

Análisis de la variabilidad espacial y temporal de la precipitación en la provincia de Tungurahua, Ecuador, para una mejor planificación agrícola

J.E. Hunink^(1,3), W.W. Immerzeel⁽²⁾, A. Baille⁽¹⁾, P. Droogers⁽³⁾

⁽¹⁾ Universidad Politécnica de Cartagena, Paseo Alfonso XIII, 48, 30203, España, j.hunink@futurewater.es

⁽²⁾ Universiteit van Utrecht, P.O. Box 80115, 3508 TC, Utrecht, Países Bajos

⁽³⁾ FutureWater, Costerweg 1V, 6702 AA, Wageningen, Países Bajos

RESUMEN

En este estudio se presentan datos de la distribución espacial de las precipitaciones y las tendencias en la provincia de Tungurahua, Ecuador, a partir de un refinamiento de métodos científicamente probados. Se combinaron datos de las estaciones meteorológicas con datos de teledetección para conocer mejor la distribución espacial de la precipitación en las zonas donde se carece de observaciones directas y donde se quiere promover y modernizar la agricultura. La cantidad total de la precipitación en la cuenca varía desde alrededor de 500 mm/año en torno a Ambato hasta 4000 mm en el sureste de la provincia y se concluye que tanto la variabilidad temporal como la espacial son muy significativas. La media anual para toda la provincia oscila entre 1400 y 1700 mm. La zona más seca es también la zona con mayor variabilidad en el tiempo, coincidiendo con la zona principal agrícola. El régimen pluvial permite aquí cultivos de ciclo corto, lo que refleja la situación actual. Los cultivos plurianuales se producen en las zonas con una mayor precipitación y con menor variabilidad temporal. La comparación entre las observaciones y los valores obtenidos mediante el método indican una buena correlación. Se ha llevado a cabo una validación cruzada de las salidas del algoritmo para determinar en qué zonas la predicción es mejor o peor. En general se concluye que el método utilizado es muy útil, los resultados son satisfactorios y aplicables en otros lugares.

Palabras clave: Precipitación, TRMM, índice de vegetación, riego

1. Introducción

Los patrones de lluvia pueden ser muy variables en el espacio y en el tiempo, especialmente en las zonas de alta montaña como en los Andes ecuatorianos. Para la toma de decisiones y la planificación hidrológica, la información fiable y precisa es necesaria ya que la precipitación es el motor principal del ciclo hidrológico y los sistemas de producción humanos.

Sin embargo, la estimación precisa de la distribución espacial de la precipitación en zonas extensas y diversas es compleja [1]. Algunos de los problemas de calidad, disponibilidad y cobertura que presentan los pluviómetros no existen en varios productos satelitales de precipitación que se encuentran disponibles actualmente.

En las últimas dos décadas, se lanzaron varios satélites y productos de precipitación utilizando la alta resolución temporal sobre la base de los

canales infrarrojos o las estimaciones de alta calidad de microondas o una combinación de ambas. En 1997 se puso en marcha la Misión de Medición de Lluvias Tropicales (TRMM) [2] con el objetivo de proporcionar estimaciones precisas globales de precipitación tropical mediante el uso de una combinación de instrumentos diseñados exclusivamente para la observación de lluvia.

La creciente cantidad de datos de otras variables biofísicas relacionadas con la precipitación, como los índices de vegetación y la altitud, ofrecen la oportunidad de llegar a estimaciones más detalladas y precisas de precipitación. La combinación de estas fuentes de información con las observaciones terrestres permite una estimación más precisa de los patrones de precipitación y su variabilidad espacial temporal.

La provincia de Tungurahua, Ecuador, se encuentra en una zona de los Andes con altos

gradientes climáticos y pluviométricos. En general, la provincia se enfrenta a un problema de escasez de agua que afecta el desarrollo y las economías de sus habitantes. La disponibilidad del recurso hídrico es altamente variable en tiempo y espacio, lo cual se debe principalmente a la variabilidad de las precipitaciones.

El objetivo de este proyecto es rellenar las lagunas de datos en las series pluviométricas registradas por las estaciones meteorológicas aprovechando las ventajas que ofrecen los actuales productos satelitales de precipitación, y hacer un análisis detallado de la variabilidad espacial y temporal de la precipitación utilizando diferentes datos de teledetección. El resultado principal de este análisis es la obtención de la distribución de precipitación para cada semana del periodo del estudio.

2. Materiales y Métodos

2.1 Enfoque

Uno de los productos claves de TRMM proporciona precipitación diaria con una resolución relativamente baja de 0,25 x 0,25 grados (aproximadamente 25 x 25 km, Figura 1b). Estos datos se pueden combinar con conjuntos de datos de índice de vegetación, climatología y altitud, que sirven para inferir y recrear (“proxy”) registros de la precipitación. De esta forma se ha mejorado un algoritmo basado en métodos científicos para aplicarlo a la provincia de Tungurahua con el fin de: (i) corregir y rellenar lagunas de datos en las observaciones de precipitación con datos TRMM y (ii) obtener mapas de precipitaciones semanales de la región, con una resolución espacial de 1x1 km. Estos algoritmos están basados en publicaciones de diversos artículos científicos e informes [3]–[5].

La base de estos algoritmos es: (i) la combinación de datos TRMM de resolución espacial baja, pero de alta resolución temporal (todos los días, km 25x25) con datos TRMM de resolución espacial alta, pero temporal baja (mensual, 4x4 km), (ii) la corrección de TRMM con las observaciones (iii) el uso del NDVI (índice de vegetación) para mejorar la resolución espacial hasta 1x1 km, (iv) el uso del modelo digital de terreno para la corrección de efectos de altura.

El mapeo de precipitación se basa en los siguientes conjuntos de datos:

- (i) datos de las estaciones disponibles (31 estaciones en total) dentro y en los alrededores de la zona de estudio de la precipitación diaria observada.
- (ii) Estimaciones espaciales diarias de precipitación de TRMM (producto 3B42_v07), con una resolución espacial kilómetros 25x25m.
- (iii) Precipitaciones mensuales obtenidas de TRMM (producto 2B31_v07), con una resolución de 4x4 kilómetros espacial (más adelante: CLIM)
- (iv) Modelo Digital de Elevación (DEM) obtenido de SRTM, remuestreado de 90m a una malla de 1x1 km.
- (v) Índice de vegetación NDVI derivado del SPOT, producto VGT-S10 (síntesis de diez días) que es un producto trimensual compuesto

Para obtener el producto final, se han llevado a cabo varios procedimientos y pasos de análisis

2.2 Procedimientos

Los registros de precipitación observados (OBS) requieren un control de calidad, para detectar valores atípicos y evaluar las brechas de datos. Este control de calidad se ha realizado estudiando las series temporales una por una para identificar posibles anomalías. Las lagunas en los datos se rellenaron mediante el establecimiento de una relación lineal entre los valores de TRMM (3b42) y las observaciones diarias en cada ubicación de las estaciones meteorológicas.

Para los conjuntos de datos espaciales (TRMM 2b31, DEM y NDVI), los valores fueron extraídos en las ubicaciones de las estaciones meteorológicas. La serie temporal del NDVI se interpoló temporalmente, para obtener unas series semanales para todo el período (1998-2011). También los valores extraídos de la base de datos TRMM 2b31 se desagregaron a una serie semanal.

Basándose en todas las observaciones y datos en los puntos de las estaciones meteorológicas, se establecen los modelos de regresión a nivel semanal. Las variables independientes de la regresión en este caso son los conjuntos de datos DEM, CLIM y NDVI, para cada estación y cada semana de los 14 años [6]. Ya establecidos los modelos de regresión para cada semana, se aplicaron estos modelos a los conjuntos de datos espaciales. Para ello se cargaron las capas de las 3 variables de entrada (NDVI, CLIM o TRMM 2b31, y DEM) en un software SIG y se

calculó una capa para cada semana de los 14 años que representa la precipitación predicha.

Posteriormente se derivan los residuales (precipitación predicha por el modelo de regresión menos el valor observado) para cada estación. Estos residuos se interpolan espacialmente (método spline), que tiene como resultado una capa para cada semana del periodo que se añade a las capas predichas por los modelos de regresión. La suma de ambas es por lo tanto la salida final, resultando en una estimación de la distribución de la precipitación para cada semana del periodo de 14 años.

La validación cruzada se ha utilizado para obtener una estimación de la capacidad de predicción y de exactitud en cada punto. La metodología completa se explica con más detalle en [6]).

3. Resultados y Discusión

Los mapas de precipitación obtenidos con los modelos de regresión fueron corregidos con las interpolaciones espaciales de los residuales entre los valores observados y los estimados en las ubicaciones de las estaciones. Esto resultó en una serie temporal semanal de precipitación que cubre toda la región con una resolución de 1x1 km. La Figura 1 muestra las precipitaciones medias anuales calculadas en función de la serie semanal a lo largo de todo el periodo de 14 años.

Se puede observar que los patrones de las precipitaciones son muy variables. Se pueden caracterizar 3 zonas principales: la zona de páramo de la Cordillera Oriental Ecuatoriana (o Cordillera Real), que tiene una pluviometría anual superior a 1.000 mm con época lluviosa de abril a agosto (véase anejo I). Después los flancos orientales de la Cordillera Occidental con precipitaciones que llegan hasta por encima de 3000 mm por año en las partes más bajas de la provincia. La tercera zona es la Zona del Callejón Interandino, con precipitaciones anuales alrededor de los 500 mm, pero con importantes variabilidades debido a los microclimas en esta zona, o sea pequeñas zonas con características climáticas propias.

La variabilidad temporal de la precipitación se puede expresar mediante el cálculo del coeficiente de variación (el cociente de la desviación estándar de la precipitación media). Esto da una indicación de las diferencias relativas entre periodos húmedos y secos. La Figura 2 muestra la representación espacial del

coeficiente de variación, calculado en función de la totalidad de 14-años período de precipitación semanales.

El mapa muestra que en la región alrededor de la ciudad de Ambato, la variación temporal es la más alta. Esta variabilidad relativamente alta de las lluvias corresponde con las zonas donde se cultivan principalmente cultivos de ciclo corto. La zona un poco más al sur de Ambato muestra menor variabilidad (colores más azulados) y corresponde a las zonas donde se cultivan principalmente árboles frutales. También en las zonas del este, aguas abajo, el coeficiente de variación es bajo, y las cantidades de precipitación elevadas permiten la producción de fruta.

La capacidad de predicción del modelo se ha estudiado a fondo mediante el uso de validación cruzada, como se explica en la sección metodológica. El R^2 obtenido quitando de forma secuencial una estación del ajuste de los modelos, se ha trazado e interpolado y se ve reflejado en el mapa de la Figura 3. Esto da una indicación de la precisión relativa de la salida final en toda la zona y la capacidad de predicción del procedimiento. El R^2 promedio de todas las estaciones es de 0,75, en base a las precipitaciones mensuales. Esto indica que el método es capaz de predecir suficientemente bien las precipitaciones en base al método y los variables elegidos.

Es evidente que las zonas cerca de Ambato, que reciben la menor cantidad de lluvia (véase la sección siguiente) muestran una menor capacidad predictiva, debido a la mayor variabilidad temporal en estas áreas. Por otro lado, la precisión de la predicción es mayor en las zonas donde existe una alta densidad de estaciones. En el suroeste de la provincia (zona del arenal entre el Chimborazo y Piedramagra) la precisión es menor, debido a las características peculiares de esa zona y la baja densidad de estaciones. Por otro lado las precipitaciones en las zonas más húmedas de la provincia se predicen con mayor precisión.

4. Conclusiones

En este estudio se presentan datos de la distribución espacial de las precipitaciones y las tendencias en la provincia montañosa de Tungurahua, a partir de un refinamiento de métodos científicamente probados. El enfoque asume que el estado de la vegetación, la elevación y estimaciones satelitales de

