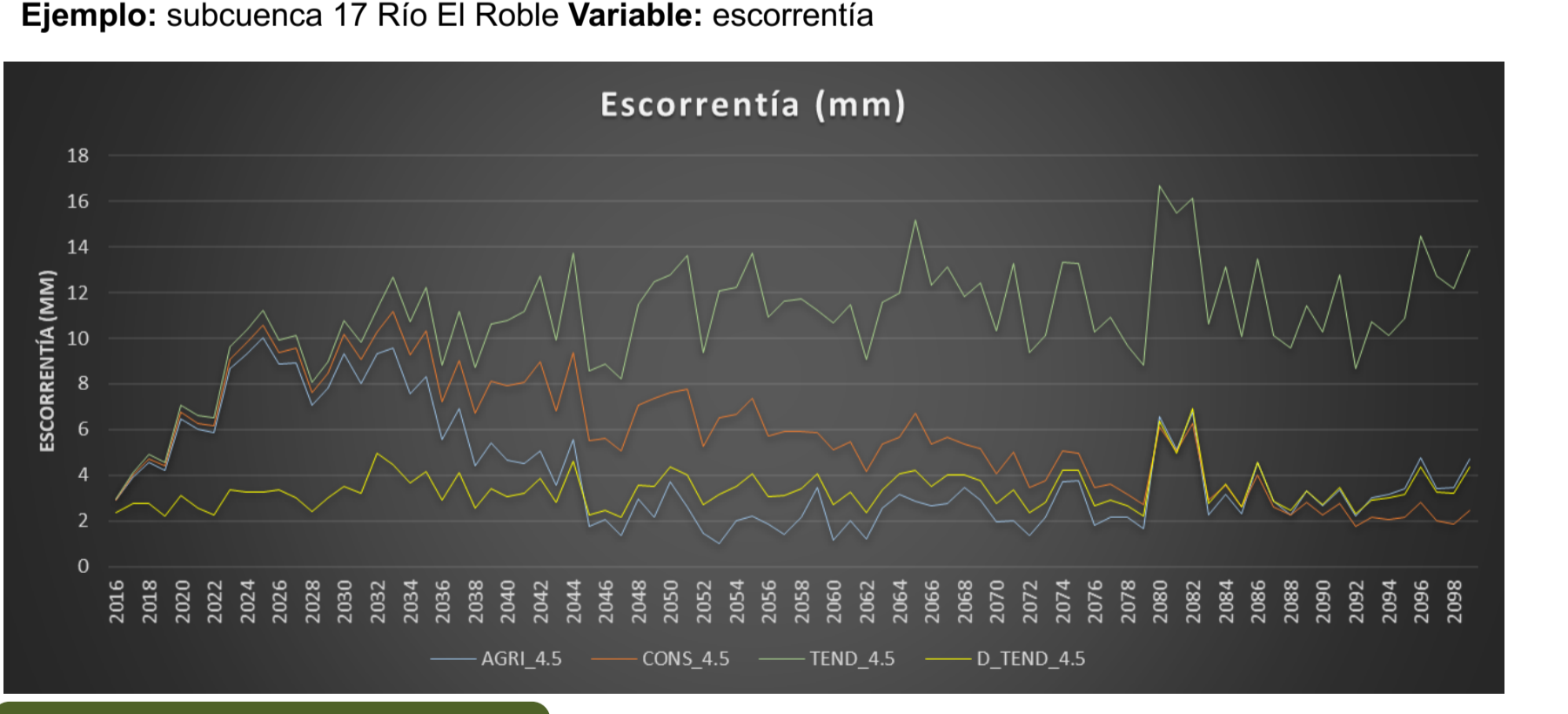
**Objetivo:** estimar la respuesta hidrológica suscitada por las diferentes combinaciones de las proyecciones consideradas (variables climáticas, cambios en usos del suelo y demanda de agua) con el modelo SWAT previamente calibrado y validado, de la Cuenca Río La Vieja.



**Resultados espaciales para algunas variables modeladas en SWAT, cuenca Río La Vieja, en escenarios combinados de coberturas y clima.**



**Resultados por subcuenca:** permite revisar el comportamiento hidrológico de cada componente del balance hídrico modelado en SWAT, para cada una de las subcuencas delimitadas. Se espera que en el escenario agrícola, en el río Roble, la escorrentía disminuya en un 70% a partir del año 2045.



## Conclusiones

- Los modelos hidrológicos se ajustan satisfactoriamente a las condiciones históricas de la cuenca modelada.
- La herramienta de modelación SWAT permitió la simulación simultánea de varios procesos hidrológicos a escala espacial semidetallada y temporal diaria, tanto en el periodo actual como en el futuro.
- Se generaron más de 15 combinaciones de escenarios de cambio climático, coberturas y demanda para la cuenca del río La Vieja que están disponibles para ser consultados permitiendo fortalecer la toma de decisiones y la gestión de la cuenca con soporte técnico.

## Referencias Bibliográficas

Abbaspour, K.C. 2007. *User manual for SWAT-CUP, SWAT calibration and uncertainty analysis programs*. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, EAWAG, Dübendorf, Switzerland.  
 Unesco-IHE. 2010. *Soil and Water Assessment Tool (SWAT)*. Delft, Netherlands: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Institute for Water Education. <http://www.envirogrid.net/Materials/Videos-SWAT/SWAT-introduction-2010-full.pdf> [Consulta: Septiembre, 2021]  
 Fernández, R. 2017. Utilización del programa "SWAT" para la estimación de la emisión de sedimentos en cuencas. 1 e. T. *Superior de Ingeniería*, TRIM, 12 pp. 21-32  
 Universidad de Huelva. USAID, U. S. A. I. D., Trzaska, S., Schnarr, E., & ARD, T. T. (2014). *A review of downscaling methods for climate change projections*. [https://www.climatelife.org/sites/default/files/assets/Downscaling\\_CLEARED.pdf](https://www.climatelife.org/sites/default/files/assets/Downscaling_CLEARED.pdf)  
 Zamora, J.C. 2015. *Construcción de un modelo LUCC Dinamica Ego*. Disponible en: [http://csr.ufmg.br/dinamica/dokuwiki/lib/exe/fetch.php?media=community:1\\_construccion\\_del\\_modelo\\_luoc\\_dinamica.pdf](http://csr.ufmg.br/dinamica/dokuwiki/lib/exe/fetch.php?media=community:1_construccion_del_modelo_luoc_dinamica.pdf)