



ID del documento: SSJ-Vol.2.N.1.007.2025

Tipo de artículo: Investigación

Identificación de áreas potenciales productivas para el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) mediante análisis multicriterio uniobjetivo

*Identification of potential productive areas for the cultivation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) by means of single-objective multi-criteria analysis*

Autores:

**Marcelo Tarqui Delgado¹, Medardo Wilfredo Blanco Villacorta²,
Maria Eugenia Cari Mamani³, Carlos López Blanco⁴**

¹Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia, mtarqui5@umsa.bo,
<https://orcid.org/0000-0002-2560-1289>

²Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia, mwblanco1@umsa.bo,
<https://orcid.org/0000-0001-9266-9972>

³Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia, maugeljtc01@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0003-1171-4853>

⁴Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia, lbclopez@umsa.bo,
<https://orcid.org/0000-0002-9015-6919>

Corresponding Author: Marcelo Tarqui Delgado, e1752000958@uisrael.edu.ec

Reception: 04-January-2024 **Acceptance:** 24-January-2025 **Published:** 18-February-2025

How to cite this article:

Tarqui Delgado, M., Blanco Villacorta, M. W., Cari Mamani, M. E., & López Blanco, C. (2025). Identificación de Áreas Potenciales Productivas para el Cultivo de Quinua (*Chenopodium quinoa* wild), mediante Análisis Multicriterio Uni-Objetivo. Sapiens Studies Journal, 2(1), 1-16. <https://doi.org/10.71068/tcj11g25>





Abstract

The Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) considers quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) a strategic crop in the fight against hunger, due to its ability to adapt to adverse environmental conditions. However, its production faces multiple limitations, which makes it necessary to develop strategies and tools that optimize its productivity and reduce agricultural uncertainty. In a global context where the expansion of agricultural land seeks to meet the growing food demand, problems such as soil degradation, conflicts over natural resources, the effects of climate change and deficiencies in territorial planning arise. Therefore, the identification of areas with high productive potential is essential for efficient decision-making. The present study aimed to delimit areas with productive aptitude for the cultivation of quinoa in the municipality of Caquiaviri, using the AHP (Analytical Hierarchy Process) multicriteria evaluation methodology in a Geographic Information Systems (GIS) environment. Through the analysis of key variables, thematic maps were generated that allowed the zoning of the territory according to its productive potential. The results indicated that 9,101.7 ha have high suitability, 81,433.3 ha have medium suitability, 55,307.3 ha have low suitability and 9,964.5 ha are unsuitable. These findings confirm that the combination of AHP and GIS constitutes an effective and low-cost tool for agricultural planning and the sustainable management of strategic crops such as quinoa.

Keywords: Multicriteria Analysis, Potential Productive Areas, Quinoa, Geographic Information Systems, Zoning.

Resumen

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) considera a la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) un cultivo estratégico en la lucha contra el hambre, debido a su capacidad de adaptación a condiciones ambientales adversas. No obstante, su producción enfrenta múltiples limitaciones, lo que hace necesario el desarrollo de estrategias y herramientas que optimicen su productividad y reduzcan la incertidumbre agrícola. En un contexto global donde la expansión de tierras agrícolas busca satisfacer la creciente demanda alimentaria, surgen problemáticas como la degradación del suelo, conflictos por los recursos naturales, efectos del cambio climático y deficiencias en la planificación territorial. Por ello, la identificación de zonas con alto potencial productivo resulta fundamental para una toma de decisiones eficiente. El presente estudio tuvo como objetivo delimitar áreas con aptitud productiva para el cultivo de quinua en el municipio de Caquiaviri, empleando la metodología de evaluación multicriterio AHP (Proceso de Jerarquías Analíticas) en un entorno de Sistemas de Información Geográfica (SIG). A través del análisis de variables clave, se generaron mapas temáticos que permitieron zonificar el territorio según su potencial productivo. Los resultados indicaron que 9.101,7 ha presentan alta aptitud, 81.433,3 ha media, 55.307,3 ha baja y 9.964,5 ha son no aptas. Estos hallazgos confirman que la combinación de AHP y SIG constituye una herramienta eficaz y de bajo costo para la planificación agrícola y el manejo sostenible de cultivos estratégicos como la quinua.

Palabras clave: Análisis Multicriterio, Áreas Potenciales Productivas, Quinua, Sistemas De Información Geográfica, Zonificación.



1. INTRODUCCIÓN

Para determinar el potencial productivo de las zonas potenciales quinueras en Bolivia, los estudios de zonificación o parcelación se encuentran limitados por la baja disponibilidad de información, tanto estadística como cartográfica, en relación al medio físico y las potencialidades de diversas regiones productoras de quinoa; la información temporal y espacial ha sido tradicionalmente limitada y con actualización irregular. Considerando los efectos del cambio climático, que se traducen en condiciones agroclimáticas desfavorables, escasa cobertura vegetal, malas prácticas agrícolas antrópicas, que se manifiesta en el deterioro de fertilidad, ecosistemas frágiles, expansión de la frontera agrícolas, causan impactos ambientales, sumando la carencia de instrumentos y técnicas para la planificación territorial y el desarrollo sostenible. Además de ello la tierra agrícola en muchos países se utiliza en mayor medida para satisfacer las necesidades alimentarias de una población en crecimiento. Las interrelaciones que existen entre la tierra y la población afectan no solo a la producción de alimentos sino también a las disputas por los recursos, la degradación ambiental, la migración y los conflictos políticos (Altieri et al., 2012), convirtiéndolo en un recurso escaso. (Martinez et al., 2019). Estas circunstancias, originan la necesidad de optimización del uso de los recursos naturales disponibles, puesto que el rápido crecimiento de la población y la expansión urbana están ocasionando que cada vez se disponga de menores superficies para la agricultura, por lo que se requiere una mayor intensificación en la producción de cultivos pero con menores daños para el ambiente, lo cual sólo puede ocurrir si la tierra se utiliza de acuerdo con su potencial para la producción de diferentes cultivos (Capillo Colana et al., 2020), ayudando de esta manera a reordenar el uso del suelo en función de las características de los cultivos y prevenir el deterioro actual del suelo y los recursos naturales en general.

La identificación y descripción precisa de las áreas de producción y potenciales es crucial para la investigación y el desarrollo agrícola, ya que tienen un gran impacto en la transferencia de innovaciones en tecnología agrícola (Garzón et al., 2022) y dicha información es necesaria para las decisiones de planificación, desarrollo y secuenciación territorial (Cavuoto, 2009). Los estudios de potencial de producción se han realizado en todo el mundo utilizando diversos métodos que tienen en cuenta diferentes criterios, pero tienen el mismo objetivo de delimitar áreas según el potencial (Venero et al., 2014). Estos estudios han permitido refinar los métodos y niveles de resolución de la cartografía digital, desde el nivel nacional, hasta municipal, y desde el municipal hasta las parcelas de los productores (Marín et al., 2016). La estimación del potencial de la tierra involucra el análisis e interpretación de las variables del medio biofísico (vegetación, topografía, clima, suelo, principalmente) para que se cumpla de manera adecuada con los requerimientos de los cultivos (Alarcón, 2021). Para la determinación del potencial productivo se han integrado métodos de análisis y evaluación



multicriterio, Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Percepción Remota, que constituyen una herramienta importante en las tareas de planificación ambiental y ordenamiento del territorio (Rivera et al., 2010).

Ante esta situación, las técnicas de percepción remota (PR), imágenes satelitales (Lansat, Spot, NOAA, etc.), sistemas de información geográfica (SIG) y los sistemas de posicionamiento global (GPS), son herramientas útiles en la identificación y monitoreo de grandes áreas agrícolas en la estimación de la producción, detección de enfermedades y riesgos ambientales (estrés), mapeo de zonas productivas, direccionamiento del muestreo para diversos fines y observaciones en campo basados en la variabilidad espacial del suelo, clima y parámetros de campo de los cultivos que brindan la posibilidad de vincular espacialmente distintas fuentes de información (Hatfield et al. 2008).

Debido a que la Evaluación Multicriterio, establece un indicador confiable para diagnosticar diferentes sistemas productivos regionales buscando identificar sus factores determinantes y compararlos dentro de un mismo criterio de evaluación que envuelve aspectos de clima, suelo y factores socioeconómicos dando un carácter cuantitativo a las evaluaciones realizadas (Marín et al. 2009, 2008). El objetivo del trabajo es la identificación de áreas potenciales productivas para el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa wild*), mediante la técnica de evaluación multicriterio en un ambiente SIG, para determinar espacialmente el peso de los factores limitantes a la productividad del cultivo.

2. METODOLOGÍA

El municipio de Caquiaviri, presenta una superficie de 1568 km². Pertenece a una ecorregión de Puna Altoandina Semi-Árida y Árida, con alturas comprendida entre los 3.850 a 3.950 msnm y precipitaciones anuales de 553,8 mm, temperatura media anual de 7,7 °C, temperaturas máximas y mínimas de 21 °C y - 7,1 °C, respectivamente.

Figura 1.

Localización geográfica del municipio de Caquiaviri.





Nota: Área de Estudio; Municipio de Caquiaviri, Provincia Pacajes, Departamento de La Paz – Bolivia. **Fuente:** Elaboración propia

Las fases del estudio se realizaron mediante las siguientes etapas; a) Recolección, validación y sistematización de la información, b) Análisis de información y elaboración de cartografía de las variables consideradas y requeridas en el cultivo de quinua, c) Proceso de evaluación multicriterio para la selección de las Áreas potenciales, mediante la normalización de Criterios, d) Ponderación de factores y e) Modelado mediante metodología de análisis multicriterio.

Recolección, validación y sistematización de la información

La información recolectada de parámetros meteorológicos, radiación, precipitación, temperatura, media mínima y máxima, se obtuvo del Servicio Nacional de Meteorología e hidrología (SENAMHI), con datos registrados de un historial de 10 años (2010 – 2022), de estaciones meteorológicas distribuidas en el Municipio de Caquiaviri y estaciones colindantes a municipios estudiado (SENAMHI, 2022), a partir de ello se realizó la interpolación de la información con el software ArcGis, para generar mapas temáticos.

Los datos de suelo se digitalizaron a partir de información de laboratorio de suelo (2022), obtenida del Ministerio de Medio Ambiente y Agua e información de Instituto Nacional de Estadística (INE) y plataforma digital INFO-SPIE que pertenece al Ministerio de Planificación del estado Plurinacional de Bolivia (INFO SPIE, 2023).

La base de datos incluyo las variables de: Parameros físicos, químicas y biológico. El modelo de elevación digital se descargó directamente de la página del ministerio de planificación (INFO SPIE, 2023), del cual se derivó la capa de porcentaje de pendiente del terreno llegándolo a procesar en el software. Los requerimientos edafoclimáticos para el cultivo de quinua se obtuvieron a través de documento extraído de Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras (MDRyT, 2022).

Análisis de información y elaboración de cartografía

Se llevó a cabo la construcción de mapas temáticos tomando en cuenta los requerimientos climáticos y edáficos del cultivo (precipitación, temperatura máxima, mínima y media, radiación, suelos (Clase textural, pH), Vegetación, Zonificación agroecológica, altitud y pendiente, para la zona de estudio (tabla 1); como variables agroecológicas base para el cultivo y posterior delimitación de áreas con aptitud potencial, se utilizó el software ArcMap ESRI ArcGis 10.8, de acuerdo a la metodología de Marin et al. (2009), Galindo et al. (2009), Jiménez et al. (2004).



Tabla 1

Requerimientos agroecológicos y equivalencias de aptitud para cultivo de cultivo de quinua

Características	Equivalencia del valor origen			
	0.75 – 1	0.50 – 0.75	0.25 – 0.50	0 – 0.25
	Aptitud			
	Alta = 4	Mediana = 3	Baja = 2	No Aptos = 1
Suelos – clase textural	-Franco arenosos	-Franco limosos -Arenosos	-Franco arcillosos	-Arcilloso
pH	8.5 a 8	8 a 6.8	6.8 a 6.2	>8.5 <6.2
Precipitación mm	> 350	350 – 250	250 – 200	< 200
Temperatura Media °C	12 – 8	8 – 5	5 – 3	< 3
Temperatura Mínima °C	< -4	-4 – -2	-2 – 0	> 0
Temperatura Máxima °C	25 - 22	22 - 19	- 15	> 15
Altitud m	3500 – 3800	3800 – 3900	3900 – 4000	> 4000
Pendiente (%)	0 – 2	2 – 6	6 – 13	> 13
Radiación (Luz)	Alta			Baja
Cobertura Vegetal	Thola	Tholares de ramoneo	Tholar pajonal	Pajonales
Zonificación Agroecológica (ZAE)	Uso agrícola Uso agropecuario			Uso ganadero Uso forestal Uso agrosilvopastoril Sin uso

Nota: Rangos de variables agroecológicas consideradas para la asignación de equivalencias de aptitud en el cultivo de quinua. **Fuente:** Elaboración propia.

Las variables consideradas para clima fueron: radiación, temperatura y precipitación; en caso de suelo: pH, tipo de suelo, clase textural; para fisiografía: paisaje, altura y pendiente, para vegetación: cobertura vegetal y zonificación agroecológica. Para cada variable, se generaron layers digitales con misma resolución espacial donde se integraron y analizaron mediante sistemas de información geográfica del software ArcGis (Eastman, 2012; ESRI, 2020).

Proceso de evaluación multicriterio para la selección de las Áreas potenciales

Normalización de criterios

Para unificar y estandarizar la información proveniente de varios criterios (variables) en un solo índice de evaluación, se llevaron a cabo una serie de



procedimientos utilizando herramientas de SIG, lo que permitió realizar un análisis espacial integrador de variables cuantitativas y cualitativas, con el fin de armonizar y formar un solo índice de evaluación de tal manera puedan ser combinados todos los criterios y se correlacionen positivamente; (Edwards y Barrón 1994; Stewart y Joubert, 2007; Goodwin y Wright, 2014). Cuya parte esencial consistió en determinar la importancia de cada variable y estandarizar sus valores considerando su significado en términos de aptitud del terreno para el cultivo de la quinua.

Así, se definió el valor relativo de cada criterio asignándole valores entre 0 y 1, desde la menor hasta la mayor importancia. Dado que cada criterio tenía su propia escala y unidades de medida, fue necesario estandarizarlos para incluirlos sin sesgos en el análisis. En este proceso de estandarización, los valores de cada criterio se transformaron en valores de aptitud. Todas las variables o criterios utilizados fueron considerados con una escala discreta; por lo tanto, se empleó una calificación directa para asignar un valor de aptitud a cada clase resultante (Goodwin y Wright, 2014). Este enfoque permitió comparar los diferentes criterios sobre una base común y objetiva. La estandarización fue crucial para garantizar que todos los datos fueran tratados equitativamente durante el análisis final.

Ponderación de los Factores

El procedimiento de ponderación y comparación de dichos factores de aptitud, se llevó a cabo utilizando el método de Proceso Jerárquico Analítico (AHP), desarrollado por Saaty en 1977 (Díaz y Blanco, 2000), como técnica abierta y flexible que permite la adecuada modelización de problemas con alta complejidad utilizado con gran éxito en la solución de problemas de toma de decisiones por su sencillez y robustez en los resultados (De Abreu et al., 2000).

En este contexto, el proceso de ponderación mediante el método AHP, como integración en la EMC, permitió compensar una variable con otra según su importancia relativa. Esto facilitó la creación de nuevos escenarios para un mismo objetivo al revisar y modificar la matriz de comparación por pares. Saaty (2001) destacó que el análisis del método AHP reduce la subjetividad al determinar matemáticamente el grado de importancia o peso de los elementos en un modelo jerárquico. El método se basa en los axiomas del juicio recíproco y la homogeneidad entre los elementos, es decir, aquellos que se comparan deben ser del mismo orden de magnitud y estructura jerárquica (Freitas et al., 2006). Esta fundamentación teórica proporcionó una base sólida para las decisiones tomadas durante el proceso analítico.

La importancia relativa de cada uno de los factores o la aptitud al cultivo de la quinua, permitió manejar una gran cantidad de información espacial del cultivo (información cartográfica, temática y estadística emanada de estudios realizados en el sector con la condicionante de la representatividad espacial) para ser valorada mediante la construcción de una matriz de comparación por

pares de factores (pareada), derivado de los datos obtenidos en la tabulación de la superposición de mapas y el posterior cálculo de esa matriz para asignar un peso o valor distinto a cada uno de los factores (matriz o vector de prioridades, que expresa la importancia relativa de cada criterio, o peso) (Saaty 2001), previa transformación para la utilización de los temas geográficos como variables espaciales, donde cada uno de esos pares posibles (unidades espaciales) fue comparado y calificado, aplicando una escala continua de 17 jerarquías de importancia relativa (figura, 2), para calcular los pesos de los factores y desarrollar una representación espacial, se generó un mapa tipo ráster. Posteriormente, con estos archivos se construyeron el modelo en relación a las áreas potenciales productivas del cultivo de quinua bajo condiciones de temporalidad.

Figura 2.

Escala de 17 jerarquías de importancia relativa para la construcción de la matriz de comparación entre pares de factores o variables decisión).



Nota: Categorización o jerarquía de importancia asignados para las variables.

Fuente: Díaz y Blanco, 2000

Obtenidas las prioridades totales de las alternativas, el Proceso Jerárquico Analítico (AHP) permite evaluar la inconsistencia del decisor a la hora de emitir sus juicios. Cuando la medida de inconsistencia fijada para el procedimiento de priorización supera un determinado umbral de acuerdo a la medida propuesta por Saaty (2001), para evaluar la inconsistencia representado por el índice de consistencia (IC) o el error de una matriz pareada, si es menor al 10% (índice $\leq 0,1$) la inconsistencia o error se considera aceptable (Sipahi y Mehpare, 2010; Berumen y Lamazares 2007, Rozman y Pažek, 2005).

Modelado para el cultivo de quinua mediante metodología de análisis multicriterio

Una vez que se definieron los pesos y se generaron las capas digitales para cada variable, se determinó para cada pixel, la aptitud del terreno para el cultivo de quinua mediante una combinación lineal ponderada (Malczewski, 2006):

$$p = \sum_{i=1}^n w_i * x_i$$



Donde: p = aptitud del terreno para el cultivo; w_i = peso del criterio i ; x_i = valor estandarizado del criterio i para cada pixel.

Los valores obtenidos de las zonas de potencial productivo para el cultivo de quinua se ordenaron en base a las siguientes categorías: Aptitud alta, aptitud media, aptitud baja y no aptos, donde; a) El valor 1 indica áreas no aptas para el cultivo con una sumatoria ponderada entre 0 y 0.25; b) El valor 2 corresponde a áreas de baja aptitud, valores entre 0,25 y 0,50; c) El valor 3 representa áreas de aptitud media, con una sumatoria entre 0.50 y 0.75; d) El valor 4 identifica las áreas más favorables para la producción de quinua en condiciones naturales, con una sumatoria ponderada entre 0.75 y 1, el valor máximo.

Tabla 2

Valoración y reclasificación del índice compuesto

Dato Origen	Equivalencia	Reclasificación	Clasificación de Aptitud
	0	0 – 0.25	1
		0.25 – 0.50	2
		0.50 – 0.75	3
	1	0.75 – 1	4
			No Aptos
			Aptitud Baja
			Aptitud Media
			Aptitud Alta

Nota: Clasificación de aptitud para el cultivo de Quinua según equivalencias.

Fuente: Elaboración propia.

3. RESULTADOS

En la tabla 3 se presenta la matriz de comparación y los pesos obtenidos de la evaluación con la técnica multicriterio aplicada en el municipio de Caquiaviri.

Tabla 3

Matriz de ponderación de variables

	Descripción	V 1	V 2	V 3	V 4	V 5	V 6	V 7	V 8	V 9	V 10	V 11
V 1	Suelos	1										
V 2	Ph	1/2	1									
V 3	Altura	1/3	1/2	1								
V 4	Pendiente	1/4	1/3	1/2	1							
V 5	Zae	1/5	1/4	1/3	1/2	1						
V 6	Vegetación	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1					



V 7	Precipitación	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1				
V 8	Temperatura media	1/7	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1			
V 9	Temperatura mínima	1/7	1/7	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1		
V 10	Temperatura máxima	1/7	1/7	1/7	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	
V 11	Radiación	1/9	1/7	1/7	1/7	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1

Nota: Valores asignados a las variables; V = variable **Fuente:** Elaboración propia.

El análisis que surge de esta comparación generó que las variables de suelo (clase textural), pH, altura, pendiente, zonificación agroecológica vegetación y precipitación se consideran relevantes para el desarrollo de la producción del cultivo de quinua en el municipio de Caquiaviri; donde se generaron los «pesos» para cada factor a partir de una matriz de comparaciones por pares y determinar el impacto de estos factores en forma particular para esta región (tabla 3). El resultado obtenido son los pesos por variables (tabla 4) y el mapa de zonas potenciales para la producción de quinua, la figura 3.

Tabla 4

Pesos de las variables

Variables de aptitud	Peso
Var.1: Suelo	0,2719
Var.2: Ph	0,2036
Var.3: Altura	0,1512
Var.4: Pendiente	0,1111
Var.5: ZAE	0,0806
Var.6: Vegetación	0,0577
Var.7: Precipitación	0,0412
Var.8: Temp. media	0,0298
Var.9: Temp. mínima	0,0221
Var.10: Temp. máxima	0,0171
Var.11: Radiación	0,0136
Sumatoria	1.0000

Nota: Nivel calculado de índice de consistencia es 0,06 menor a 0,1 por tanto el resultado es aceptable por AHP; V = variable. **Fuente:** Elaboración propia.

Del total de la aptitud es explicado por las variables de suelo como la clase textural con mayor peso (27,19%), pH entre otros le siguen elementos de la altura, pendiente, Zonificación Agroecológica, vegetación seguido de las variables climáticas como; precipitación, temperatura y radiación, el cual se da para un escenario de condiciones de temporal es decir un ciclo agrícola tradicional, sin restricciones climáticas o con disponibilidad de riego. La



superficie resultante para cada una de las categorías de aptitud después de la modelación, para el Municipio de Caquiaviri: Aptitud Alta 9.101,7 ha, Aptitud Media 81.433,3 ha, Aptitud baja 55.307,3 ha y no apta 9.964,5 ha; (Tabla 5). Por otro lado, es importante señalar que los datos recolectados por el INE en el Censo Nacional Agropecuario del 2013, el Municipio contaba con una superficie de 155,5 Ha de cultivo de quinua en ese instante, y con la evaluación multicriterio se podrá ampliar hasta 9.101,7 Ha en suelos con aptitud Alta y 81.433,3 Ha en suelos con altitud media.

Tabla 5

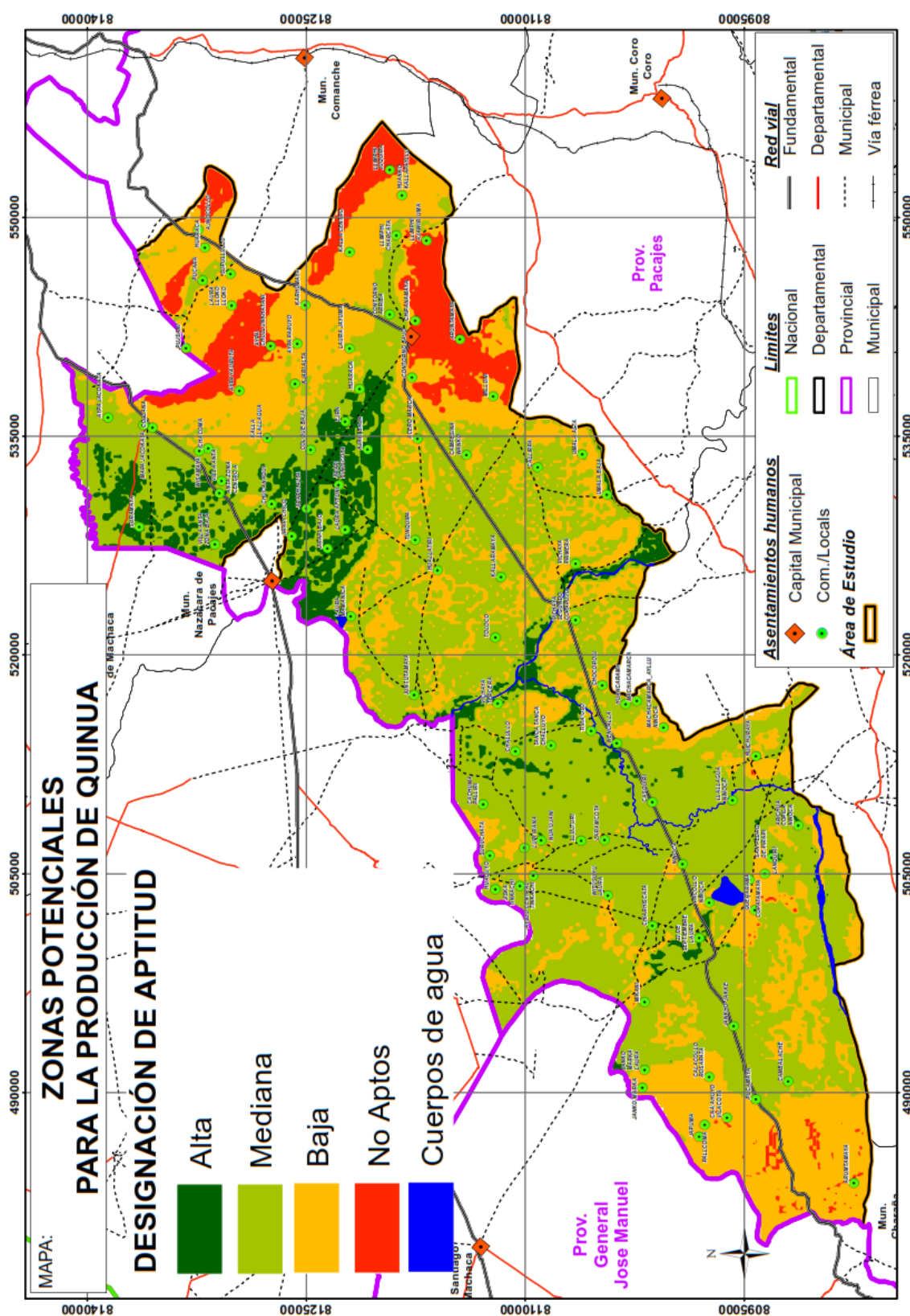
Aptitud para la producción de quinua en el Municipio de Caquiaviri

Equivalencias	Reclasificación		Calificación de aptitud	Superficie (ha)	Superficie en %
0 – 0.25	1		No Aptos	9.964,5	6.4
0.25 – 0.50	2		Aptitud Baja	55.307,3	35.5
0.50 – 0.75	3		Aptitud Media	81.433,3	52.3
0.75 – 1	4		Aptitud Alta	9.101,7	5.8

Nota: Calculado de superficie según aptitud para el cultivo. **Fuente:** Elaboración propia.



Figura 3. Mapa de zonas potenciales para la producción de quinua





4. DISCUSIONES

Estudios similares a la presente investigación, para la identificación de las zonas potenciales para el desarrollo y producción de los cultivos están los de Osorio et al. (2012) quienes mencionan que existe una demanda continua para identificar nuevas áreas para la producción de cultivos esenciales para la alimentación en el mundo, por lo que cada año se impulsa la investigación para generar nuevas metodologías para la identificación de zonas con potencial para este cultivo. Löffler et al. (2005) mencionan que la eficiencia de un sistema de evaluación de tierras depende del detalle de la información de clima, suelo y de la genética del cultivo en estudio. También establecen que, en la evaluación de tierras, la productividad y los efectos ambientales deben ser investigados con información de los tipos de suelos y usos de la tierra.

Por su parte, Van Diepen (1993) propuso dos opciones metodológicas para la evaluación del potencial de rendimiento de granos en cultivos importantes en la Comunidad Europea, las cuales son comparadas con el método de las zonas agro-ecológicas. Shahbazi y Jafarzadeh (2010) utilizan el sistema automatizado de evaluación de tierras de la FAO (MicroLEIS), para evaluaciones agro-ecológicas, quienes concluyen que es una herramienta excepcional para hacer recomendaciones para la agricultura y el medio ambiente. Además, María (2008) realiza una evaluación de las unidades de producción de cultivos y concluye que se deben de tomar en cuenta las características socioeconómicas, el clima y el suelo para este tipo de estudios.

Así mismo María (2008), indica que las diferentes metodologías para la identificación y delimitación de las zonas potenciales para cultivo dependen de la información disponible y del detalle de la misma; el modelado de la información se facilita con el uso de los sistemas de información geográfica. Finalmente, podemos decir que la presente metodología es una buena alternativa para conocer las zonas con las mejores condiciones de suelos, clima y fisiografía para el desarrollo y producción del cultivo en un escenario temporal; los resultados obtenidos con esta metodología, superan a todos los presentados por otros investigadores y metodologías.

5. CONCLUSIÓN

Resultado de la evaluación multicriterio muestran que el Municipio de Caquiaviri cuenta con una superficie de 9.101,7 ha con potencial o aptitud alta, 81.433,3 hectáreas aptitud media y 55.307,3 ha con aptitud baja; en términos porcentuales se puede indicar que el 58% de la superficie del municipio cuenta con condiciones favorables para la producción de quinua.

Por otro lado, es importante señalar que los datos recolectados por el INE en el Censo Nacional Agropecuario del 2013, el Municipio contaba con una superficie de 155,5 Ha de cultivo de quinua en ese instante, y con la



evaluación multicriterio se podrá ampliar hasta 9.101,7 Ha en suelos con aptitud Alta y 81.433,3 Ha en suelos con altitud media.

La metodología multicriterio generada y utilizada en la investigación determinó una superficie de 90535 ha para las categorías de Aptitud Alta y Aptitud Media, que corresponderían para obtener rendimientos promedio o mayores a los de registro nacional y corresponde al 58% de la superficie del municipio. Las variables que tienen mayor peso en la implementación de cultivo de quinua es el suelo como la clase textural, pH altura, pendiente, Zonificación Agroecológica, vegetación seguido de las variables climáticas como; precipitación, temperatura y radiación, para un escenario de condiciones de temporal es decir un ciclo agrícola tradicional, sin restricciones climáticas o con disponibilidad de riego.

BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

- Alarcón Trujillo, V. F. (2021). Modelo SIG para la zonificación agroecológica de cultivos: estudio de caso cuenca hidrográfica del río Las Ceibas, Huila, Colombia. <https://ridum.umanizales.edu.co/handle/20.500.12746/5746>
- Altieri, M. Á., & Nicholls, C. I. (2012). Agroecología: única esperanza para la soberanía alimentaria y la resiliencia socioecológica. *Agroecología*, 7(2), 65-83. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/182861/152301>
- Berumen SA, Llamazares R. 2007. Usefulness of multiple criteria decision methods (such as AHP) in an environment with growing competitiveness. *Cuadernos de Administración* 20(34):65-87. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S012035922007000200004&script=sci_abstract&lng=pt
- Capillo Colana, M. L., & Córdova Berrú, A. C. E. (2020). Aplicación del sistema de información geográfica para el uso racional del suelo en el crecimiento urbano, del distrito de Oyón-2020. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/61707>
- Cavuoto, N. L. (2009). Herramientas para planificar el desarrollo: un Sistema de Información Territorial con enfoque de cadena de valor. *Territorios*, (20-21). <https://revistas.urosario.edu.co/index.php/territorios/article/view/821/3518>
- De Abreu LM, Granemann SR, Gartner IR, Bernardes RS. 2000. Escolha de um programa de controle da qualidade da água para consumo humano: aplicação do método AHP. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 4(2):257-262. <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/ggmSPmBW8fwVr9qtmY3SkDC/>
- Díaz SJ, Blanco JL. 2000. Evaluación del potencial para acuicultura costera de camarón en el entorno de la laguna de Mar Muerto, mediante la aplicación de técnicas de análisis multicriterio con un SIG. *Investigaciones Geográficas, UNAM. Boletín del Instituto de Geografía* 41:62-80. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-46112000000100005&script=sci_arttext
- Eastman, JR (2012). Guía IDRISI sobre SIG y procesamiento de imágenes. Consultado en IDRISI Selva 17 (págs. 182e185). Worcester, MA: Universidad Clark. Eastman J.R. <https://bicyt.conicet.gov.ar/fichas/produccion/1605812>
- Edwards, W. and Barron, F. H. 1994. SMART and SMARTER: Improved simple methods for multiattribute utility measurement. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*. 60:306-325. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0749597884710879>
- ESRI. 2020. ArcGis 10.8. Manual del usuario. New York, USA. 1054 p.





<https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/get-started/setup/arcgis-desktop-quick-start-guide.htm>

- Freitas ALP, Marins CS, Souza DO. 2006. A metodologia de multicriterio como ferramenta para a tomada de decisões gerenciais: um estudo de caso. *Revista GEPROS* 2(3):52-60. <https://revista.feb.unesp.br/gepros/article/view/116/66>
- Galindo MG, Contreras C, Olvera SL. 2009. Metodología para determinar zonas de peligro al ataque de la langosta centroamericana (*Schistocerca piceifrons piceifrons* Walker) apoyados en sensores de alta resolución y SIG. Estudio de caso la Huasteca México. *Conceptos de geomática y estudios de caso en México. Serie Libros de Investigación No. 5*, México DF. <https://www.researchgate.net/publication/283712061>
- Garzón Echeverry, R., & Caycedo Gutiérrez, M. Á. (2022). Análisis de los cambios generados en la producción agrícola con la implementación de tecnología e innovación en Colombia. <https://digitk.areandina.edu.co/entities/publication/2a09c73c-8d52-459e-8d5c-6d0e001f9a8f>
- Goodwin, P. and Wright, G. 2014. *Decision analysis for management judgment*. 5th (Ed.). John Wiley & Sons, Chichester. New York, USA. 454 p. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=eenRAwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=Goodwin,+P.+and+Wright,+G.+2014.+Decision+analysis+for+management+judgment.+&ots=zrn563KaP7&sig=nERBEdiaLT989XayIwByCOlsq9A#v=onepage&q=Goodwin%2C%20P.%20and%20Wright%2C%20G.%202014.%20Decision%20analysis%20for%20management%20judgment.&f=false>
- Hatfield JL, Gitelson AA, Schepers JS, Walthall CL. 2008. Application of spectral remote sensing for agronomic decisions. *Agronomy Journal* 100:S117-S131. <https://doi.org/10.2134/agronj2006.0370c>
- INFO SPIE. (2023). Ministerio de Planificación del Desarrollo. <http://si-spie.planificacion.gob.bo/>
- Jiménez A, Vargas V, Salinas WE, Aguirre MJ, Rodríguez D. 2004. Aptitud agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el sur de Tamaulipas, México. *Boletín Investigaciones Geográficas* 53:58-74. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-46112004000100005&script=sci_abstract&tIng=pt
- Löffler, M. C.; Wei J.; Fast T.; Gogerty, J.; Langton, S.; Bergman, M.; Merrill, B. and Cooper, M. 2005. Classification of maize environments using crop simulation and geographic information systems. *Crop Sci.* 45(5):1708-1716. <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2135/cropsci2004.0370>
- Malczewski, J. 2006. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*. Vol. 20(7)703-726. <https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/13658810600661508?needAccess=true>
- María, R. A. 2008. El proceso de análisis jerárquico con base en funciones de producción para planear la siembra de maíz de temporal. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Posgraduados en Ciencias Agrícolas. Centro de Edafología. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 223 p. <https://www.sidalc.net/search/Record/KOHA-OAI-TEST:44885/Description>
- Marín Alzate, Y. F., Mazo, N. D. L. A., & Olivo Parra, V. C. (2016). Diseño e implementación de un Sistema de Información Geográfica orientado a la web para la gestión agrícola municipal. https://ridum.umanizales.edu.co/bitstream/handle/20.500.12746/2621/Marin_Mazo_Olivo_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Marin FR, Carvalho GL, Assad ED. 2009. Eficiência da produção agrícola de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo entre as safras 1990/1991 e 2005/2006. En: XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. UFV. Viçosa, Brasil. <https://core.ac.uk/download/pdf/45483983.pdf>
- Marin FR, Lopes-Assad ML, Assad ED, Vian CE, Santos MC. 2008. Sugarcane crop





- efficiency in two growing seasons in São Paulo State, Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 43:1449-1455.
<https://www.scielo.br/j/pab/a/SSn5sgdcRYTN9VPjpHfJxWp/?lang=en>
- Martínez Vega, J., & Romero Calcerrada, R. (2019). Evaluación de la ocupación del suelo con un sistema experto de evaluación de tierras y un SIG en la Zona de Especial Protección para las Aves «Encinares de los ríos Alberche y Cofio», Madrid. <https://www.torrossa.com/en/resources/an/2520317#page=196>
- MDRyT (2022). Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras (MDRyT). Viceministerio de Desarrollo Rural Agropecuario (VDRA). <https://www.ruralytierras.gob.bo/>
- Osorio, G. N.; López, S. H.; Gil, M. A.; Ramírez, V. B.; Gutiérrez, R. N.; Crespo, P. G. y Montero, P. A. 2012. Utilización, oferta y demanda de tecnología para producción de Maíz en el valle de Puebla, México. *Agric. Soc. Des.* 9(1):55-69.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-54722012000100004&script=sci_abstract&tlng=pt
- Rivera, N. A., Mendoza, G. G., Martínez, J. F., & Servin, C. C. (2010). Evaluación multicriterio y aptitud agroclimática del cultivo de caña de azúcar en la región de Huasteca (México). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 11(2), 144-154.
<https://www.redalyc.org/pdf/4499/449945029006.pdf>
- Rozman C, Pažek K. 2005. Application of computer supported multicriteria decision models in agriculture. *Agriculturae Conspectus Scientificus* 70(4):127-134.
<https://hrcak.srce.hr/file/2798>
- Saaty TL. 2001. Deriving the AHP 1-9 scale from first principles. *Proceedings 6th ISAHp*. Berna, Suiza. <https://www.isahp.org/uploads/125-p.pdf>
- SENAMHI. 2022. Boletín meteorológico del departamento de La Paz. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.
- Shahbazi, F. and Jafarzadeh A. A. 2010. Integrated assessment of rural lands for sustainable development using MicroLEIS DSS in West Azerbaijan, Iran. *Geoderma*. 157(3-4):175-184.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706110001175>
- Sipahi S, Mehpore T. 2010. The analytic hierarchy process and analytic network process: an overview of applications. *Management Decision* 48(5):775-808.
<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/00251741011043920/full/html>
- Stewart, T. J. and Joubert, A. 2007. Conflicts between conservation goals and land use for exotic plantations in South Africa. In: multicriteria analysis for land-use management. Beinat, E. and Nijkamp, P. (eds). Kluwer Academic. Dordrecht, Países Bajos. 36-62 pp.
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-015-9058-7_2
- Van-Diepen, C. A. 1993. Two alternative methods for evaluating regional crop yield potential in the European Community. *Geoderma*. 60(1-4):359-376.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/001670619390036K>
- Venero, S., & Gicli, M. (2014). Apuntes sobre la zonificación agroecológica de los cultivos. *Particularidades en Cuba. Cultivos tropicales*, 35(4), 36-44.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362014000400005&script=sci_arttext&tlng=pt

Conflicto de Intereses: Los autores declaran que no tienen conflictos de intereses relacionados con este estudio y que todos los procedimientos seguidos cumplen con los estándares éticos establecidos por la revista. Asimismo, confirman que este trabajo es inédito y no ha sido publicado, ni parcial ni totalmente, en ninguna otra publicación.

© 2025 por los Autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0. (CC BY 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

