

PRECIPITACIONES AREALES ESTIMADAS POR MÉTODO DE COKRIGING. APLICACIÓN A LAS CUENCAS DE LA VERTIENTE PACÍFICO DEL PERÚ

Anita Asadullah, Pablo Cacik, Catalina Ramírez Villegas, Fernando Zárate

Halcrow Group Ltd

Diagonal Roque Sáenz Peña 1149 - 4º piso, (C1035AAG) Buenos Aires, República Argentina

Tel: +54 11 5544 0800

CacikPA@halcrow.com

RESUMEN

La estimación de la precipitación sobre un área es fundamental para muchos estudios relacionados a los recursos hídricos, como la determinación de balances hídricos o las estimaciones de caudales medios para posterior determinación del potencial hidroeléctrico, como en el caso particular que nos ocupa.

La estimación de precipitación no siempre es sencilla, muchas veces debido a que la red de pluviómetros es escasa y/o la distribución de estaciones pluviométricas no es uniforme, o donde la orografía ejerce una alta influencia en los montos precipitados. Teniendo en cuenta que en el caso en estudio prácticamente se cumplen las tres condiciones anteriores, se buscó estimar la precipitación media anual areal, con uno de los métodos de interpolación más desarrollados para ello, utilizándose el método de cokriging.

Como la precipitación en gran parte de la vertiente Pacífico estudiada varía con respecto a la altura, se puede usar información topográfica para inferir la variación espacial de precipitación e interpolar los puntos. El proceso tradicional kriging usa los estadísticos espaciales de la precipitación para interpolar entre puntos. Cokriging usa tanto las características espaciales inherentes de los datos de precipitación como la relación entre precipitación y otra variable (en este caso altura), relacionando entonces la información pluviométrica con un modelo de elevación digital del terreno. De esta manera se aprovecha de la cobertura más amplia de la variable de topografía respecto a la red pluviométrica.

En la zona del Pacífico peruano se contó con 225 estaciones de precipitación con valores mensuales entre los años 1997-2005. Luego de un procesamiento de control de calidad de datos pluviométricos, se utilizó GSTAT para procesar los datos (herramienta asociada con el software GIS de ArcMap), y se creó una grilla desde la cual se puede obtener precipitación media anual por área, para cualquier cuenca de la vertiente Pacífico, en forma automática al estar integrada a un sistema GIS.

Los resultados encontrados resultaron coherentes con las observaciones en las regiones de mayor densidad pluviométrica, y permitieron inferir datos pluviométricos en regiones con escasa información.

Introducción:

Los datos de precipitación resultan muy importantes para muchas aplicaciones hidrológicas y está demostrado que ésta variable puede tener un impacto mayor en los resultados de un estudio que la propia elección de un modelo. De esta manera Wilk cita que los modelos utilizados en la planificación de los recursos hídricos, se basan en la precipitación como input y es discutido en muchas ocasiones que este input es mas importante que la elección propia del modelo (Wilk et al. 2006). Sin embargo, bajo ciertas circunstancias, no siempre resulta una variable fácil de medir. Las estaciones de medición de lluvia (pluviómetros / pluviógrafos, en forma genérica) miden la precipitación que cae sobre un punto específico. Muchas veces la red pluviométrica es poco densa y deja áreas importantes sin medición de precipitación, especialmente en áreas poco pobladas.

En zonas llanas y con mecanismos de lluvia de escala sinóptica (gran escala), la lluvia no varía mucho espacialmente (sobretudo en la escala mensual/anual), pero en zonas con topografía accidentada o cuando los mecanismos de lluvia son dominados por factores locales, la variabilidad espacial de la precipitación es alta. Es en este último caso, cuando la utilización de un método de interpolación que involucre la variación espacial de la topografía resulta más beneficioso. El método Cokriging seleccionado usa tanto las características espaciales inherentes de los datos de precipitación como la relación entre precipitación y otra variable (en este caso altura), relacionando entonces la información pluviométrica con un modelo de elevación digital del terreno. De esta manera se aprovecha de la cobertura más amplia de la variable de topografía respecto a la red pluviométrica.

Debido a la mayor disponibilidad y cobertura de información topográfica, resulta relativamente sencillo contar con información de alturas para extensas áreas geográficas. Para el presente estudio se contó con la información de la red pluviométrica de SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Perú) y un DTM (modelo de elevación digital) de 500 m de resolución espacial.

Los datos originales consistieron en precipitaciones diarias de la base de datos de SENAMHI, correspondientes a los años 1970 a 2010 de 236 estaciones ubicadas en la vertiente pacífica de Perú.

Descripción del Área de estudio

El área del presente estudio se concentra en la vertiente pacífica de Perú. El clima del Perú es muy diverso, posee una gran variedad de climas y microclimas debido a diversas causas como: su localización geográfica, parte en la franja ecuatorial y parte en la franja tropical; su cercanía al Océano Pacífico; las características topográficas, principalmente debido a la presencia de la cordillera de los Andes; y otro conjunto de factores oceanográficos y atmosféricos, como el Anticiclón del Pacífico Sur, la Corriente Peruana, la Zona de Convergencia Intertropical, la Baja del Chaco y la Alta de Bolivia.

La Región de la Costa es una gran franja desértica de características llana y ondulada que recorre paralelamente al litoral peruano, con una ancho variable, alcanzando su mayor penetración en el departamento de Piura, mientras que la zona de menor ancho se localiza en el Sur del Perú, en el departamento de Arequipa, donde la costa prácticamente desaparece en un acantilado rocoso; indicando que estos restos pertenecen a la antigua cordillera de la Costa. En la ciudad de Lima la Costa tiene un ancho aproximado de 15 km.

La vertiente del pacífico incluye alturas de más de 4500 m sobre el nivel medio del mar, por lo que se presentan cuencas con pendientes abruptas.

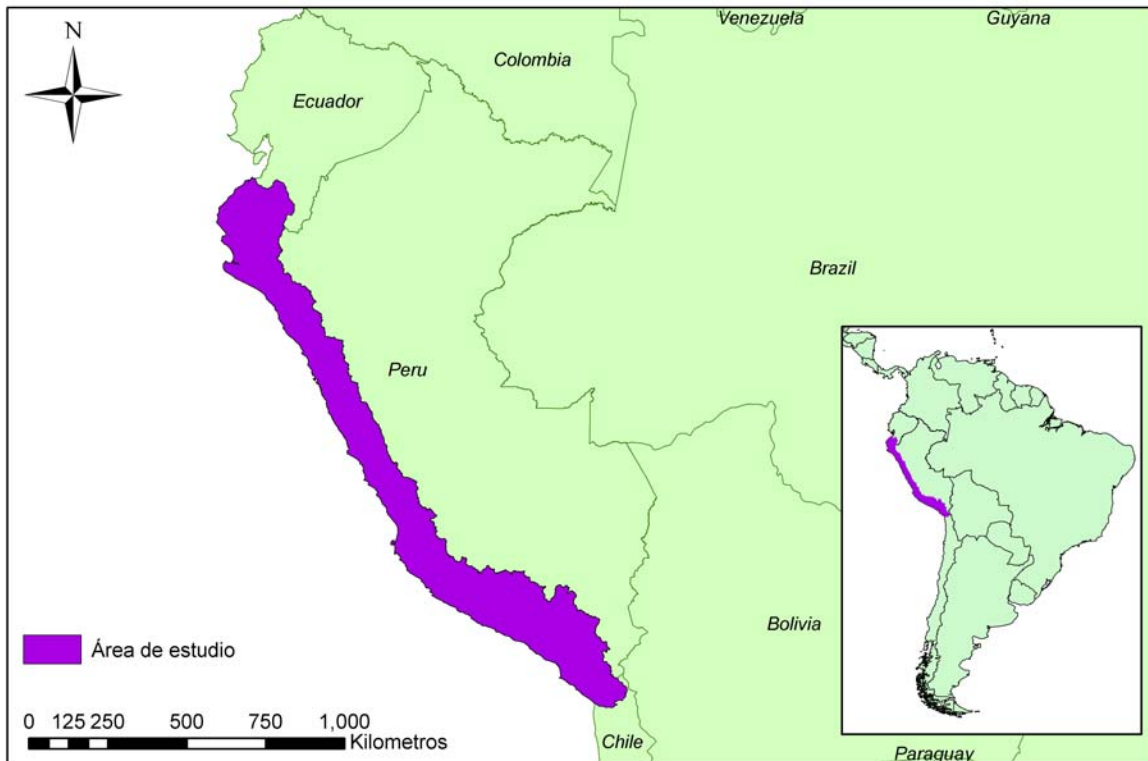


Figura 1. Ubicación del área de estudio

Por su localización geográfica al territorio peruano le debería corresponder un clima tropical, con altas temperaturas, elevada humedad y abundante precipitación durante todo el año, similar a otras regiones tropicales. Sin embargo estas características climáticas ocurren solamente en la región oriental del país. Por su cercanía al Océano Pacífico, el clima de la costa debería ser húmedo y con abundante precipitación, sin embargo el clima de la costa es húmedo y desértico. Por las características topográficas, dominado por los Andes, la región central del país, longitudinalmente, posee un clima característico de altas montañas. Los Andes son responsables de la variedad de climas y microclimas que tiene el Perú, desde condiciones frescas en la parte baja hasta muy fríos en las cumbres de las montañas, con lluvias abundantes en el verano y seco en el invierno.

El clima de la costa se caracteriza por ser húmedo, pero sin lluvias, es desértico. Esta región litoral, rodeada por un mar con temperaturas que oscilan entre 12°C en el invierno y 30°C en el verano; pero hay diferencias entre la costa norte y la costa central y sur. En la costa norte el clima se caracteriza por ser cálido y semiárido, con temperatura que oscila entre 14°C en el invierno y 38°C en el verano. El verano es húmedo, cálido y soleado, con lluvias esporádicas, excepto en el extremo norte que es muy cálido y lluvioso.

En la costa central y sur la temperatura oscila entre 8°C en el invierno y 35°C en el verano y sin lluvias. En el verano el ambiente es húmedo, cálido y soleado, con temperaturas mínimas que oscilan entre 18°C y 22°C y temperaturas máximas que oscilan entre 24°C y 30°C, y con llovizna o garúa

esporádica. El invierno se caracteriza por estar nublado, con nubes tipo estratus, con un ambiente ligeramente frío y húmedo. La temperatura mínima oscila entre 8°C y 15°C y la temperatura máxima oscila entre 15°C y 23°C. La precipitación de la vertiente Pacífica de Perú varía entre 0 y 750mm, concentrándose en los meses de enero y febrero, con un promedio anual de 274mm (Ordoñez et al.)

En Perú existe una variabilidad climática interanual que se debe mayoritariamente al fenómeno natural de El Niño. En el Perú, las principales alteraciones del clima y los mayores impactos están asociadas con la ocurrencia de eventos de El Niño. El Niño se caracteriza por el calentamiento de la temperatura superficial del mar y el debilitamiento de los vientos alisios en el Pacífico ecuatorial central y oriental. La ocurrencia de El Niño se repite entre 3 y 7 años y generalmente tiene una duración de 12 a 18 meses. En la costa norte del Perú, El Niño se manifiesta con lluvias excesivas y es la principal causa de los problemas en las actividades humanas de hoy.

Metodologías para interpolación

Para crear mapas que den información sobre la precipitación en cada punto de una superficie, es necesario pasar de la información medida de manera puntual a una información superficial. Para ello se utilizan técnicas de interpolación que utilizan la información puntual proveniente de las mediciones en el terreno. Existen básicamente dos grupos de metodologías de interpolación: determinísticos y geoestadísticos.

Las metodologías determinísticas de interpolación generan superficies a partir de puntos de medición basándose tanto en la similitud de las mediciones (ej. inversa de la distancia) o a la suavidad de la transición (funciones de base radial).

Las metodologías de interpolación geoestadística (ej. kriging) utilizan las propiedades estadísticas de los puntos medidos. Las técnicas geoestadísticas cuantifican la autocorrelación espacial entre los puntos de medición y explica la configuración espacial de la muestra de puntos alrededor de la ubicación donde se va a realizar la estimación.

El método de kriging es una técnica de interpolación geoestadística. Kriging utiliza el conocimiento que se tiene del comportamiento de la variable en el espacio, recurriendo a la forma del semivariograma o variograma.

El **método de cokriging** es una técnica de interpolación que permite realizar mejores estimaciones que el método de kriging siempre que la distribución espacial de una segunda variable sea más nutrida que la distribución espacial de la primer variable. Esta metodología puede proveer una estimación mas robusta de la variable de interés en un punto determinado siempre y cuando exista una correlación suficiente entre las dos variables.

Si bien es esperable que la precipitación varíe con la altura, no es el único factor que influye en la distribución de lluvia, existe una tendencia para la región de interés del estudio. La figura siguiente, muestra la relación entre la precipitación y la altura. Existe una variabilidad espacial muy alta de precipitación con la altura, sin embargo separando regionalmente las estaciones se pueden ver claramente las tendencias de variación de la precipitación con la altura en el área pacífica del país. La altura es un dato que actualmente se tiene muy fácilmente con la tecnología satelital existente, por lo que su uso en este caso permite mejorar las estimaciones que se hagan del valor de precipitación.

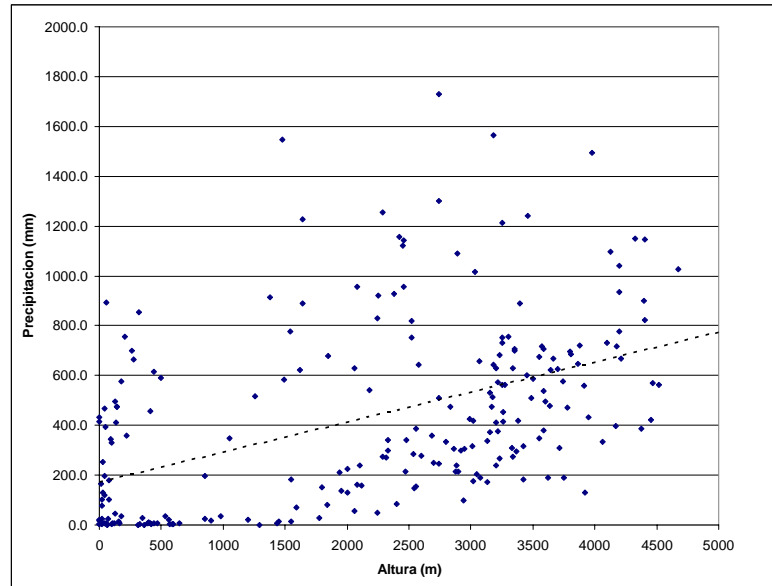


Figura 2. Relación entre precipitación y Altura para toda el área de estudio

A continuación se muestra la variación de la precipitación con la altura, separada por regiones. Se decidió separar la vertiente pacífica de Perú en 6 regiones que contienen cuencas con características topográficas similares. Con esta separación se pueden apreciar de mejor manera las relaciones entre altura y precipitación.

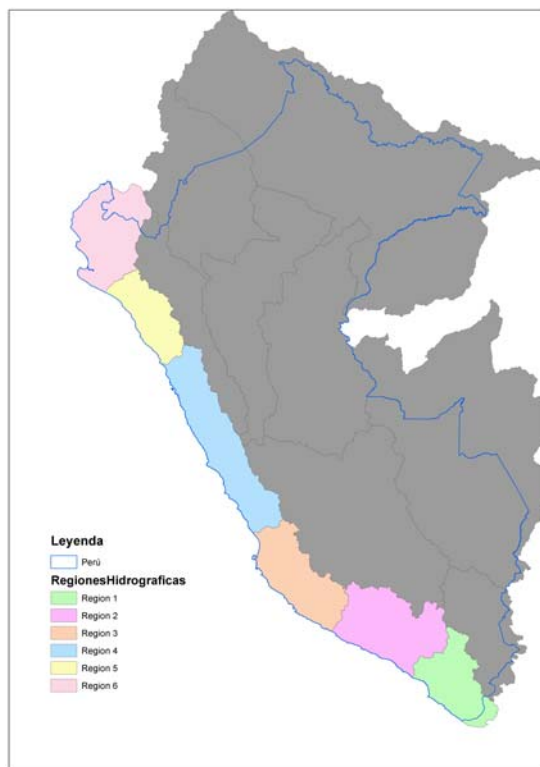


Figura 3. Regiones hidrográficas en las que se dividió el área de estudio

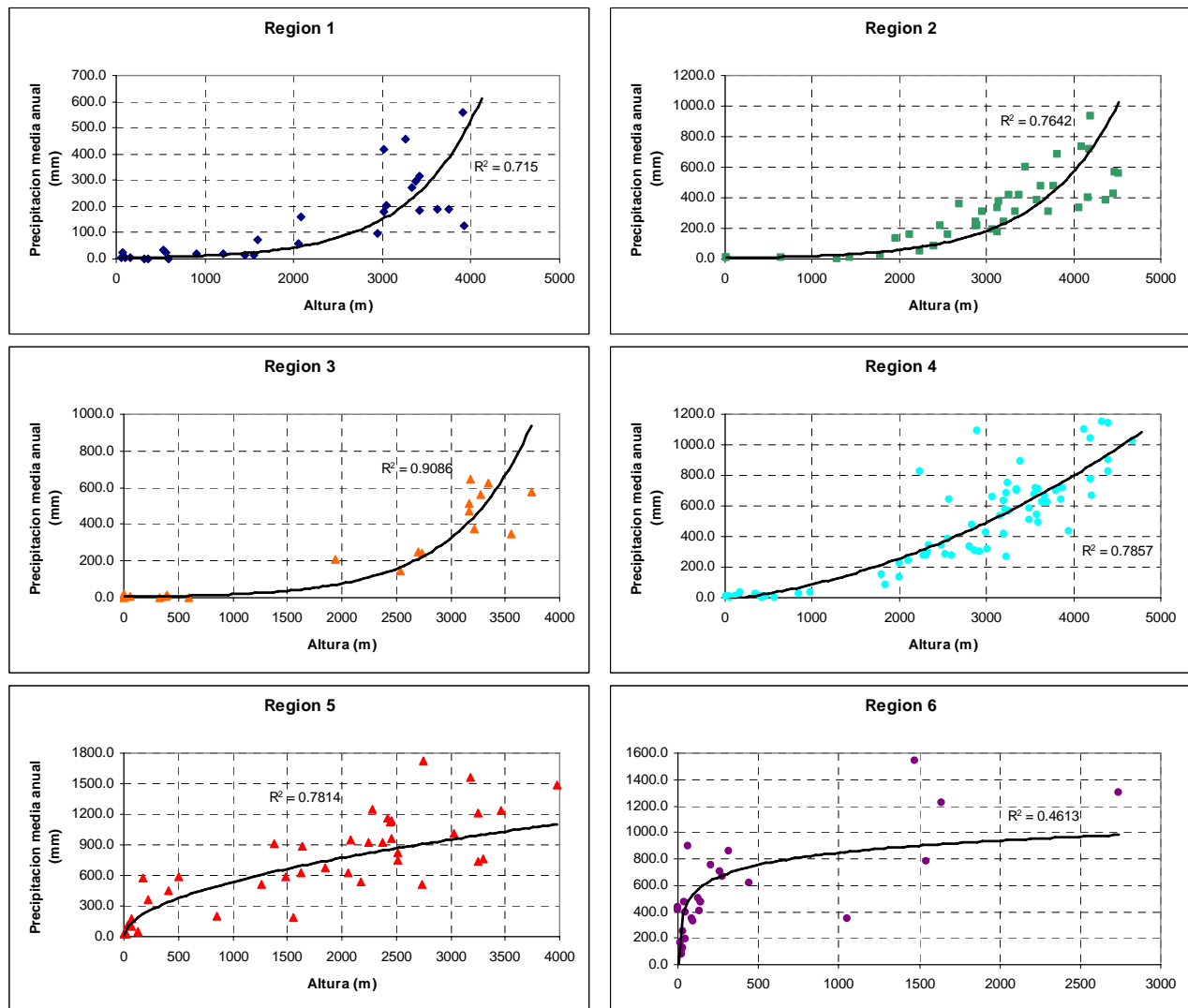


Figura 4. Variación de la precipitación con la altura por cada región hidrográfica

METODOLOGIA UTILIZADA

Pre-procesamiento de la información

Como primer paso se obtuvieron las series de tiempo de precipitación mensual a partir de los datos diarios. Posteriormente se obtuvieron los promedios mensuales de largo término. La ubicación de las estaciones se presenta en la figura a continuación:

Para garantizar la calidad y consistencia de los datos se revisaron todos los registros en procura de detectar datos atípicos y tendencias. Se examinaron tanto los datos mes por mes así como las series de tiempo completas. Adicionalmente se realizaron análisis de doble masa (o doble acumulación) entre estaciones para cada una de las 6 regiones en las que se dividió el área de estudio (ver Figura 3).

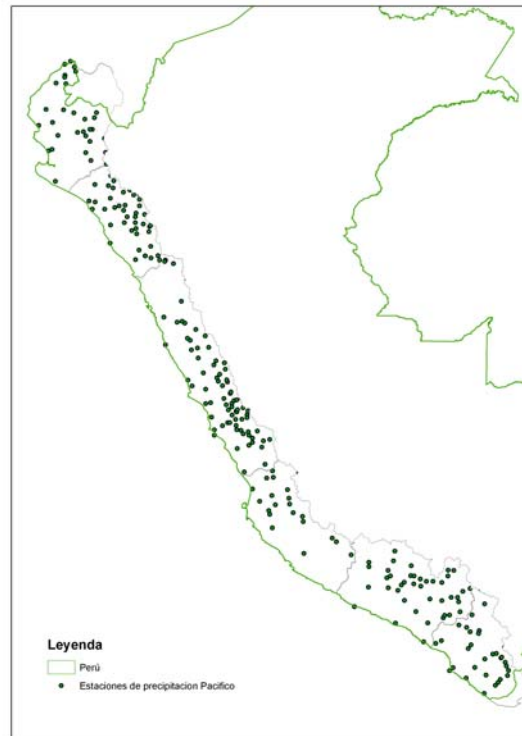


Figura 5. Ubicación de las estaciones de medición de precipitación.

Estos análisis permitieron detectar la presencia de errores sistemáticos y aleatorios en los datos para validar la información con la cual se estaba trabajando.

Proceso de cokriging

Se preparó un archivo mediante una tabla que contiene los datos de ubicación de la estación (X, Y), identificación de la estación, y los valores mensuales promedio de lluvia, así como el valor promedio de precipitación anual. Así mismo se dispuso del modelo digital de elevación con una densidad espacial de datos de 500 m.

Posteriormente, con ayuda de la herramienta *Geostatistical Analyst*, en el programa *ArcMap*, se obtuvieron las ecuaciones de los variogramas entre las 2 variables (precipitación y altura). Una vez obtenidas las ecuaciones de los variogramas, se utilizó para interpolar en todos los puntos en una grilla de área de interés. Este proceso se realizó de manera automatizada utilizando macros en *ArcMap*, de esta manera se logró realizar el proceso de manera rápida para una extensa área geográfica.

Beneficios y Limitaciones

La metodología utilizada permitió realizar una estimación de la precipitación en un área de gran extensión.

La utilización de los datos de altura, permitió mejorar la estimación de la precipitación debido a la existencia de una relación entre altura y precipitación; y debido a que los datos de altura están mejor distribuidos espacialmente que los datos de precipitación.

La metodología es especialmente útil para áreas de difícil acceso como lo son las zonas montañosas, ya que es aquí donde menos datos pluviométricos existen.

Resultados

El producto obtenido es una grilla de datos, con la misma densidad de datos que el DTM utilizado, con los valores de la precipitación anual promedio. Este producto puede ser utilizado para la obtención de valores de precipitación areal, para cálculos de balance hídrico, entre otros usos.

A partir de la grilla con valores interpolados, es sencillo conseguir la precipitación en un área determinada como puede ser una cuenca. Una vez se obtiene la grilla de información y se tiene polígono del área en el cual se quiere obtener el valor de precipitación areal se puede utilizar la herramienta de *Spatial Analyst* en ArcMap para obtener el valor de la precipitación en el área de interés.

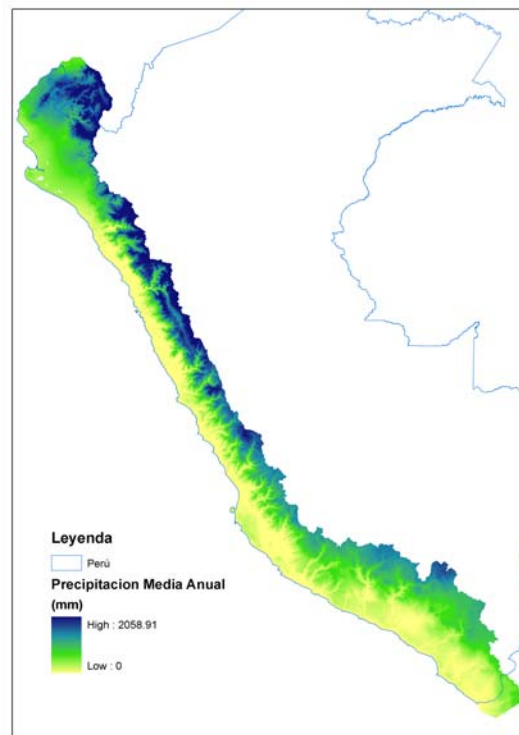


Figura 6. Mapa con la precipitación media anual utilizando cokriging

En el caso de nuestro estudio los valores de precipitación obtenidos fueron comparados con los valores medidos y visualmente con los valores obtenidos de precipitación, comprobándose que los resultados fueron consistentes.

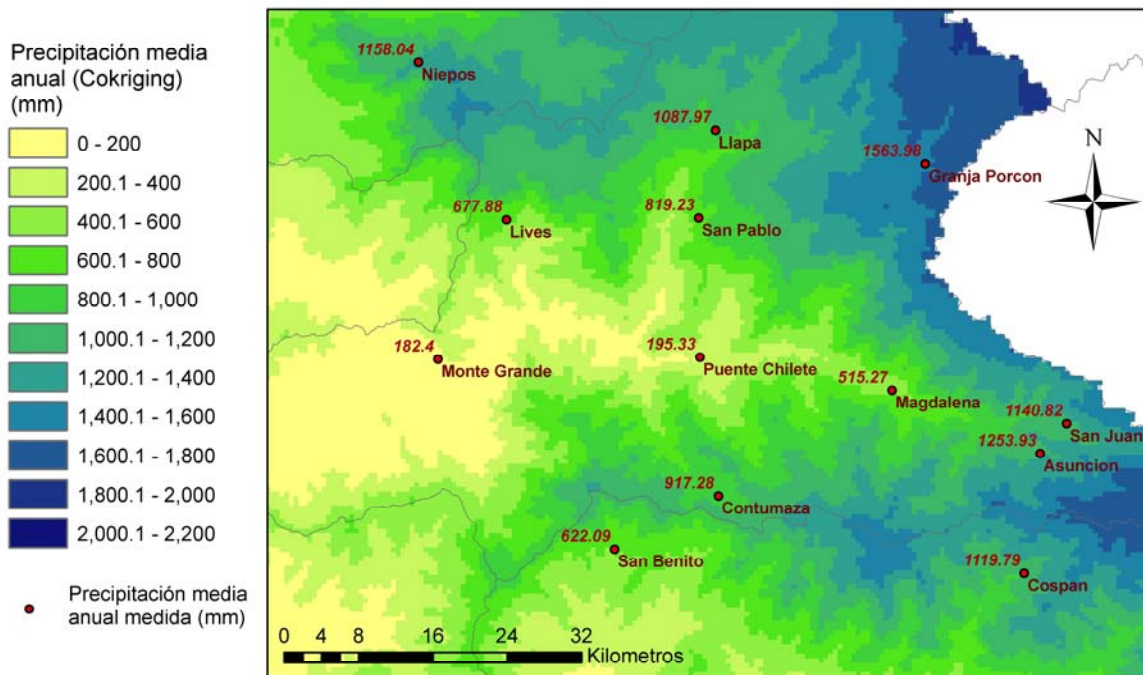


Figura7. Comparación de los valores medidos con los resultados de cokriging, Cuenca Jequetepeque, Región 5.

La información de precipitación media anual por cuenca, obtenida de esta manera fue utilizada posteriormente en los cálculos de caudal medio anual, junto con el área de cuenca, para la estimación preliminar del potencial hidroenergético de Perú.

Conclusiones

El método de cokriging utilizado para la estimación de precipitación areal, realiza una descripción del adecuada del comportamiento de la precipitación en la zona del litoral Pacífico del Perú.

El procedimiento empleado, es una metodología fácilmente aplicable para la generación de una malla continua de valores de precipitación en un área grande, especialmente en zonas donde la precipitación tiene una relación directa con la altura ya que crea una superficie que tiene en cuenta las características del terreno y no, únicamente los valores medidos de precipitación.

Referencias Bibliográficas

Izquierdo, I. Marquez A.(2006) Comparación de métodos de interpolación para la realización de mapas de precipitación para el acuífero de Icod-Cañadas (Tenerife, Islas Canarias). Geogaceta, 40, 307-310.

Ordoñez Galvez, J.J., Vera Arévalo, H. (sin fecha) Balance hídrico superficial del Perú a nivel multianual. Servicio Nacional de Meteorología e hidrología. Dirección General de hidrología y recursos hídricos.

Wilk, J., Kniveton, D., Andersson, L., Layberry, R., Todd, M.C., Hughes, D., Ringrose, S. and Vanderpost, C. (2006) Estimating rainfall and water balance over the Okavango River Basin for hydrological applications. *Journal of Hydrology*, 331, 18-29.