

APTITUD DEL TERRITORIO DE APURÍMAC PARA EL CULTIVO DE PAPA

SUITABILITY OF THE APURÍMAC TERRITORY FOR POTATO CULTIVATION

Nilton B. Rojas-Briceño¹  Carolina Soto Carrión¹ 
Jhonsy O. Silva-López²  Gregorio Saenz Pohl³ 

¹ Universidad Tecnológica de los Andes-Abancay-Perú

² Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas-Chachapoyas-Perú

³ Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo- Huaraz-Perú.

Correspondencia:

Nilton B. Rojas-Briceño
nrojasb@utea.edu.pe

Como citar este artículo: Rojas, N., Soto, C., Silva, J., & Saenz, G. (2023).

Aptitud del territorio de Apurímac para el cultivo de papa. *Hatun Yachay Wasi*, 2(1), 54 - 65. <https://doi.org/10.57107/hyw.v2i1.35>

RESUMEN

La expansión de un cultivo resaltante demanda la evaluación de la aptitud del territorio. Dada la importancia del cultivo de papa en Apurímac, se seleccionaron seis criterios (temperatura media, precipitación anual, elevación, pendiente del terreno, cobertura y uso del suelo, y pH del suelo) para evaluar la aptitud agroecológica del territorio; para lo cual, se establecieron los umbrales de aptitud de los criterios, y se generaron sus respectivos mapas. También, basado en consulta a expertos y el Proceso de Jerarquía Analítica, se sopesó la importancia de los criterios. Luego, se generó el mapa de aptitud del territorio para el cultivo de papa mediante superposición ponderada de los mapas de criterios. La temperatura fue el criterio más importante para el cultivo de papa, mientras que, la pendiente del terreno fue el menos importante. En Apurímac, el 2,4 % (505.18 km²) del territorio presentó aptitud 'Altamente adecuada' para el cultivo de papa. A nivel de provincias, Chincheros (303.40 km²), Andahuaylas (81.75 km²) y Aymares (72.80 km²) presentan las mayores superficies con aptitud 'Altamente adecuada'. El estudio brindará apoyo para la toma de decisiones en torno a la expansión agrícola de papa y el ordenamiento territorial en Apurímac.

Palabras clave: agro-zonificación, AHP, aptitud climática, zonificación agrícola

ABSTRACT

The expansion of an outstanding crop demands the evaluation of the aptitude of the territory. Given the importance of potato cultivation in Apurímac, six criteria (mean temperature, annual rainfall, elevation, land slope, land cover and use, and soil pH) were selected to assess the agroecological aptitude of the territory; for which, the aptitude thresholds of the criteria were established, and their respective maps were generated. Also, based on expert consultation and the Analytical Hierarchy Process, the importance of the criteria was weighed. Then, the suitability map of the territory for potato cultivation was generated by



weighted superimposition of the criteria maps. The temperature was the most important criterion for potato cultivation, while the slope of the land was the least important. In Apurímac, 2,4 % (505.18 km²) of the territory presented a 'Highly adequate' aptitude for potato cultivation. At the province level, Chincheros (303.40 km²), Andahuaylas (81.75 km²) and Aymares (72.80 km²) present the largest areas with 'Highly adequate' aptitude. The study will provide support for decision-making regarding potato agricultural expansion and territorial planning in Apurímac.

Keywords: agro-zoning, AHP, climatic suitability, agricultural zoning

INTRODUCCIÓN

El cultivo de papa tiene una gran importancia económica, cultural y alimentaria en Perú (Ortiz & Mares, 2017). La papa representa el 14 % del PIB agrícola del país, con más de 711 000 agricultores que lo cultivan (Vargas et al., 2021). Además, de las 5000 variedades de papa que se cultivan en el mundo, más de 4000 se encuentran en Perú (MINAM, 2019a). En la zona andina peruana (3800 – 4100 msnm), la papa ocupa alrededor del 80 % de la superficie agrícola, destacándose por su rica biodiversidad en un marco de agricultura familiar a pequeña escala y una cultura tradicional (CIP, 2014). En 2021, la papa fue el segundo cultivo transitorio más sembrado del país (después del arroz), destacó la región Puno con 62191 ha, y Apurímac ocupó el noveno lugar con 23884 ha (MIDAGRI, 2021).

Actualmente, la ampliación y modernización de la superficie de un cultivo resaltante, bajo nuevas estrategias productivas y criterios de competitividad/sostenibilidad, demandan la evaluación de la aptitud del territorio (Rojas et al., 2022). La identificación de zonas aptas para la agricultura requiere la consideración de condiciones climáticas, topográficas, edáficas (Kamkar et al., 2014) y otras. Para ello, a gran escala como una región o país, son útiles los datos de Teledetección (RS) y los generados con Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS), Análisis de decisión multicriterio (MCDA) en Sistemas de Información Geográfica (GIS) (Aldababseh et al., 2018).

Revisiones bibliográficas (Akpoti et al., 2019; Mugiyo et al., 2021; Singha & Swain, 2016) demuestran que RS, GNSS, GIS y MCDA se ha aplicado ampliamente modelar la aptitud del territorio para diferentes cultivos.

De las técnicas MCDA, destaca el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) (Saaty, 1990) porque busca la importancia relativa de cada criterio utilizado en el análisis de aptitud. Una reciente revisión bibliográfica (Kumar & Pant, 2023) encontró 72 estudios en Scopus y Web of Science sobre AHP y agricultura sostenible. En Perú, el uso del AHP se ha reportado en estudios previos para cultivos específicos en el Valle de Mala (Región Lima) (Madrigal & Puga, 2018), en la Región de Amazonas (Iliquín et al., 2020; Salas et al., 2020), y para todo el Perú (Rojas et al., 2022). Sin embargo, no se han reportado estudios agrícolas en Apurímac.

Dada la importancia de la agricultura de papa en la región (Valdivia et al., 2015), este estudio tuvo por objetivo determinar la aptitud agroecológica del territorio de Apurímac para el cultivo de papa. Para lo cual, primero, se identificaron los criterios y sus umbrales de aptitud para el cultivo de papa, segundo, se generaron los mapas de los criterios, y tercero, se generó el mapa de territorio potencial para el cultivo de papa al superponer los mapas de criterios.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

La región de Apurímac se encuentra en el sur-central del Perú, tiene una geografía variada, que incluye montañas, valles, ríos y llanuras. Presenta una gradiente altitudinal de 974–5362 m s.n.m., lo que la hace una de las regiones más altas del país.

En términos de economía, la región de Apurímac se basa principalmente en la agricultura (papa, maíz, trigo, cebada y quinua) y la ganadería (vacuno, ovino y porcino), los servicios y una creciente actividad minera (GR-Apurímac, 2016).

Identificación de criterios

La identificación de áreas idóneas para el desarrollo del cultivo de papa se basa en criterios favorables para el crecimiento y su producción del cultivo. Basada en la revisión de manuales técnicos (Avilés & Piedra, 2017; Inostroza et al., 2007; Zha et al., 2003) y artículos de aptitud del territorio para el cultivo de papa (Grisales, 2020; Iliquín et al., 2020; Kamau et al., 2015; Olivares & Hernández, 2019; Singha et al., 2020), se identificaron seis criterios: temperatura media, precipitación anual, elevación, pendiente del terreno, cobertura y uso del suelo, y pH del suelo. También se consideró la disponibilidad de datos espaciales de los criterios.

Mapeo de los criterios y restricciones

Las capas espaciales de precipitación y temperatura se obtuvieron de WorldClim 2.1 (Fick & Hijmans, 2017). El pH del suelo, promedio para la profundidad de 0–15 cm, se obtuvo de SoilGrids 2.0 (Hengl et al., 2017). Las variables orográficas se generaron a partir de un Modelo de Elevación Digital, descargado de Google Earth Engine (Gorelick et al., 2017) del dataset = ee.Image('USGS/SRTMGL1_003').

El mapa de cobertura y uso del suelo se obtuvo del Copernicus Global Land Service—Land Cover (CGLS—LC100)—Colección 3—2019 (Buchhorn et al., 2020).

Este mapa tiene limitaciones para identificar áreas intervenidas. Por tanto, sobre este mapa se unieron la zona urbana y agrícola del Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú (MINAM, 2019). Además, el área urbana fue actualizada con los límites urbanos globales de GAIA (*Global artificial impervious area*) (Li et al., 2020).

También se generó un mapa de restricción, el cual consistió en la unión de cuerpos de agua, glaciar, humedades/bofedales (MINAM & MINAGRI, 2012), área urbana (Li et al., 2020; MINAM, 2019), las tres categorías de red vial (nacional—eje, departamental y vecinal) (MTC, 2023) y las áreas naturales protegidas y sus zonas de amortiguamiento (SERNANP, 2023).

Umbrales de aptitud de los criterios

El enfoque de clasificación de los umbrales de aptitud del territorio comúnmente utilizado es el “Marco para la evaluación de la tierra” propuesto por la FAO (1976), que divide el territorio en Altamente adecuado (S1), Moderadamente adecuado (S2), Marginalmente adecuado (S3), Actualmente inadecuado (N1) y Permanentemente inadecuado (N2).

En este estudio, como en otros estudios (Iliquín et al., 2020; Madrigal & Puga, 2018; Rojas et al., 2022; Salas et al., 2020), los dos últimos niveles (N1 y N2) se combinaron. La Tabla 1 muestra la reclasificación de los criterios, basada en referencias de expertos.

TABLA 1*Umbral de aptitud criterios para el cultivo de papa*

Criterio	Altamente adecuada	Moderadamente adecuada	Marginalmente adecuada	No adecuada	Ref.
Temperatura media (°C)	14–20	20–25, 8–14	25–28, 5–8	<5, >28	(INIA, 2020; Molla et al., 2020)
Precipitación anual (mm)	400–800	800–1000	1000–1200	<400, >1200	(Avilés & Piedra, 2017 ; Iliquín et al., 2020; Mandal et al., 2020)
Elevación (m s.n.m.)	2300–2600	2000–2300, 2600–3500	1500–2000, 3500–4500	<1500, >4500	(Araujo et al., 2021 ; Avilés & Piedra, 2017; Jayasinghe & Withanage, 2020)
Pendiente del terreno (%)	0–12	12–18	18–25	>25	(Tashayo et al., 2020)
Cobertura y uso del suelo	Zona agrícola	Arbustos, Vegetación herbácea	Vegetación desnuda/escasa	Zona urbana, Cuerpos de agua, Humedal herbáceo, Bosques	(Jayasinghe & Withanage, 2020; Mandal et al., 2020)
pH del suelo	6–7	5–6, 7–7.5	4.5–5, 7.5–8	<4.5, >8	(INIA, 2020; Jayasinghe & Withanage, 2020)

Determinación de pesos de importancia de los criterios

Se construyó una Matriz de Comparación por Pares (MCP), que comparó un criterio respecto a los demás (de par en par) para establecer un grado de importancia entre sí (Mighty, 2015). La comparación se basó en la escala de nueve niveles de (Saaty, 1977) (Tabla 2), y cada miembro de un grupo de expertos asignó un juicio de valor, de menos a más importante, según su experiencia.

TABLA 2*Escala establecida para la asignación de los juicios de valor entre criterios AHP*

1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Extrema		Fuerte			Moderada			Igual	Moderada			Fuerte			Extrema	
Menos importante								Más importante								

El procesamiento matricial de las MCP se realizó según Calle et al. (2020), y se obtuvieron los pesos de importancia. Dado que las preferencias subjetivas de los expertos pueden generar inconsistencias en los pesos, se calculó la Relación de Consistencia (CR) de cada MCP para compararlo con una inconsistencia aceptable ($CR < 0.1$) (Saaty, 1990).

Generación del modelo de aptitud

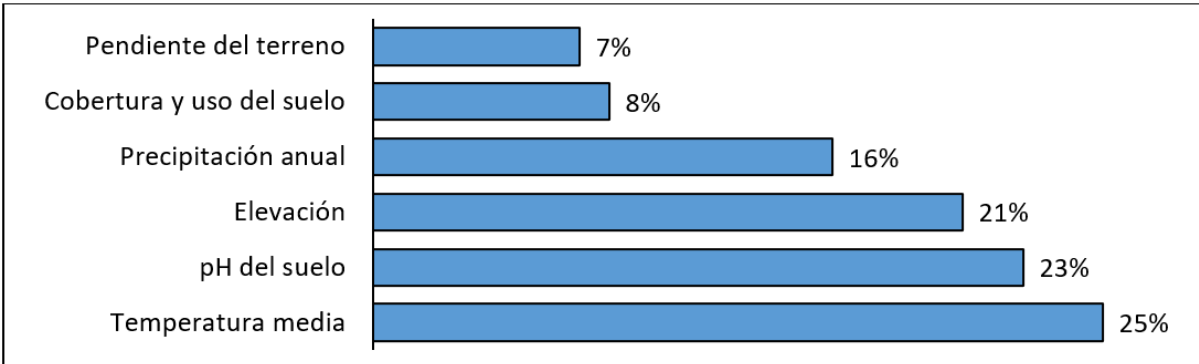
Se integraron los mapas temáticos reclasificados (en base a la Tabla 1), mediante la superposición ponderada (Calle et al., 2020). La aptitud resultante dependió de la puntuación del píxel del mapa reclasificado y el peso de importancia del criterio.

RESULTADOS

Pesos de importancia de criterios seguida del pH del suelo y la elevación; mientras que, Para los expertos consultados, la temperatura es la variable más importante para el cultivo de papas, la pendiente del terreno es la menos importante junto a la cobertura y uso del suelo (Fig.1).

FIGURA 1

Importancia relativa (%) de los criterios



Mapa de aptitud de criterios

La Figura 2 muestra los mapas reclasificados, según umbrales de aptitud (Tabla 1), de los criterios. Además, en la Tabla 3 se indican las áreas para cada umbral de aptitud de los criterios. Los subcriterios que poseen mayor área 'Altamente adecuada' son pH del suelo (17356.54 km², 82,2 %), pendiente

del terreno (5409.26 km², 25.6%) y cobertura y uso del suelo (4060.98 km², 19,2 %). Mientras que, los de mayor área 'No adecuada' son la pendiente del terreno (7836.96 km², 37,1 %), temperatura media (5374.13 km², 25,5 %) y elevación (3587.57 km², 17,0 %).

FIGURA 2

Mapas de aptitud del territorio de Apurímac, según criterios

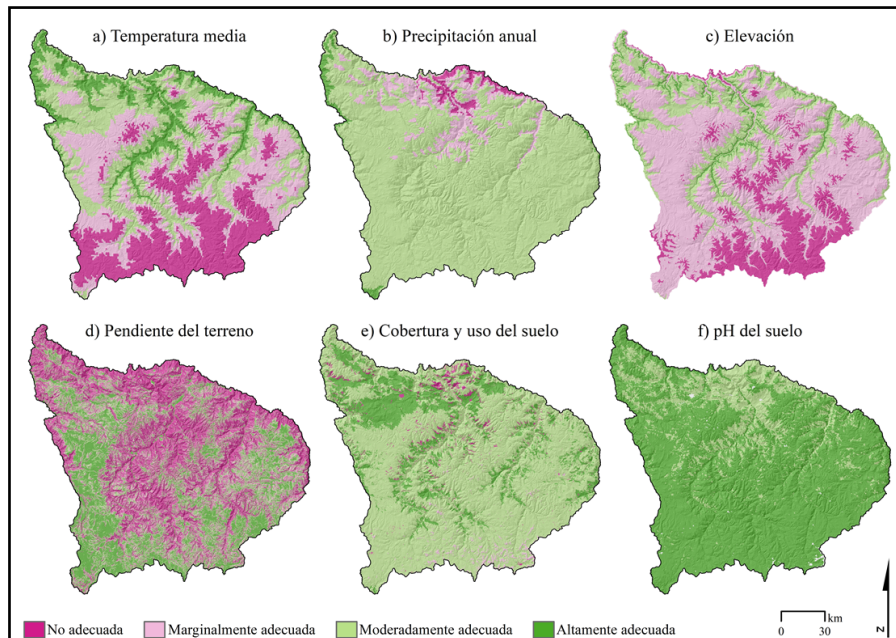


TABLA 3

Área de aptitud de criterios para el cultivo de papa en Apurímac

Criterio	Altamente adecuada		Moderadamente adecuada		Marginalmente adecuada		No adecuada	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Temperatura media	2526.18	12,0	6622.59	31,4	6591.24	31,2	5374.13	25,5
Precipitación anual	369.75	1,8	18161.52	86,0	2099.07	9,9	483.81	2,3
Elevación	638.90	3,0	4566.10	21,6	12321.57	58,4	3587.57	17,0
Pendiente del terreno	5409.26	25,6	3710.87	17,6	4157.05	19,7	7836.96	37,1
Cobertura y uso del suelo	4060.98	19,2	16116.85	76,3	356.04	1,7	580.28	2,7
pH del suelo	17356.54	82,2	3678.31	17,4	0.12	0,0	79.19	0,4

Mapa de aptitud del territorio

Con la superposición ponderada de criterios se generó el mapa de aptitud del territorio para el cultivo de papa en Apurímac (Fig. 3). En Apurímac, el 2,4 % (505.18 km²), 73,5 % (15515.37 km²),

17,2 % (3641.55 km²) y 6,9 % (1452.05 km²) del territorio presentó aptitud ‘Altamente adecuada’, ‘Moderadamente adecuada’, ‘Marginalmente adecuada’ y ‘No adecuada’, respectivamente, para el cultivo de papa (Tabla 4).

FIGURA 3

Mapa de aptitud del territorio para el cultivo de papa en Apurímac, según provincias

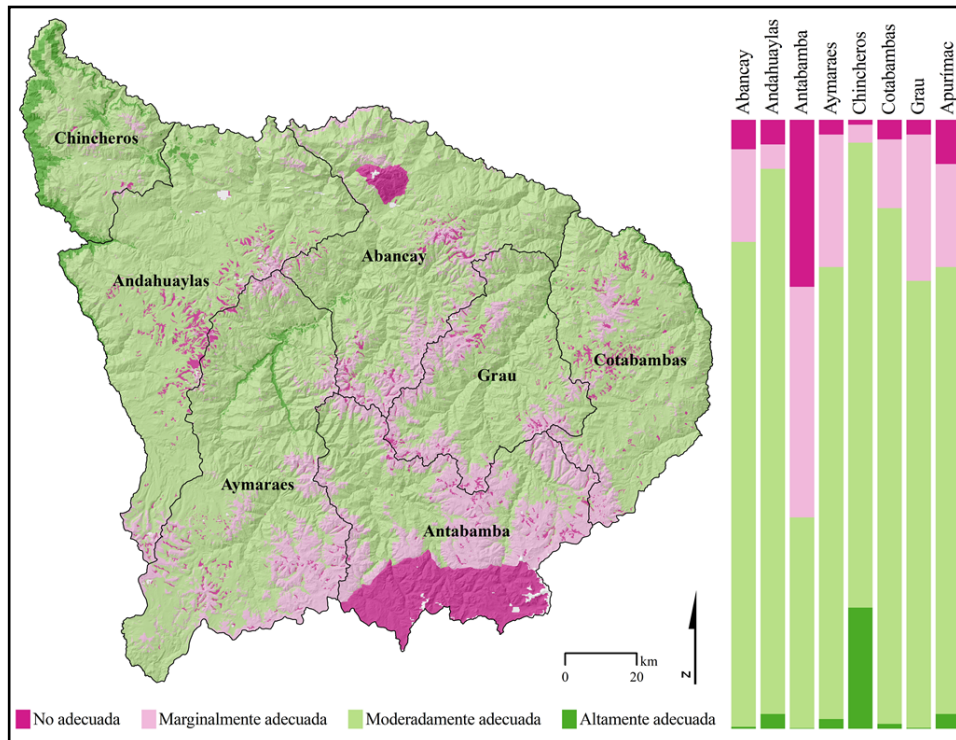


TABLA 4*Aptitud del territorio para el cultivo de papa en Apurímac, según provincias*

Provincias	Altamente adecuada		Moderadamente adecuada		Marginalmente adecuada		No adecuada	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Abancay	10.59	0,3	2759.73	79,8	520.33	15,0	167.62	4,8
Andahuaylas	81.75	2,0	3627.39	89,9	165.14	4,1	161.25	4,0
Antabamba	0.41	0,01	1130.30	35,0	1216.11	37,6	883.99	27,4
Aymaraes	72.80	1,8	3074.36	74,5	893.86	21,7	87.61	2,1
Chincheros	303.40	20,1	1149.41	76,2	47.02	3,1	8.05	0,5
Cotabambas	31.39	1,2	2211.39	84,3	290.19	11,1	90.10	3,4
Grau	4.83	0,2	1562.80	73,4	508.90	23,9	53.43	2,5
Apurímac	505.18	2,4	15515.37	73,5	3641.55	17,2	1452.05	6,9

A nivel de provincias, Chincheros (303.40 km²), Andahuaylas (81.75 km²) y Aymares (72.80 km²) presentan las mayores superficies con aptitud 'Altamente adecuada' para el cultivo de papa, mientras que Abancay (10.59 km²), Grau (4.83 km²) y Antabamba (0.41 km²) presentan las menores áreas.

DISCUSIÓN

El análisis de aptitud de la tierra para cultivos agrícolas ha cobrado gran importancia mediante técnicas de evaluación multicriterio. Estudios en cultivo de papa (Jayasinghe & Withanage, 2020; Singha et al., 2020) han empleado técnicas de aptitud como AHP y SIG. Asimismo, He et al. (2017) aplicó una metodología orientada al proceso para realizar una evaluación precisa, temporal y espacialmente la aptitud del cultivo de papa. En ambas metodologías se empleó criterios y el uso de los SIG para determinar la aptitud del territorio para el cultivo de papa. Este estudio busco emplear principales variables de los factores climáticos, edafológicos y topográficos.

En este contexto, se incluyeron seis subcriterios pendientes, cobertura y uso del suelo, precipitación anual, elevación, pH y temperatura. A diferencia

de Tashayo et al. (2020), ya que incluyeron otros criterios edafológicos (textura, conductividad eléctrica, otros). El porcentaje de pendiente oscila entre 0-100 %, este criterio (7 %) fue el de menor importancia, lo que indica que la pendiente no tiene un efecto significativo sobre las propiedades físicas del suelo como lo indica Gitari et al. (2019). Con respecto a la cobertura y uso de suelo (8 %), las clases de zona urbana, cuerpos de agua, humedal herbáceo y bosques se categorizaron como zonas "No adecuadas" al igual que los estudios de Mandal et al. (2020) y (Jayasinghe & Withanage, 2020). El uso de bosques, tienen una gran importancia, pero es amenazada por la expansión agrícola (Acheampong et al., 2019).

En cuanto a los criterios climáticos de temperatura (26 %) y precipitación (16 %), la temperatura tiene mayor importancia en este estudio; esto se debe a que está asociada a la presencia de enfermedades (Bourke, 1993) y riesgos climáticos como heladas (van Dijk et al., 2022). El cultivo de papa requiere entre 400-1200 mm durante todo el año (Mandal et al., 2020) y es de gran importancia en los diferentes periodos de crecimiento (Jiang & Yang, 2022).

La precipitación está asociada al desarrollo de

hongos (Hjelkrem et al., 2021) y, al igual que el estudio de Iliquín et al. (2020), esta varia es imprescindible para determinar la aptitud.

Con respecto a la elevación (21 %), este criterio es el tercero en importancia en este estudio. Este criterio, también fue considerado en los estudios de Araujo et al. (2021), (Jayasinghe & Withanage, (2020) y Avilés & Piedra, (2017), porque es de gran importancia y está asociado a las variables climatológicas. En este contexto, Fadl & Abuzaid, (2017) emplearon un DEM de alta resolución, que detalla el relieve de la tierra.

El pH (25 %) dentro del modelo de aptitud generado y, al igual que en Iliquín et al. (2020), destaca su importancia para el cultivo de papa y otros cultivos en general (Mandal et al., 2020). Esto se debe a que el pH del suelo tiene efectos en el rendimiento de los cultivos (Li et al., 2019). En este sentido, un pH bajo puede provocar desequilibrios de nutrientes; una vez que el pH cae por debajo de 4.5, las insuficiencias de nutrientes y se incrementa la toxicidad (Muthoni, 2016).

El AHP para evaluar la aptitud de la tierra para el cultivo de papa en Apurímac, es de gran replicabilidad. Asimismo, esta metodología puede ser empleada para otros cultivos de importancia nutricional y económica. Los seis criterios empleados fueron reclasificados según los umbrales de aptitud siguiendo la metodología de Jayasinghe & Withanage, (2020). Como resultado, “altamente adecuado” representa el 2.4 (505.18 km²) y esta aptitud se ubica el nor-oeste caracterizado por territorios pendiente suave, características edafológicas y climáticas altamente adecuadas. Basado en la presente investigación, el estudio exploró una manera simple pero eficaz para cartografiar la aptitud de las tierras para el cultivo de papa, en especial para la región de Apurímac.

CONCLUSIONES

Se identificaron y jerarquizaron seis criterios importantes (temperatura media, precipitación anual, elevación, pendiente del terreno, cobertura y uso del suelo, y pH del suelo) para el cultivo de papa en Apurímac.

La temperatura fue el criterio más importante para el cultivo de papas, mientras que, la pendiente del terreno fue el menos importante.

En Apurímac, el 2.4 % (505.18 km²) del territorio presentó aptitud ‘Altamente adecuada’ para el cultivo de papa. A nivel de provincias, Chincheros (303.40 km²), Andahuaylas (81.75 km²) y Aymares (72.80 km²) presentan las mayores superficies con aptitud ‘Altamente adecuada’.

El estudio brindará apoyo para la toma de decisiones en torno a la expansión agrícola de papa y el ordenamiento territorial en Apurímac.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acheampong, E., Macgregor, C., Sloan, S., & Sayer, J. (2019). Deforestation is driven by agricultural expansion in Ghana’s forest reserves. *Scientific African*, 5, e00146. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00146>
- Akpoti, K., Kobo-bah, A., & Zwart, S. (2019). Agricultural land suitability analysis: State-of-the-art and outlooks for integration of climate change analysis. *Agricultural Systems*, 173, 172–208. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.02.013>
- Aldababseh, A., Temimi, M., Maghelal, P., Branch, O., & Wulfmeyer, V. (2018). Multi-criteria evaluation of irrigated agriculture suitability to achieve food security in an arid environment. *Sustainability*, 10(3), 1–33. <https://doi.org/10.3390/su10030803>

- Araujo, J., Cartagena, Y., Castillo, C., Cuesta, H., Monteros, J., Paula, N., Racines, M., Rivadeneira, J., Velásquez, J., León, J., Panchi, N., & Andrade, J. (2021). *Manual del cultivo de papa para pequeños productores* (3ra ed.). INIAP.
- Avilés, J., & Piedra, N. (2017). *Manual del cultivo de papa en Costa Rica (Solanum tuberosum L.)*. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria.
- Bourke, A. (1993). *The visitation of God? The potato and the great Irish famine*. Lilliput Press.
- Buchhorn, M., Smets, B., Bertels, L., De Roo, B., Lesiv, M., Tsendbazar, N., Herold, M., & Fritz, S. (2020). *Copernicus Global Land Service: Land Cover 100m: collection 3: epoch 2019: Globe (Versión V3.0.1) [Conjunto de datos]*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3939050>
- Calle, Y., Salas L., Cruz, S., Barboza C., Silva L., Iliuqín T., & Rojas B. (2020). Land Suitability for Sustainable Aquaculture of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) in Molinopampa (Peru) Based on RS, GIS, and AHP. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(1), 28. <https://doi.org/10.3390/ijgi9010028>
- CIP. (2014). Catálogo de variedades de papa nativa con potencial para la seguridad alimentaria y nutricional de Apurímac y Huancavelica. In *Catálogo de variedades de papa nativa con potencial para la seguridad alimentaria y nutricional de Apurímac y Huancavelica*. International Potato Center. <https://doi.org/10.4160/9789290604549>
- Fadl, M., & Abuzaid, A. (2017). Assessment of Land Suitability and Water Requirements for Different Crops in Dakhla Oasis, Western Desert, Egypt. *International Journal of Plant & Soil Science*, 16(6), 1–16. <https://doi.org/10.9734/IJPSS/2017/33835>
- FAO. (1976). A framework for land evaluation. In *FAO Soils bulletin* (Vol. 32). FAO.
- Fick, S., & Hijmans, R. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302–4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Gitari, H., Gachene, C., Karanja, N., Kamau, S., Nyawade, S., & Schulte, E. (2019). Potato-legume intercropping on a sloping terrain and its effects on soil physico-chemical properties. *Plant and Soil*, 438(1–2), 447–460. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04036-7>
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202(2016), 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- GR-Apurímac. (2016). *Plan de Desarrollo Regional Concertado Apurímac 2017-2021*. Gobierno Regional de Apurímac.
- Grisales, O. (2020). *Suitable Land for Potato Cultivation in the Västra Nyland Region A GIS Method Template for Field Selection*. Degree Programme in Sustainable Coastal Management Ekenäs.
- He, Y., Zhou, Y., Cai, W., Wang, Z., Duan, D., Luo, S., & Chen, J. (2017). Using a process-oriented methodology to precisely evaluate temperature suitability for potato growth in China using GIS. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(7), 1520–1529. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61627-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61627-1)

- Hengl, T., De Jesus, J., Heuvelink, G., González, M., Kilibarda, M., Blagotić, A., Shangguan, W., Wright, M., Geng, X., Bauer, B., Guevara, M., Vargas, R., MacMillan, R., Batjes, N., Leenaars, J., Ribeiro, E., Wheeler, I., Mantel, S., & Kempen, B. (2017). SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. *PLoS ONE*, *12*(2), 1–40. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169748>
- Hjelkrem, A., Eikemo, H., Le, V., Hermansen, A., & Nærstad, R. (2021). A process-based model to forecast risk of potato late blight in Norway (The Nærstad model): model development, sensitivity analysis and Bayesian calibration. *Ecological Modelling*, *450*, 109565. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2021.109565>
- Iliquín, D., Salas L., Rojas B., Silva L., Gómez F., Oliva, M., Quiñones, H., Terrones, M., Barboza, C., & Barrena, G. (2020). Land Suitability Analysis for Potato Crop in the Jucusbamba and Tincas Microwatersheds (Amazonas, NW Peru): AHP and RS–GIS Approach. *Agronomy*, *10*(12), 1898. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121898>
- INIA. (2020). *Manual técnico: Manejo integrado del cultivo de papa*. Instituto Nacional de Innovación Agraria. www.inia.gob.pe
- Inostroza, F., Méndez, L., Espinoza, N., Acuña, B., Navarro, G., Cristernas, A., & Larrain, S. (2007). *Manual del cultivo de la papa en Chile*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).
- Jayasinghe, A., & Withanage, W. (2020). A geographical information system-based multi-criteria decision analysis of potato cultivation land suitability in welimada divisional secretariat, Sri Lanka. *Potato Journal*, *47*(2), 126–134. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=IN2022016802>
- Jiang, X., & Yang, L. (2022). Study on the Variation of Climate Suitability of Potato in Different Growth Periods-Taking Wuchuan County, Hohhot City as an Example. *International Journal of Natural Resource Ecology and Management*, *7*(2), 86–92. <https://doi.org/10.11648/j.ijnrem.20220702.13>
- Kamau, S., Kuria, D., & Gachari, M. (2015). Crop-land Suitability Analysis Using GIS and Remote Sensing in Nyandarua County, Kenya. *Journal of Environment and Earth Science*, *5*(6), 121–132. <http://repository.dkut.ac.ke:8080/xmlui/handle/123456789/370>
- Kamkar, B., Dorri, M., & Da Silva, J. (2014). Assessment of land suitability and the possibility and performance of a canola (Brassica napus L.) - Soybean (Glycine max L.) rotation in four basins of Golestan province, Iran. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, *17*(1), 95–104. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2013.12.001>
- Kumar, A., & Pant, S. (2023). Analytical hierarchy process for sustainable agriculture: An overview. *MethodsX*, *10*, 101954. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2022.101954>
- Li, X., Gong, P., Zhou, Y., Wang, J., Bai, Y., Chen, B., Hu, T., Xiao, Y., Xu, B., Yang, J., Liu, X., Cai, W., Huang, H., Wu, T., Wang, X., Lin, P., Li, X., Chen, J., He, C., ... Zhu, Z. (2020). Mapping global urban boundaries from the global artificial impervious area (GAIA) data. *Environmental Research Letters*, *15*(9), 094044. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab9be3>
- Li, Y., Cui, S., Chang, S., & Zhang, Q. (2019). Liming effects on soil pH and crop yield depend on lime material type, application method and rate, and crop species: a global meta-analysis. *Journal of Soils and Sediments*, *19*(3), 1393–

1406. <https://doi.org/10.1007/s11368-018-2120-2>
- Madrigal, S., & Puga, R. (2018). Aptitud de la tierra y análisis de sensibilidad en la planificación del cultivo del manzano en el valle Mala, Perú. *Bioagro*, 30(2), 11–12. *Gale Academic OneFile*, link.gale.com/apps/doc/A541892764/E?u=anon~9c7422fc&sid=googleScholar&xid=a809f032.
- Mandal, V., Rehman, S., Ahmed, R., Masroor, M., Kumar, P., & Sajjad, H. (2020). Land suitability assessment for optimal cropping sequences in Katihar district of Bihar, India using GIS and AHP. *Spatial Information Research*, 28(5), 589–599. <https://doi.org/10.1007/s41324-020-00315-z>
- MIDAGRI. (2021). *Boletines Anuales: Producción Agrícola*. <https://siea.midagri.gob.pe/portal/publicacion/boletines-anuales/4-agricola>
- Mighty, M. (2015). Site suitability and the analytic hierarchy process: How GIS analysis can improve the competitive advantage of the Jamaican coffee industry. *Applied Geography*, 58, 84–93. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.01.010>
- MINAM. (2019a). *Línea de base de la diversidad genética de la papa peruana con fines de bioseguridad*. Ministerio del Ambiente.
- MINAM. (2019b). *Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú: Memoria Descriptiva*. Lima, Perú: Dirección General de Ordenamiento Territorial Ambiental.
- MINAM, & MINAGRI. (2012). *Mapa de humedales del Perú*. Grupo Multisectorial del Comité Nacional de Humedales.
- Molla, S., Rukhsana, & Alam, A. (2020). Land Suitability Appraisal for the Growth of Potato Cultivation: A Study of Sagar Island, India. In *Sustainable Development Practices Using Geoinformatics* (pp. 111–125). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119687160.ch7>
- MTC. (2018). *Descarga de datos espaciales*. <https://portal.mtc.gob.pe/estadisticas/descarga.html>
- Mugiyo, H., Chimonyo, V., Sibanda, M., Kunz, R., Masemola, C., Modi, A., & Mabhaudhi, T. (2021). Evaluation of land suitability methods with reference to neglected and underutilised crop species: A scoping review. *Land*, 10(2), 1–24. <https://doi.org/10.3390/land10020125>
- Muthoni, J. (2016). Soil fertility situation in potato producing Kenyan highlands Case of KALRO-Tigoni. *International Journal of Horticulture*. <https://doi.org/10.5376/ijh.2016.06.0025>
- Olivares, B., & Hernández, R. (2019). Sectorización ecoterritorial para la producción agrícola sostenible del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) en Carabobo, Venezuela. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 20(2), 323–338. https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num2_art:1462
- Ortiz, O., & Mares, V. (2017). The Historical, Social, and Economic Importance of the Potato Crop. In *The Potato Genome* (pp. 1–10). https://doi.org/10.1007/978-3-319-66135-3_1
- Rojas, N., García, L., Cotrina, A., Goñas, M., Salas, R., Silva, J., & Oliva, M. (2022). Land Suitability for Cocoa Cultivation in Peru: AHP and MaxEnt Modeling in a GIS Environment. *Agronomy*, 12(12), 2930. <https://doi.org/10.3390/agronomy12122930>

- Saaty, T. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), 234 – 281. [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)
- Saaty, T. (1990). How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 48, 9 – 26. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-1](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-1)
- Salas, R., Gómez F., Silva L., Rojas B., Oliva, M., Terrones, R., Iliquín T., Barboza C., & Barrena G. (2020). Land Suitability for Coffee (*Coffea arabica*) Growing in Amazonas, Peru: Integrated Use of AHP, GIS and RS. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(11), 673. <https://doi.org/10.3390/ijgi9110673>
- SERNANP. (2023). *GEO ANP - Visor de las Áreas Naturales Protegidas*. <http://geo.sernanp.gob.pe>
- Singha, C., & Swain, K. (2016). Land suitability evaluation criteria for agricultural crop selection: A review. *Agricultural Reviews*, 37(2). <https://doi.org/10.18805/ar.v37i2.10737>
- Singha, C., Swain, K., & Swain, S. (2020). Best crop rotation selection with gis-ahp technique using soil nutrient variability. *Agriculture (Switzerland)*, 10(6), 1 – 18. <https://doi.org/10.3390/agriculture10060213>
- Tashayo, B., Honarbakhsh, A., Azma, A., & Akbari, M. (2020). Combined Fuzzy AHP–GIS for Agricultural Land Suitability Modeling for a Watershed in Southern Iran. *Environmental Management*, 66(3), 364 – 376. <https://doi.org/10.1007/s00267-020-01310-8>
- Valdivia, M., Polreich, S., Torre, M., & de Haan, S. (2015). Local Knowledge of Native Potato (*Solanum spp*) for Long-term Monitoring on three Andean Communities of Apurimac, Peru. *Procedia Environmental Sciences*, 29, 64 – 65. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.07.159>
- van Dijk, L., Kacheyo, O., de Vries, M., Lommen, W., & Struik, P. (2022). Crop Cycle Length Determines Optimal Transplanting Date for Seedlings from Hybrid True Potato Seeds. *Potato Research*, 65(2), 435 – 460. <https://doi.org/10.1007/s11540-021-09524-x>
- Vargas, R., Fonseca, C., Hareau, G., Ordinola, M., Pradel, W., Robiglio, V., & Suarez, V. (2021). Health crisis and quarantine measures in Peru: Effects on livelihoods of coffee and potato farmers. *Agricultural Systems*, 187, 103033. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.103033>
- Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24(3), 583 – 594. <https://doi.org/10.1080/01431160304987>