

# CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA, METEOROLÓGICA E HIDROLÓGICA DE LA CUENCA BINACIONAL CATAMAYO-CHIRA PREVIO A LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS MODELOS SWAT Y WATEM/SEDEM CON FINES DE SU PLANIFICACIÓN TERRITORIAL

*Fernando Oñate-Valdivieso<sup>1,2</sup>, Edwin Duque<sup>1</sup>, Patricio León<sup>1</sup>,  
Felipe Duque<sup>1</sup>, Walter Rojas<sup>1</sup>, Fernando Tenesaca<sup>1</sup>*

(1)Área de Hidrología UGC-SIG, Universidad Técnica Particular de Loja. Campus San Cayetano, C/. Marcelino Champagnat s/n, 1101608 Loja, Ecuador. [www.fronate.pro.ec](http://www.fronate.pro.ec), [fronate@utpl.edu.ec](mailto:fronate@utpl.edu.ec)

(2)Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá, C/. Colegios 2, 28801, Alcalá de Henares, Madrid, España

## RESUMEN

En el presente trabajo se realiza el análisis de calidad de los registros climáticos, meteorológicos e hidrológicos a nivel diario y mensual de 24 estaciones ecuatorianas y 19 estaciones peruanas distribuidas en la cuenca binacional Catamayo Chira. Se realizó la homogenización de los registros mediante procedimientos estadísticos, se obtuvo 15 parámetros a nivel mensual a fin de caracterizar climáticamente la zona de estudio y se preparó la información con el fin de implementar los modelos Soil and Water Assessment Tool (SWAT) y Watem /Sedem en la cuenca.

**Palabras clave:** Caracterización climática, SWAT, Watem/Sedem

## ABSTRACT

The present work informs about a quality analysis of climatic, meteorological and hydrological records taken daily and monthly in 24 Ecuadorian and 19 Peruvian stations distributed in the bi-national basin Catamayo-Chira. A homogenization of records using statistical proceedings was carried out, and there were obtained 15 parameters at monthly level in order to climatically characterize the studied area and the information was prepared with the purpose of implementing the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) and Watem/Sedem models in the basin.

**Key words:** Climatic characterization, SWAT, Watem/Sedem

## SOBRE EL AUTOR PRINCIPAL

**Fernando Oñate-Valdivieso:** Es Ingeniero Civil por la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL). Obtuvo su DEA en Cartografía, SIG y Teledetección en la Universidad de Alcalá (España) y actualmente es Doctorando en la misma Universidad. Desde 2000 se desempeña como Docente Investigador en la Universidad Técnica Particular de Loja en el Área de Hidrología de la Unidad de Ingeniería Civil Geología y Minas (UCG) y del Grupo de Sistemas de Información Geográfica. Es miembro de la IEEE Geoscience and Remote Sensing Society y de la Red Latinoamericana de Manejo de Cuencas Hidrográficas. Ha participado en el Proyecto Mutinacional Andino de la Agencia Canadiense de Cooperación Internacional y en el Proyecto TWINLATIN de la Unión Europea. Ha publicado varios artículos sobre la temática de la Hidrología y las Tecnologías de la Información Geográfica en revistas científicas y congresos internacionales

## INTRODUCCIÓN

El modelamiento hidrológico es en la actualidad una herramienta muy utilizada para la planificación del uso de la tierra y el ordenamiento territorial de cuencas hidrográficas. Una vez implementado, un modelo hidrológico permite analizar la respuesta que una cuenca hidrográfica puede presentar a diferentes alternativas de manejo.

El Proyecto Twinlatin de “Hermanamiento de Cuencas Hidrográficas para la promoción de la Gestión Integral de los Recursos Hídricos”, es una iniciativa financiada con fondos de la Unión Europea e integrado dentro del proyecto binacional Catamayo Chira, cuyo objetivo es el de desarrollar actividades de investigación aplicada en los temas priorizados de calidad del agua, bases de datos, erosión, cambio climático e hidrología, entre otras. En el componente de trabajo de hidrología y erosión, el objetivo del Proyecto Twinlatin es el de desarrollar modelos hidrológicos y de erosión – sedimentación que ayuden a entender estos fenómenos en la cuenca y que proporcionen herramientas de gestión a las instituciones locales competentes en la materia. Concretamente, el Proyecto Twinlatin pretende la implementación de los modelos Soil and Water Assessment Tool (SWAT) y Watem/Sedem

El SWAT es un software de modelamiento hidrológico semidistribuido de generación continua diseñado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y la Universidad de Texas. Este modelo permite simular la producción de agua y sedimentos en cuencas hidrográficas, así como el efecto que en la calidad del agua tienen las prácticas agronómicas por el uso de pesticidas y fertilizantes. El SWAT se basa en un balance hídrico para determinar la entrada, salida y almacenamiento de agua en la cuenca. El Watem/Sedem por su parte, ha sido desarrollado por el departamento de Geografía de la Universidad Católica de Lovaina, es un modelo espacial de erosión basado en la Ecuación universal de pérdida de suelo (RUSLE), diseñado para el estudio del impacto de la conservación de suelo y el control de sedimentos.

La simulación de los procesos requiere una considerable cantidad de información climática, meteorológica e hidrológica, entre otras, la que incluye precipitación, temperatura, velocidad del

viento, temperatura del punto de rocío, radiación solar, todo a nivel diario y mensual. Esta información es utilizada por el modelo para simular las entradas y salidas al sistema, requiriéndose adicionalmente, datos de caudal y sedimentos, utilizados en la validación y calibración del modelo.

En el presente trabajo se presentan los procedimientos seguidos para analizar y homogenizar la información climática, meteorológica e hidrológica disponible para la cuenca binacional Catamayo-Chira, a fin de obtener parámetros que permitan su caracterización y la futura implementación de los modelos SWAT y Watem/Sedem en ésta.

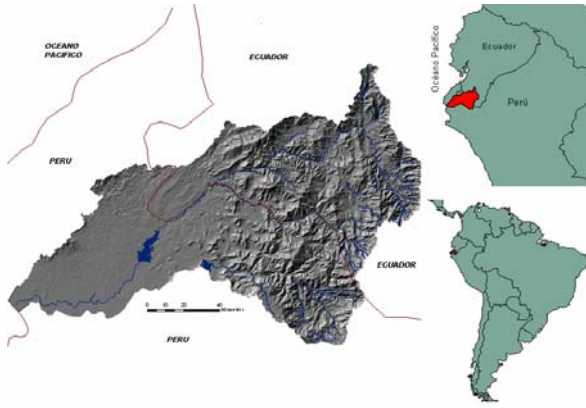
## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

La Cuenca Binacional Catamayo-Chira, se extiende entre las coordenadas 3° 30' a 5° 8' de latitud sur y 79° 10' a 81° 11'. Cubre la región fronteriza sur occidental entre Ecuador y Perú con una extensión de 17 199.19 km<sup>2</sup>; nace en las cumbres de la divisoria continental de aguas (Ecuador) y desemboca en el Océano Pacífico (Perú), atravesando escenarios montañosos y costaneros, con climas tropicales, ecosistemas, usos y sistemas administrativos; que determinan características territoriales naturales y antrópicas muy diversas. La geografía de la cuenca es abrupta con rangos de altitud que oscilan entre los 3.700 y 0 metros sobre el nivel del mar. En este escenario se presentan once zonas de vida, que van desde el desierto tropical (d-T) hasta el bosque pluvial montano (bp-M). La precipitación media anual es del orden de los 800 mm variando entre 10 mm en la zona baja, hasta 1000 mm en su cabecera. La ubicación de la zona de estudio se puede observar en la figura No.1

### Datos de precipitación mensual

Se recopiló la información mensual de precipitación en 43 estaciones distribuidas en la cuenca, de las cuales 24 son ecuatorianas y 19 son peruanas. Las estaciones consideradas se observan en la figura No. 2



**Figura 1. Ubicación del área de estudio**

Se procedió a realizar análisis visual de la información registrada en cada una de las estaciones a fin de localizar posibles incongruencias en la información y se estudió el régimen de precipitaciones en cada estación mediante la representación gráfica de las precipitaciones medias mensuales en el eje de las ordenadas y sus correspondientes meses de ocurrencia en las abscisas.

La consistencia de la información recopilada se analizó construyendo curvas de doble masa agrupando las estaciones según posean el mismo régimen de precipitación y se encuentren separadas entre si por una distancia relativamente corta. Al elaborar las curvas de doble masa se seleccionó como estación base a aquella del grupo, que presente el registro de datos más extenso y confiable. En las curvas de doble masa la acumulación de los totales anuales registrados en la estación base se grafican en el eje de las abscisas, y en el eje de las ordenadas, se grafican los totales acumulados de cada una de las estaciones en comprobación. El análisis de consistencia permitió seleccionar las estaciones a utilizarse en la implementación del modelo.

En base a la extensión predominante de registros en las estaciones, se escogió el período 1970-2000 como el óptimo para la homogenización de los registros mensuales de precipitación, proceso que se realizó entre estaciones que presentaban el mismo régimen, vecindad y homogeneidad de sus registros. La homogenización se realizó aplicando criterios de correlación ortogonal que permite definir una ecuación de correlación entre estaciones basada en el criterio de los mínimos cuadrados. La ecuación de regresión se determinó con la expresión (Heras, 1976):

$$Y = (Y_m - m * X_m) + m * X \quad (1)$$

En la que  $X_m$  y  $Y_m$  son los valores medios de precipitación registrada en la estación base y en análisis, respectivamente. El valor de  $m$  es la pendiente de regresión que se calcula con la expresión:

$$m = \frac{\sigma_{XY}}{\lambda_1 - \sigma^2 y} \quad (2)$$

En la que  $\lambda_1$  es la raíz positiva de la ecuación:

$$\lambda^2 - (\sigma^2 x + \sigma^2 y) * \lambda + [\sigma^2 x * \sigma^2 y - (\sigma_{xy})^2] = 0 \quad (3)$$

En la que  $\sigma^2 x$  y  $\sigma^2 y$  son las varianzas los valores de precipitación registrados en la estación base y en análisis respectivamente y  $\sigma_{xy}$  es la covarianza de las parejas de datos considerados en el análisis.

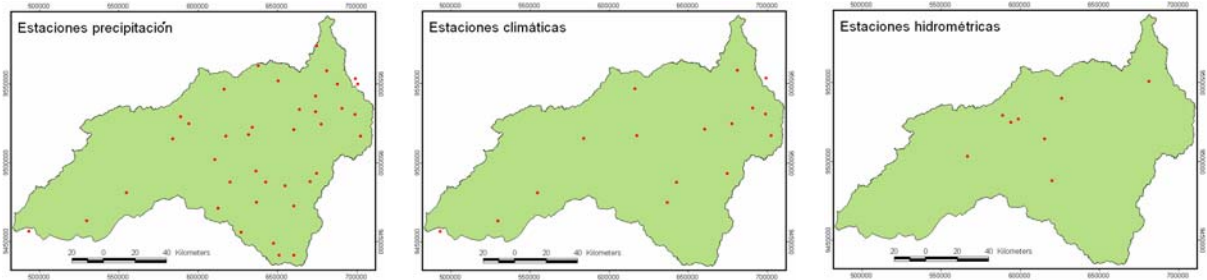
Cuando los valores registrados en la estación base son menores que la media de los mismos, se aplica una ecuación parabólica que evita el cálculo de valores negativos cuando se realiza el relleno de la información en la estación en análisis. La ecuación parabólica es:

$$Y = Y_m * \left( \frac{X}{X_m} \right)^{\left( \frac{m * X_m}{Y_m} \right)} \quad (4)$$

Con el fin de calcular la bondad de ajuste se calculó el coeficiente de correlación, considerándose que valores de éste superiores o iguales a 0.7 son significativos estadísticamente. El coeficiente de correlación se calculó con la expresión:

$$r = \frac{\sigma_{xy}}{\sqrt{\sigma_x^2 * \sigma_y^2}} \quad (5)$$

Aplicando las expresiones 1 y 4 se procedió a rellenar los vacíos de información existentes a fin de homogenizar los registros mensuales de precipitación al período indicado.



**Figura 2. Estaciones consideradas en el estudio**

### Procesamiento de datos de precipitación diaria

Se procedió a realizar el análisis visual de los registros disponibles y un análisis de correspondencia entre la acumulación de los datos diarios de precipitación y sus correspondientes valores de precipitación mensual registrada a fin de identificar anomalías y errores de transcripción.

Se procedió a realizar un conteo de días húmedos y secos a nivel mensual plurianual en los registros diarios de precipitación, para determinar las probabilidades de ocurrencia de un día húmedo luego de un día seco  $P_i(W/D)$  y de un día húmedo luego de un día húmedo  $P_i(W/W)$ , aplicando las siguientes ecuaciones (Neitsch et al., 2002):

$$P_i(W/W) = \frac{N_{(W/W)}}{N} \quad (6)$$

$$P_i(W/D) = 1 - \frac{N_{(D/D)}}{N} \quad (7)$$

En las que  $N(W/W)$  es el número de días de lluvia después de día de lluvia.  $N(D/D)$  es el número de días secos luego de un día seco y  $N$  es el número total de días con lluvia.

Utilizando ecuaciones de IDF disponibles para la parte ecuatoriana se determinó la precipitación máxima para una duración de 30 minutos. Las ecuaciones utilizadas fueron las siguientes (Rodríguez, 1999):

$$I_{TR} = 92.854 * t^{-0.4083} Id_{TR} \quad (8)$$

$$I_{TR} = 69.036 * t^{-0.335} Id_{TR} \quad (9)$$

$$I_{TR} = 115.98 * t^{-0.4844} Id_{TR} \quad (10)$$

$$I_{TR} = 174.47 * t^{-0.7143} Id_{TR} \quad (11)$$

En las que  $I_{TR}$  es la intensidad de precipitación para cualquier período de retorno en  $mm/h$ ,  $t$  es la duración de la tormenta e  $Id_{TR}$  es la intensidad diaria para un período de retorno dado en  $mm/h$ . El período de retorno se determinó en base al período de datos considerado para la simulación, La intensidad diaria se la estimó en función del período de retorno y la duración considerada es la requerida por el modelo, es decir 30 minutos. La ecuación 8 se aplica a las estaciones que se encuentran en el área de influencia de la estación La Argelia, la número 9 para las estaciones en el área de influencia de la estación Carimanga, la ecuación 10 para las estaciones vecinas a la estación Macará y las ecuación 11 para las estaciones que se encuentran en el área de influencia de la estación Celica.

Para las estaciones de la parte peruana, se calculó la intensidad máxima para 30 minutos de duración de cada una de las tormentas registradas en las estaciones pluviográficas de la zona y se procedió a escoger la intensidad anual máxima maximorum en cada una de ellas. Se aplicó la distribución Gumbel de valores extremos para determinar la magnitud de la intensidad máxima con un período de retorno de 25 años y se la regionalizó en base a la precipitación máxima en 24 horas para el mismo período de retorno que la intensidad máxima, basándose en la relación:

$$I_i = \frac{P_i}{P_p} I_p \quad (12)$$

En la que  $I_i$  es la intensidad en la estación pluviométrica.  $P_i$  es la precipitación máxima en 24 horas en la estación pluviométrica.  $P_p$  es la

precipitación máxima en 24 horas en la estación pluviográfica.  $I_p$  es la intensidad máxima en la estación pluviográfica. Todos los valores para el mismo período de retorno.

### Datos de climáticos

Como es conocido, en las latitudes ecuatoriales la temperatura depende directamente de la elevación en la que se encuentra la estación de registro aún más que de la latitud o la temporada del año. Para analizar su calidad se procedió a realizar correlaciones entre los valores medios mensuales de cada estación con la respectiva cota de la estación, a fin de comprobar la presencia de valores anómalos que hagan sospechar de la calidad de la información. Adicionalmente, se optó por realizar el relleno de datos faltantes utilizando la media mensual de las temperaturas registradas y las ecuaciones de regresión obtenidas.

Con respecto a la humedad relativa, se realizó un análisis similar al descrito para los datos de temperatura, aunque la extensión de los registros fue realizada en base a correlación entre estaciones.

Con los datos de temperatura media mensual y de humedad relativa media mensual se procedió a calcular los valores correspondientes de temperatura del punto del rocío aplicando la expresión:

$$DEWPT = T_m + 35 \log\left(\frac{HR}{100}\right) \quad (13)$$

En donde:  $DEWPT$  es la temperatura del punto de rocío,  $T_m$  es la temperatura media y  $HR$  es la humedad relativa media. Con esta ecuación se calcula la temperatura del punto de rocío media mensual.

Con respecto a la velocidad del viento, se realizó una inspección visual de la información entregada y se analizó el régimen de cada estación para de esta manera tratar de identificar posibles errores e incongruencias. Lamentablemente la velocidad del viento no depende directamente de la elevación o de la temperatura, por lo que, al no tener una manera clara de extender estadísticas de la velocidad del viento, se procedió a trabajar con el mayor período disponible de datos, el que en base a la variación estacional que presenta en las

estaciones, puede considerarse como representativo de las condiciones de cada estación.

Los valores de radiación solar se estimaron en función de la heliofanía aplicando la ecuación (Monsalve, 1995):

$$R_c = R_a(0.24 + 0.58 \frac{n}{D}) \quad (14)$$

En la que  $R_c$  es la radiación incidente sobre la superficie en  $cal/cm^2/día$ ,  $R_a$  es la energía que alcanza el límite superior de la atmósfera,  $n/D$  es la relación entre la insolación actual y la máxima.

Para las estaciones en las que se contaba con datos de nubosidad en octavos se aplicó las expresiones:

$$N\% = \frac{N}{8} * 100 \quad (15)$$

$$n = 12(-0.00803 * N\% + 0.95045) \quad \text{si } N\% < 54 \quad (16)$$

$$n = 12(-0.000097 * (N\%)^2 + 0.003807 * N\% + 0.594535)$$

$$\text{si } N\% > 54 \quad (17)$$

En las que  $N$  es la nubosidad media mensual en octavos,  $N\%$  es la nubosidad media mensual en porcentaje y  $n$  es el número de horas diarias de sol.

### Caracterización climática y meteorológica

Luego del análisis de la calidad de la información disponible y de la estimación de información faltante se procedió a realizar la caracterización climática de las estaciones estudiadas determinando:

- Precipitación media mensual en cada estación (PCPMM)
- Desviación estándar de la precipitación diaria por mes (PCPSTD)
- Probabilidad de tener un húmedo luego de un día seco por mes. (PR\_W1)
- Probabilidad de tener un día húmedo luego de un día húmedo (PR\_W2)
- Promedio de días con precipitación por mes (PCPD)
- Precipitación máxima para una duración de 30 minutos para el período de estudio (RAINHHMX)

- Número de años con registros de precipitación máxima con 30 minutos de duración. (RAIN\_YRS)
- Media de las temperaturas máximas por mes (TMPMX)
- Media de las temperaturas mínimas por mes (TPMNM)
- Desviación estándar de las temperaturas máximas (TMPSTDMX)
- Desviación estándar de las temperaturas mínimas (TMPSTDMN)
- Radiación diaria media mensual (SOLARAV)
- Temperatura media del punto de rocío por mes (DEWPT)
- Velocidad media mensual del viento (WINDAV)

Todos los parámetros se calcularon a nivel mensual como un promedio plurianual, especializándose los resultados mediante krigeado.

Con miras a la implementación del modelo se listaron los valores de precipitación diaria y mensual de las estaciones consideradas.

### Información Hidrológica

Se realizaron curvas de doble masa entre estaciones que se encuentran en la misma subcuenca hidrográfica a fin de poder determinar la proporcionalidad entre los valores registrados en ellas. Adicionalmente se realizó un análisis gráfico de la relación lluvia escorrentía existente entre los caudales diarios registrados en varias estaciones de aforo, con sus correspondientes valores promedios de precipitación registrados en todas las estaciones que se encontraban aguas arriba del punto de cierre en los alrededores de las cuencas definidas por cada estación de aforo considerada. Este análisis permitió estudiar la relación entre los datos de precipitación y los datos de caudal. Se analizaron los caudales medios mensuales de cada una de las subcuencas principales a fin establecer el origen de las aportaciones.

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las estaciones analizadas presentan una temporada lluviosa que transcurre entre octubre y abril siendo marzo el mes en el que se presenta la mayor cantidad de precipitación. Las estaciones

que se encuentran en la parte baja de la cuenca presentan la mayor diferencia absoluta entre los meses húmedos y secos, a diferencia de las estaciones ubicadas en la altura en las que la presencia de precipitación es más uniforme durante el año. En las estaciones ubicadas en la parte baja de la cuenca el efecto del ENSO es mucho más significativo.



**Figura 3. Régimen de precipitación**

La variación estacional de las estaciones puede caracterizarse en base a tres tipos de régimen: El primero con precipitaciones que empiezan a incrementar significativamente a partir del mes de septiembre hasta alcanzar un valor máximo en el mes de marzo, para disminuir luego los niveles de precipitación paulatinamente en los meses subsiguientes. Un segundo tipo se caracteriza por presentar una temporada lluviosa que inicia en el mes de enero e incrementa los volúmenes de precipitación hasta alcanzar un máximo el mes de marzo, disminuyendo muy notablemente la precipitación durante abril y mayo para, en los meses subsiguientes, presentar volúmenes de precipitación cercanos a cero. El tercer tipo de régimen presenta una estación lluviosa que inicia en octubre, presentando un continuo incremento de la precipitación hasta alcanzar el máximo durante los meses de febrero y marzo, para a continuación disminuir los volúmenes de precipitación paulatinamente. El primer y tercer tipo de régimen se presenta en las estaciones que se encuentran en las partes altas de la cuenca, en cambio el segundo tipo de régimen se presenta en las estaciones que se ubican en la parte baja de la misma. Las estaciones clasificadas según su régimen de precipitación se presentan en la figura No. 3.

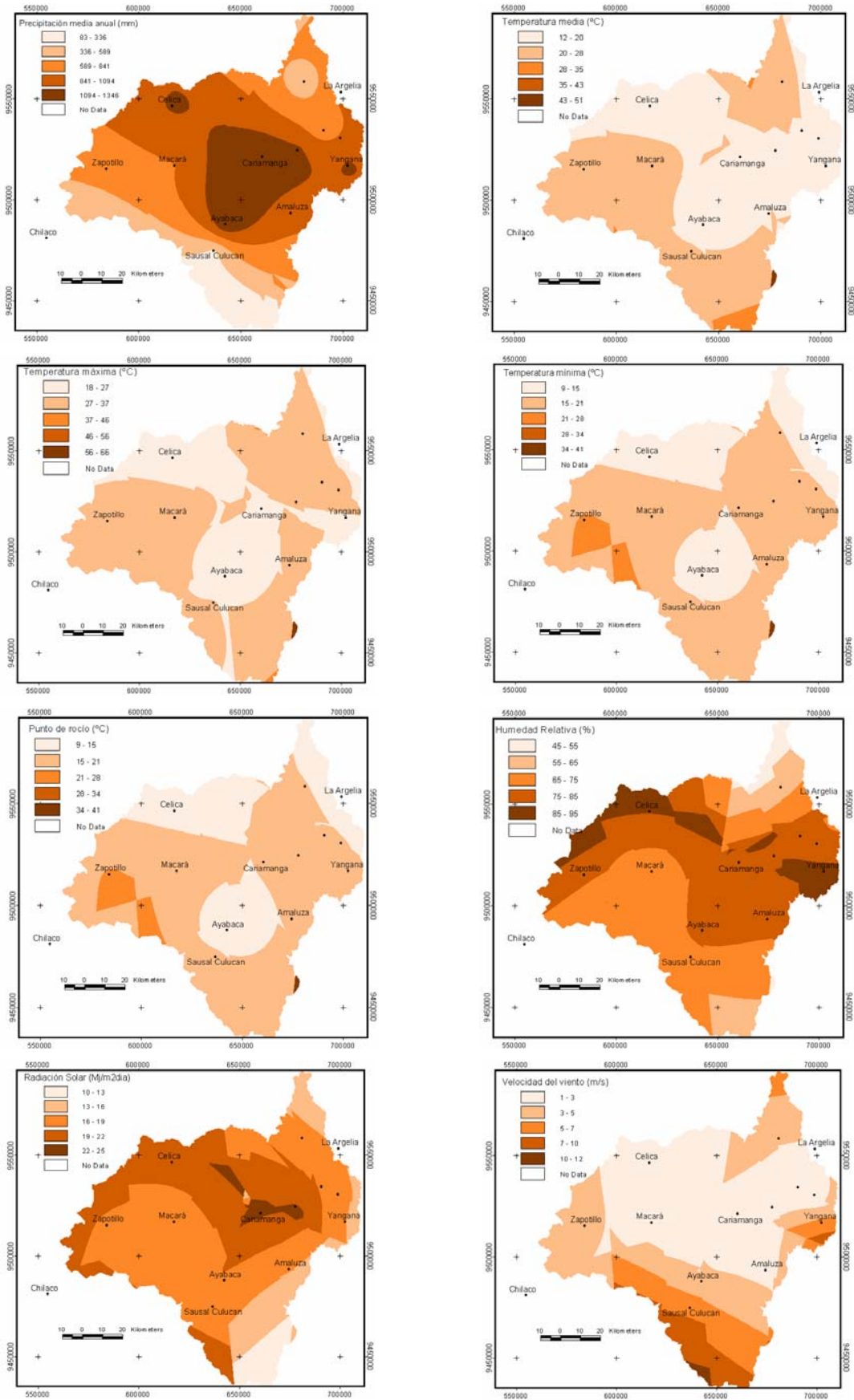


Figura 4. Interpolación de variables climáticas vía Kriging

**Tabla 1. Caudales de aportación subcuencas (m<sup>3</sup>/s).**

Cuenca	Área (Ha)	Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Alamor	60767	Alamor en Saucillo	4.54	14.04	23.7	17.76	9.95	5.76	3.47	2.15	1.57	1.31	1.18	2.13
Catamayo	409895	Vicin	35.36	48.31	56.96	50.63	38.67	37.32	32.63	27.53	22.74	23.05	22.51	27.53
Macará	264169	Pte.Internacional	30.33	69.95	102.15	87.83	44.74	28.68	19.53	14.09	10.33	11.08	9.76	16.46
Quiroz	227576	Paraje Grande	7.68	25.19	45.3	43.07	22.35	13.21	7.36	4.36	3.24	3.4	3.17	4.95

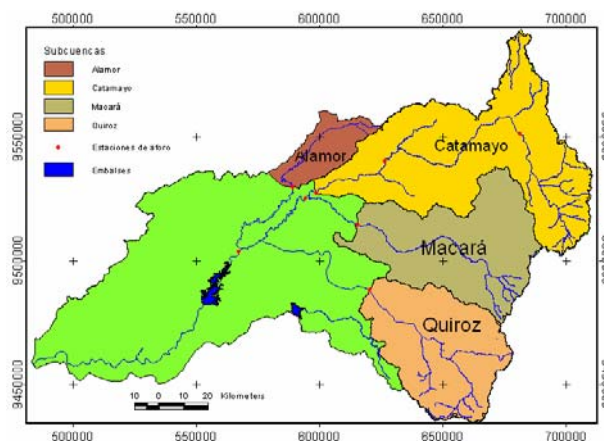
Los coeficientes de correlación de los totales mensuales de precipitación permiten suponer una mayor uniformidad climática en Ayabaca y su zona de influencia ya que se registran coeficientes del orden del 87 %, este hecho puede ser ocasionado por una menor influencia del clima húmedo de la región amazónica. En la parte baja de la cuenca, por la menor influencia de la cordillera y por un mayor efecto de la presencia oceánica, se presentan características climáticas similares en toda la zona, hecho que se evidencia con coeficientes de correlación del orden del 83 %. Las mayores variaciones se presentan en el área de influencia de la estación de La Argelia en donde los coeficientes de correlación son del orden del 67 %, esta variación posiblemente se deba a la influencia que el clima amazónico ejerce sobre esta zona, en gran medida, por la relativamente baja elevación de la cordillera oriental.

Las curvas de doble masa evidencian una buena proporcionalidad entre las acumulaciones de las precipitaciones anuales registradas en las estaciones correspondientes a la zona media y alta de la cuenca de la parte ecuatoriana. En la parte baja se observa que la proporcionalidad de los registros disminuye aunque ésta permanece dentro de los rangos aceptables, notándose desplazamientos en las curvas de doble masa que se producen en los años en los que se registró la presencia del ENSO.

En el caso de las estaciones peruanas se observa una falta de proporcionalidad entre las estaciones Pacaypamba y Talaneo a partir del año 1990 y entre Pacaypamba y Altamira observándose en este último caso un decrecimiento en los volúmenes mensuales de precipitación registrados a partir del año 1983, hecho que unido a la presencia de meses con valores nulos de precipitación, hace dudar de la calidad de los registros. Las restantes estaciones que se relacionaron con Pacaypamba mostraron una muy

buna proporcionalidad de sus acumulaciones anuales. Las estaciones que se compararon con Ayabaca presentaron una muy buena proporcionalidad con pequeñas discontinuidades.

Un caso similar se presenta entre las estaciones comparadas con Puente Internacional. Las estaciones comparadas con Paraje Grande muestran segmentos paralelos producidos por las precipitaciones notablemente superiores ocurridas en los años con ENSO, aunque en esta zona la estación Sapillica presenta demasiados vacíos de información que producen dobles masa que evidencian una baja proporcionalidad con la estación base. El efecto del ENSO se evidencia claramente en las estaciones Chilaco, Mallares y La Esperanza en las que las acumulaciones de los totales de precipitación se agrupan en líneas paralelas claramente separadas por los valores extraordinarios de precipitación registrados en años ENSO.



**Figura 5. Subcuencas aportantes**

Las acumulaciones de caudales totales anuales muestran una muy buena proporcionalidad al analizar las estaciones de aforo que se encuentran en la misma cuenca de aporte de la estación Ardilla (Pte. Internacional, Paraje Grande, Ciruelo

y Alamor en Saucillo). Un caso similar ocurre al comparar El ciruelo con Pte. Internacional y Pte. Boqueron y al relacionar Vicin con Pte. Boqueron y Santa Rosa, lo que hace presumir una buena calidad de los registros de caudal. Es interesante comparar la proporcionalidad entre la estación Ardilla (aguas arriba del embalse más importante de la cuenca: Poechos, en Perú) y Pte. Sullana (aguas abajo) ya que se evidencia la correspondencia entre las acumulaciones a través de una recta con dos pendientes que presenta un punto de inflexión en el año 1992; la presencia del embalse y las características de manejo del mismo hacen sospechar de la calidad de los registros de la estación Pte. Sullana.

El análisis lluvia esorrentía a nivel mensual proporciona una muy buena correspondencia entre valores de promedios de precipitación y sus correspondientes valores de caudal registrados en las estaciones Pte. Boqueron, Paraje Grande y Pte. Internacional.

El análisis lluvia esorrentía a nivel diario presenta buena correspondencia entre los valores medios de precipitación y los correspondientes valores de caudal a excepción del año 1974 en la estación Pte Boqueron en la que no se poseen valores de precipitación en las estaciones que se encuentran en la parte alta de la subcuenca. En el caso de la estación de aforo Pte. Internacional la proporcionalidad es aceptable, aunque se carecen datos de caudal entre 1976 y 1979, 1981, 1985 y parte de 1982, 1984 y 1986, por lo que la comparación en dichas fechas no es factible. La correspondencia obtenida al analizar la estación Alamor en Saucillo es de buena calidad.

Las mayores aportaciones se producen en los meses de marzo y abril siendo posible observar que los caudales en la cuenca del río Catamayo presentan una mayor uniformidad estacional a diferencia del río Macará que presenta una notable variabilidad. En todo caso las mayores aportaciones provienen de estas dos cuencas. Los valores medios mensuales de caudal se presentan en la tabla No. 1. La ubicación de las cuencas aportantes se observa en la figura No.5

Al analizar los datos de temperaturas se pudo observar una estabilidad estacional de las temperaturas máximas, medias y mínimas, las que presentan desviaciones típicas del orden de 1 grado. La correlación entre los valores de temperatura y la cota de la estación presentan

coeficiente de correlación del orden del 80% pudiendo considerarse una buena calidad de los registros. Es de mencionar que en los meses de mayo a septiembre las temperaturas medias y máximas presentan una correlación por debajo del 60% con la elevación de las estaciones correspondientes, esto posiblemente debido al hecho de que en dichas temporadas se presenta una mayor influencia de la latitud en la que se encuentran las estaciones de monitoreo y la época del año.

El intento de correlacionar la desviación estándar de las temperaturas máximas y mínimas con los valores medios de temperatura o la elevación no produjeron coeficientes de correlación significativos, por lo que no fue posible determinar ecuaciones que permitan estimar estos parámetros en las estaciones en las que no se cuenta con dicha información.

El caso de la humedad relativa es similar al de las temperaturas, y lamentablemente no fue posible encontrar una ecuación que permita estimar los valores de HR en las estaciones en las que no se registra dicho valor. Ante esto, los valores de la temperatura del punto de rocío solo pudieron determinarse en las estaciones en las que se contaba con registros de temperatura media y humedad relativa media.

Los valores de radiación solar diaria no presentaban una excesiva desviación, esto debido a que no es mayor la variación latitudinal de las estaciones. La correlación entre los valores de radiación y la latitud no presentaron coeficientes de correlación estadísticamente significativos, al igual que las correlaciones entre la elevación y la radiación solar, por lo que solo se puede utilizar los datos calculados en base a la heliofanía y la nubosidad.

Los valores de velocidad del viento presenta una variación estacional regular en la que se presentan máximos de velocidad en los meses de julio, agosto y septiembre, aunque en varias estaciones estos máximos se presentan hasta noviembre o diciembre.

## CONCLUSIONES

Se evidencia una marcada influencia del régimen oriental en las partes altas de la cuenca, en contraposición del régimen litoral que predomina

en las zonas bajas de la cuenca en donde la influencia del ENSO es mucho más marcada.

La temperatura presenta una notable estabilidad estacional sin fluctuaciones exageradas, cosa similar ocurre con la temperatura del punto de rocío y la radiación solar, evidenciándose la influencia de la latitud en dichas variables.

Los mayores aportes de caudal provienen de las subcuencas Catamayo y Macará las que contribuyen con el 70% del caudal total.

Con fines de implementar los modelos hidrológicos se dispone de 16 estaciones para la caracterización climática, 42 estaciones con registros mensuales de precipitación homogenizados al período 1970–2000, 36 estaciones con registros diarios de precipitación, así como de 10 estaciones con registros mensuales de caudal y 3 estaciones con registros de caudales medios diarios con fines de calibración y validación

## AGRADECIMIENTO

Los autores desean dejar constancia de su agradecimiento al proyecto binacional Catamayo-Chira y a su extensión el Proyecto Twinlatin, por la información climática, meteorológica e hidrológica proporcionada para la elaboración del presente trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

Heras, R. (1976), Hidrología y recursos hidráulicos, Madrid, CEH

Monsalve G. (1995), Hidrología en la Ingeniería, 2da edición, Bogotá, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería

Neitsch S., J.G. Arnold, J.R. Kiniry, J.R Williams y K.W. King (2002), Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation, Texas Water Resources Institute

Rodríguez L. (1999), Estudio de lluvias intensas, Quito, Instituto de Meteorología e Hidrología (INAMHI)