

Evaluación de la probabilidad de destrucción de áreas de cultivo por inundaciones en el Perú

Evaluation of the probability of destruction of crop areas by floods in Peru

Casiano Aguirre Escalante¹; David Quispe Janampa¹; Ricardo Martín Chávez Asencio¹; Alberto Franco Cerna Cueva^{1,*}; Manuel Emilio Reategui Inga²; Beatriz Milagros Vásquez Bendezú¹

1 Facultad de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Av. Carretera Central km. 1.21; Tingo María, Perú.

2 Universidad Nacional de Jaén, Perú.

*Autor corresponsal: alberto.cerna@unas.edu.pe (A. F. Cerna Cueva).

ID ORCID de los autores

C. Aguirre Escalante:  <https://orcid.org/0000-0002-6109-4237> D. Quispe Janampa:  <https://orcid.org/0000-0003-2439-5556>

R. M. Chávez Asencio:  <https://orcid.org/0000-0002-5301-3273> A. F. Cerna Cueva:  <https://orcid.org/0000-0001-7448-558X>

M. E. Reategui Inga:  <https://orcid.org/0000-0002-5417-6509> B. M. Vásquez Bendezú:  <https://orcid.org/0000-0002-5103-1937>

RESUMEN

Esta investigación tiene como objetivo estimar la probabilidad de pérdidas (destrucción) de hectáreas agrícolas por inundaciones en función de las hectáreas inundadas. Para ello se utilizó la base de datos de desastres del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) del Perú para el periodo 2003 – 2017; en donde se realizó un análisis descriptivo de las pérdidas agrícolas por inundaciones, luego se construyó una curva que relaciona la probabilidad de pérdida de áreas agrícolas en función de las áreas inundadas, separando la probabilidad en percentiles P0, P33 y P66 para las regiones de costa, selva alta, selva baja y sierra. Los resultados muestran que las inundaciones ocupan el tercer lugar para el promedio anual acumulado de hectáreas perdidas y afectadas en comparación con otros desastres naturales, por otra parte, para las regiones de la costa, selva alta, selva baja y sierra aproximadamente el 20%, 20%, 50% y 15% posee una tasa de destrucción de 0,8 a 1,0 en proporción de ha perdida / ha inundada respectivamente. La bondad de ajuste R² para los modelos van desde 0,94 hasta 0,995, lo que indica la confiabilidad para la predicción de la probabilidad de hectáreas perdidas por inundaciones en función de las áreas inundadas en las regiones de costa, selva alta, selva baja y sierra del Perú.

Palabras clave: hectáreas perdidas; hectáreas inundadas; probabilidad; percentiles; región geográfica.

ABSTRACT

This research aims to estimate the probability of loss (destruction) of farming hectares due to flooding in function of the number of hectares flooded. For this purpose, the disaster database of the Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) from Peru was used for the period 2003 – 2017; where a descriptive analysis of farming losses due to floods was carried out, then a curve was constructed that relates the probability of loss of farming areas in function of the flooded areas, separating the probability in percentiles P0, P33 and P66 for the coastal, high jungle, low and highland jungle regions. The results show that floods occupy the third place for the accumulated annual average of hectares lost and affected compared to other natural disasters, on the other hand, approximately 20%, 20%, 50% and 15% have a destruction rate of 0.8 to 1.0 in the proportion of ha lost / ha flooded for the coastal, high jungle, low jungle, and highland regions respectively. The R² goodness of fit for the models ranges from 0.94 to 0.995, indicating the reliability of predicting the probability of hectares lost due to flooding in function of the flooded areas in the coastal, high jungle, low jungle and highland regions from Peru.

Keywords: lost hectares; flooded hectares; probability; percentiles; geographical region.

Recibido: 23-06-2021.

Aceptado: 27-08-2021.



Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY-NC 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

INTRODUCCIÓN

Contexto del problema

A nivel mundial, las pérdidas económicas por inundaciones alcanzan los 54,2 billones de euros, de los cuales 3,74 billones son pérdidas agrícolas Alfieri et al. (2017), de acuerdo con Dottori et al. (2018) la reducción de la producción (debido a los daños por inundaciones en la agricultura y a la disminución de las existencias de capital) afecta a los niveles de producción y consumo de los años siguientes, incluso si no se producen daños adicionales por inundaciones en esos años. Por otra parte, con respecto a la seguridad alimentaria es sabido que el agua y los alimentos son dos impulsores clave de la sostenibilidad del sistema mundial. La comprensión de sus complejas interrelaciones - el nexo agua - energía - alimentos (Pacetti et al., 2017; Rulli et al., 2016; Vanham, 2016) - representa un paso importante para mejorar la capacidad de recuperación de los sistemas agua - alimentos; así como para lograr una gestión adecuada de los recursos naturales. Por lo tanto, es evidente que la seguridad alimentaria está estrictamente relacionada con el agua y ambos son altamente vulnerables a los continuos cambios de los patrones climáticos (Chiarelli et al., 2016; Davis et al., 2017; Misra, 2014). Los fenómenos hidrológicos extremos ya están causando importantes crisis de agua en los sistemas mundiales, poniendo en peligro la seguridad alimentaria. El informe sobre el cambio climático (IPCC, 2014) muestra una creciente variabilidad en los patrones de precipitación, así como pruebas de que los eventos de inundación están aumentando en muchas regiones del planeta, según la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (Douglas, 2018). Además, el cambio de uso de la tierra puede aumentar el riesgo de inundaciones, especialmente en las zonas propensas a las crecidas repentinas (Rosso y Rulli, 2002). Por las razones mencionadas, se ha convertido en importante la cuantificación de las pérdidas agrícolas por los fenómenos hidrológicos extremos en la producción de alimentos (Lesk et al., 2016). Con respecto a Perú, aunque la participación de la agricultura en el PBI peruano es de aproximadamente 5%, este representa un 29,6% del total de empleos generados en el país, es decir, casi 1 de cada 3 peruanos obtiene sus ingresos de la agricultura (Barrientos-Felipa, 2018; MINAGRI, 2016), sin embargo, la agricultura también es una de las actividades más golpeadas por los desastres naturales del país, solamente desde octubre del 2018 hasta abril del 2019 se reportaron 150 000,5 Ha de cultivos afectados o perdidos por desastres como heladas, sequías, granizadas e inundaciones (MINAGRI, 2019). Uno de los desastres que causa la

mayor cantidad de pérdidas en la agricultura, son las inundaciones, de acuerdo con el Plan de Gestión de Riesgos al Cambio Climático el Sector Agrario 2012 - 2021, se estima que 61,1% de las actividades agrícolas en el Perú se encuentra en un riesgo de nivel medio a muy alto por las inundaciones (MINAGRI, 2012).

Antecedentes

Los enfoques basados en riesgos para medir las pérdidas por inundaciones han sido cada vez más aceptados y operacionales en la gestión del riesgo de inundaciones durante las últimas décadas Gerl et al. (2016). Actualmente, se han propuesto una gran variedad de modelos de pérdidas que difieren en el propósito, la estructura y el enfoque local. En algunos casos, el modelado de pérdidas se realiza por separado por dimensión de daño, por ejemplo, residencial, comercial, industrial, agrícola, etc. y en diferentes escalas espaciales, donde las unidades de análisis varían desde elementos individuales en riesgo hasta unidades agregadas de uso de la tierra (Brémond & Grelot, 2013; Merz et al., 2010). Una de las maneras deterministas más frecuentes de estimar daños por inundaciones, son las que utilizan curvas de daño o funciones de pérdida (Nga et al., 2018; Pinos et al., 2020; Wang et al., 2018; Win et al., 2020) que relacionan el daño con la profundidad de inundación, pero además de estas curvas en donde solo se maneja una variable con respecto a los daños agrícolas se han desarrollado funciones de pérdida de múltiples variables que consideran además de la profundidad de inundación, otras variables como el tipo de cultivo, la estación del año o la velocidad de inundación (Erdlenbruch et al., 2009; Förster et al., 2008; Tanoue et al., 2016; Vozinaki et al., 2015; Win et al., 2018). Por otra parte, el análisis SIG también se ha implementado de manera frecuente en la estimación de daños agrícolas por inundaciones (Bui et al., 2018; Giang & Phuong, 2018; Glas et al., 2017; Psomiadis et al., 2019; Shokoohi et al., 2018; Shrestha et al., 2016)

Sin embargo, los modelos deterministas poseen la desventaja de que son muy específicos para una realidad en particular y requieren información histórica de las variables que conformarán el modelo, información que muchas veces no se encuentra disponible. Frente a ello, los modelos probabilísticos son más fáciles de generalizar y construir. Entre los estudios que utilizan modelos probabilísticos para la estimación de daño podemos mencionar el de Zhai et al. (2006) el que relaciona la probabilidad de que un número específico de personas resulten muertas o heridas por inundaciones, en el trabajo de Bhakta Shrestha

et al. (2019) se propone una metodología para estimar daños agrícolas en términos de riesgo para un área de cultivo de arroz, para la vulnerabilidad se considera un curva de porcentaje de daños en función de la profundidad de inundación y para el peligro se considera la profundidad de inundación la cual se consiguió con un modelo de precipitación – escorrentía – inundación (RRI). Otro estudio en los que se estiman daños a cultivos de arroz por inundaciones es el de Kwak et al. (2015), en el que se usan imágenes satelitales para estimar las áreas de cultivos de arroz presentes, posteriormente se estiman los daños a los cultivos en función de la profundidad y días de duración de la inundación. Aunque estos estudios utilizan parámetros deterministas, las estimaciones se da en términos de probabilidad, por lo que se consideran estimaciones probabilísticas. A pesar de que si se pueden encontrar estudios en los que se estiman daños agrícolas, estos tienen la desventaja de que no son fáciles de generalizar ya

que se dan para regiones específicas, cultivos específicos, en términos monetarios y/o variables específicas que en muchos casos requieren de un análisis especializado para que se puedan hallar (profundidad de inundación, velocidad de inundación, etc.). Un estudio más generalizable tendría que estimar la probabilidad de destrucción de cultivos ya que a partir de las pérdidas físicas se pueden inferir pérdidas económicas, también debe considerar más de una región geográfica, por otra parte, la variable a usar para estimar la probabilidad de destrucción de cultivos tendría que ser una más fácil de estimar que la profundidad o velocidad de inundación, esta podría ser la extensión de inundación la que muchas veces, por antecedentes del lugar, se puede conocer. Este estudio tiene como objetivo estimar la probabilidad de pérdidas de cultivos por inundación en las regiones de la costa, sierra, selva alta y selva baja del Perú.

MATERIAL Y MÉTODOS

Información descriptiva de la destrucción de cultivos por inundaciones en el Perú

Para el análisis se utilizó la información de desastres en el Perú para el periodo 2003 – 2017 del INDECI (2017) en donde se registran las hectáreas agrícolas afectadas y pérdidas por inundaciones.

- Ranking de Emergencias destructivas en cultivos

Para ver la posición que ocupan las inundaciones con respecto a otros 19 desastres que destruyeron o afectaron áreas agrícolas en el Perú para el periodo 2003 – 2017, se calculó el promedio del acumulado anual con el fin de eliminar variaciones estacionales.

- Variación de la letalidad (proporción área destruida/área inundada)

Se considera que la letalidad de destrucción es la proporción de área de cultivo destruida sobre las áreas de cultivo inundadas. Para esto solo se trabajó con las inundaciones que, si inundaron cultivos, ya que en el reporte de INDECI se consideran las emergencias por inundaciones en general que en muchos casos no afecta a los cultivos, pero si a la integridad de las personas.

Variabilidad temporal de las emergencias por inundaciones

De acuerdo con la FAO (2016) en los últimos tres decenios se ha producido un notable aumento de los desastres en todo el mundo especialmente los relacionados con el clima, como las sequías, las inundaciones y las tormentas, por ello resulta importante analizar las tendencias de las

emergencias por inundaciones que causan daños agrícolas ya que estos repercuten significativamente en la productividad y la economía. Para el análisis de tendencias se realizará el suavizado de media móvil, para evitar el ruido de eventos extremos, para este estudio se considera un factor de suavizado de 0,75.

Curvas de probabilidad de destrucción en función del área inundada

Preprocesamiento de datos

La probabilidad de destrucción de cultivos agrícolas considera 3 grupos: 1) la probabilidad de que 1 o más hectáreas sean destruidas, 2) la probabilidad de que las hectáreas destruidas sean mayores o iguales que el percentil 33 y 3) la probabilidad de que las hectáreas destruidas sean mayores o iguales que el percentil 66.

Curva de destrucción de cultivos

Se construyó la distribución de frecuencia acumulada para cada grupo y región, posteriormente se ajustaron los datos al modelo propuesto por Zhai et al. (2006) que se muestra a continuación:

$$P(x \geq n \text{ Hectáreas}) = \frac{1}{1 + e^{a+b \cdot \text{Log}(HA)}} \quad (1)$$

Donde: $P(X \geq n \text{ Hectáreas})$ es la probabilidad de que n o más hectáreas sean destruidas, HA son las hectáreas totales afectadas por la inundación, a y b son parámetros del modelo que se hallaron con ajustes. Finalmente se calcula el coeficiente de determinación R^2 para evaluar la bondad de ajuste del modelo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Información descriptiva de la destrucción de cultivos por inundaciones en el Perú

- Ranking de Emergencias destructivas en cultivos

De acuerdo con la Figura 1 las inundaciones ocupan el tercer lugar en cuanto a hectáreas destruidas y afectadas por desastre en el Perú.

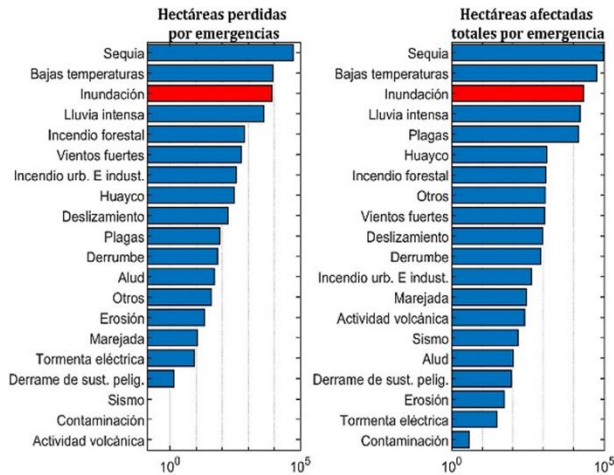


Figura 1. Ranking de las hectáreas agrícolas perdidas y afectadas por desastres naturales en el Perú tomando el promedio acumulado anual para el periodo 2003 – 2017.

Esto coincide con la investigación de Young & León (2009) quienes también ubicaron en el tercer lugar a las inundaciones en cuanto a daños causados; esto es de esperarse, de acuerdo con la FAO (2016) las sequías, las inundaciones y las tormentas son los eventos que más afectan a la agricultura, sobre todo en los últimos años en los que estos desastres han sido más atenuados por el calentamiento global (Lesk et al., 2016).

- Variación de la letalidad (proporción área destruida/área inundada)

El nivel de destrucción de una inundación depende de muchas variables como el tipo de inundación (fluvial, pluvial, costera), la geomorfología de la zona, el nivel de exposición entre otros. Como se puede observar en la Figura 2, la región geográfica con la mayor tasa de destrucción agrícola es la selva baja, cerca del 50% de las inundaciones tienen una letalidad de 0,8 a 1 en proporción de ha destruida / ha afectada.

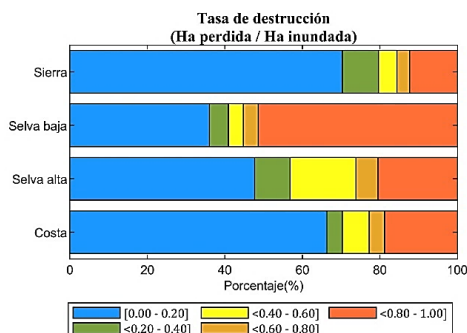


Figura 2. Tasa de destrucción de ha agrícolas por inundaciones por región geográfica del Perú.

Por otra parte, las regiones de la sierra y la costa presentan casi la misma proporción en cuanto a letalidades, sin embargo, es necesario recalcar que ocurren muchas más emergencias en la región sierra. Finalmente, la región de la selva alta, cerca del 50% de las inundaciones tienen una letalidad baja (de 0 a 0,2).

- Tendencias anuales

De acuerdo con la Figura 3 se puede ver una ligera tendencia de crecimiento para las zonas bajas del país como son la costa y la selva baja.

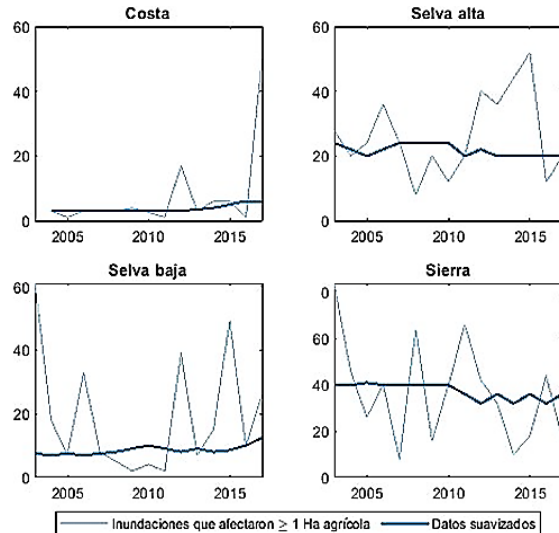


Figura 3. Tendencias anuales de la cantidad de inundaciones que afectaron una o más hectáreas agrícolas en el Perú para el periodo 2003 – 2017.

Esto podría ser explicado por el crecimiento del nivel del mar en la costa y el aumento de la estacionalidad de precipitaciones en la selva peruana. (Barco y Vargas, 2009; Zulkafli et al., 2016). Con respecto a la ligera disminución de las tendencias de inundaciones en la zona alta del país (selva alta y sierra), podría ser explicado por la regionalización de las precipitaciones máximas que tienden a disminuir en las regiones altoandinas del país (Tupac-Yupanqui et al., 2017).

Curvas de probabilidad de destrucción en función del área inundada

- Preprocesamiento de datos

Las hectáreas agrícolas destruidas por inundaciones son muy variables a nivel de regiones e incluso en la misma región de análisis. Con respecto a la distribución de frecuencias de las hectáreas perdidas por inundaciones, como se puede ver en la Figura 4, las regiones costa, selva alta y sierra tienen distribuciones sesgadas hacia la derecha y de acuerdo con el Tabla 1 el 50% (mediana) de las inundaciones ocasionan hectáreas perdidas menores o iguales a 20, 31 y 19 respectivamente; con respecto a la selva baja, la distribución esta sesgada hacia la izquierda y el 50% de las inundaciones ocasionan hectáreas perdidas menores o iguales a 220,5.

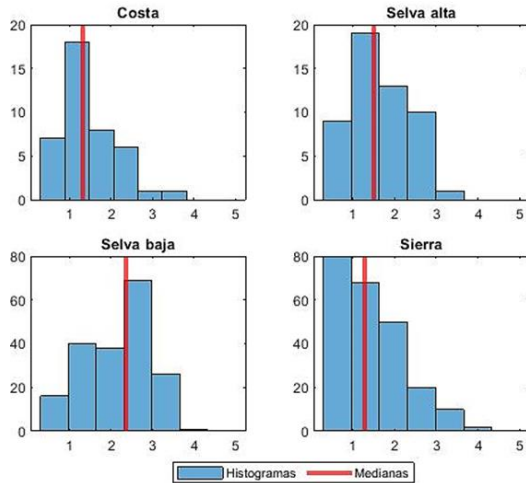


Figura 4. Histogramas del logaritmo en base 10 de las hectáreas perdidas por inundaciones en las regiones geográficas del Perú.

En el Tabla 1 se muestran los percentiles de hectáreas agrícolas perdidas por inundaciones.

Tabla 1. Percentiles de las hectáreas perdidas por inundaciones por regiones geográficas en Perú

Región geográfica	Percentil				
	P33	Mediana	P66	Máx. ha perdidas	Máx. ha inundadas
Costa	15	20	43,56	2500	2500
Selva alta	19,66	31	89,82	1593	3661
Selva baja	52,6	220,5	358,9	5004	6049
Sierra	7,45	19	50	5356	19721

- Curva de destrucción de cultivos

Se realizó la regresión de la probabilidad de encontrar al menos 1, P33 y P66 hectáreas agrícolas afectadas en función de las hectáreas inundadas por regiones geográficas usando el modelo propuesto Zhai et al. (2006). En la Figura 5 se muestran los datos observados y los ajustes en función de las hectáreas inundadas para las regiones geográficas del Perú.

La bondad de ajuste R2 para los modelos van desde 0,94 para la probabilidad de superar 43,56 hectáreas destruidas en función de las hectáreas inundadas en la región costa, hasta 0,995 para la probabilidad de superar 1 hectárea destruidas en función de las hectáreas inundadas en la región selva alta.

Tabla 2. Parámetros del modelo para cada región y percentil con su respectiva bondad de ajuste

Región geográfica	Probables hectáreas dañadas	Parámetros		Bondad de ajuste (R2)
		a	b	
Costa	P0 ≥ 1	3,408	-1,972	0,988
	P33 ≥ 15	3,665	-1,906	0,982
	P66 ≥ 43,56	6,621	-2,842	0,94
Selva alta	P0 ≥ 1	3,956	-2,063	0,995
	P33 ≥ 19,66	4,699	-2,185	0,991
	P66 ≥ 89,82	7,248	-2,909	0,979
Selva baja	P0 ≥ 1	4,661	-2,022	0,982
	P33 ≥ 52,6	8,341	-3,201	0,99
	P66 ≥ 358,9	8,021	-2,949	0,971
Sierra	P0 ≥ 1	2,789	-1,55	0,992
	P33 ≥ 7,45	3,81	-1,689	0,993
	P66 ≥ 50	5,193	-1,837	0,989

Limitaciones del modelo

Con respecto a la cantidad de hectáreas agrícolas perdidas por hectáreas inundadas, como se puede ver en el Tabla 1, los modelos de P66 para las regiones costa, selva alta, selva baja y sierra alcanzan un máximo de 2500, 1593, 5004 y 5356 ha perdidas y si en caso hubiera inundaciones que superen las 2500, 3661, 6049 y 19721 ha inundadas, no podrían predecirse con el modelo ya que el modelo es empírico y no obedece a ninguna distribución de frecuencia.

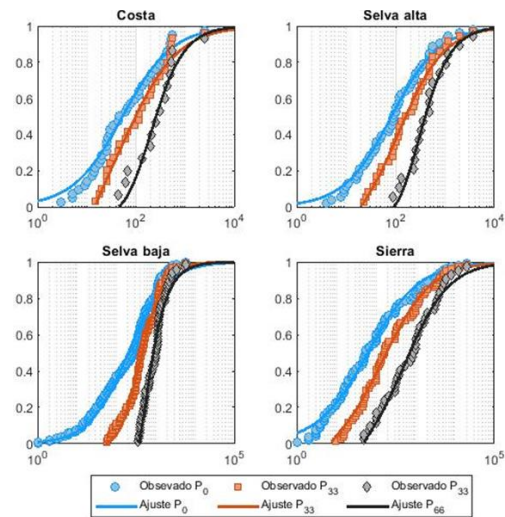


Figura 5. Ajuste de la probabilidad de pérdida de hectáreas agrícolas (≥ 1, P33 y P66) en función de las hectáreas inundadas para las regiones geográficas del Perú.

CONCLUSIONES

En el Perú, las inundaciones son el tercer desastre que causa mayor cantidad de hectáreas agrícolas perdidas y afectadas anuales en promedio. Aproximadamente del 20%, 20%, 50% y 15% posee una tasa de destrucción de 0,8 a 1,0 en proporción de ha perdida / ha inundada para las regiones de la costa, selva alta, selva baja y sierra respectivamente. Las tendencias de las inundaciones que afectan 1 o más hectáreas agrícolas son crecientes para las regiones de costa y la selva baja y ligeramente decrecientes para las regiones de selva alta y sierra.

El 50% de las pérdidas de hectáreas agrícolas por inundaciones de las regiones de la costa, selva alta, selva baja y sierra, son menores o iguales a 20, 31, 220,5 y 19 hectáreas respectivamente. Para el periodo 2003 - 2017, las máximas pérdidas de hectáreas agrícolas por inundaciones de las regiones de la costa, selva alta, selva baja y sierra son 2500, 1593, 5004 y 5356 hectáreas respectivamente y las máximas hectáreas agrícolas inundadas de las regiones de la costa, selva alta, selva baja y sierra son 2500, 3661, 6049 y 19721 hectáreas respectivamente.

La bondad de ajuste R2 para los modelos van desde 0,94 hasta 0,995, lo que indica la confiabilidad para la predicción de hectáreas perdidas por inundaciones en función de las áreas inundadas

para hectáreas agrícolas pérdidas superiores al P0, P33 y P66 en las regiones de costa, selva alta, selva baja y sierra del Perú.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfieri, L., Bisselink, B., Dottori, F., et al. (2017). Global projections of river flood risk in a warmer world. *Earth's Future*, 5(2), 171–182.
- Barco, D., & Vargas, P. (2009). El cambio climático y sus efectos en el Perú. *Moneda*, 143, 25–29.
- Barrientos-Felipa, P. (2018). La agricultura peruana y su capacidad de competir en el mercado internacional. *Equidad y Desarrollo*, 32, 143–179.
- Bhakta, B., Sawano, H., Ohara, M., et al. (2019). Methodology for Agricultural Flood Damage Assessment. Recent Advances in Flood Risk Management.
- Brémond, P., & Grelot, F. (2013). Review Article: Economic evaluation of flood damage to agriculture - Review and analysis of existing methods. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(10), 2493–2512.
- Bui, D. T., Panahi, M., Shahabi, H., et al. (2018). Novel Hybrid Evolutionary Algorithms for Spatial Prediction of Floods. *Scientific Reports*, 8(1), 1–14.
- CENEPRED. (2015). Manual Para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales (2a ed.). Disponible en: http://www.sigpad.gov.co/sigpad/paginas_detalle.aspx?idp=112
- Chiarelli, D. D., Davis, K. F., Rulli, M. C., et al. (2016). Climate change and large-scale land acquisitions in Africa: Quantifying the future impact on acquired water resources. *Advances in Water Resources*, 94, 231–237.
- Davis, K. F., Rulli, M. C., Garrassino, F., et al. (2017). Water limits to closing yield gaps. *Advances in Water Resources*, 99, 67–75.
- Dottori, F., Szwedczyk, W., Ciscar, J. C., et al. (2018). Increased human and economic losses from river flooding with anthropogenic warming. *Nature Climate Change*, 8(9), 781–786.
- Douglas, I. (2005). Ecosystems and human well-being. *Encyclopedia of the Anthropocene*, 4, 185–197.
- Erdlenbruch, K., Thoyer, S., Grelot, F., et al. (2009). Risk-sharing policies in the context of the French Flood Prevention Action Programmes. *Journal of Environmental Management*, 91(2), 363–369.
- FAO. (2016). Damages and Losses from climate-related disasters in agricultural sectors. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i6486e.pdf>
- Förster, S., Kuhlmann, B., Lindenschmidt, E., et al. (2008). Assessing flood risk for a rural detention area. *Hazards Earth Syst. Sci*, 8(2), 311–322.
- Gerl, T., Kreibich, H., Franco, G., et al. (2016). A Review of Flood Loss Models as Basis for Harmonization and Benchmarking. En 4th International Symposium on Flood Defense: Managing Flood Risk, Reliability and Vulnerability (ISFD4), Los Angeles, 1 set, 2015.
- Giang, P. Q., & Phuong, T. T. (2018). Evaluation of loss of rice production due to climate change reinforced flood in vietnam using hydrological model and GIS. *Environment Asia*, 11(3), 62–78.
- Glas, H. Jonckheere, M.; Mandal, A., et al. (2017). A GIS-based tool for flood damage assessment and delineation of a methodology for future risk assessment: case study for Annotto Bay, Jamaica. *Natural Hazards*, 88(3), 1867–1891.
- INDECI. (2017). Emergencias por desastres para el periodo 2003 - 2017, Perú. Matriz de base de datos. Disponible en: https://www.indeci.gob.pe/compend_estad/2018/index.html
- IPCC. (2014). Climate Change. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. 3–22.
- Kwak, Y., Shrestha, B. B., Yorozuya, A., et al. (2015). Rapid Damage Assessment of Rice Crop after Large-Scale Flood in the Cambodian Floodplain Using Temporal Spatial Data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8(7), 3700–3709.
- Lesk, C., Rowhani, P., & Ramankutty, N. (2016). Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature*, 529, 84–87.
- Merz, B., Kreibich, H., Schwarze, R., et al. (2010). Natural Hazards and Earth System Sciences "Assessment of economic flood damage". *Hazards Earth Syst. Sci*, 10, 1697–1724.
- MINAGRI. (2012). Plan de Gestión de Riesgos y Adaptación al cambio climático en el sector agrario para el periodo 2012 - 2021 - PLANGRACC - A.
- MINAGRI. (2016). Política Nacional Agraria. Disponible en: <http://minagri.gob.pe/portal/download/pdf/p-agraria/politica-nacional-agraria.pdf>
- MINAGRI. (2019). PLAN NACIONAL DE CULTIVOS: Campaña Agrícola 2019-2020. Disponible en: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/471867/Plan_Nacional_de_Cultivos_2019_2020b.pdf
- Misra, A. K. (2014). Climate change and challenges of water and food security. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 3(1), 153–165.
- Nga, P. H., Takara, K., & Cam Van, N. (2018). Integrated approach to analyze the total flood risk for agriculture: The significance of intangible damages - A case study in Central Vietnam. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 31, 862–872.
- Pacetti, T., Caporali, E., y Rulli, M. C. (2017). Floods and food security: A method to estimate the effect of inundation on crops availability. *Advances in Water Resources*, 110, 494–504.
- Pinos, J., Orellana, D., & Timbe, L. (2020). Assessment of microscale economic flood losses in urban and agricultural areas: case study of the Santa Bárbara River, Ecuador. *Natural Hazards*, 103(2), 2323–2337.
- Psomiadis, E., Soulis, K. X., Zoka, M., et al. (2019). Synergistic approach of remote sensing and gis techniques for flash-flood monitoring and damage assessment in Thessaly plain area, Greece. *Water (Switzerland)*, 11(3), 1–21.
- Rosso, R., & Rulli, M. C. (2002). An integrated simulation method for flash-flood risk assessment: 2. Effects of changes in land-use under a historical perspective. *Hydrology and Earth System Sciences*, 6(2), 285–294.
- Rulli, M. C., Bellomi, D., Cazzoli, A., et al. (2016). The water-land-food nexus of first-generation biofuels. *Scientific Reports*, 6(1), 1–10.
- Shokoohi, A., Ganji, Z., Samani, J. M. V., et al. (2018). Analysis of spatial and temporal risk of agricultural loss due to flooding in paddy farms. *Paddy and Water Environment*, 16, 737–748.
- Shrestha, B. B., Sawano, H., Ohara, M., et al. (2016). Improvement in Flood Disaster Damage Assessment Using Highly Accurate IFSAR DEM. *Journal of Disaster Research*, 11(6), 1137–1149.
- Tanoue, M., Hirabayashi, Y., & Ikeuchi, H. (2016). Global-scale river flood vulnerability in the last 50 years OPEN. *Nature Publishing Group*, 6, 1–9.
- Tupac-Yupanqui, R., Lavado-Casimiro, W., & Felipe-Obando, O. (2017). Regionalización de las precipitaciones máximas. Disponible en: https://www.m-culture.go.th/mculture_th/download/king9/Glossary_about_HM_King_Bhumibol_Adulyadej's_Funeral.pdf
- Vanham, D. 2016. Does the water footprint concept provide relevant information to address the water-food-energy-ecosystem nexus? *Ecosystem Services*, 17, 298–307.

- Vozinaki, A. E. K., Karatzas, G. P., Sibetheros, I. A., et al. (2015). An agricultural flash flood loss estimation methodology: the case study of the Koiliaris basin (Greece), February 2003 flood. *Natural Hazards*, 79(2), 899–920.
- Wang, Y., Liu, G., Guo, E., et al. (2018). Quantitative agricultural flood risk assessment using vulnerability surface and copula functions. *Water (Switzerland)*, 10(9), 1–16.
- Win, S., Zin, W. W., & Kawasaki, A. (2020). Development of Flood Damage Estimation Model for Agriculture – Case Study in the Bago Floodplain, Myanmar. *Journal of Disaster Research*, 15(3), 242–255.
- Win, S., Zin, W. W., Kawasaki, A., & San, Z. M. L. T. (2018). Establishment of flood damage function models: A case study in the Bago River Basin, Myanmar. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 28, 688–700.
- Young, K. R., & León, B. (2009). Natural Hazards in Peru. Causation and Vulnerability. *Developments in Earth Surface Processes*, 13, 165–180.
- Zhai, G., Fukuzono, T., & Ikeda, S. (2006). An empirical model of fatalities and injuries due to floods in Japan. *Journal of the American Water Resources Association*, 42(4), 863–875.
- Zulkafli, Z., Buytaert, W., Manz, B., et al. (2016). Projected increases in the annual flood pulse of the Western Amazon. *Environmental Research Letters*, 11(1), 1–9.