



Reciclado del vapor de agua en Sud America y su relacion con el ENSO

Alvaro Lamas^{1(*)} y Silvina Maio¹

¹Facultad de Agronomía da Universidad de Buenos Aires. Av. San Martín 4453, C1417DSE CABA, Argentina.

E-mails: lamas@agro.uba.ar y smaio@agro.uba.ar

(*)Autor corresponsal.

INFORMAÇÕES

História do artigo:

Recebido em 27 de março de 2019

Aceito em 11 de março de 2020

Palabras clave:

Evapotranspiracion

Amazonas

precipitaciones

RESUMEN

La evaporación y evapotranspiración no desaparecen, sino que circula en la atmósfera como vapor de agua, y eventualmente cae como precipitación, o sea, la humedad se recicla. Los modelos muestran que el 40% de las precipitaciones en todo el mundo tiene origen continental, pudiendo ser mayor en ciertas zonas. El reciclado del vapor de agua es un proceso crucial en el sistema climático sudamericano. La evapotranspiración de la cuenca del Amazonas contribuye sustancialmente a la precipitación regional. Aproximadamente el 10% de las lluvias totales sobre el continente, así como 17-18% de la precipitación sobre la cuenca del Plata, tiene origen continental en la Cuenca del Amazonas. Por lo tanto las regiones netamente agrícolas de secano en nuestro país, Uruguay y sur de Brasil dependen fuertemente de la evapotranspiración ocurrida allí. En eventos en los que se intensifica el ENSO muestra que el 20 % de las lluvias de la región son aportadas por el vapor de agua reciclado. Estos resultados ofrecen una nueva mirada sobre el uso y gestión de los recursos naturales, pudiendo mejorar los análisis futuros relacionados con el cambio hidrológico, el cambio a gran escala en el uso del suelo y las relación tierra-atmósfera.

© 2020 SBAgro. Todos os direitos reservados.

Introducción

El reciclado del vapor de agua en el continente es el proceso por el cual la evaporación y evapotranspiración retornan a la superficie en forma de precipitación (Brubaker et al., 1993; Eltahir y Bras, 1994; Van der Ent et al., 2010), este proceso en Sud América y especialmente en la cuenca amazónica adquiere una importancia significativa. La cuenca amazónica representa la fuente más importante de aporte de vapor de agua para la región

centro, sudeste y sur de Brasil, así como para el norte de nuestro país hasta llegar hasta la Región Pampeana. (Correia et al., 2007; Satyamurty et al., 2013). El transporte de la humedad atmosférica en la región, ha sido y sigue siendo en la actualidad, objeto de estudio utilizando distintas metodologías.

Los cambios en el uso de la tierra, tienen alto impacto en los regímenes de precipitación, los procesos de deforestación en distintas regiones del continente, en particular el Amazonas, han alterado fundamentalmente

la tasa de evapotranspiración y el ciclo hídrico afectando a los ecosistemas en general (Marengo, 2006; Spracklen et al., 2012).

Arraut et al. (2012) estimaron la contribución de la humedad atmosférica del Océano, el Amazonas y la evaporación local para la región entre el sur del Brasil y norte de Argentina. Encontraron que el aporte del vapor de agua generado en el Amazonas asume la misma magnitud que el aporte de vapor de agua proveniente del océano. Representando el ciclo hídrico con una ecuación unidimensional Lettau et al. (1979) encuentran que el reciclaje de las precipitaciones posee un gradiente de este a oeste que va del 19% al 88%. Dirmeyer et al (2009) observa que casi el 23% de la humedad sobre la cuenca del Río de la Plata posee un origen continental, Van der Ent et al. (2010) concluye que aproximadamente el 70% de las precipitaciones sobre la misma región son de origen continental. Utilizando una metodología similar, Keys et al. (2012) encontraron que 57% de las lluvias de la Cuenca del Plata tiene su origen en la región del Amazonas.

La vegetación tiene una fuerte influencia sobre las lluvias, la evapotranspiración y el transporte de agua en la región, se estima que entre 25 y 35% de la humedad se recicla regionalmente (Eltahir & Bras, 1994, Trenberth, 1999, Bosilovich & Chern, 2006; Burde et al., 2006; Dirmeyer et al., 2009). El objetivo de este estudio es comprender la interacción entre el uso de la tierra y la atmosfera, a través del análisis de los mecanismos de reciclado del vapor de agua y determinar la importancia de este mecanismo en América del Sur, en particular el transporte de humedad desde el Amazonas hacia la Cuenca del Plata.

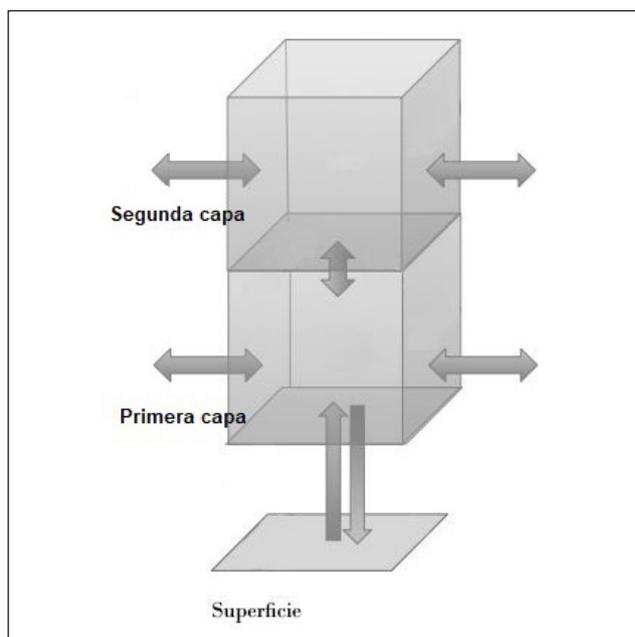
Materiales y métodos

El período considerado para el análisis es 1990-2016. Los datos de precipitación fueron suministrados por el Global Precipitation Climatology Centre (GPCC), mientras que los de evapotranspiración obtenidos del LandFlux-EVAL, corresponden a valores derivados de satélites y modelos de análisis atmosféricos. Se hizo un adaptación del modelo, la versión original toma datos con intervalos de tres horas, mientras que la que utilizamos usa datos medios diarios y para una cuadrícula de 1° de latitud por 1° de longitud. Los campos de viento y los datos específicos de humedad se toman de las ERA-Interim (Dee DP, et al 2011). Estos datos incluyen: viento zonal y meridional y presión a nivel del mar. Se construyó una grilla utilizando el modelo de seguimiento del vapor de agua en la atmosfera Water Accounting Model 2layers (WAM-2) (van de Ent, 2010), los datos fueron interpolados espacialmente a una escala de 1.5 de latitud por 1.5 de longitud. Para modelar el proceso en distintos escenarios analizamos por separado los datos en situaciones de eventos Niño y Niña (NOAA/National

Weather Service, 2017).

Cada una de las capas del WAM-2 rastrea el flujo de vapor de agua en cada celda utilizando un enfoque Euleriano. Así, es posible conocer donde precipita la evapotranspiración generada en otra celda y que es transportada por el viento. El modelo considera una columna de aire sobre un área determinada, en cada intervalo de tiempo (t), las capas WAM-2 registran cuánta agua entra a la atmósfera como evapotranspiración, así como cuánta agua sale hacia la atmósfera como precipitación. Entre intervalo temporal, las capas WAM-2 calculan cuánta agua se mueve entre cada celda de la cuadrícula en cada una de las cuatro direcciones cardinales. Así, a medida que avanzamos en el tiempo, las capas WAM-2 proporcionan un balance de cuánta humedad entra y sale de la atmósfera, así como por dónde viaja horizontalmente. Una de las capas esta situada cerca de la superficie de la tierra, y por encima de esta, la segunda capa se encuentra a mayor altura. El objetivo de esto es incluir las variaciones en la velocidad del viento a diferentes alturas en la atmósfera. Puede observarse en la Figura 1.

Figura 1. Velocidad del viento a diferentes alturas en la atmósfera.



El coeficiente de reciclado de las lluvias (P_{Ω}) lo definimos como la fracción de precipitación que se origina de la evapotranspiración en una región dada (Ω) sin intervenir en el proceso de reevaporación. P_{Ω} en una celda j se calcula como lo explica la ecuación 1

$$P_{\Omega, j} = \frac{\sum i \varepsilon_{\Omega} m_{ikj}}{P_j} \quad (1)$$

Dónde: m_{ij} es la evapotranspiración en i que precipita en j ; P_j es la precipitación en j .

Lo mismo ocurre con la evapotranspiración y su proceso de reciclado, se define como la fracción de evapotranspiración que cae en forma de precipitación sobre una región dada (Ω) sin que ocurra un ciclo de reevaporación intermedio (Zemp et al., 2014).

$$\epsilon_{\Omega, i} = \frac{\sum_{j \in \Omega} m_{ij}}{E_i} \quad (2)$$

Dónde: E_i es la evapotranspiración en i .

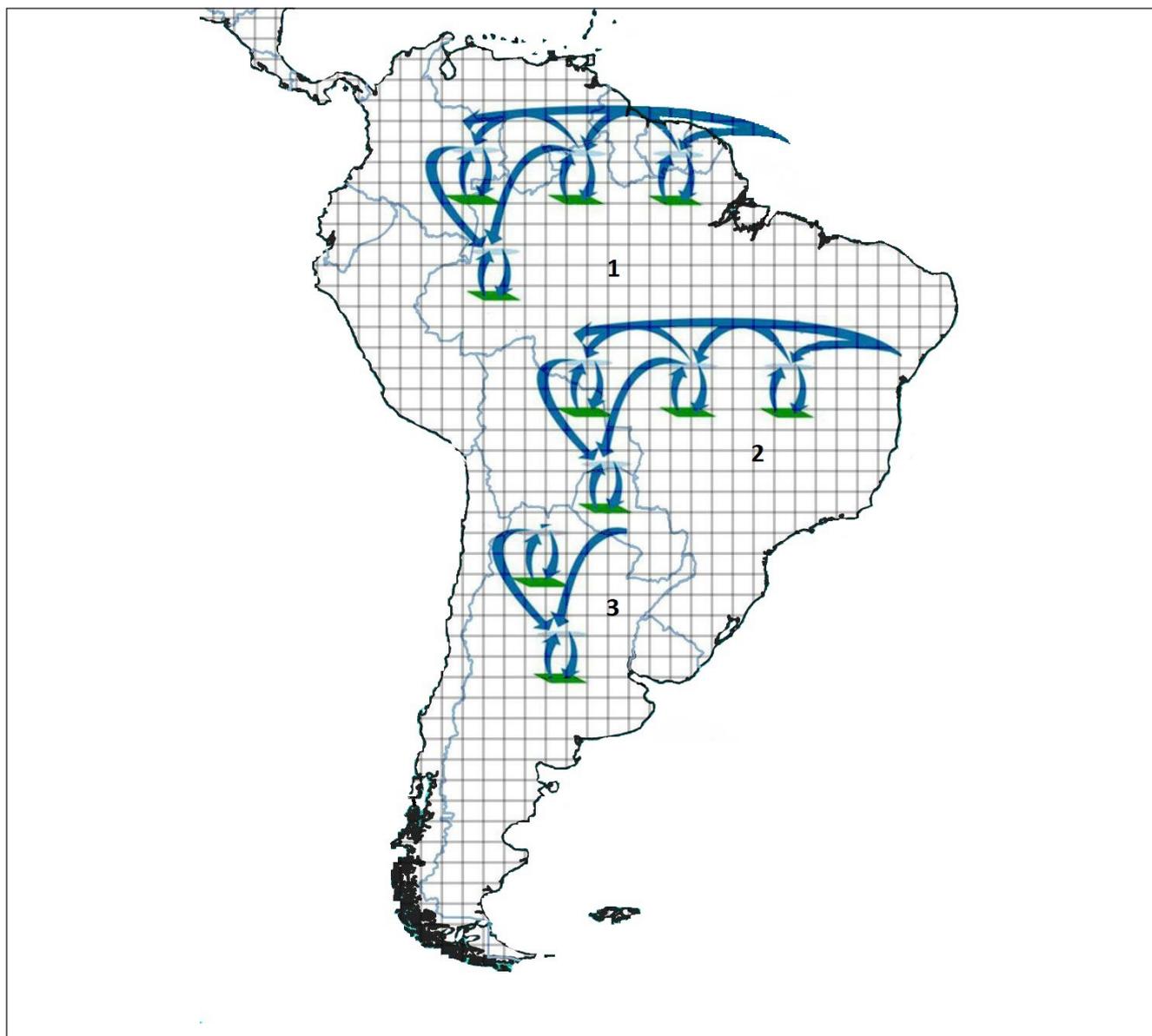
La figura 2 muestra las zonas en estudio con las grillas de 1.5 grados de latitud y los dominios, la zona 1 corresponde a la Cuenca Amazónica, la 2 es zona de transición mientras que la zona 3 representa a la Cuenca del Plata.

Resultados y discusión

Observamos que la zona estudiada tiene un alto índice de reciclado. Esto significa que la Cuenca del Plata depende en gran medida del vapor de agua de origen continental. Por lo tanto, una buena comprensión del proceso y el conocimiento de las fuentes de precipitación cobra suma importancia. Aproximadamente el 65 a 75% de la evapotranspiración ocurrida en la cuenca amazónica se recicla como precipitación sobre el área en eventos Niño. Mientras que solo del 25 al 35% en eventos Niña.

La tasa de evapotranspiración en la cuenca amazónica asume valores muy altos y se observó muy poca variabilidad en tiempo y espacio. Puede asumirse que en aquellos años Niña parte del vapor de agua presente es removido del continente por las corrientes de aire.

Figura 2. Zonas en estudio con las grillas de 1.5 grados de latitud y los dominios.



Con un modelo de dispersión de partículas, Drumond et al. (2014) también observa un flujo hacia el océano, para el mismo período. En los años Niño se visualiza que la región comprendida por la cuenca del Plata, recibe un aporte importante de vapor de agua originado en el continente. Aproximadamente entre el 35 al 40 % de las lluvias y un 30 % en los casos Niña. Esta diferencia puede atribuirse al debilitamiento en la circulación del aire en el Atlántico subtropical y a una mayor actividad del SALLJ (South American low-level jet) que realiza un transporte meridional del vapor de agua (Marengo et al., 2004).

Los resultados obtenidos son concurrentes con los hallados por Drumond et al., (2008) y Martínez et al. (2014), sin embargo la principal fuente de aporte de vapor de agua sigue siendo los flujos provenientes del Océano Atlántico, aunque los trabajos de Van der Ent et al., 2010; Keys et al., 2012; Martínez et al., 2014, muestran un aumento del reciclado en promedio anual.

Se puede observar que la cuenca del Amazonas es una fuente de aporte de vapor de agua para el área III, habiendo obtenido valores similares en promedio a los hallados por Martínez et al. (2014) y Keys et al. (2014). Intensificándose sobre todo en los eventos Niño. En promedio, el 12-28% de la evapotranspiración total del Amazonas se recicla como precipitaciones en la zona de la región pampeana. La Tabla 1 muestra los resultados obtenidos para los análisis de la evapotranspiración y la precipitación reciclada en los casos Niño y Niña.

Conclusiones

En este trabajo, se analizó las interacciones entre el vapor de agua generado por la evapotranspiración en la región y su retorno al suelo en forma de precipitación.

Con el seguimiento de los flujos de humedad se observa la dependencia hídrica de la Cuenca del Plata (comprendida por las áreas agrícolas de la Región Pampeana, Sur Este de Brasil y Uruguay), con la el Amazonas. De hecho, aproximadamente el 10% de las lluvia totales sobre el continente, así como 17-18% de la precipitación sobre la cuenca del Plata, tiene su origen continental en la Cuenca del Amazonas. Por lo tanto las regiones netamente agrícolas de secano en nuestro país, Uruguay y sur de Brasil

Tabla 1. Evapotranspiración y precipitación reciclada en años Niño y Niña (%).

	Cuenca del Plata		Sud América	
	Niño	Niña	Niño	Niña
pc	38-40	30-35	30	25
ec	35-40	30-35	65-75	25-35

pc: Precipitación reciclada

ec: Evapotranspiración que vuelve como precipitación

dependen fuertemente de la evapotranspiración ocurrida en la región I (ver Figura 2). Esto ocurre en eventos Niño y Niña. Entre el 15-20 % del total de precipitación sobre región III en casos Niño, y el 20 % en los casos Niña, tiene origen netamente continental. A partir de este trabajo se puede inferir que los cambios en el uso de la tierra podrían ser generadas por el proceso de reciclado, con un alto impacto negativo sobre la producción agropecuaria y ecosistemas naturales (Lamas, et al 2007). El estudio ofrece una nueva mirada al fin de la comprensión de las interacciones entre la vegetación, la atmósfera y el ciclo hídrico en un contexto de uso de la tierra y cambio climático.

Referencias

- ARRAUT, J. M.; NOBRE, C.; BARBOSA, H. M.; OBREGON, G.; MARENGO, J. Aerial rivers and lakes: looking at large-scale moisture transport and its relation to Amazonia and to subtropical rainfall in South America. *J. Climate*, 25, 543-556, 2012.
- BOSILOVICH, M. G.; CHERN, J.-D. Simulation of water sources and precipitation recycling for the MacKenzie, Mississippi, and Amazon River basins. *J. Hydrometeorol.*, 7, 312-329, 2006.
- BURDE, G. I.; GANDUSH, C.; AND BAYARJARGAL, Y. Bulk recycling models with incomplete vertical mixing. Part II: Precipitation recycling in the Amazon basin. *J. Climate*, 19, 1473-1489, 2006.
- Brubaker, K. L., Entekhabi, D., and Eagleson, P. S.: Estimation of continental precipitation recycling. *J. Climate*, 6, 1077-1089, 1993.
- CORREIA, F. W. S.; MANZI, A. O.; CANDIDO, L. A.; Dos SANTOS, R. M. N.; PAULIQUEVIS, T. Balanço de umidade na Amazônia e sua sensibilidade às mudanças na cobertura vegetal. *Ciência e Cultura*, v.59, n.3, p.39-43, 2007.
- DEE, D. P.; UPPALA, S. M.; SIMMONS, A. J.; BERRISFORD, P.; POLI, P.; KOBAYASHI, S.; ANDRAE, U.; BALMASEDA, M. A.; BALSAMO, G.; BAUER, P.; BECHTOLD, P.; BELJAARS, A. C. M.; VAN DE BERG, L.; BIDLOT, J.; BORMANN, N.; DELSOL, C.; DRAGANI, R.; FUENTES, M.; GEER, A. J.; HAIMBERGER, L.; HEALY, S. B.; HERSBACH, H.; HÓLM, E. V.; ISAKSEN, I.; KÁLLBERG, P.; KÖHLER, M.; MATRICARDI, M.; MCNALLY, A. P.; MONGE SANZ, B. M.; MORCRETTE, J.-J.; PARK, B.-K.; PEUBEY, C.; DE ROSNAY, P.; TAVOLATO, C.; THÉPAUT, J.-N.; VITART, F. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, 137, 553-597, 2011
- DIRMEYER, P. A.; BRUBAKER, K. L.; DELSOLE, T. Import and export of atmospheric water vapor between nations. *J. Hydrol.*, 365, 11-22, 2009.
- DRUMOND, A.; NIETO, R.; GIMENO, L.; AND AMBRIZZI, T. A Lagrangian identification of major sources of moisture over Central Brazil and La Plata basin. *J. Geophys. Res.*, 113, D14128, doi:10.1029/2007JD009547, 2008.
- DRUMOND, A.; MARENGO, J.; AMBRIZZI, T.; NIETO, R.; MOREIRA, L.; GIMENO, L. The role of the Amazon Basin moisture in the atmospheric branch of the hydrological cycle: a Lagrangian analysis. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18, 2577-2598, doi:10.5194/hess-18-2577-2014, 2014
- ELTAHIR, E. A. B.; BRAS, R. L. Precipitation recycling in the Amazon basin. *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, 120, 861-880, 1994.
- KEYS, P. W.; BARNES, E. A.; VAN DER ENT, R. J.; GORDON, L. J. Variability of moisture recycling using a precipitation shed framework. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18, 3937-3950, doi:10.5194/hess-18-3937-2014, 2014.
- KEYS, P. W.; WANG-ERLANDSSON, L.; GORDON, L. J. Revealing Invisible Water: Moisture Recycling as an Ecosystem Service. *PLoS One*, 11 (3) (2016). DOI: 10.1371/journal.pone.0151993

LAMAS, A. M.; GHERSA, C. M.; MAIO, S. **Estimación del reciclado continental de las precipitaciones en la Región Pampeana. Primeras Jornadas Interdisciplinarias de la Universidad de Buenos Aires sobre Cambio Climático.** Desafíos del Cambio Climático y Global en Argentina Programa interdisciplinario de Cambio Global (PIUBACC) EUDEBA 400 Pág.

LETTAU, H.; LETTAU, K.; MOLION, L. C. B. Amazonia's hydrologic cycle and the role of atmospheric recycling in assessing deforestation effects. **Monthly Weather Review**, 107(3), 227-238, 1979.

MARENGO, J. A.; SOARES, W. R.; SAULO, C.; NICOLINI, M. Climatology of the low-level jet east of the Andes as derived from the NCEP-NCAR reanalyses: Characteristics and temporal variability. **J. Climate**, 17, 2261-2280, 2004.

MARTINEZ, J. A. ; DOMINGUEZ, F. Sources of Atmospheric Moisture for the La Plata River Basin. **J. Climate**, 27, 6737-6753, doi:10.1175/JCLI-D-14-00022.1, 2014.

NOAA.http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml. 2017

TRENBERTH, K. E. Atmospheric moisture recycling: role of advection and local evaporation. **J. Climate**, 12, 1368-1381, 1999.

SATYAMURTY, P.; DA COSTA, C. P. W.; MANZI, A. O. moisture source for the amazon basin: a study of contrasting years. **Theoretical and applied climatology**, v.111, n.1-2, p.195-209, 2013

SPRACKLEN, D. V.; ARNOLD, S. R.; TAYLOR, C. M. Observations of increased tropical rainfall preceded by air passage over forests. **Nature**, 489, 282-285, 2012.

VAN der ENT, R. J.; SAVENIJE, H. H. G.; SCHAEFLI, B.; STEELE-DUNNE, S. C. Origin and fate of atmospheric moisture over continents. **Water Resour. Res.**, 46, W09525, doi:10.1029/2010WR009.

ZEMP, D. C.; SCHLEUSSNER, C.-F.; BARBOSA, H.; VAN DER ENT, R.; DONGES, J. F.; HEINKE, J., SAMPAIO, G.; RAMMIG, A. On the importance of cascading moisture recycling in South America. **Atmospheric Chemistry and Physics**, 14:13337-13359, 2014.

REFERENCIAÇÃO

LAMAS, A.; MAIO, S. Reciclado del vapor de agua en Sud America y su relacion con el ENSO. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.27, n.2, p.311-316, dez 2019.



Water vapor recycling in South America and its relationship with the ENSO

Alvaro Lamas^{1(*)} y Silvina Maio¹

¹Facultad de Agronomía da Universidad de Buenos Aires. Av. San Martín 4453, C1417DSE CABA, Argentina. E-mails: lamas@agro.uba.ar y smaio@agro.uba.ar

(*)Autor corresponsal.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 27 March 2019

Accepted 11 March 2020

Index terms:

evapotranspiration
Amazonas
rainfall

ABSTRACT

Evaporation and evapotranspiration do not disappear, but circulate in the atmosphere as water vapour, and eventually fall as precipitation, i.e. moisture is recycled. Models show that 40% of the world's rainfall is continental in origin and may be higher in certain areas. Water vapor recycling is a crucial process in the South American climate system. Evapotranspiration from the Amazon Basin contributes substantially to regional precipitation. Approximately 10% of the total rainfall on the continent, as well as 17-18% of the precipitation on the River Plate basin, comes from the Amazon Basin. Therefore, the rainfed agricultural regions of our country, Uruguay and southern Brazil depend heavily on the evapotranspiration that occurs there. In events where ENSO intensifies, it shows that 20% of the region's rainfall is provided by recycled water vapour. These results offer a new look at the use and management of natural resources, and may improve future analyses related to hydrological change, large-scale land-use change and the land-atmosphere relationship.

© 2020 SBAGro. All rights reserved.

CITATION

LAMAS, A.; MAIO, S. Reciclado del vapor de agua en Sud America y su relacion con el ENSO. *Agrometeoros*, Passo Fundo, v.27, n.2, p.311-316, dez 2019.