

ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS AGROECOLÓGICAS PARA EL CENTRO EXPERIMENTAL COTA COTA, CIUDAD DE LA PAZ-BOLIVIA

Multicriteria analysis for the identification of agroecological areas for the Cota Cota Experimental Center, city of La Paz-Bolivia

Alberto Pati Limachi¹, Mario E. Ramos Flores²

RESUMEN

La presente investigación se llevó a cabo en el Centro Experimental Cota Cota perteneciente a la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés, con el objetivo de identificar: zonas agroecológicas, de uso forestal y de conservación, a través del análisis multicriterio. Es así que, para el trabajo de investigación se tomó seis muestras de suelo extraídas de calicatas con la profundidad de un metro, previamente elaboradas dentro del perímetro del Centro Experimental bajo los criterios de pendiente, proximidad al río y plan del uso del suelo; dichas muestras se llevaron a laboratorio y el resultado del análisis físico y químico fue mapeado a través de un software que aplique Sistemas de Información Geográfica (SIG), haciendo uso de las herramientas de interpolación espacial de datos Kriging e IDW. Los suelos más aptos para el uso agroecológico, son aquellos ubicados según el centroide generado por computadora en la siguiente coordenada: latitud 16° 32' 10.7" Sur y longitud 68° 3' 51.2" W. Indicando un suelo con 10-30 % de pendiente, pH neutro (6.54-7.14), un NDVI mayor a 0.4, textura franco arcillosa, potasio intercambiable 0.6-1 meq 100gS⁻¹, la materia orgánica es de 0.55-1.5%, el porcentaje de nitrógeno total esta entre los 0.2-0.3%, el fósforo disponible supera las 50 ppm, finalmente la capacidad de intercambio catiónico (CIC) entre 17.50-20.64 meq 100gS⁻¹. Según los parámetros utilizados en el análisis multicriterio, un suelo apto para la agroecología no necesita tener el máximo nivel de clasificación en sus propiedades. Solo el 1.1 % de toda el área total es apta, lo cual corresponde a aproximadamente 1 800 m², mas el resto son forestales y para conservación.

Palabras clave: Análisis, multicriterio, agroecología, SIG, AMC, Cota Cota.

ABSTRACT

This research was carried out at the Cota Cota Experimental Center belonging to the Faculty of Agronomy of the Universidad Mayor de San Andrés, with the objective of identifying agroecological, forest use and conservation zones through multicriteria analysis. Thus, for the research work, six soil samples were taken from pits with a depth of one meter, previously prepared within the perimeter of the Experimental Center under the criteria of slope, proximity to the river and land use plan; these samples were taken to the laboratory and the result of the physical and chemical analysis was mapped through a software that applies Geographic Information Systems (GIS), using the Kriging and IDW data spatial interpolation tools. The soils most suitable for agroecological use are those located according to the computer-generated centroid at the following coordinates: latitude 16° 32' 10.7" South and longitude 68° 3' 51.2" W. Indicating a soil with 10-30 % slope, neutral pH (6.54-7.14), NDVI greater than 0.4, clay loam texture, exchangeable potassium 0.6-1 meq 100gS⁻¹, organic matter is 0.55-1.5%, the percentage of total nitrogen is between 0.2-0.3%, available phosphorus exceeds 50 ppm, finally the cation exchange capacity (CEC) is between 17.50-20.64 meq 100gS⁻¹. According to the parameters used in the multi-criteria analysis, a soil suitable for agroecology does not need to have the highest level of classification in its properties. Only 1.1% of the total area is suitable, which corresponds to approximately 1 800 m², but the rest is forestry and conservation.

Keywords: Analysis, multi-criteria, agroecology, GIS, AMC, Cota Cota.

¹Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. wolfapple3@gmail.com

²Docente, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. mrf350@gmail.com

INTRODUCCIÓN

Este trabajo identifica las zonas agroecológicas en un mapa, haciendo uso de un análisis multicriterio en base a Sistemas de Información Geográfica (SIG), ya que con él se pueden incluir los parámetros de estudio necesarios como el índice de vegetación (NDVI), pendientes y otros de igual importancia, en base a la superposición de capas en formato ráster procesadas en un software SIG, con el fin de integrar información de los recursos naturales que dispone el Centro Experimental Cota Cota y el conocimiento para acrecentar los beneficios que se pueden sacar de ella, determinando qué zonas son óptimas para el desenvolvimiento de una explotación agrícola sostenible y ecológica.

La importancia de la identificación de dichas áreas radica principalmente en el desarrollo de alternativas que disminuyan el impacto ambiental de agroquímicos y otros recursos que están destruyendo la microfauna del suelo y erosionando su estructura, de tal manera que también se preserve la belleza del ecosistema y asegure alimentos a las personas y animales.

El Centro Experimental Cota Cota es una de las sedes universitarias encargadas de albergar a investigadores que estudian diferentes metodologías con el objetivo de mejorar la producción agrícola y pecuaria en el mencionado Centro. Es por este motivo que se realizó una zonificación agroecología del Centro y generar una base de datos que le permita identificar y cuantificar las áreas agrícolas que a su vez sean ecológicamente manejables y otras áreas de tal manera que la toma de decisiones futuras respecto al uso del suelo este sustentado en base este estudio propuesto.

La agroecología se define como: “La aplicación de los conceptos y principios ecológicos para diseñar agroecosistemas sustentables”, la idea de la agroecología es ir más allá del uso de prácticas alternativas y desarrollar agroecosistemas con una dependencia mínima de agroquímicos y subsidios de energía enfatizando sistemas agrícolas complejos en los cuales las interacciones ecológicas y los sinergismos entre sus componentes biológicos proveen los mecanismos para que los sistemas subsidien la fertilidad de su propio suelo, la productividad y la protección de los cultivos” (Altieri, 2015).

De acuerdo a Ramos (2011) “La observación remota de la superficie terrestre constituye el marco de estudio de la teledetección. Este vocablo es una traducción latina del término “remote sensing”, ideado a principios de los 70 para designar cualquier medio de observación remota, si bien se aplicó fundamentalmente a la fotografía aérea, principal sensor de aquel momento. La teledetección no engloba sólo los procesos que permiten obtener una imagen, sino también su posterior tratamiento e interpretación”.

Roque (2017) menciona que “Los índices de vegetación son medidas cuantitativas, basadas en los valores digitales de una imagen satelital que tienden a identificar la biomasa en dicha imagen. Usualmente el índice de vegetación es el producto de varios valores espectrales que son sumados, divididos o multiplicados en una forma para producir un simple valor que indique la cantidad o vigor de vegetación dentro de un pixel. Altos valores de índices de vegetación identifican pixeles cubiertos por proporciones substanciales de vegetación saludable”.

La Organización de la Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) a través de la FAO, impulsó la creación de zonas agroclimáticas, apoyando trabajos de investigación en el África subtropical cuando en la década de los 70 se presentó una grave y prolongada sequía provocando serios daños en la agricultura y consecuentemente a la población y su economía, como resultado de estos trabajos se desarrolló un sistema de evaluación de tierras y uno de los puntos centrales fue la creación de zonas agroecológicas, el Boletín N° 73 de la FAO explica la metodología más actualizada para la realización de los estudios de zonificación agroecológica de los cultivos y su interfaz con sistemas de información geográfica (SIG), lo que ha facilitado la extensión de la base de datos ZAE” (Villca, 2017).

El Centro Experimental Cota Cota dependiente de la Universidad Mayor de San Andrés por años ha sido sede de múltiples estudios agrícolas y ha albergado múltiples proyectos de desarrollo agrario, para ello estudiantes, docentes y proyectistas han modificado las propiedades del suelo y hasta del clima (con ayuda de invernaderos) para poder desenvolver sus actividades, pero no se tiene un estudio general de toda el área que permita tomar decisiones como identificar las mejores áreas para construcción civil, carpas solares o áreas

forestales, incluso la información de las propiedades del suelo evaluadas con calicatas se han visto perdidas a lo largo del tiempo porque no han sido georreferenciadas en su momento, más aún, con la expansión del uso del suelo, se ve necesario evaluar el mejor terreno para ampliar la frontera agrícola o tomar medidas de conservación del suelo para evitar la erosión por el manejo inadecuado de los recursos que dispone.

La investigación se justifica por su importancia y contenido, que radica en el estudio de la evaluación multicriterio, sobre plataforma de los sistemas de información geográfica y cómo a través de ellos se puede evaluar de mejor manera la aptitud del suelo y del territorio, estableciéndose con ello la cartografía de la zonificación agroecológica del territorio" (Villca, 2017) y en este caso, para el Centro Experimental Cota Cota.

Los Sistemas de Información Geográfica son una herramienta tecnológica básica para la formulación, ejecución y seguimiento de los planes territoriales y planes de desarrollo de un municipio (Fandiño, 2015). La interpolación es un procedimiento estadístico (estadística espacial) que predice el valor de un atributo concreto en áreas para las que no disponemos de información, el procedimiento se realiza a partir de las medidas puntuales disponibles en la misma área o región (Saz, 2010).

El análisis multicriterio es un método que nos ayuda a identificar zonas de importancia ecológica, ya que evalúa el área de interés cuantitativamente de tal manera que evitamos un análisis subjetivo del estudio del suelo. Se puede definir al análisis multicriterio como el conjunto de procesos secuenciales que considera múltiples parámetros (en este caso criterios) para alcanzar un conjunto de datos informativos (cuantitativos y cualitativos) que son procesados a través de mapas en formato ráster los cuales son manipulados con la asistencia de un programa GIS con el propósito final de ayudar en la toma de decisiones

(Céspedes, 2019). Mientras más factores de análisis se tomen para la evaluación del uso del suelo, más efectivo será el resultado final, siendo el análisis multicriterio la herramienta más útil para poder generar un mapa que indique a los futuros investigadores y proyectistas de qué elementos disponer para hacer más fácil su trabajo.

Es muy importante tener una base de datos que puedan cuantificar las áreas aptas para la agricultura en el Centro Experimental Cota Cota, debido a que podrá brindar información, real y práctica que permitirá tomar decisiones para enfrentar problemas futuros de territorio y uso de mismo. En ese sentido el objetivo del trabajo de investigación es realizar un análisis multicriterio para la identificación de áreas agroecológicas para el Centro Experimental mencionado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de la zona de estudio

La investigación fue realizada en el Centro Experimental Cota Cota, dependiente de la Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés. El Centro Experimental se encuentra ubicado a 15 km del kilómetro cero de la ciudad de Nuestra Señora de La Paz, del Macro Distrito Sur del departamento de La Paz. La región bio geográfica corresponde a las cabeceras de los valles secos andinos de La Paz en transición a la puna. Es una zona de contacto entre dos regiones bio geográficas, por lo tanto se encuentran elementos de flora y fauna de ambas regiones, lo que la vuelve una zona relativamente diversa. Se encuentra situada 16° 32' 11.53" de Latitud S. y 68° 03' 51.01" de Longitud W (Zambrana, 2020).

Metodología

La Figura 1 muestra de forma gráfica la metodología usada para la identificación de las áreas agroecológicas del Centro Experimental Cota Cota.

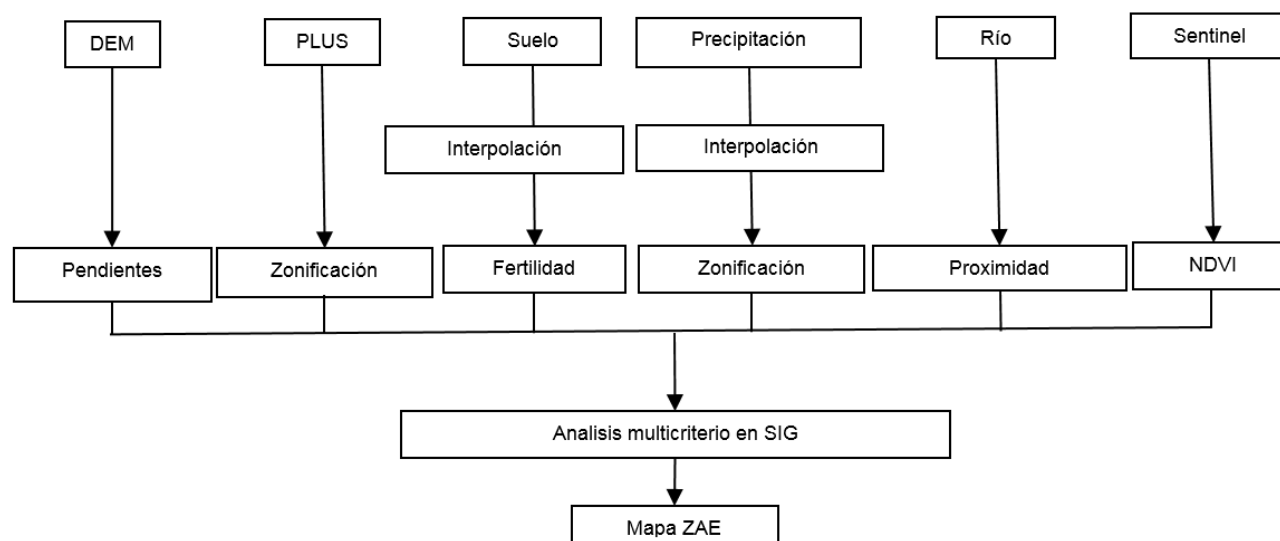


Figura 1. Metodología usada para la identificación de las áreas agroecológicas del Centro Experimental Cota Cota.

Adquisición de información

Se utilizó imágenes de Sentinel 2a <https://scihub.copernicus.eu/> para el análisis del índice de vegetación (NDVI) y se descargó el Modelo de Elevación Digital (DEM) del año 2011 de la página: <https://urs.earthdata.nasa.gov/> con una resolución espacial de 12 metros (imagen ALOS PALSAR) para el mapa de pendientes.

Plan del uso del suelo

El trabajo inició con la identificación del perímetro del Centro Experimental Cota Cota haciendo uso de la información proporcionada por el mismo centro, gracias a un levantamiento previo titulado “Plano Agronomía” en formato “dwg” elaborado en AutoCAD por el Centro Experimental y expandiéndolo hasta las regiones en donde la Facultad de Agronomía posee cultivos. Posteriormente se identificaron las estructuras y los caminos de acceso a ellas, pudiendo diferenciar entre ellas las construcciones civiles, los invernaderos, parcelas y suelo sin uso.

Mapa de pendientes

Se utilizó un Modelo Digital de Elevaciones (DEM) en una aplicación SIG para obtener sus medidas de clasificación en porcentaje, siendo esta la unidad de medida de las pendientes en adelante.

Mapeo de proximidad con el río

Haciendo uso del perímetro del Centro Experimental Cota Cota proyectado en un programa SIG, se

identificó la distancia aproximada que existe entre el río y las montañas (350 m) y se marcaron 4 clases: área susceptible a inundación, área con disponibilidad de agua, área con disponibilidad media de agua y área sin agua.

Mapeo para análisis de las propiedades del suelo

Para identificar las propiedades del suelo, se ubicaron puntos de muestreo en base a calicatas para llevarlos a una gráfica en mapa, para lo cual se usó un análisis multicriterio utilizando SIG y así elegir las mejores zonas de muestra.

Mapeo de calicatas por análisis multicriterio

Para la identificación de las calicatas, es decir los lugares más óptimos para la extracción de muestras, se superpusieron los mapas del plan del uso del suelo, proximidad al río y el mapa de pendientes.

Toma de muestras

Para la toma de muestras se identificaron las zonas preferentemente más cercanas a los caminos para que el tractor pudiera excavar con la pala (sin comprometer la estructura de dichas zonas evitando que el tractor pase sobre la calicata) cada una con una superficie de 1 m² con 1 m de profundidad, siendo en total cuatro, posteriormente fueron limpiadas y medidas. A estas, se suman otras dos que no tuvieron intervención de la maquinaria debido a su ubicación de difícil acceso, en total se abrieron seis calicatas. Se hizo una observación de las características estructurales de la calicata haciendo uso de planillas para la descripción de suelos.

La toma de muestra fue a 50 cm de profundidad que es el promedio que existe entre la profundidad efectiva entre hortalizas y plantas forestales (15-100 cm). Cada muestra tuvo un peso de 500 a 600 g y fueron etiquetadas en bolsas plásticas para posteriormente ser llevadas al laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés.

Análisis en el laboratorio de suelos

El laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés realizó los siguientes análisis bajo los métodos especificados en la Tabla 1:

Tabla 13. Parámetros, unidades y métodos utilizados para el análisis del suelo.

N°	Parámetro	Unidad	Método
1	Textura	Identificación en pirámide textural	Bouyucos
2	Potasio intercambiable	meq/100g S.	Acetato de amonio IN (Espectrofotómetro de emisión atómica)
3	Materia orgánica	Porcentaje	Walkey y Black
4	Capacidad de intercambio catiónico	Meq 100gS ⁻¹ .	Acetato de amonio IN (Espectrofotómetro de emisión atómica) Volumétrica
5	Nitrógeno total	Porcentaje	Kjendahl
6	Fósforo disponible	ppm	Espectrofotometría UV-Visible

Propiedades del suelo

Después del periodo de glaciación Sorata, el valle de La Paz ha experimentado varias etapas sucesivas de erosión además de avances y retrocesos glaciares, como las glaciaciones Choqueyapu I y Choqueyapu II, que dieron inicio a los procesos de ahondamiento de la cuenca del valle de La Paz, el torrente de barro de Cota Cota, ubicado en la zona sur oriental de La Paz, se extiende desde las cercanías de Ovejuyo hasta La Florida (Espinoza, 2015). Para un mejor entendimiento de los resultados del suelo se mapeó cada parámetro haciendo uso de la herramienta de interpolación de puntos de muestreo KRIGING en un programa SIG, es decir, se creó un mapa por cada parámetro realizado en el laboratorio, y se agregó los resultados del laboratorio en la tabla de atributos en cada punto de muestreo de cada mapa.

Texturas

La textura se refiere al contenido porcentual de arena,

limo y arcilla que un suelo presenta, como estas fracciones tienen diferentes cualidades para transmitir o retener el agua, aire, nutrientes y otros, consiguientemente las combinaciones de estas fracciones en diferentes proporciones le propician al suelo una fertilidad variada (Orsag, 2010). Para el mapeo se identificaron cuatro tipos de texturas, que fueron: Franco Arcilloso (FY), Franco Arcillo Limoso (FYL), Franco Arcillo Arenoso (FYA) y Franco Arenoso (FA).

Posteriormente se clasificó en orden descendente la mejor textura franca hasta la menos aceptable para el cultivo, pero visto que todas son francas vale decir que todas son similares entre sí y el cultivo se verá ligeramente más beneficiado por esta reclasificación en el mapa. Se ha elegido la textura Franco Arcillosa como la mejor debido a que sus proporciones de arena, limo y arcilla se encuentran mucho más al centro de la pirámide textural en relación a las otras, siendo ese el criterio para su clasificación.

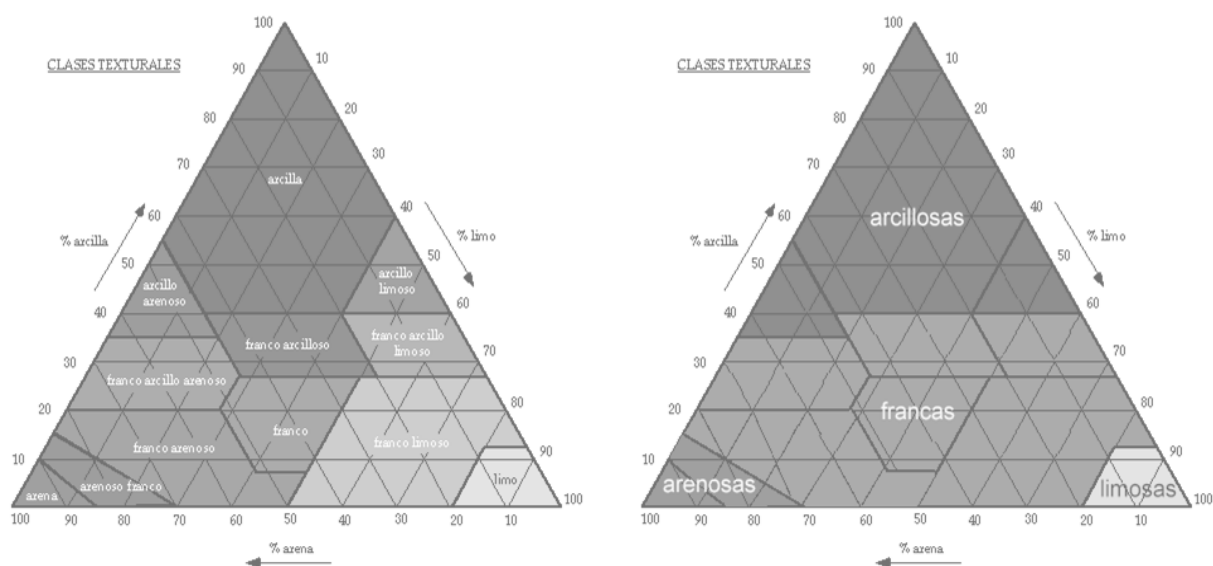


Figura 2. Pirámide textural de suelos (Edafologia.net, 2020).

Potasio intercambiable

Se identificaron los valores de las seis muestras, se cargaron sus valores a las coordenadas de cada calicata en el mapa a través de su tabla de atributos, luego se realizó la interpolación de datos con la herramienta “kriging”. Con la intención de diferenciar cuatro grupos para la clasificación, se reclasificó la interpolación, se indicó que se necesitan cuatro clases y se redondearon los valores por defecto.

Materia orgánica

Se identificaron los valores de las seis muestras, se cargaron en la tabla de atributos del mapa de “calicatas” y se realizó la interpolación con la herramienta “IDW”. Con el fin de diferenciar cuatro grupos para la clasificación, se reclasificó la interpolación indicando que se necesitan cuatro clases y se redondearon los valores por defecto.

Capacidad de intercambio catiónico

Como en los anteriores análisis de datos, se identificaron los valores de las seis muestras tomadas, se copiaron en la tabla de atributos del mapa de “calicatas” y se realizó la interpolación con la herramienta “kriging”. Con el fin de diferenciar cuatro grupos para la clasificación, se reclasificó el resultado anterior indicando que se necesitan cuatro clases y se redondearon los valores por defecto.

Nitrógeno total

La mayor parte de los compuestos orgánicos vegetales contienen nitrógeno, entre los compuestos nitrogenados se encuentran los ácidos nucleicos, aminoácidos y numerosas enzimas, es un componente esencial de la clorofila, el nitrógeno es absorbido por las raíces en la forma de nitratos, aunque las plantas jóvenes toman una parte en forma de amonio (Chilón, 2014). Aplicando la misma metodología de los anteriores datos numéricos en mapas, se identificaron todos los valores de las seis muestras, se copiaron en la tabla de atributos del mapa de “calicatas” y se realizó la interpolación con la herramienta “IDW”. Con el fin de diferenciar cuatro grupos para la clasificación, se indicó que se necesitan cuatro clases y se redondearon los valores por defecto.

Fósforo disponible

Para el mapeo del fósforo disponible se identificaron todos los valores de las seis muestras tomadas, se copiaron en la tabla de atributos del mapa de “calicatas” y se realizó la interpolación con la herramienta “IDW”. Con el fin de diferenciar cuatro grupos para la clasificación, se indicó que se necesitan cuatro clases y se redondearon los valores por defecto.

Mapeo del potencial de hidrógeno

Para el mapeo del potencial de hidrógeno (pH) del

suelo, se identificaron los valores de las seis muestras, a través de la lectura del ph-metro Pocketester LaMotte y corroborado por papel PH. Se copiaron en la tabla de atributos del mapa de “calicatas” y se realizó la interpolación con la herramienta “IDW”. Con el fin de diferenciar cuatro grupos para la clasificación, se indicó que se necesitan cuatro clases y se redondearon los valores por defecto.

Mapeo de precipitaciones

Para realizar el mapeo de precipitación se usaron los datos del Balance hídrico 1980-2018 realizado por el Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA), se realizó una interpolación para generar un ráster que

cubrió el área del Centro Experimental Cota Cota. La precipitación varía dependiendo de los accidentes geográficos, pero debido a que el perímetro del Centro Experimental Cota Cota es limitado, las variaciones del lugar son mínimas. A pesar de ello se hizo una reclasificación de dichas variaciones, dividiéndolas en cuatro clases como se hizo con los anteriores mapas.

Índice de vegetación (NDVI)

El Centro Experimental Cota Cota se encuentra en una zona de transición entre las eco-regiones de Puna y Valles secos en un piso altitudinal altimontano/subandino, las características se muestran en la Tabla 2.

Tabla 14. Vegetación según la ecorregión y el piso altitudinal.

Altitud (msnm)	Eco-regiones	Piso altitudinal	Vegetación			
4 200	Puna	Andino Inferior	Pajonales con arbustos dispersos	Matorrales Puneños	Relictos de bosques puneños	Vegetación ruderal
4 100						
4 000						
3 900						
3 800						
3 700						
3 600						
3 500	Valles secos	Altimontano /Subandino	Pajonales y matorrales de transición (subpuna)	Matorrales siempre-verdes con árboles dispersos	Matorrales semidecíduos y vegetación xerofítica	Vegetación de quebradas y depresiones húmedas
3 400						
3 300						
3 200						
3 100		Montano	Matorrales espinosos, semidecíduos	Relictos de bosques bajos espinosos	Matorrales xéricos con influencia yungueña.	Vegetación de áreas con inundación periódica y áreas de acumulación de sales.
3 000						
2 900						
2 800						
2 700						
2 600						
2 500						

Fuente: Museo Nacional de Historia Natural (Beck et al., 2015).

Se tomó una imagen Sentinel de la cual se obtuvo el NDVI a través del reemplazo de las bandas ocho (Infra rojo cercano) y cuatro (rojo) en la formula general:

$$NDVI = \frac{B8 - B4}{B8 + B4} \quad (1)$$

Posteriormente se identificaron los valores que éste tiene según la clasificación especificada en la Tabla 3, siendo el valor más cercano a 1 el más óptimo:

Tabla 15. Clasificación de los valores de NDVI.

Clasificación	Valor
Nubes y agua (NA)	<0.01
Suelo sin vegetación (SV)	0.01 – 0.1
Vegetación ligera (VL)	0.1 – 0.2
Vegetación mediana (VM)	0.2 – 0.4
Vegetación alta (VA)	>0.4

Fuente: Priorización de áreas de intervención mediante análisis morfométrico e índice de vegetación (Lopez et al., 2015).

RESULTADOS

Análisis multicriterio para la identificación de zonas agroecológicas (ZAE)

Se usaron todos los mapas en formato ráster para que sean parte del análisis multicriterio, los cuales dieron

una noción más completa de cuales áreas son las más óptimas para la producción agroecológica en el Centro Experimental, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 16. Rangos de evaluación para análisis multicriterio N°1.

N°	Criterio	Precipitación (mm año ⁻¹)		Proximidad al río (m)		Pendiente (%)		Capacidad de intercambio catiónico (meq 100gS ⁻¹)	
1	Apto	552	555	88	176	0	5	17.50	20.64
2	Medianamente apto	550	552	176	264	5	10	14.34	17.50
3	Marginalmente apto	548	550	0	88	10	30	11.20	14.34
4	No apto	546	548	264	350	30	>30	8.06	11.20

Tabla 17. Rangos de evaluación para análisis multicriterio N°2.

N°	Criterio	Potasio intercambiable (meq 100gS ⁻¹)		Materia orgánica (%)		Nitrógeno total (%)		Fósforo disponible (ppm)	
1	Apto	0.6	1.0	1.50	2.15	0.3	0.4	50	>50
2	Medianamente apto	0.4	0.6	0.55	1.50	0.2	0.3	35	50
3	Marginalmente apto	0.2	0.4	0.51	0.55	0.1	0.2	20	35
4	No apto	0.0	0.2	0.44	0.51	0.0	0.1	<20	20

Tabla 18. Rangos de evaluación para análisis multicriterio N°3.

N°	Criterio	Textura	Plan del uso del suelo	Índice de vegetación (NDVI)		Potencial de hidrógenos (pH)
1	Apto	Franco arcilloso	Parcelas	0.4	>0.4	6.54 - 7.14
2	Medianamente apto	Franco arcillo limoso	Perímetro (sin uso)	0.2	0.4	7.14 - 7.74
3	Marginalmente apto	Franco arcillo arenoso	Invernaderos	0.1	0.2	5.94 - 6.54
4	No apto	Franco arenoso	Construcciones civiles	<0.1	0.1	7.74 - 8.34

La zona clasificada como 'Apta' en el AMC está descrita como "APTO PARA ZAE" (Figura 3), indicando que es el área para el uso potencial agrícola a través de criterios sobre las propiedades del suelo, disponibilidad de agua y vegetación circundante. Se extiende a 1 800 m² y sus características indican que se encuentra en suelos con una pendiente entre 10 y 30 %; un pH entre los 6.54 - 7.14; según el PLUS son denominadas parcelas; su distancia al río esta entre los 88 y 176 metros; el índice de vegetación (NDVI) es mayor a 0.4; la textura de dicho suelo es Franco Arcilloso; el potasio intercambiable esta entre los 0.6 - 1 meq 100gS⁻¹; la materia orgánica es de 0.55 - 1.5 %; el porcentaje de nitrógeno total esta entre los 0.2 - 0.3 %; el fósforo disponible supera las 50 ppm; finalmente la capacidad de intercambio catiónico (CIC) entre 17.50 - 20.64 meq 100gS⁻¹. Todo esto quiere decir que, según los parámetros utilizados en el análisis multicriterio, un suelo apto para la agroecología no necesita tener el máximo nivel de clasificación en sus propiedades. Pero a pesar de ello, solo el 1.1 % de toda el área total es apta para este

rubro. Tenemos que considerar que dicho suelo fue trabajado constantemente por los estudiantes de la carrera y que por ello podría este haber resultado desgastado por los años, pero al mismo tiempo fue constantemente abonado e inclusive fertilizado con urea en gestiones pasadas.

La zona clasificada como 'Medianamente apta' está descrita como "USO FORESTAL" (Figura 3), es decir, que esta área necesita revitalizar las propiedades de su superficie a través de la forestación y reforestación, implicando un aumento del área verde. Posee un área extensa de 8.26 ha. Según el área más representativa para los suelos forestales se puede rescatar las siguientes características: La pendiente del suelo está entre los 0 y 30 %; un pH entre los 6.54 - 8.34; el plan del uso del suelo clasifica dicho territorio entre parcelas, suelo sin uso e invernaderos; la distancia al río se extiende desde los 0 m hasta los 264 m con dirección norte; el índice de vegetación es mayor a 0.1; las texturas son franco arcilloso, franco arcillo limoso, franco arcillo arenoso y franco arenoso; el potasio

intercambiable se encuentra en los rangos de 0.2 - 1 meq 100gS⁻¹; el porcentaje de materia orgánica va desde los 0.44 - 2.15 %; el porcentaje de nitrógeno total entre 0 y 0.4 %; el fósforo disponible es mayor a 20 ppm; finalmente la capacidad de intercambio catiónico (CIC) comprende los valores 11.2 - 20.64 meq 100gS⁻¹.

La zona clasificada como 'Marginalmente apta' está descrita como "SUELOS EROSIONADOS" (Figura 3), son áreas desgastadas que necesitan recuperar sus propiedades. Esta zona tiene una extensión de 7.57 ha y su descripción es la siguiente: la pendiente esta entre los 0 y 30 % (y cerca de las elevaciones terrestres supera el 30 %); pH entre los 5.94 - 8.34; el PLUS indica que dicho territorio se encuentra en la clasificación 'sin uso' y 'parcelas'; la distancia al río inicia desde el origen (0 m) hasta la montaña (666 m); el índice de vegetación (NDVI) se comprende desde los rangos 0 - 0.4, es decir desde suelo desnudo o

vegetación enferma hasta vegetación medianamente sana; la textura del suelo incluye todas las texturas mencionadas en suelos aptos y medianamente aptos, las cuales son franco arcilloso, franco arcillo limoso, franco arcillo arenoso y franco arenoso; el potasio intercambiable en los rangos 0 - 0.4 meq 100gS⁻¹; el porcentaje de materia orgánica entre 0.44 - 0.55 %; el fósforo disponible desde 0 - 35 ppm; finalmente la capacidad de intercambio catiónico (CIC) entre 8.06 - 11.20 meq 100gS⁻¹. El área de este tipo de suelos alcanza el 43.3 % del total del Centro Experimental Cota Cota, siendo aproximadamente 7.5 ha en total.

La zona clasificada como 'No apta' no existe en estos resultados, indicando que todos los suelos son aptos para una Zonificación Agroecológica (ZAE) en algún grado, ya sea para el manejo agrícola o para revitalización de las propiedades del suelo a través de la forestación siguiendo el paradigma ecológico.

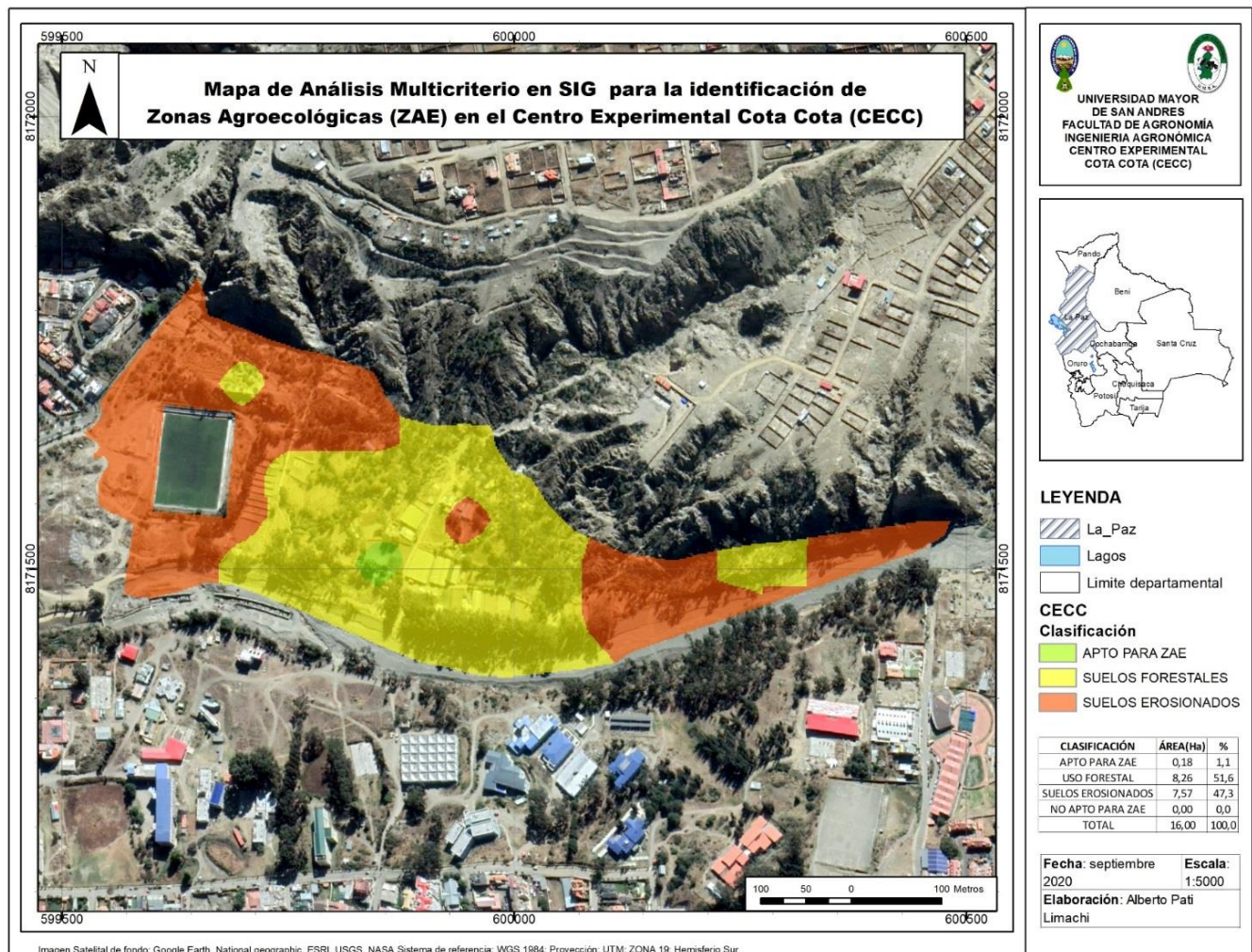


Figura 3. Mapa de análisis multicriterio.

CONCLUSIONES

Se identificó la ubicación y la extensión de las áreas para el uso potencial agrícola a través de criterios sobre las propiedades del suelo, disponibilidad de agua y vegetación circundante. Los suelos más aptos para el manejo agrícola ecológico analizados en campo y laboratorio son aquellos ubicados en las parcelas de agricultura, las cuales según el centroide generado por computadora nos ubica en la siguiente coordenada: latitud 16° 32' 10.7" Sur y longitud 68° 3' 51.2" W (Figura 3) y su extensión es de 1 800 m² siendo tan solo el 1.1 % del área total del Centro Experimental Cota Cota. Este resultado no quiere decir que es la única extensión donde puede aplicarse un manejo agroecológico, en realidad indica que es el área donde dicho manejo puede estar más aventajado, puesto que, sus propiedades de suelo, agua y vegetación son mejores que las otras áreas.

Se identificó la ubicación y la extensión de las áreas para el uso forestal que necesitan revitalizar las propiedades de su superficie y a su vez incrementar el área verde alrededor. Los suelos más aptos para el uso forestal son todos aquellos que caen en la clasificación de suelos 'medianamente aptos' para el uso agroecológico, estos suelos comprenden el 51.6 % del área total del Centro Experimental Cota Cota con 8.26 ha de extensión. Esta área se concentra alrededor de las parcelas de investigación y se esparce a los extremos Este (cerca a la cancha de césped sintético) y Oeste. También se puede resaltar que remarca el borde del río, dando a entender que si aumenta el área verde cerca del río no solo recuperará sus propiedades agrícolas, sino que también se evitaría inundaciones en época de lluvia.

Se identificaron las áreas erosionadas y/o desgastadas para reconocer los suelos que necesitan ser recuperados y conservados. Los suelos más aptos para conservación, es decir suelos que necesitan recuperar las propiedades deseables para la explotación agraria, son aquellos que están dentro de la clasificación 'marginamente apto' y 'no apto' según el AMC, pero los resultados indicaron que no existen suelos 'no aptos' para el manejo agroecológico. El área para suelos de conservación es 7.57 ha, es decir, un poco menos de la mitad, con un 47.3 % del total del área del CECC. La mayor parte del suelo erosionado se encuentra alrededor de la cancha de césped sintético, es decir al oeste del Centro Experimental Cota Cota, pudiendo visualizar en la fotografía satelital

que efectivamente existe mucho suelo desnudo en esos alrededores, que podría recuperar sus propiedades fértiles con la implementación de prácticas físicas y biológicas.

BIBLIOGRAFÍA

- Altieri, M. A. 2015. Agroecología: principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables (en línea). Ediciones Científicas Americanas. Consultado 15 feb. 2021. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/255668549_Agroecologia_principios_y_estrategias_para_disenar_sistemas_agrarios_sustentables
- Beck, S; García, E; Thompson, N; Meneses, R; Zenteno, F; López, R; Fuentes, A. 2015. Paisajes, eco-regiones y vegetación. In I. Moya, I. R. Meneses, J. Sarmiento, Historia Natural de un Valle en Los Andes: La Paz. La Paz: Museo Nacional de Historia Natural. pp. 113-158.
- Céspedes, M. 2019. Curso de sistemas de información geográfico y teledetección. La Paz, Murillo, Bolivia.
- Chilón, E. 2014. Manual de fertilidad de suelos y nutrición de plantas. La Paz, La Paz, Bolivia: CIDAT.
- Edafologia.net. 2020. Propiedades físicas (en línea). Consultado 11 mar. 2021. Disponible en <http://www.edafologia.net/introeda/tema04/text.htm>
- Espinoza Rubin de Celis, FD. 2015. Geología y geomorfología de un valle en los Andes. In I. Moya, R. I. Meneses, & J. Sarmiento, Historial Natural de un Valle en Los Andes: La Paz. La Paz: Museo Nacional de Historia Natural. pp. 13-39.
- Fandiño, HB. 2015. Evaluación multicriterio y SIG como herramientas para la gestión territorial. Caso de estudio ubicación del terminal de transporte en Zipaquirá Cundinamarca. Bogotá, Colombia: Universidad Santo Tomas.
- Lopez, A; Martinez, M; Fernandez, D. 2015. Priorización de áreas de intervención mediante análisis morfométrico e índice de vegetación. In Tecnología y Ciencias del agua volumen VI. México: Colegio de Postgraduados en Hidrociencias. pp. 121-137.
- Orsag, V. 2010. El recurso suelo, principios para su manejo y conservación. La Paz: ZEUS.

- Ramos, ME. 2011. Tratamientos estadísticos de imágenes satélites. La Paz: Universidad Mayor de San Andrés.
- Roque, J. 2017. Detección semiautomatizada de cuerpos de agua y bofedales a partir del tratamiento de imágenes Landsat TM (generación de un modelo predictivo) Escena 001/071 La Paz, Bolivia. Proyecto de grado. Nuestra Señora de La Paz, La Paz, Bolivia: UMSA.
- Saz, MA. 2010. Análisis de la información geográfica. Métodos de interpolación. Aplicaciones en climatología. Zaragoza, España: Universidad de Zaragoza.
- Villca, W. 2017. Cartografía de la zonificación agroecológica. La Paz, La Paz, Bolivia: UMSA.
- Zambrana, C. 2020. Cría de abejas reinas (*Apis mellifera* L.) y remplazo en colmenas en el Centro Experimental de Cota Cota (en línea). Consultado 08 ene. 2021. Disponible en <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/25481/TD-2805.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Artículo recibido en: 05 de mayo 2021
Aceptado en: 02 de agosto 2021