



Documento de Trabajo N° 4/2023



## **Zonificación Agroecológica (ZAE) para Bolivia**

Por:

Sergio Choque Sunagua  
Fabiana Karina Argandoña  
Alessandra Ortiz Zarate  
Diego Leonel Calderón Acebey  
Alvaro Muñoz Quisberth  
Sebastian Miranda Cuevas

# Zonificación Agroecológica (ZAE) para Bolivia

*por:*

Sergio Choque Sunagua<sup>1</sup>, Fabiana Karina Argandoña<sup>2</sup>, Alessandra Ortiz Zarate<sup>3</sup>, Diego Leonel Calderón Acebey<sup>4</sup>, Álvaro Muñoz Quisberth<sup>5</sup>, Sebastián Miranda Cuevas<sup>6</sup>

La Paz, septiembre 2023

**Resumen:** la Zonificación Agroecológica (ZAE) es una herramienta esencial en la planificación y uso sostenible de tierras, destinada a evaluar la idoneidad de la tierra para cultivos en función de características y condiciones específicas. Este artículo presenta el empleo del Análisis Multicriterio respaldado por la metodología SMART para desarrollar una Zonificación Agroecológica (ZAE) en el contexto de Bolivia. Se aplicaron criterios de ponderación que reflejaron la importancia relativa de las variables (clima, fisiografía, etc.) para la producción agrícola, además de aplicar criterios de restricción como cuerpos de agua, áreas urbanas, entre otros.

Los resultados de la ZAE revelaron áreas de muy baja aptitud que comprenden 0,02 millones de hectáreas; zonas de aptitud baja con 5,89 millones de hectáreas; 19,35 millones de hectáreas con aptitud moderada; 34,58 millones de hectáreas con aptitud buena; finalmente, se identificaron 8,84 millones de hectáreas con una aptitud muy buena. Las áreas mencionadas se encuentran fuera de Áreas Protegidas, las cuales reciben una caracterización diferenciada debido a la condición especial de estos territorios.

Las ponderaciones y reclasificaciones se basaron en la literatura científica disponible y criterios del equipo de investigación, además de procedimientos estadísticos. Este artículo ofrece una visión detallada del proceso de generación de la ZAE en Bolivia, proporcionando información valiosa para la toma de decisiones informadas en la planificación agrícola y la gestión sostenible de la tierra.

**Palabras clave:** Agricultura, Uso de Suelo.

**Clasificación JEL:** Q10, Q15, Q19

Este Documento de Trabajo fue escrito como parte del proyecto “Estrategia de Reducción de Deforestación y Mitigación basada en la NDC 2021 – 2030” que está siendo liderado por la Autoridad Plurinacional de la Madre Tierra, con el apoyo técnico de Conservation Strategy Fund (CSF) y financiado por la Embajada de Suecia en Bolivia y la Unión Europea.

---

<sup>1</sup> SDSN Bolivia, [sergio.choque@sdsnbolivia.org](mailto:sergio.choque@sdsnbolivia.org)

<sup>2</sup> SDSN Bolivia, [fabiana.argandona@sdsnbolivia.org](mailto:fabiana.argandona@sdsnbolivia.org)

<sup>3</sup> SDSN Bolivia, [alessortiz92@gmail.com](mailto:alessortiz92@gmail.com)

<sup>4</sup> SDSN Bolivia, [diegol.calderonacebey@gmail.com](mailto:diegol.calderonacebey@gmail.com)

<sup>5</sup> SDSN Bolivia, [alvaro.munoz@sdsnbolivia.org](mailto:alvaro.munoz@sdsnbolivia.org)

<sup>6</sup> SDSN Bolivia, [sebastianacuevasm@gmail.com](mailto:sebastianacuevasm@gmail.com)

## 1. Introducción

El objetivo del presente documento es elaborar una Zonificación Agroecológica (ZAE) para Bolivia que permita identificar áreas potenciales para la práctica agrícola, considerando factores físicos relevantes. Este enfoque es esencial para facilitar el uso sostenible de los recursos naturales y el desarrollo de una agricultura eficiente. La ZAE permite identificar áreas con aptitudes y potencialidades específicas para la práctica agrícola, convirtiéndose en una solución valiosa para abordar el cambio en el uso de suelos y la explotación excesiva de la tierra.

En los sectores productivos donde el entorno ambiental desempeña un papel crucial, la zonificación adquiere una importancia aún mayor. Cada cultivo y especie vegetal presenta requerimientos agroecológicos únicos para prosperar, y el logro de su potencial de producción depende de la satisfacción de estos requisitos (González González & Hernández Santana, 2016).

La zonificación implica la subdivisión de un territorio en unidades geográficas con características similares, atendiendo a una variedad de criterios. El objetivo es identificar áreas que comparten condiciones climáticas y físicas, así como un potencial sostenible para usos específicos. Las zonas agroecológicas se caracterizan por presentar combinaciones comparables de factores climáticos y propiedades del suelo, compartiendo un potencial biofísico común para la producción agrícola. Cada zona agroecológica presenta un conjunto específico de limitaciones y potencialidades para el uso de la tierra (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 1997).

A lo largo de este artículo, se explicará en detalle el proceso de generación de la Zonificación Agroecológica (ZAE) para Bolivia. Esta investigación se basa en una clasificación jerarquizada de los datos en cinco niveles de aptitud agroecológica, que van desde "Muy Baja" hasta "Muy Buena", siguiendo criterios específicos. Para llevar a cabo este proceso, se emplea la metodología del Análisis Multicriterio, respaldada por el método de *Simple Multi-Attribute Rating Technique* (SMART), este es “ampliamente utilizado debido a su simplicidad. La aplicabilidad de SMART está presente en la mayoría de los campos como planificación urbana, negocios, ingeniería, estudios ambientales, entre otros” (Rameshkumar Patel & Pranav Vashi, 2017). En el presente documento, SMART se emplea con el objetivo de generar un mapa de Aptitud Agroecológica. La Zonificación Agroecológica se completará considerando el mapa de aptitud, así como la identificación de áreas no aptas para la agricultura y Áreas Protegidas.

El propósito fundamental de este artículo es proporcionar una herramienta efectiva para la planificación agrícola sostenible en Bolivia, permitiendo tomar decisiones fundamentadas basadas en la aptitud agroecológica de diferentes regiones del país. Los objetivos específicos que guiarán esta investigación se describen en la siguiente sección.

## 2. Metodología

Para determinar la zonificación agroecológica de manera espacial, se han tomado en cuenta variables climáticas y variables físicas, las cuales se presentan en diferentes unidades de medida y tienen diferentes escalas e implicancias para la clasificación de la aptitud productiva de una zona. Por ello, se empleó la técnica del Análisis Multicriterio a través de la metodología *Simple Multi-Attribute Rating Technique* (SMART), según lo propuesto por Sotelo Ruiz, Cruz Bello, González Hernández y Moreno Sánchez (2016). El propósito de esta técnica es evaluar la importancia relativa de las variables, realizando una ponderación de las mismas considerando el potencial y las limitaciones del uso de la tierra para la producción de diversos cultivos.

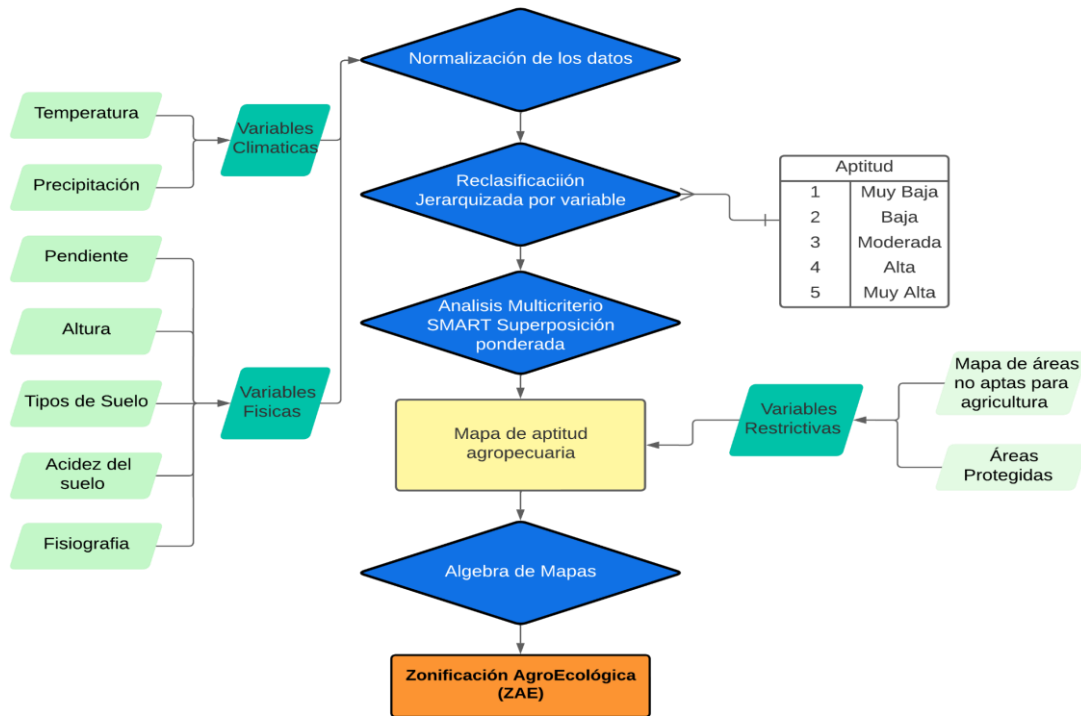
En este enfoque, cada variable se reclasificó en una escala de valores del 1 al 5, que indica la importancia relativa de menor a mayor. Estos valores se asignaron en función de la aptitud para la producción de cultivos, considerando principalmente los criterios para los cultivos priorizados para la seguridad alimentaria de Bolivia (Campero, 2017) y otros cultivos ampliamente producidos en el país. Los valores se establecen de la siguiente manera:

**Cuadro 1. Grados de aptitud**

Valor	Grado de aptitud
1	Muy Baja
2	Baja
3	Moderada
4	Buena
5	Muy Buena

**Fuente: elaboración propia**

**Figura 1. Flujograma proceso ZAE**



Fuente: elaboración propia

En lo que respecta a la escala de trabajo, algunas variables en formato vectorial fueron rasterizadas para ajustarlas a una escala de 1:60,000. Por otro lado, algunas variables de naturaleza ráster ya estaban a una escala de 1:90,000. Se llevaron a cabo técnicas de unificación de información para homogeneizar las coberturas de todas las variables, logrando una escala de trabajo de 1:60,000, lo que equivale a una resolución espacial de 30 metros por píxel.

Las variables climáticas se obtuvieron de la base de datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) para las estaciones climáticas disponibles, con las variables de precipitación acumulada y el promedio diario de temperatura máxima y temperatura mínima entre los años 2015 y 2021 a partir de los cuales se hizo una interpolación para toda Bolivia con base en documentos metodológicos del Ministerio de Defensa (2019) y el Programa de Reducción del Riesgo de Desastre (Morales et al., 2012). Las coberturas de pH, tipo de suelo y fisiografía fueron publicadas por el Ministerio de Planificación del Desarrollo en el INFO-SPIE, mientras que las coberturas de altitudes y pendientes se generaron mediante el procesamiento de un Modelo Digital de Elevaciones (DEM) proporcionado por GeoBolivia.

## 2.1. Clasificación de variables

Para la asignación de pesos de las variables, se han considerado para cada caso diferentes formas de clasificación de acuerdo con sus particularidades, pero se ha tomado como base criterios que consideren la aptitud para producción de los cultivos priorizados para la seguridad alimentaria en Bolivia que son papa, maíz, arroz, quinua, trigo, vid, durazno y

soya con base en datos del sistema de alerta temprana del Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA) (Campero, 2017)

Las variables climáticas y físicas fueron estandarizadas para un mejor manejo y trabajo de información de acuerdo con las siguientes ponderaciones:

**Cuadro 2. Reclasificación de variables**

	Variable	Fuente	Escala	Criterio	Peso	Intervalo
<b>Variables climáticas</b>	<b>Temperatura máxima °C</b>	Interpolación de datos SENAMHI y DEM de Earth Explorer	1:60000 Resolución espacial de 30 metros	Criterio del equipo a partir de revisión de bibliografía según la relación de cultivos de prioridad nacional y umbrales de daño según el sistema de alerta agropecuario	1	<13
					2	13-19
					4	19-23
					5	23-27
					4	27-32
					3	32-40
	<b>Temperatura mínima °C</b>	Interpolación de datos SENAMHI y DEM de Earth Explorer	1:60000 Resolución espacial de 30 metros	Criterio del equipo a partir de revisión de bibliografía según la relación de cultivos de prioridad nacional y umbrales de daño según el sistema de alerta agropecuario	1	< -3
					2	-3 a 2
					3	2 a 8
					4	8 a 11
					5	>11
	<b>Precipitación anual acumulada mm</b>	Interpolación de datos SENAMHI y DEM de Earth Explorer	1:60000 Resolución espacial de 30 metros	Criterio del equipo a partir de revisión de bibliografía en relación a condiciones óptimas de los cultivos de prioridad nacional	1	< 250
					3	250-500
					5	500-650
					4	650-1200
3					1200-3000	
2					3000-3350	
1					>3350	
<b>Variables físicas</b>	<b>Pendiente %</b>	Generado a partir de Modelo Digital de Elevaciones	1:60000 Resolución espacial de 30 metros	Criterio del equipo con base en los documentos consultados para la metodología	5	0 -8
					4	8 - 15
					3	15-30
					2	30-40
					1	>40
	<b>Clasificación de suelo</b>	Descarga de Ministerio de planificación del Desarrollo a través de Geo Bolivia	1:60000 Resolución espacial de 30 metros.	Se reclasificó de acuerdo a los parámetros y características de cada tipo de suelo, en función a la bibliografía consultada	1	Potencial agrícola nulo
					2	Potencial agrícola limitado
					3	Potencial agrícola medio
					4	Potencial agrícola bueno
					5	Potencial agrícola alto
	<b>Altura m.s.n.m</b>	Obtenido a partir del Modelo Digital	1:60000 Resolución	Criterio del equipo con base en los documentos consultados para la	5	0-1500
4					1500-2000	

		de Elevación extraído de Earth Explorer	espacial de 30 metros.	metodología y tomando en cuenta criterios para los cultivos priorizados	3	2000-3000
					2	3000-4000
					1	>4000
	Ph	Descarga Ministerio de Planificación del Desarrollo a través de Geo Bolivia	1:60000 Resolución espacial de 30 metros	Se reclasifica de acuerdo con criterio del equipo técnico considerando que el ph óptimo para crecimiento de cultivos y producción se refiere a moderadamente ácido y ligeramente ácido, considerando los niveles de ph revisados en diversos documentos	1	Ácido extremo
					4	Ácido fuerte
					2	Ácido muy fuerte
					2	Alcalino fuerte
					1	Alcalino muy fuerte
					5	Ligeramente ácido
					3	Ligeramente alcalino
					5	Moderadamente ácido
					2	Moderadamente alcalino
					4	Neutro
	1	Ultra ácido				
	Fisiografía	Descargado de la plataforma INFO-SPIE	1:60000 Resolución espacial de 30 metros	Reclasificación de acuerdo a las unidades fisiográficas, y ajuste según el grado de disección y cobertura vegetal	2	Superficie de erosión; montañas
					3	Serranías; cuestras; colinas; mesetas
					4	Abanicos; depresiones; piedemontes; terrazas
					5	Llanuras; planicies

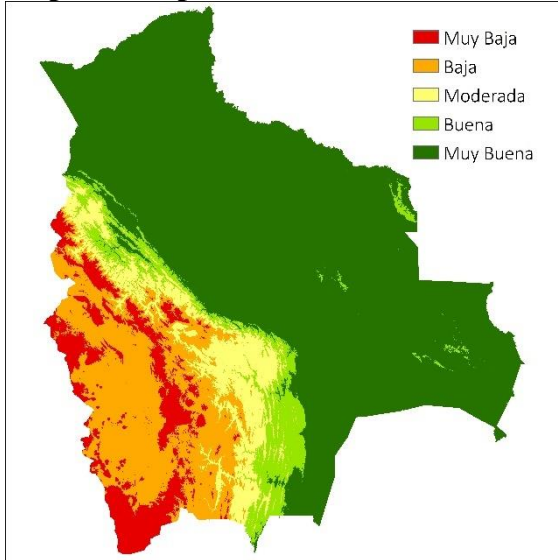
Fuente: elaboración propia

### 2.1.1. Variables Climáticas

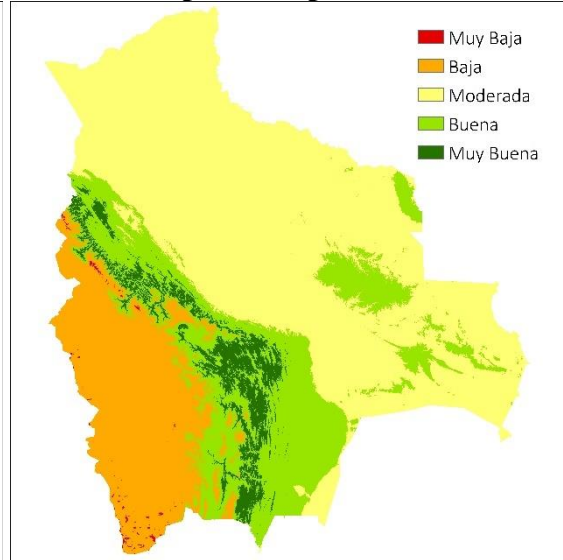
Para determinar las ponderaciones en el caso de la temperatura fueron considerados los umbrales de daño de los principales cultivos priorizados (papa, maíz, arroz, quinua y trigo) para la seguridad alimentaria en Bolivia, presentados por el Sistema de alerta agropecuario (Marín Campero, 2017).

En el caso de la precipitación se utilizaron igualmente los criterios establecidos para los cultivos priorizados (Marín Campero, 2017). Considerando que muy poca o demasiada precipitación podría ser perjudicial para los cultivos.

**Mapa 1 Temperaturas Mínimas**

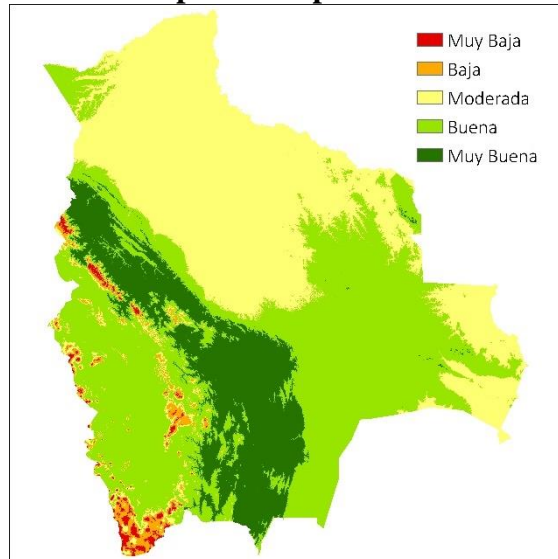


**Mapa 2 Temperaturas Máximas**



Fuente: elaboración propia a partir de datos del SENAMHI

**Mapa 3 Precipitaciones**



Fuente: elaboración propia a partir de datos del SENAMHI

### 2.1.2. Variables Físicas

Partiendo de un DEM de 30 metros extraído de la plataforma Earth Explorer, se han calculado las pendientes y los rangos de altura; para permitir un análisis más preciso de estas variables, se han ajustado los intervalos en la asignación de pesos correspondiente. Esta decisión se basa en el criterio del equipo, respaldado por el documento del cual se extrajo la metodología (Sotelo Ruiz, Cruz Bello, González Hernández, & Moreno Sánchez, 2016) y por criterios para los cultivos priorizados.

En el proceso de evaluación y clasificación del pH del suelo, se ha empleado información relacionada con los determinados “cultivos de prioridad nacional”, lo que ha permitido identificar que el rango de pH ideal para estos oscila entre moderadamente ácido y ligeramente ácido para los cultivos más representativos del territorio nacional (Rozas



López, 2010) (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 2015).

Para determinar el tipo de suelo, se ha utilizado la clasificación de suelos identificada en el mapa de suelos de Bolivia, la ponderación se realizó a través del ajuste de valorización de las 3 clasificaciones de suelo predominantes en la zona, y una posterior ponderación en función de la clasificación de suelo predominante. Esta valorización de las clasificaciones de suelo se elaboró en función a tres fuentes bibliográficas: El Volumen IV del Mapa Mundial de Suelos de la FAO UNESCO, correspondiente a la región de Sudamérica; el documento Base Referencial Global para los Recursos de Suelo de la FAO UNESCO del año 2014 y el Diccionario de Términos Edafológicos, elaborado por José Luis Rozas López para el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España.

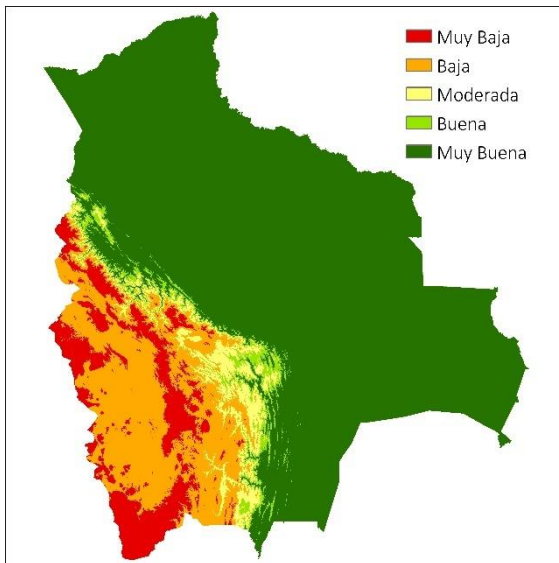
El mapa de fisiografía clasifica el territorio en provincias fisiográficas, sin embargo, la categoría de provincia fisiográfica es un nivel demasiado general para el análisis adecuado de esta variable si se pretende una escala de trabajo de 30 metros de píxel. Es entonces que se utiliza la información fisiográfica de INFO-SPIE, de las unidades fisiográficas menores en las que se ajustó una valorización en función de las características de la unidad fisiográfica (respaldada por los documentos “Principles of Geomorphology” de Thornbury (1958) y “Fundamentals of Geomorphology” de Huggett & Shuttleworth, 2022).

Este valor a su vez se ve afectado por dos elementos: el primero es la disección. El grado de disección de cada unidad fisiográfica afectará negativamente a la valorización final de la unidad fisiográfica, es decir, a mayor disección, mayor será el valor descontado de la cantidad original de la unidad fisiográfica.

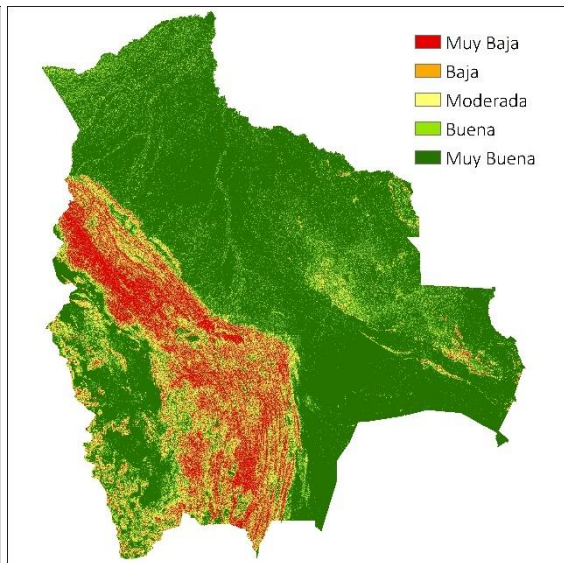
El segundo elemento considerado es la vegetación, este es inverso al anterior siendo que las categorías de vegetación consideradas afectarán positivamente al valor final de la unidad fisiográfica, es así que mientras mayor y más saludable sea la vegetación de la unidad fisiográfica, mayor será la cantidad añadida al valor final de cada unidad (Huggett & Shuttleworth, 2022) (Thornbury, 1958).

Para ambos elementos el valor máximo de afectación no excederá los dos puntos, considerando que el rango de clasificación va de 1 a 5 puntos.

**Mapa 4 Altura**

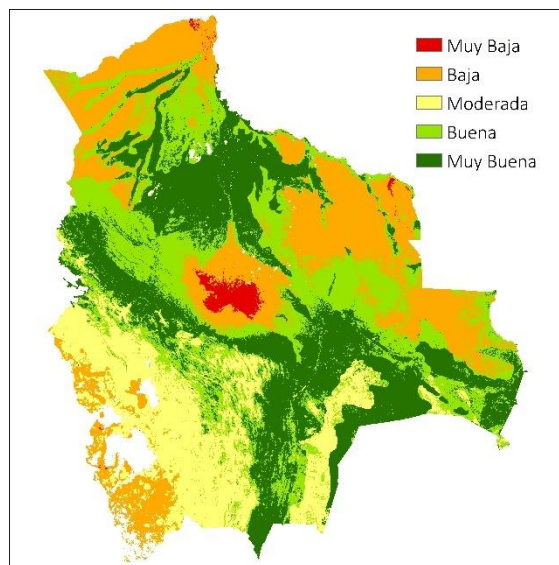


**Mapa 5 Pendiente**

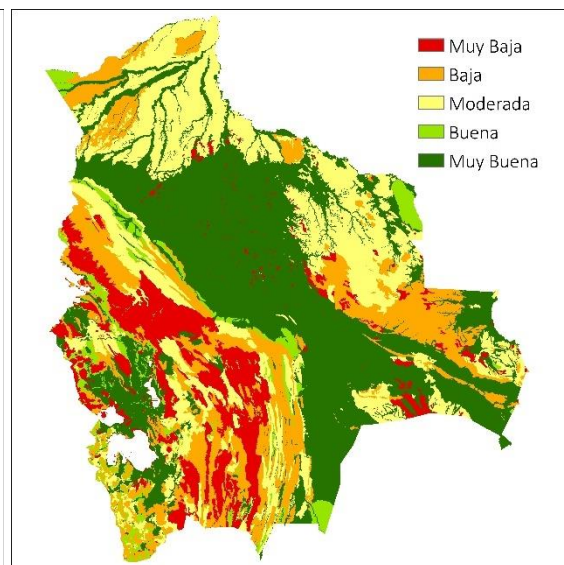


**Fuente: elaboración propia con información de Earth Explorer**

**Mapa 6 PH**

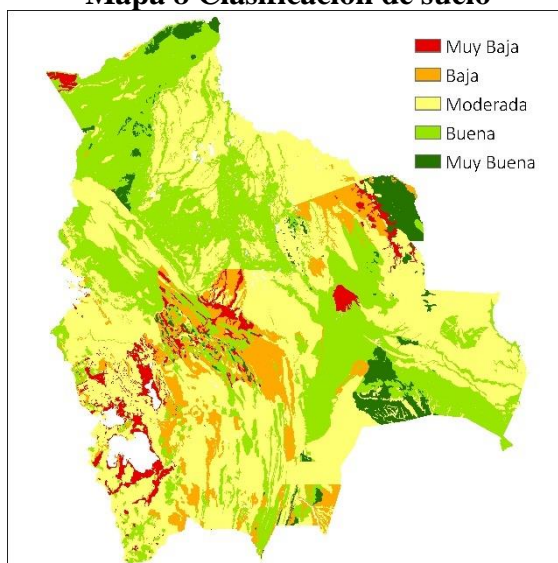


**Mapa 7 Fisiografía**



**Fuente: elaboración propia con información de INFO-SPIE**

**Mapa 8 Clasificación de suelo**



Fuente: elaboración propia con información de INFO-SPIE

## 2.2. Mapa de aptitud

Para combinar todas las variables que se tomaron en cuenta, es necesario asignarles pesos relativos en función a su importancia. Para asignar la ponderación de variables se optó por calcular las correlaciones entre las variables utilizadas para posteriormente con esos valores calcular su peso relativo, esto se realizó en el entorno de programación R debido a su enfoque en el análisis estadístico.

En este marco, se llevó a cabo la correlación entre cada variable. En estadística, la palabra correlación se refiere a la relación cuantitativa entre dos variables medidas en escalas ordinales o de intervalos. Los coeficientes de correlación pueden calcularse mediante métodos paramétricos y no paramétricos. En este análisis, se empleó un coeficiente paramétrico, el Coeficiente de Correlación de Pearson, diseñado para observaciones obtenidas en una escala de intervalos y sujeto a condiciones más restrictivas en comparación con las alternativas no paramétricas.

La metodología adquiere un peso ponderado calculado a raíz de las correlaciones estadísticas obtenidas, de acuerdo al documento de Mora (2020), el peso ponderado será igual al resultado de la siguiente tabla ejemplo:

Var	A <sub>j1</sub>	A <sub>j2</sub>	A <sub>j3</sub>	A <sub>j4</sub>	P(A <sub>injm</sub> )	(P(A <sub>injm</sub> )) <sup>1/n</sup>	ω
A <sub>i1</sub>	A <sub>i1j1</sub>	A <sub>i1j2</sub>	A <sub>i1j3</sub>	A <sub>i1j4</sub>	A <sub>i1j1</sub> x A <sub>i1j2</sub> x A <sub>i1j3</sub> x A <sub>i1j4</sub>	(A <sub>i1j1</sub> x A <sub>i1j2</sub> x A <sub>i1j3</sub> x A <sub>i1j4</sub> ) <sup>1/n</sup>	ω <sub>1</sub>
A <sub>i2</sub>	A <sub>i2j1</sub>	A <sub>i2j2</sub>	A <sub>i2j3</sub>	A <sub>i2j4</sub>	A <sub>i2j1</sub> x A <sub>i2j2</sub> x A <sub>i2j3</sub> x A <sub>i2j4</sub>	(A <sub>i2j1</sub> x A <sub>i2j2</sub> x A <sub>i2j3</sub> x A <sub>i2j4</sub> ) <sup>1/n</sup>	ω <sub>2</sub>
A <sub>i3</sub>	A <sub>i3j1</sub>	A <sub>i3j2</sub>	A <sub>i3j3</sub>	A <sub>i3j4</sub>	A <sub>i3j1</sub> x A <sub>i3j2</sub> x A <sub>i3j3</sub> x A <sub>i3j4</sub>	(A <sub>i3j1</sub> x A <sub>i3j2</sub> x A <sub>i3j3</sub> x A <sub>i3j4</sub> ) <sup>1/n</sup>	ω <sub>3</sub>

$A_{i4}$	$A_{i4j1}$	$A_{i4j2}$	$A_{i4j3}$	$A_{i4j4}$	$A_{i4j1} \times A_{i4j2} \times A_{i4j3} \times A_{i4j4}$	$(A_{i4j1} \times A_{i4j2} \times A_{i4j3} \times A_{i4j4})^{1/n}$	$\omega_4$
----------	------------	------------	------------	------------	--	--	------------

$$\omega = \frac{(P(A_{injn}))^{1/n}}{\sum_1^n (P(A_{injn}))^{1/n}}$$

Donde:

$A_{in}$  y  $A_{jm}$  son las variables

$A_{ijnm}$  es la correlación entre la variable  $A_{in}$  y  $A_{jm}$

$P(A_{ijnm})$  es el producto de las correlaciones de la variable  $A_{in}$  con las variables  $A_{jm}$

$(P(A_{ijnm}))^{1/n}$  es la raíz  $n$  del producto de las correlaciones de la variable  $A_{in}$  con las variables  $A_{jm}$

$\omega$  es el peso ponderado de la variable  $A_{in}$

A través de este análisis se calcularon los pesos y tras un redondeo simple se obtuvieron los siguientes resultados:

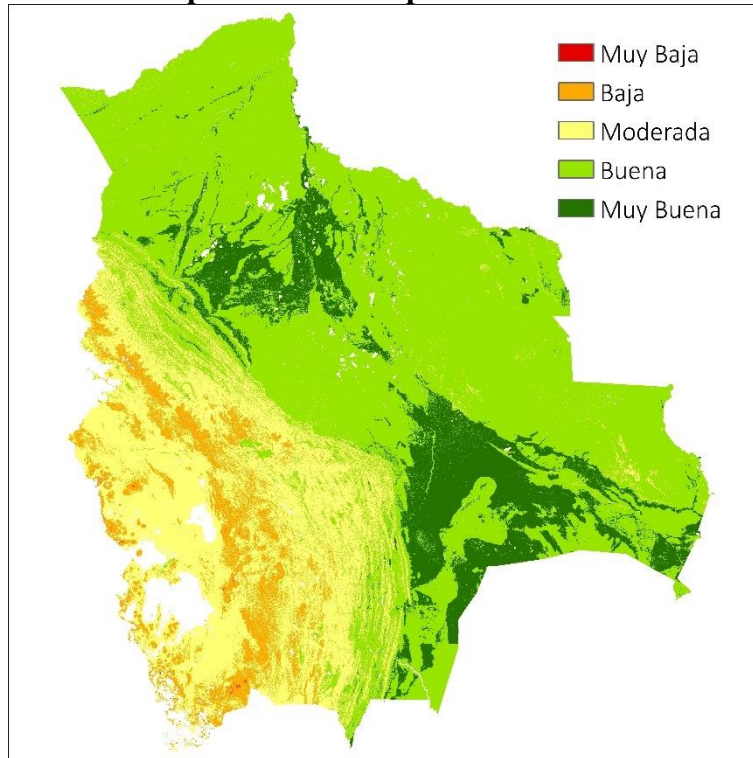
**Cuadro 2 Variables y peso ponderado**

Variable	Peso
Precipitación	10
Temperatura	20
Altura	15
Pendiente	25
Ph	10
Clasif. de suelo	10
Fisiografía	10

Fuente: elaboración propia

A partir del uso de técnicas de procesamiento espacial (weighted overlay) y utilizando las reclasificaciones y ponderaciones previamente descritas, se obtuvo el mapa de zonas agroecológicas de Bolivia considerando como restricciones únicamente cuerpos de agua y salares en esta etapa de cálculo. Se obtuvieron los siguientes datos relevantes: área con aptitud muy buena 13,43 millones de hectáreas (13,6%), aptitud buena 55,46 millones de hectáreas (56,2%), aptitud moderada 23,39 millones de hectáreas (23,71%), aptitud baja 6,39 millones de hectáreas (6,47%) y aptitud muy baja 0,18 millones de hectáreas (0,02%). A partir de la aptitud buena existen 68,9 millones de hectáreas con aptitud para cultivos, representando el 69,8% del territorio como áreas de aptas para la producción agrícola.

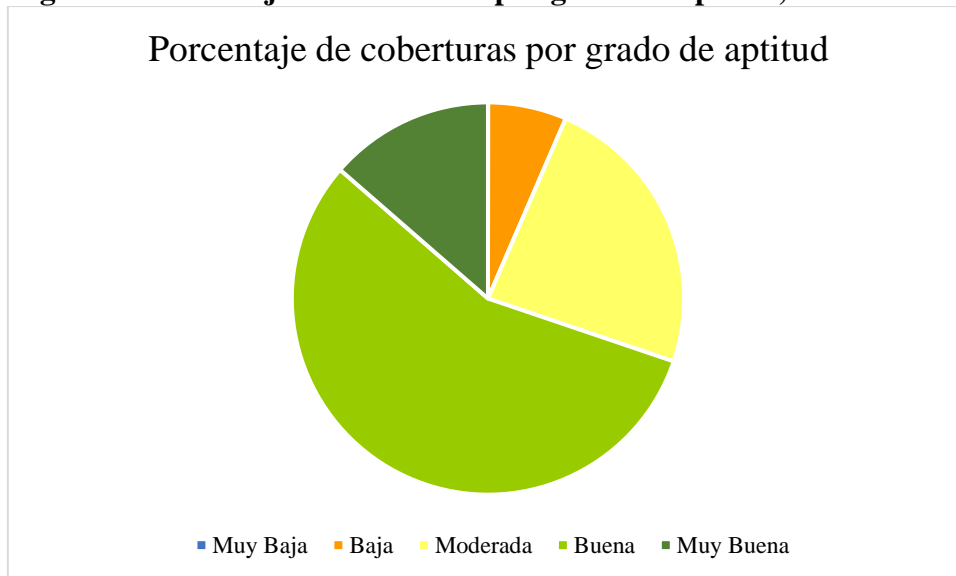
**Mapa 9 Grado de aptitud en Bolivia**



Fuente: elaboración propia

La clasificación de aptitud buena tiene el mayor porcentaje a nivel nacional con un total de 56,2% en relación a las demás categorías, mientras que el segundo valor más alto se considera a la aptitud moderada ocupando un 23,71% en el territorio nacional, esto considerando las áreas fuera de los cuerpos de agua y salares, por lo demás, las áreas de aptitud muy buena (13,6%) y baja (6,47%) cierran los valores significativos, el grado de aptitud muy baja ocupa un marginal 0,02%.

**Figura 2. Porcentaje de coberturas por grado de aptitud, ZAE Bolivia**



Fuente: elaboración propia

La ZAE determina las áreas de aptitud para producción, sin embargo, es necesario que se identifique y delimite las zonas que por sus características físicas están restringidas para la producción. Se consideraron para esta capa, ríos principales, cuerpos de agua como lagos, salares y manchas urbanas; estos representan áreas de restricción por las que se les asignará un valor 0 para el procesamiento con la Zonificación Agroecológica.

Además, en el contexto nacional y dentro de la definición de la ZAE es necesario considerar las Áreas Protegidas del país, las cuales son unidades territoriales respaldadas jurídicamente que por diversas características naturales se han establecido para la conservación debido a su importancia ecológica para los sistemas de vida. Si bien a partir de los cálculos se puede establecer un valor de aptitud y potencial para la producción, también se debe considerar que estas áreas están en cierta medida restringidas, siendo una restricción legal pero también ambiental, pues convertir estas áreas a producción agropecuaria podría significar grandes costos y daños. Estas áreas proveen recursos y beneficios para la vida, además de coadyuvar a la regulación del clima y evitar desastres naturales.

Por lo expuesto anteriormente, se consideraron a las Áreas Protegidas como zonas de restricción, pero no con un valor de cero como en las restricciones físicas prohibitivas, sino tomando en cuenta los resultados de la ZAE, pero asignándole una clasificación exclusiva que permita diferenciar estas áreas. Es así que el valor de la ZAE de estas áreas cuenta como un grado de aptitud restringido por la presencia del área protegida, debido al costo que representaría utilizar estas áreas para producción, por su situación legal y ambiental.

### ***2.3. Mapa de Zonificación Agroecológica***

Al realizar el cruce entre ZAE, áreas restringidas y áreas protegidas, el cálculo queda de esta forma:

$$\text{ZAE efectivo o Capacidad de producción} = \text{ZAE} * \text{Wi}$$

Donde:

Wi = 0 en áreas restringidas

Wi = 9 en áreas protegidas <sup>7</sup>

Wi = 1 en áreas sin restricciones

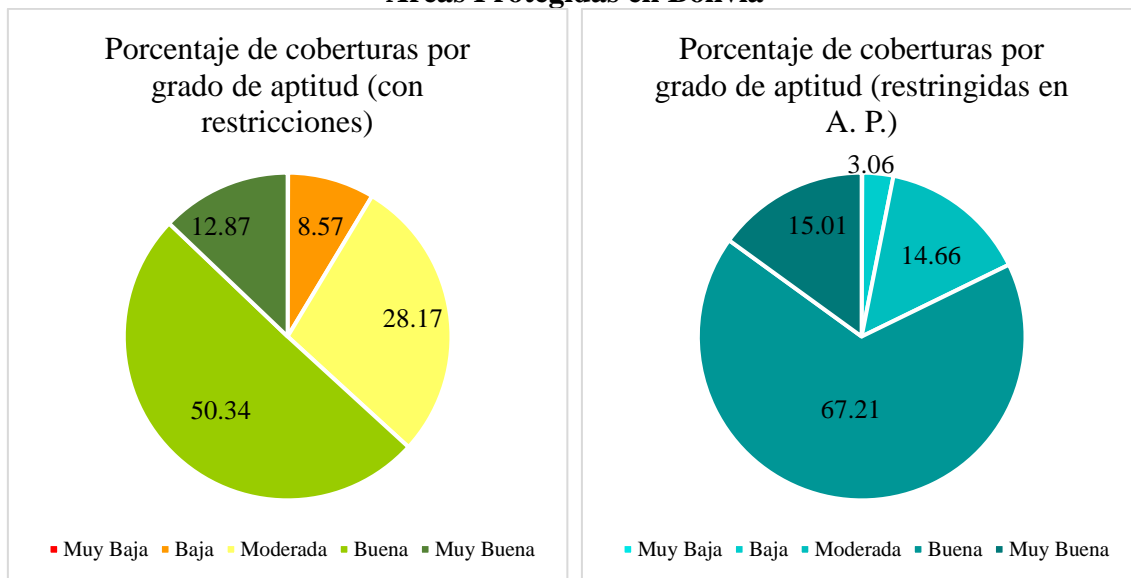
El resultado del análisis, excluyendo las áreas de restricciones físicas y de restricción por Áreas Protegidas, da como resultado: áreas de muy baja aptitud con 0,02 millones de hectáreas; las zonas de aptitud baja abarcan un total de 5,89 millones de hectáreas. Por otro lado, se identifican 19,35 millones de hectáreas con aptitud moderada y 34,58 millones de hectáreas con aptitud buena. Finalmente, se encuentran 8,84 millones de hectáreas con una aptitud muy buena.

---

<sup>7</sup> Se utilizó el valor 9 como un valor arbitrario simplemente para diferenciar las Áreas Protegidas del resto del país.

Por otra parte, se tienen las áreas identificadas dentro de las Áreas Protegidas, que si bien pueden presentar una aptitud física buena, la restricción que implicarían costos legales y ambientales hace que su aptitud efectiva no supere a la de una aptitud moderada.

**Figura 3. Zonificación agroecológica Bolivia considerando áreas de restricción y Áreas Protegidas en Bolivia**



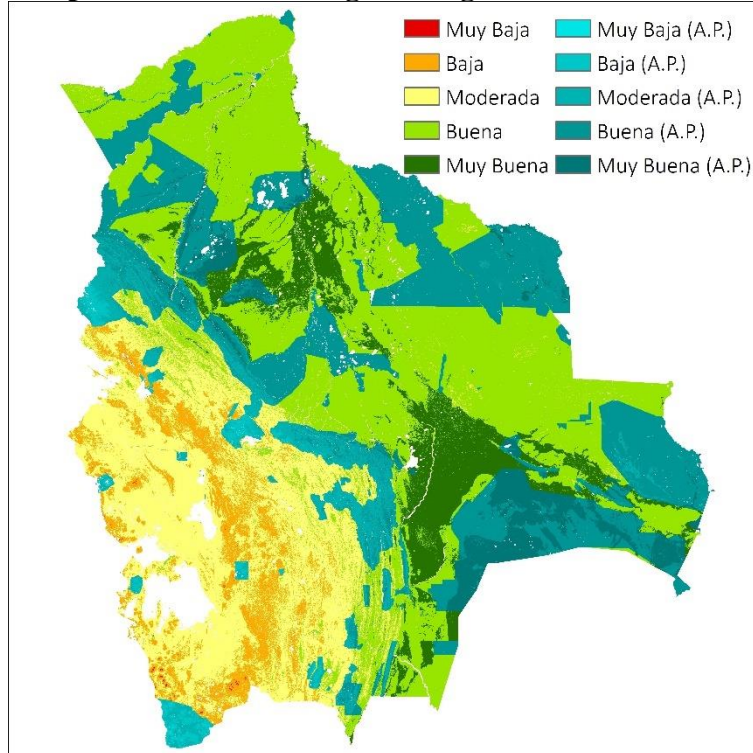
Fuente: elaboración propia

### 3. Conclusiones

La metodología aplicada permite obtener una zonificación agroecológica de carácter cualitativo para definir el grado de aptitud del territorio boliviano de acuerdo a una serie de variables incidentes al momento de determinar el grado de aptitud que tiene un suelo para la implementación de cultivos y desarrollo de actividades agrícolas.

Este mapa de aptitud no sólo presenta la aptitud para la producción de manera general, sino también establece grados de restricción que impiden o reducen la potencialidad de uso de los suelos tanto por motivos ajenos a sus propiedades físicas intrínsecas, como impedimentos de origen físico o antrópico (como es el caso de salares, cuerpos de agua y unidades urbanas).

**Mapa 10 Zonificación agroecológica con restricciones**



Fuente: elaboración propia

Si bien la clasificación se ha realizado de acuerdo con el criterio técnico del equipo, y la asignación de pesos se encuentra estandarizada por un procedimiento estadístico, esta metodología podría ser utilizada con distintos criterios, ya que se pueden utilizar parámetros para otro tipo de productos, u otras variaciones respecto a la presente ZAE.

#### 4. Referencias

- Campero Marin, S. (2017). *Umbrales de daño a los cultivos priorizados para la seguridad alimentaria en Bolivia*. Obtenido de Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología: [http://sat.agro.bo/sites/default/files/uploadfiles/docu\\_paginas/umbrales\\_de\\_dano\\_cultivos\\_priorizados\\_senamhi.pdf](http://sat.agro.bo/sites/default/files/uploadfiles/docu_paginas/umbrales_de_dano_cultivos_priorizados_senamhi.pdf)
- González González, H. A., & Hernández Santana, J. R. (2016). Zonificación agroecológica del Coffea arabica en el municipio Atoyac de Álvarez, Guerrero, México. *Investigaciones geográficas*(90), 105-118.
- Huggett, R., & Shuttleworth, E. (2022). *Fundamentals of Geomorphology*. Londres, Reino Unido: Routledge.
- Ministerio de Defensa (2019). *Elaboración de Mapas de Riesgo a Nivel Municipal de Bolivia, Adaptación Metodológica de la Ecuación General de Riesgo*. Bolivia.
- Mora Chaves, C. (2020). *Proceso analítico jerárquico integrado a los SIG*. Bogotá, Colombia. Universidad Santo Tomás.
- Morales Nuñez, H. David; Ovando Crespo, Cristina Karen; Rodríguez Quispe, Wilson (2012). *Ecuación general del riesgo: una experiencia para construir mapas de riesgos*. COSUDE. Programa de Reducción del Riesgo de Desastres. La Paz, Bolivia.



- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (1997). *Zonificación agro-ecológica. Guía general*. Roma, Italia: Boletín de Suelos de la FAO 73.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2015). *World Reference Base for Soil Resources*. Roma, Italia: FAO.
- Rameshkumar Patel, M., & Pranav Vashi, M. (2017). SMART- Multi-criteria decision-making technique for use in planning activities. *New Horizons in Civil Engineering*. Gujarat, India.
- Rozas López, J. L. (2010). *Diccionario de términos edafológicos (Tomo II)*. Madrid, España: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Sotelo Ruiz, E. D., Cruz Bello, G. M., González Hernández, A., & Moreno Sánchez, F. (2016). Determinación de la aptitud del terreno para maíz mediante análisis espacial multicriterio en el Estado de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(2), 401-412.
- Thornbury, W. D. (1958). *Principles of Geomorphology*. Nueva York, Estados Unidos: John Wiley & Sons Inc.