



„Modelamiento hidrológico aplicado al cambio climático y analisis estadístico para pronostico a corto plazo“.

*Alejandro Chamorro
Universidad de Stuttgart*



*„ Si me encontrara con Dios le preguntaría dos cosas:
Por qué la Relatividad, por que la Turbulencia“*

Werner Heisenberg

Áreas estudiadas

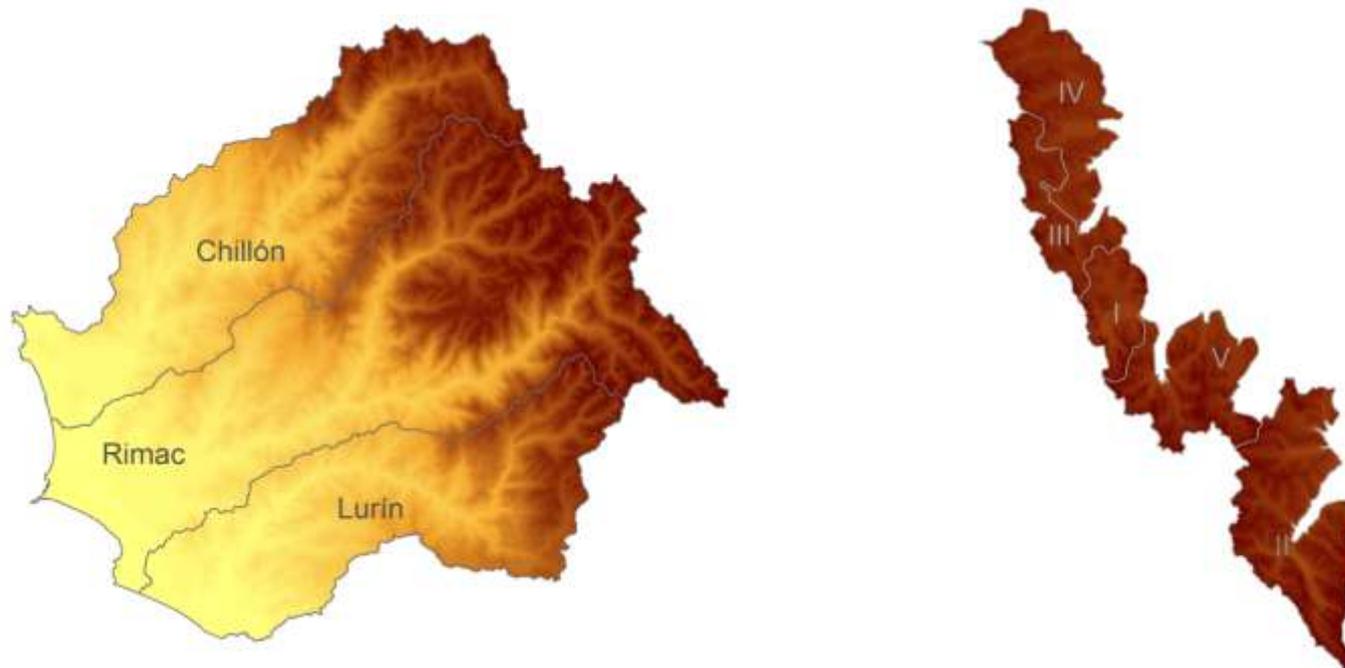


Figura 1: Cuencas en el lado pacífico (izquierda) y parte alta del Mantaro (derecha)

1.- Modelamiento: Puntos principales

1. Regionalización

2. Estimación futura: Precipitación y Temperatura

- GCMs (Global Circulation Models): Analisis
- Downscaling: Transformación

3. Modelamiento hidrológico: Calibración and Validación

- HBV
- Hymod

4. Estimación futura: Discharge

- HBV
- Hymod

5. Análisis de series de tiempo:

- Modelos Autorregresivos AR, MA, ARMA, ARIMA
- Modelo Autotorregresivos basados en Cópulas

6. Análisis de tendencia

- Montecarlo Simulation

1. Regionalización: External Drift Kriging

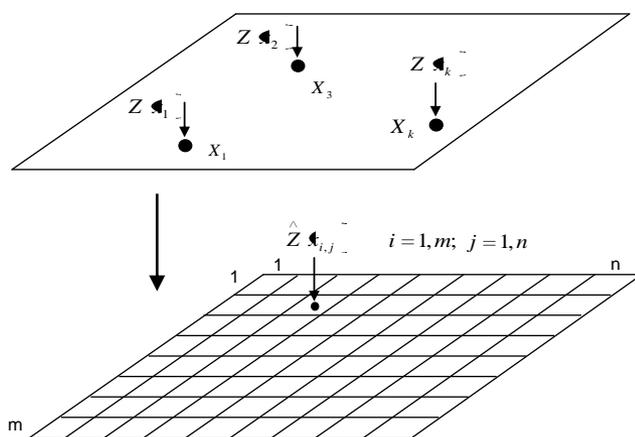


Figure: Esquema Regionalización.
Resolución 1000 m

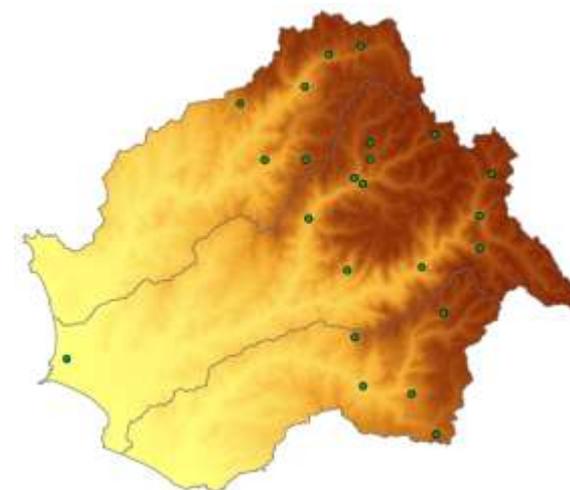


Figure: Estaciones en el lado pacífico

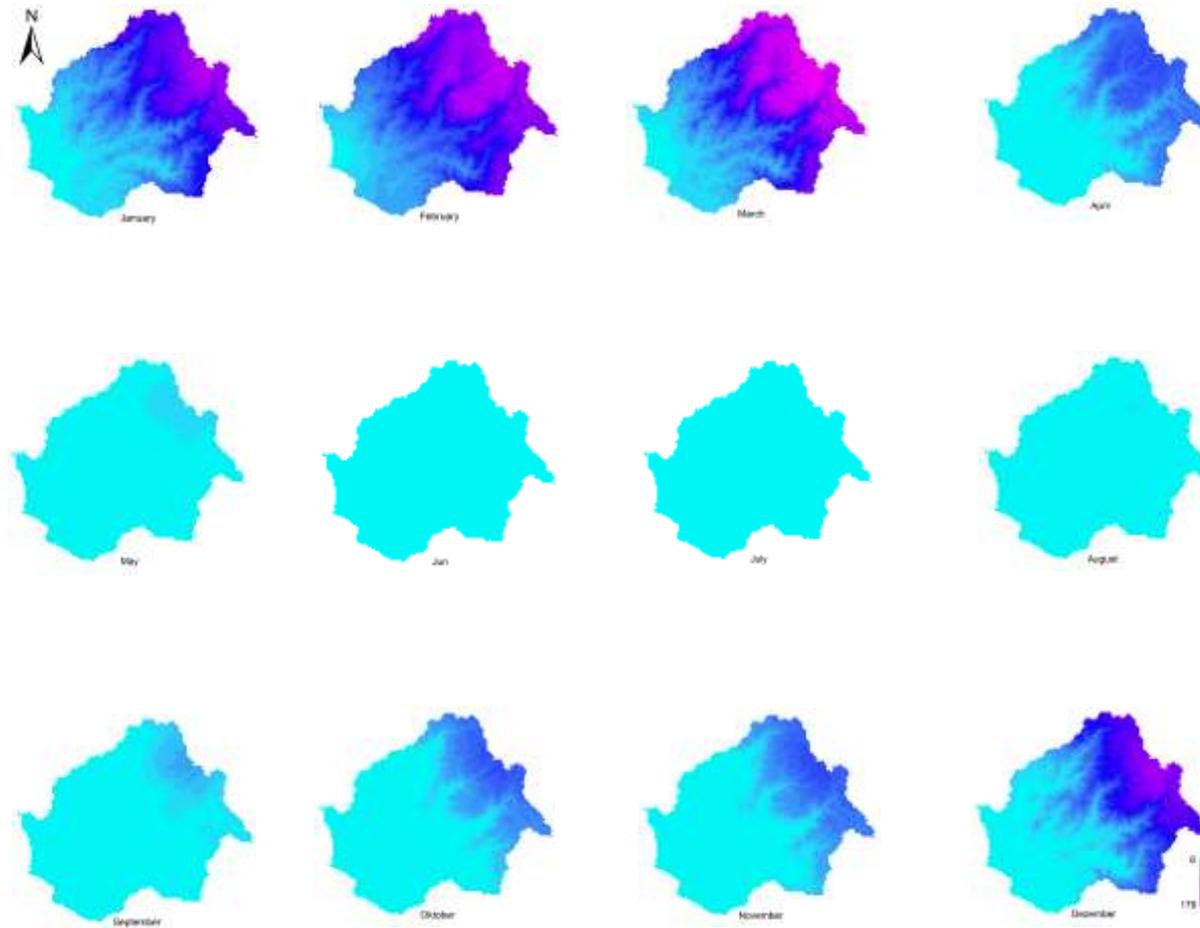


Figure 3: Precipitación media mensual para el área lado Pacífico.
Período de tiempo 1999-2008.

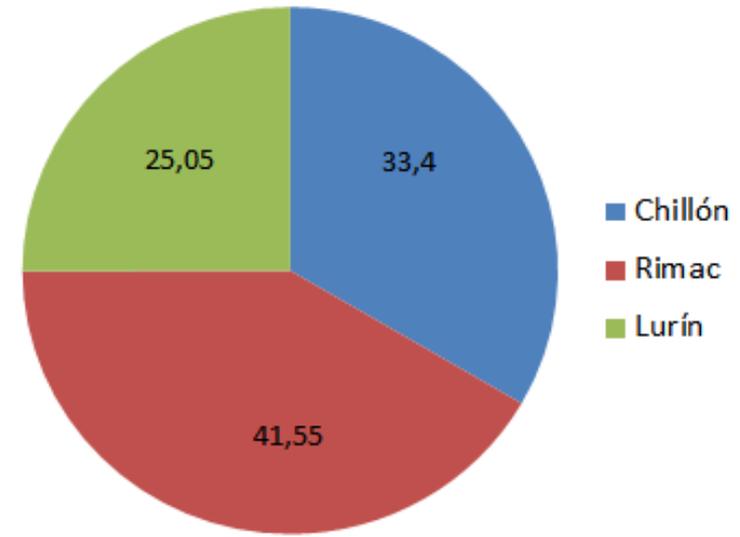
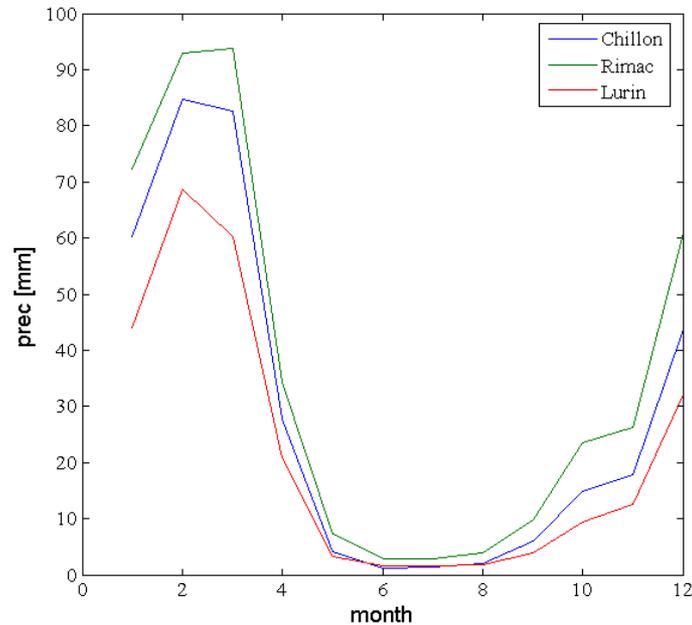


Figure 4: Precipitación media anual para Chillón, Rimac y Lurín (izquierda) y proporción de la lluvia caída (%) (derecha). Período de tiempo 1999-2008

Dependencia error-elevación

$$e_k = \sum_{j=1}^n est_k(j) - obs_k(j) \longrightarrow e_v = (e_1, \dots, e_m)$$

$$Z_v = (z_1, \dots, z_n)$$

$$\rho = corr(e_v, Z_v)$$

Donde:

$est_k(j)$: estimación estación k

$obs_k(j)$: Observación estación k

Z_v : Vector elevación

Smoothing y transformación de variables

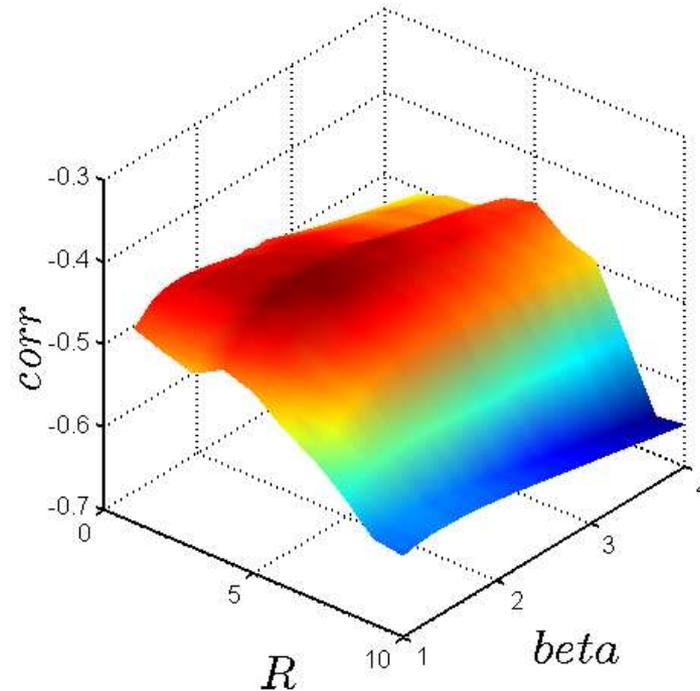
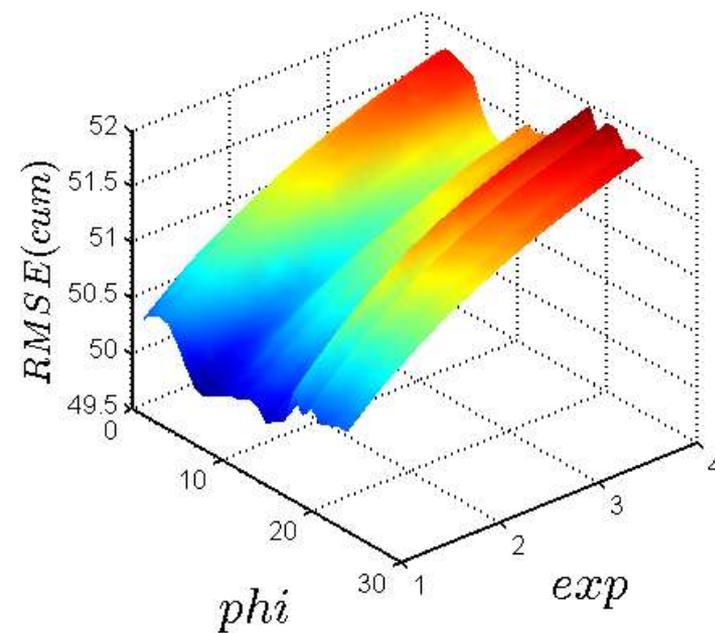
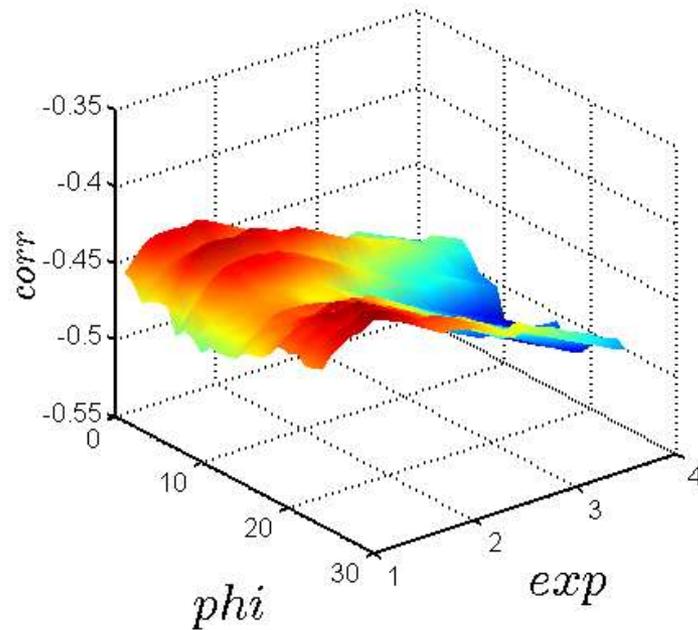


Figure 3-7: Correlation between the error (Acc.) and elevation for a set of different exponents $beta$ and radius R

Tranformation de variables y Rotación

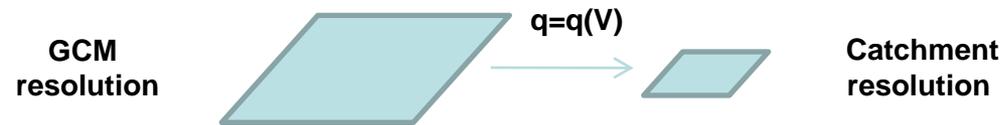


Correlación y error (RMSE) para diferentes exponentes y ángulos de rotación

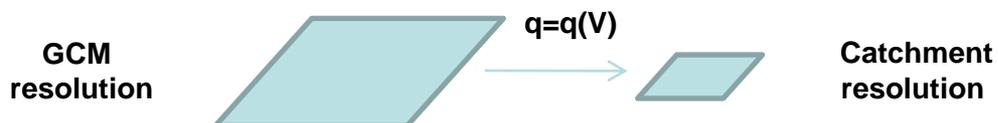
1.- Estimación futura: Downscaling

- *Distribuciones de precipitación y temperatura dadas por los Modelos Climatológicos globales (GCM)*
 - *Período de control*
 - *Período simulaciones analizadas 2012-2050*
- *Áreas regionalizadas (precipitación, temperatura)*
- *Distintos escenarios: A2,B1,A1B*
- *Distintos modelos: Echam, Hadley*

Downscaling



Downscaling



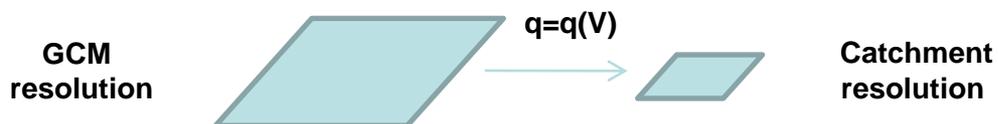
Diferentes métodos:

Transformación Quantil-Quantil

- Ajuste de una distribución de probabilidad para Precipitación y Temperatura:

Ajuste paramétrico, ajuste no paramétrico

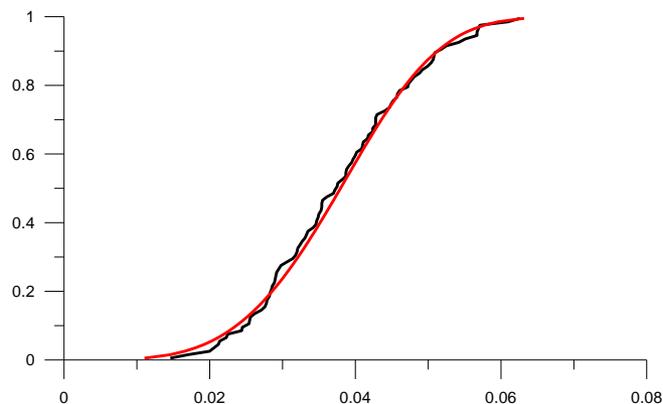
Downscaling



Diferent methods

Transformación Quantil-Quantil

- Ajuste de una distribución para Precipitación y Temperatura:
- Ajuste paramétrico y no paramétrico



*Prec. observada y ajustada (GCM,
Octubre)*

Estimación cambio climático en la Precipitación

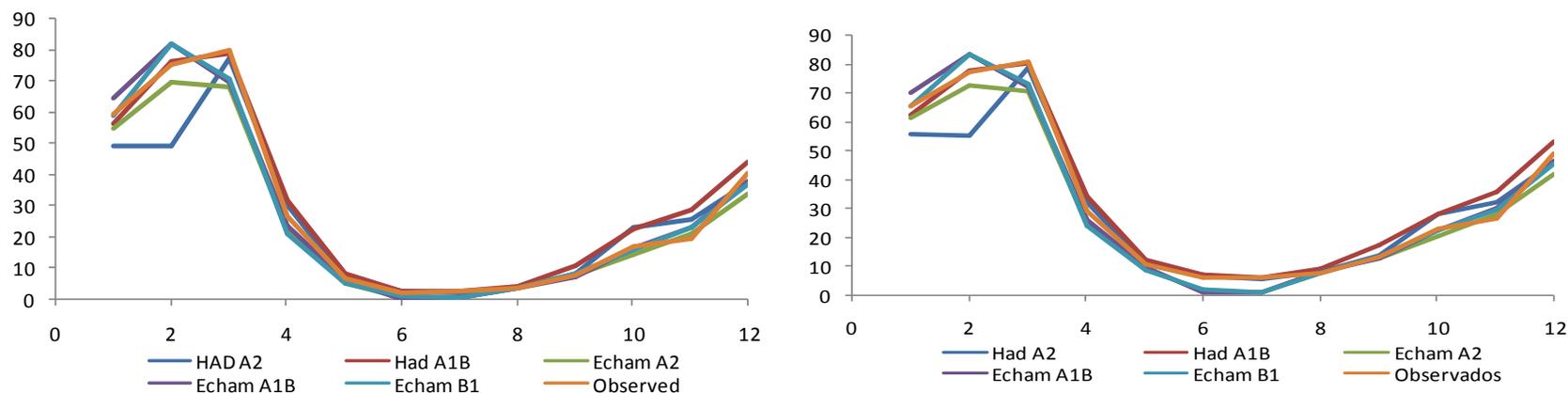


Figura: Resultado de Downscaling. Precipitación media mensual. Chillón (derecha), Rimac (izquierda)

Estimación cambio climático en la Precipitación

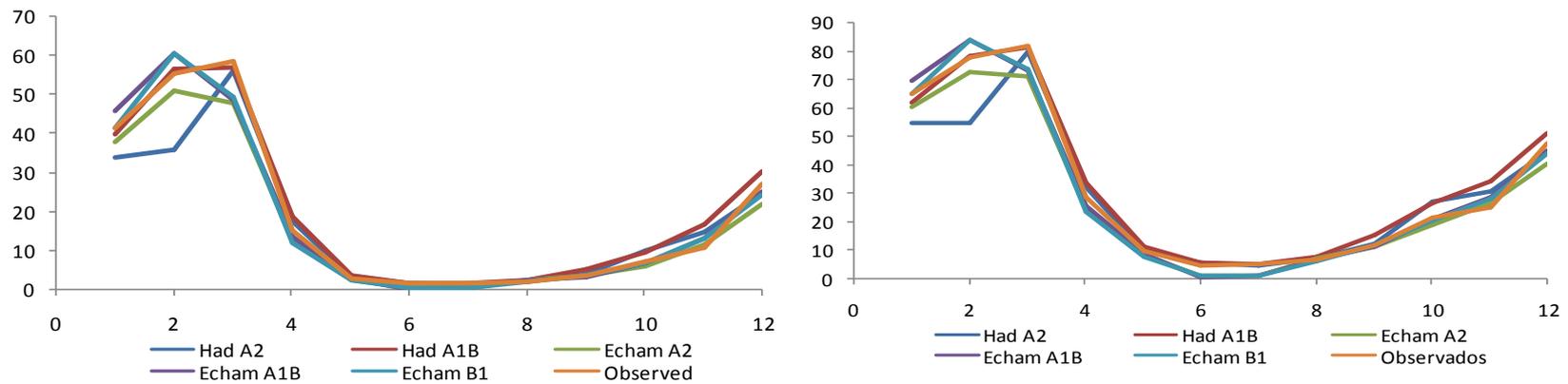
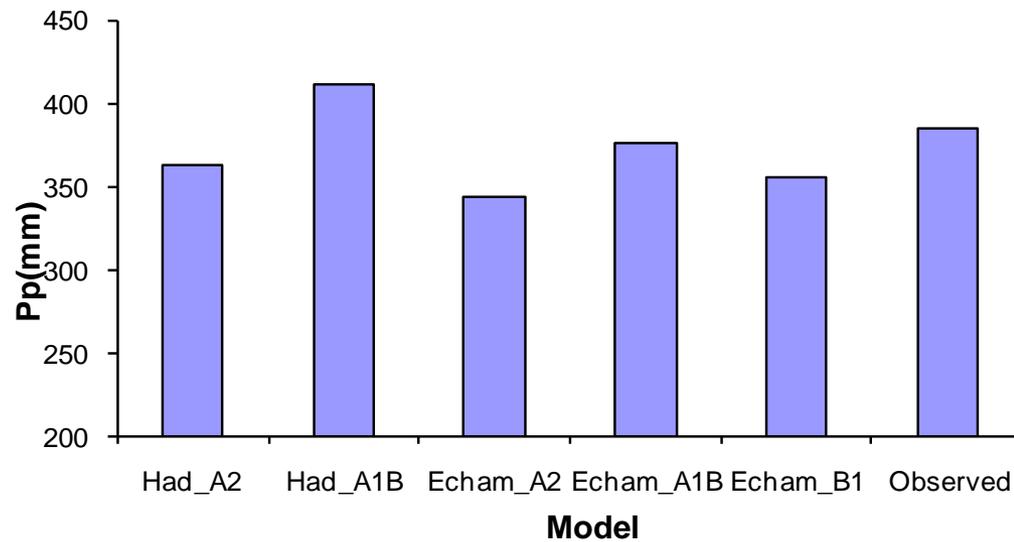


Figura: Resultado de Downscaling. Precipitación media mensual. Lurín (derecha), 3 cuencas(izquierda)



Precipitación media anual. Promedio a largo plazo

2.- Modelamiento hidrológico

- *HBV, Hymod*
- *Estimación diaria del caudal*
- *Optimización mensual*

Acerca de los modelos

Tipo de modelos

- Empíricos
- Conceptuales
- Modelos físicos

- Modelos Físicos: Basados en leyes fundamentales

- Modelos conceptuales(HBV, Hymod,...):

*Descripción conceptual de los procesos más importantes
(evaporación, percolación, almacenamiento, etc)*

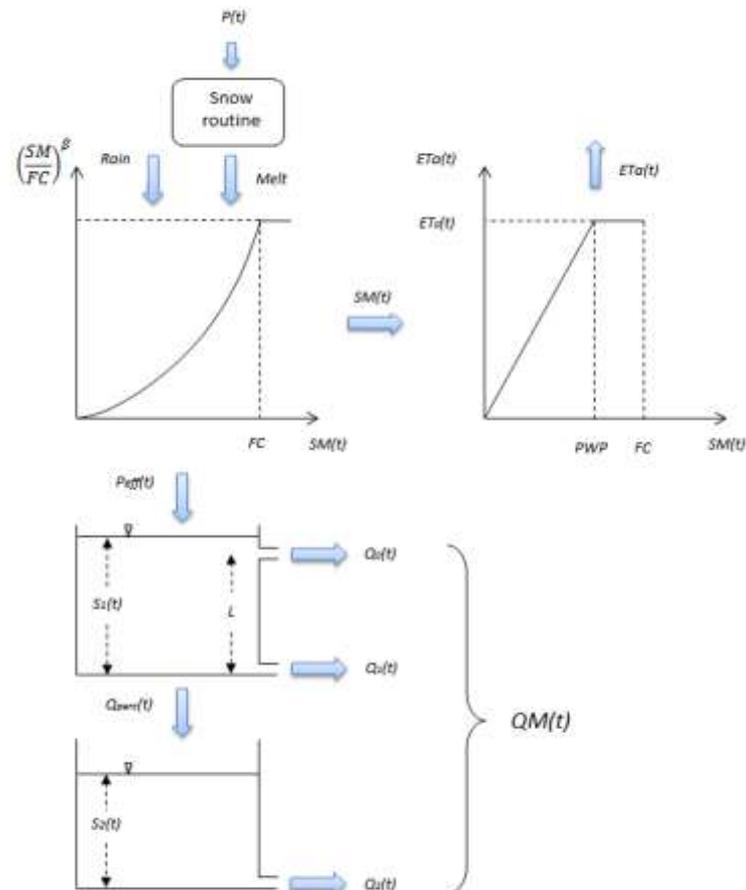


Figure: HBV model used in the area

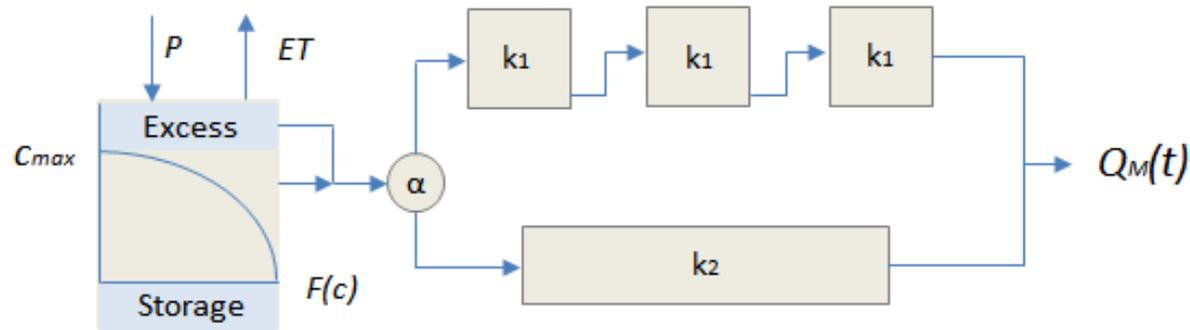


Figure: Hymod model used in the area

Áreas de estudio

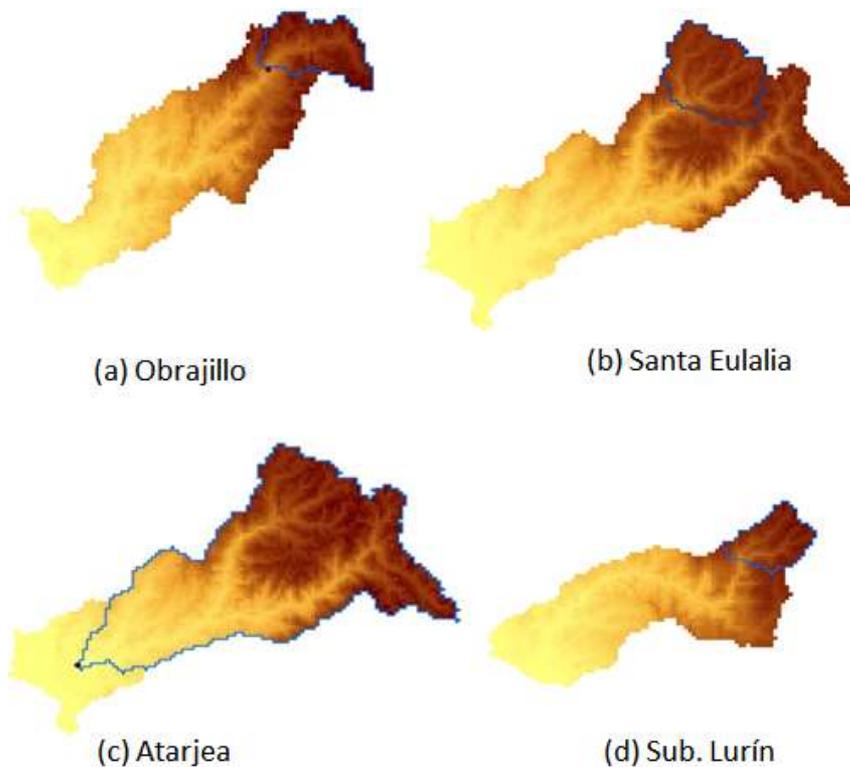
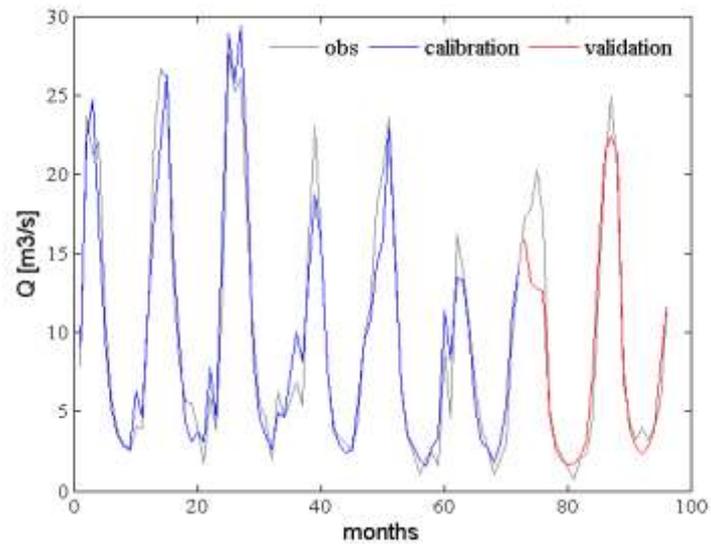
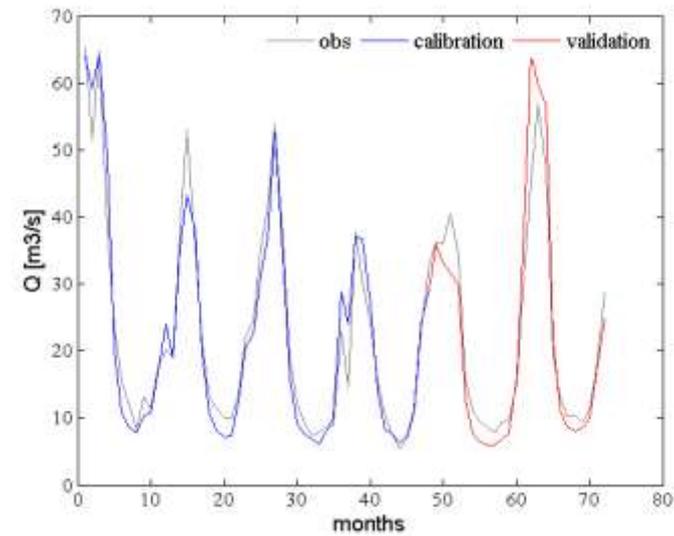


Figure: Áreas estudiadas, lado del pacífico

Ajuste del modelo

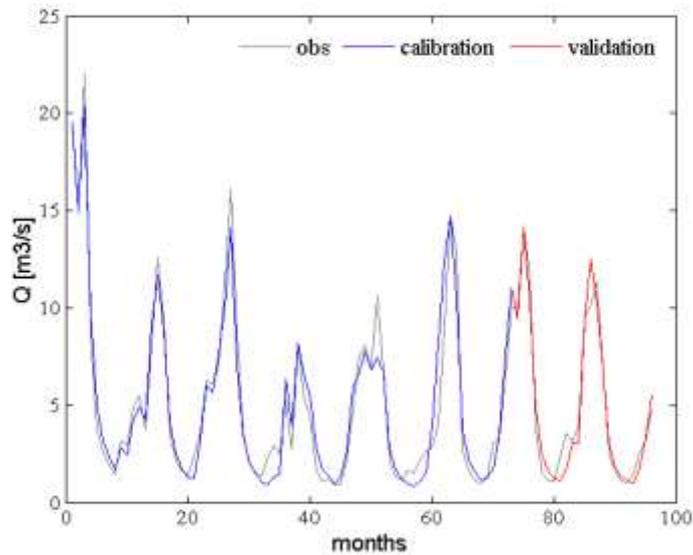


HBV: Santa Eulalia

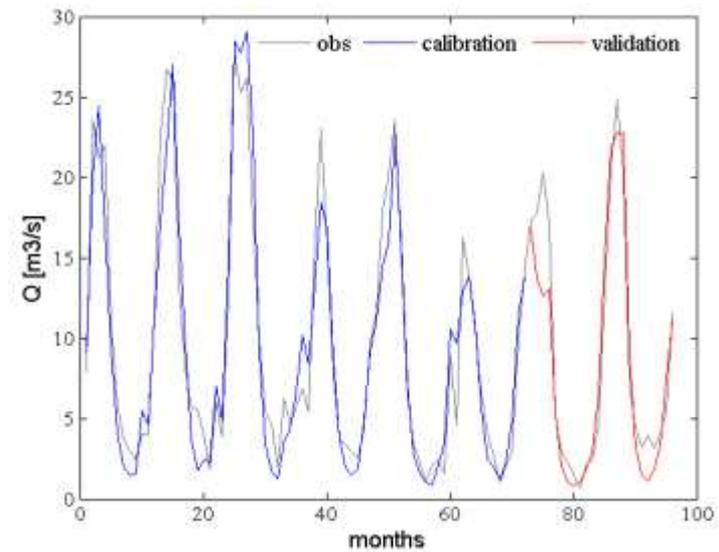


HBV: Atarjea

Ajuste del modelo



HBV: Obrajillo



Hymod: Santa Eulalia

- *Áreas sin información*

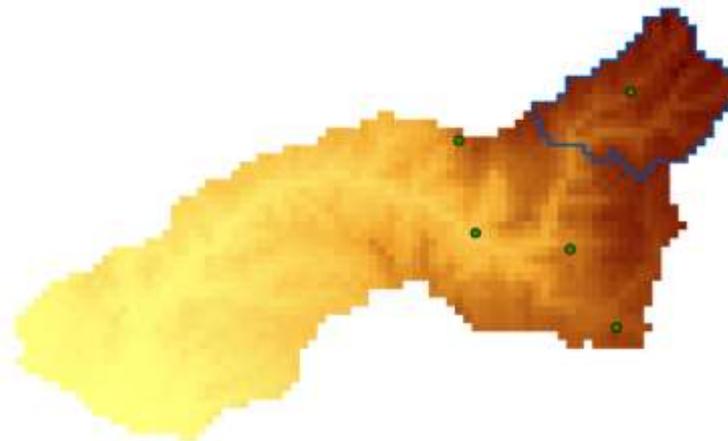
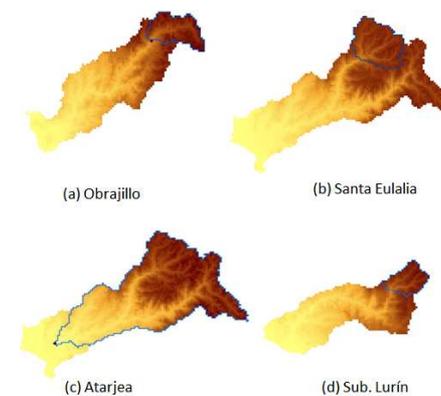


Figure: Sub cuenca Lurin

- *Idea: Estimación de la descarga en*
 1. *Atarjea con set de Atarjea y Santa Eulalia*
 2. *Obrajillo con set de Santa Eulalia y Obrajillo*



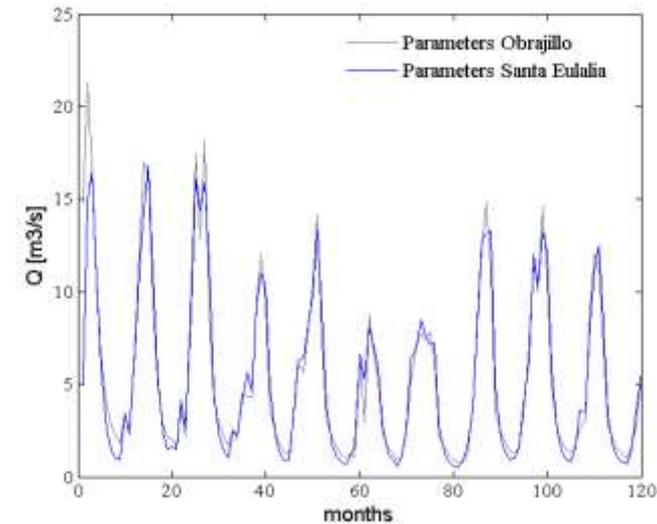
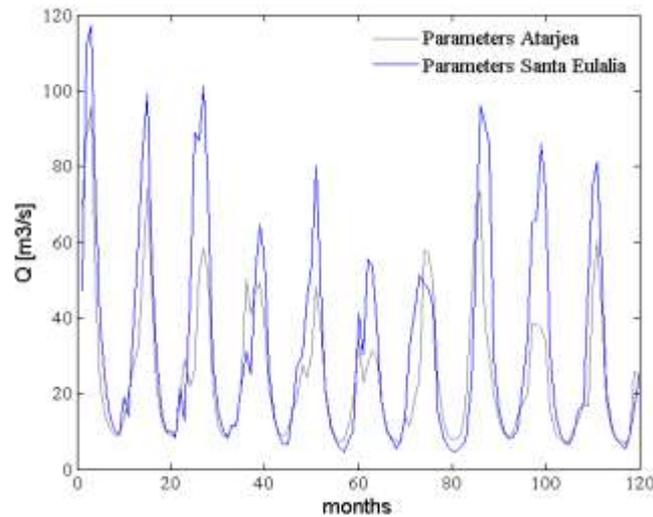


Figure: Discharge estimation in subcatchments Atarjea (izquierda) and Obrajillo (derecha)

Errores asociados

$$e_{Atarjea} = 17.73$$

$$e_{Obrajillo} = 0.84$$

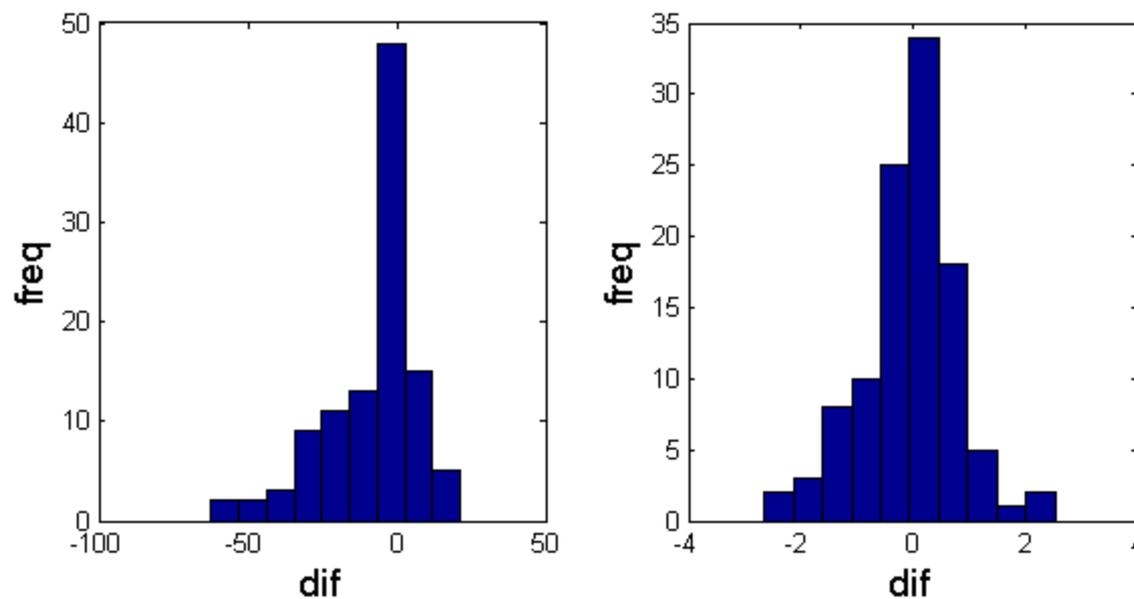


Figure: Histograma del error (diferencia) entre descarga estimada con parámetros reales y parámetros transferidos. Izquierda Atarjea, derecha Obrajillo

Resumen de la estimación de la descarga: Promedios mensuales, período 1999-2008

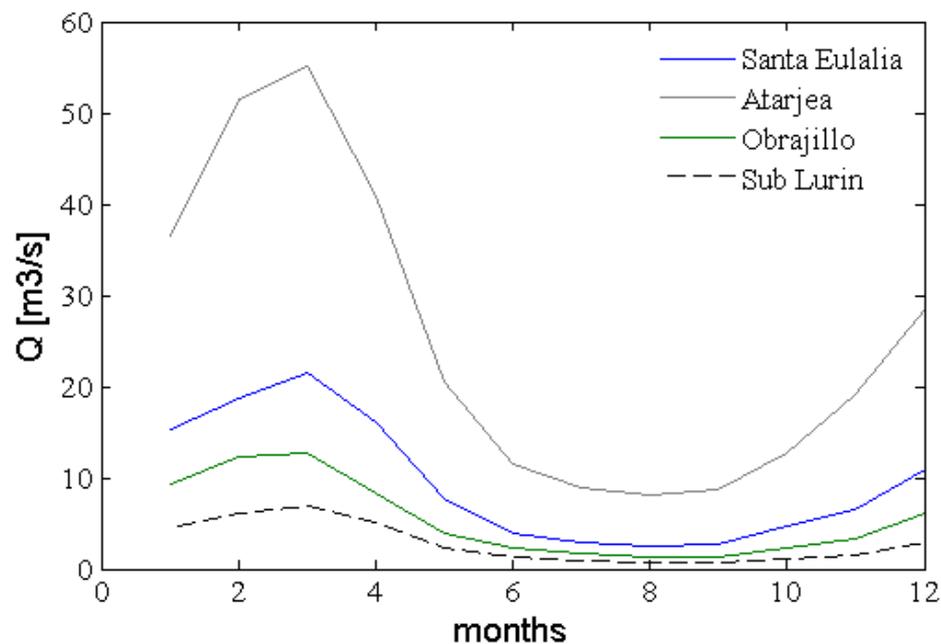


Figure: Resultados del modelo. Descarga promedio mensual en Santa eulalia, Atarjea, Obrajillo y Sub Lurín, periodo 1999-2008.

3.- *Estimación futura del caudal*

- *Downscaled time series*
- *Hydrological model Outputs: HBV, HYMOD*

Impacto del cambio climático en el caudal, lado del Pacífico

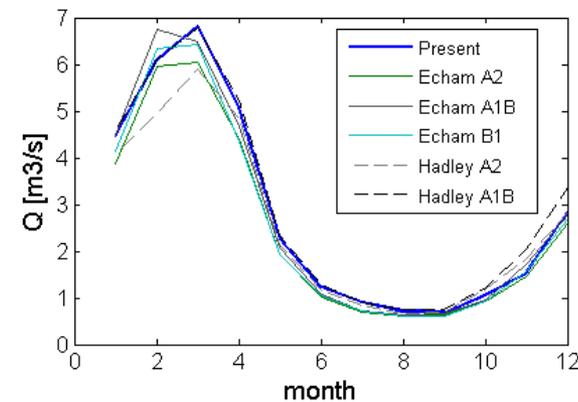
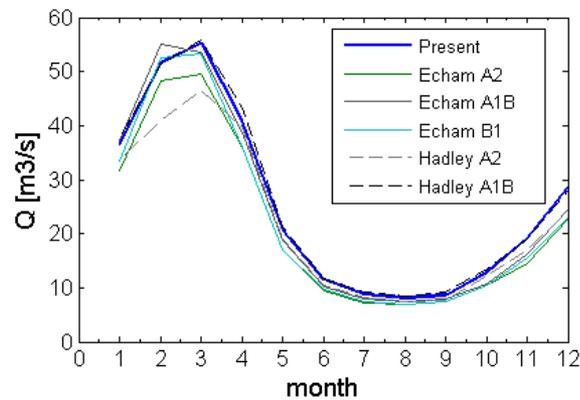
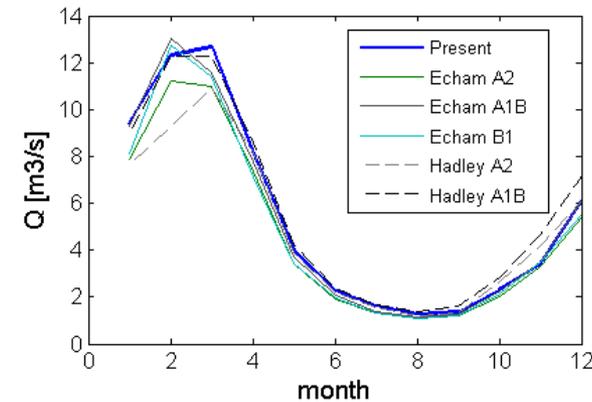
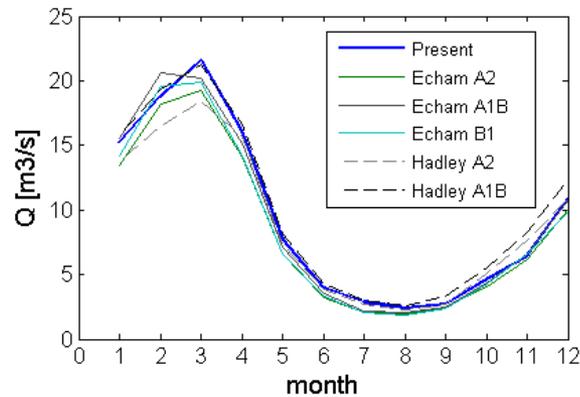


Figura: Santa Eulalia (arriba), Atarjea (abajo)

Figura: Obrajillo (arriba), Sub Lurín (abajo)

Expected variation (%)

Table: Expected climate change impact pacific side

| Sub catchment | Echam A2 | Echam A1B | Echam B1 | Had A2 | Had A1B |
|---------------|----------|-----------|----------|--------|---------|
| Santa Eulalia | -10.52 | -2.61 | -7.83 | -5.44 | 6.28 |
| Atarjea | -13.72 | -4.80 | -9.83 | -11.50 | 2.15 |
| Obrajillo | -12.08 | -3.05 | -8.63 | -8.72 | 4.69 |
| Sub Lurín | -10.59 | -2.05 | -6.97 | -7.48 | 5.30 |

- Expected climate change impact Mantaro (Marca projects)

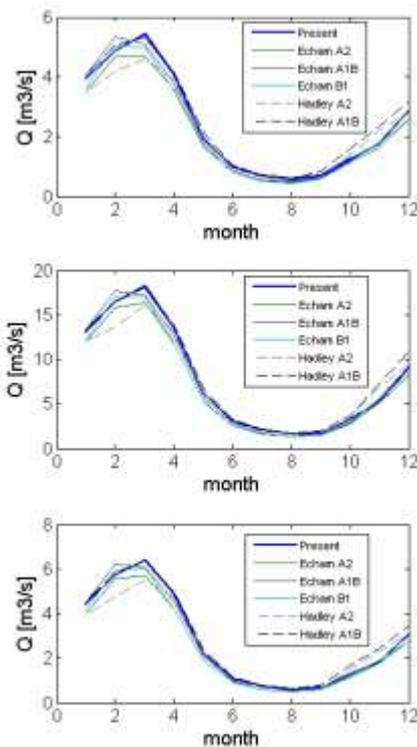


Figure: Marca I, Marca II, Marca III

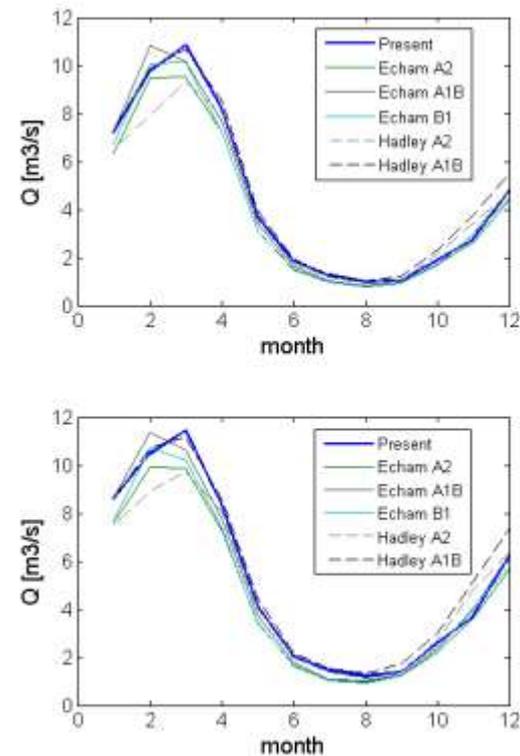


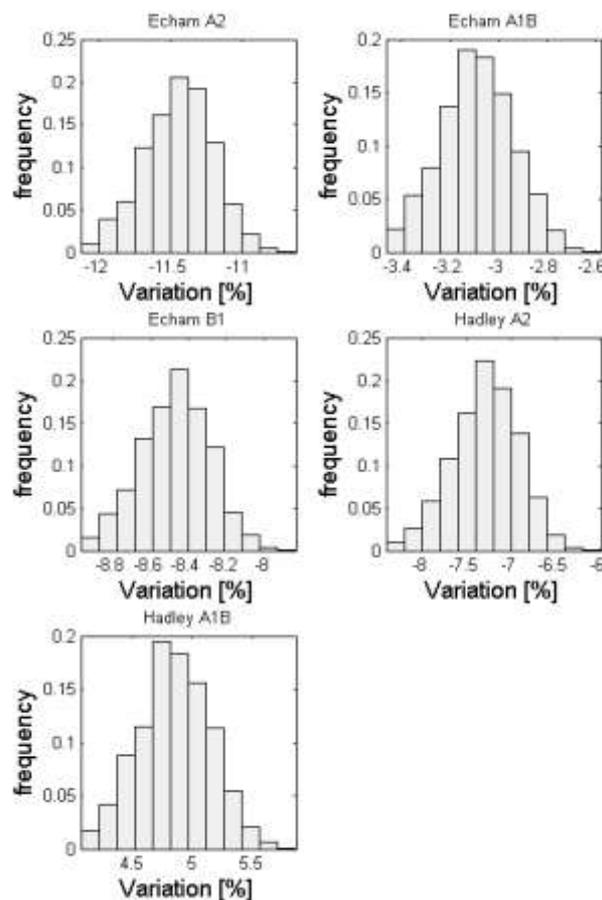
Figure: Marca IV, Marca V

Expected variation (%)

Table: Expected climate change impact pacific side

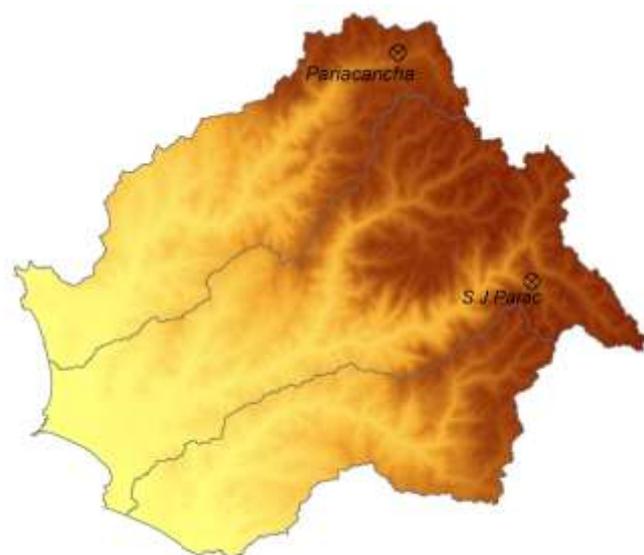
| Sub catchment | Echam A2 | Echam A1B | Echam B1 | Had A2 | Had A1B |
|---------------|----------|-----------|----------|--------|---------|
| Marca 1 | -10.93 | -2.18 | -7.81 | -5.65 | 7.05 |
| Marca 2 | -9.77 | -1.50 | -6.82 | -4.72 | 6.87 |
| Marca 3 | -10.13 | -1.63 | -6.81 | -5.88 | 6.73 |
| Marca 4 | -10.32 | -1.80 | -6.78 | -6.62 | 6.09 |
| Marca 5 | -11.33 | -2.49 | -8.35 | -5.56 | 7.02 |

- Estimación con ROPE algorithm

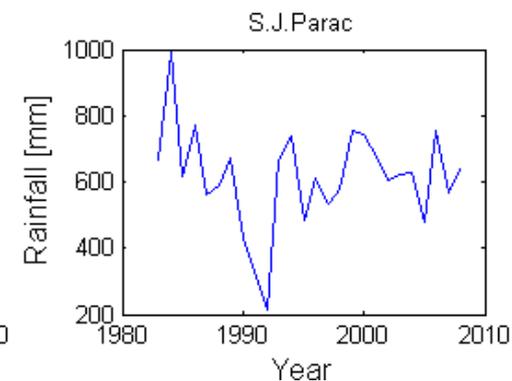
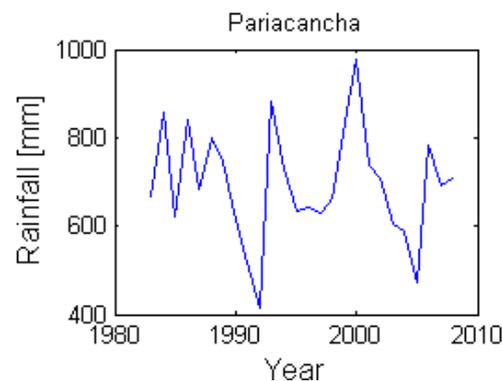


Histogramas de la variación esperada en Santa Eulalia considerando los vectores solución generados con el algoritmo ROPE. Período de comparación 1999-2008 (present) y 2012-2050 (future)

Análisis de tendencia: Simulación Montecarlo



Estaciones de precipitación Pariacancha y San José de Parac en las cuencas Chillón y Rimac respectivamente



Precipitación promedio anual en estaciones Pariacancha y S. J. de Parac. Período de tiempo considerado 1983 - 2008 para cada estación

Concepto:

- Cada observación considerada como una variable aleatoria
- Período de observación: Vector aleatorio
- Generación aleatoria de „muchos“ vectores
- CDF variable analizada (estadístico)
- Quantil definido por caso base

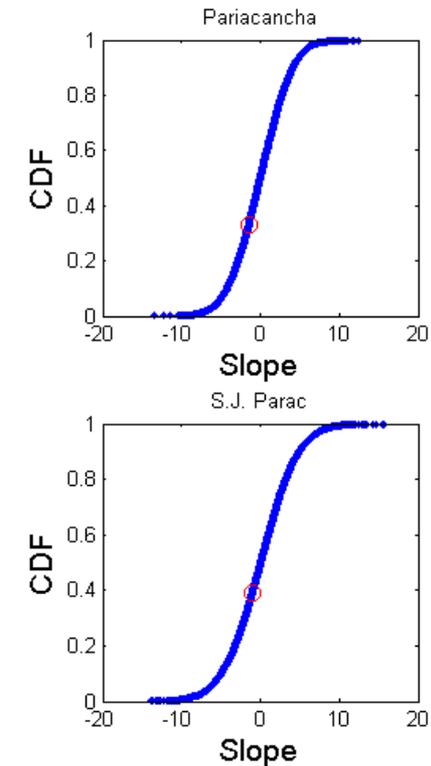


Figure: Yearly

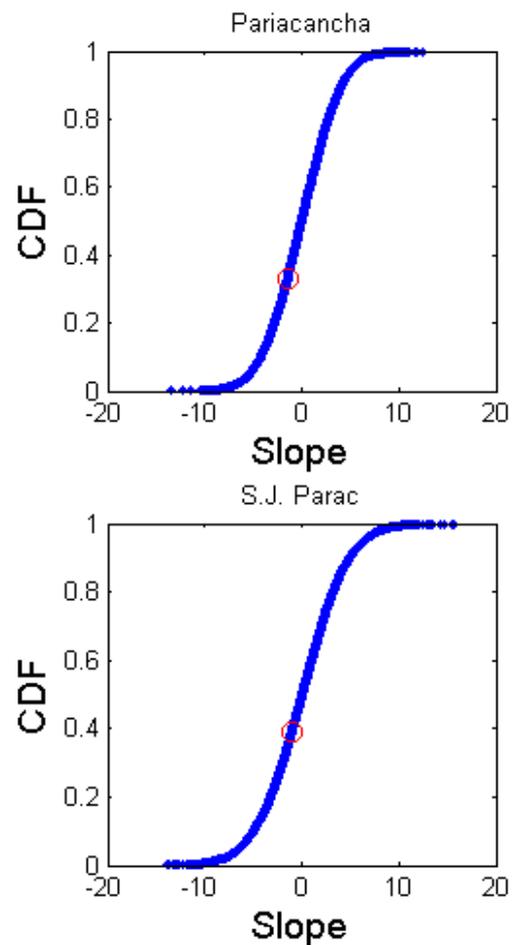


Figura: Análisis anual

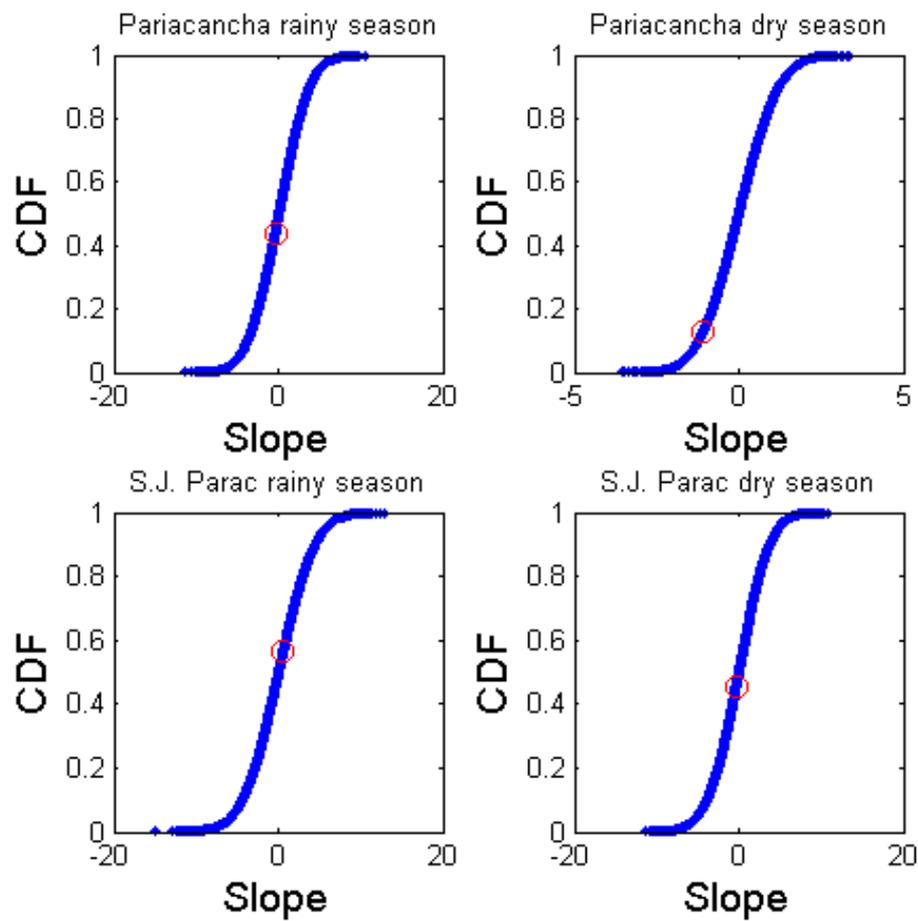


Figura: Análisis estacional. Período de lluvia y período seco

*Pronóstico es el arte de decir que es lo que va a pasar,
y despues explicar por qué no paso“*

Anónimo

Gracias