

# Desarrollo de un modelo predictivo de distribución geográfica de cacao (*Theobroma cacao*) en comunidades indígenas del Trópico de Cochabamba

Esther Rojas<sup>1</sup>; Jhonny Torrez<sup>2</sup>; Jorge Rojas<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro de Biotecnología y Nanotecnología Agropecuario y Forestal – FCAyP - UMSS

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería – FCAyP - UMSS

*E mail:* erojasvargas@gmail.com

**Resumen.** En comunidades indígenas del trópico de Cochabamba existe producción de cacao silvestre nativo, que es considerado un recurso natural con alta demanda en el mercado internacional y nacional. Por sus características, este material podría ser utilizado en programas de mejoramiento genético del cacao; para este propósito es necesario conocer las zonas con mayor presencia de cacao nativo. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han demostrado ser una herramienta muy útil en estudios de distribución de especies. En el presente trabajo se utilizó variables climáticas, variables geológicas, geomorfología, pendientes, altura y vegetación, las cuales sirvieron para generar mapas de presencia y/o ausencia de *Theobroma cacao*. Las variables geología, geomorfología, altitud y vegetación, son las que determinan la presencia de la especie. Se generó un mapa de factores biofísicos utilizando las variables geología+ geomorfología + altitud. El mapa de presencia y/o ausencia se generó utilizando el mapa de factores biofísicos más la variable vegetación, obteniendo un mapa predictivo realizado de forma supervisada. La validación en campo demostró que el modelo de acuerdo a las variables utilizadas es preciso, pero debe incluirse nuevas variables como pH, tipo de suelo y aumentar el número de estaciones meteorológicas.

**Palabras clave:** SIG; Mapas; Métodos Predictivos; Biodiversidad

**Summary.** Development of a predictive geographical distribution model of cacao (*Theobroma cacao*) in indigenous communities of the Tropic of Cochabamba. In indigenous communities in the tropic of Cochabamba, there is production of native wild cacao, which is considered a natural resource with high demand in the international and national market. Due to its characteristics, this material could be used in genetic improvement programs of cacao; for this purpose, it is necessary to know the areas with the highest presence of native cacao. The Geographic Information Systems (GIS) have proved to be a very useful tool in studies of species distribution. In the present work, climatic variables, geological variables, geomorphology, slopes, height and vegetation were used which served to generate maps of presence and / or absence of *Theobroma cacao*. The geology, geomorphology, altitude and vegetation variables are the ones that determine the presence of the species. A map of biophysical factors was generated by using the geology + geomorphology + altitude variables. The map of presence and/or absence was generated using the map of biophysical factors plus vegetation variable, obtaining a predictive map performed in a supervised manner. Field validation showed that, the model according to the variables used, is accurate, but new variables such as pH, soil type and increasing the number of meteorological stations should be included.

**Keywords:** GIS; Maps; Predictive Methods; Biodiversity

## Introducción

El cacao, *Theobroma cacao* L. es un árbol nativo de regiones húmedas tropicales del norte de Sur América. En el mundo, el árbol de cacao crece en zonas tropicales que gozan de condiciones climáticas y medioambientales adecuadas, favoreciendo directamente a pequeñas propiedades familiares y explotaciones agrícolas de comunidades indígenas.

El cacao nativo existe en **estado silvestre** (*estado de las plantas en el bosque natural que producen y se reproducen sin la intervención del hombre*) y **estado cultivado** (*en parcelas pequeñas y que realizan prácticas culturales para incrementar rendimientos*), es un grupo genético que contiene características particulares que los distinguen de otros genotipos (forasteros y trinitarios).

Actualmente existen estudios sobre el cacao nativo en Bolivia y se estima que existe una superficie de 12.115 hectáreas de cacao nativo silvestre, de esta superficie solo el 40% es aprovechado. También se menciona que la producción en porcentaje se distribuye de la siguiente manera (Bazoberry y Salazar, 2008).

- Beni 67%
- Santa Cruz 24%
- La Paz 6%
- Pando 2%
- Cochabamba 1%

El dato mencionado sobre la producción de cacao nativo en el trópico de Cochabamba es irreal, ya que la mayor superficie de las TCO, cuentan con las condiciones propicias para el cultivo.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), permiten almacenar, ver, manipular y analizar una gran cantidad de datos georeferenciados de una forma eficaz y rápida. La generación de modelos de distribución geográfica de especies son para identificar áreas específicas de presencia y/o ausencia, de acuerdo a características definidas como climáticas (temperatura, precipitación, humedad relativa), suelo, vegetación, geología, geomorfología.

Los modelos de distribución de especies indican la idoneidad del hábitat para el desarrollo de poblaciones de una especie concreta o de una comunidad, calculada a partir de observaciones en campo y una serie de variables ambientales que actúan como predictores.

El trabajo -a través de herramientas SIG- busca identificar posibles sitios de presencia de cacao, tomando como variables ambientales las climáticas, vegetación geología geomorfología altitud y pendiente; cada una de estas variables como resultado, muestra un mapa óptimo de presencia y o ausencia en las tres TCO del Trópico de Cochabamba.

## Materiales y métodos

### *Recopilación de información*

Se recolectó información secundaria de SERGEOMIN (Servicio Geológico Minero), en el que se encuentra mapas geológicos y geomorfológicos de Bolivia. Además se tuvo acceso a datos climáticos del SENAMHI de un periodo de 10 años.

La interpretación de imágenes satélite, para este estudio, representan el insumo principal; se utilizó la imagen LANDSAT-TM del año 2010 con una resolu-

ción de 30 m \* 30 m, sobre la cual se efectuaron combinaciones de bandas de acuerdo a las necesidades de cada interpretación.

**Definición de las variables ambientales**

**a. Climáticas.** Los requerimientos climáticos óptimos del cacao, determinan la presencia, desarrollo y producción de esta especie. Para el estudio se consideraron tres parámetros climáticos: temperatura, precipitación y humedad relativa.

**b. Vegetación.** El estudio de la cobertura vegetal permitió establecer las zonas de acuerdo al tipo de bosque y el uso actual de suelo existentes, lo que determinará la superficie de cada unidad identificada.

**c. Geología y geomorfología.** La base para la generación de los mapas geológicos y geomorfológicos de la zona de estudio, son los mapas de Bolivia generados por el Servicio Geológico Minero.

**d. Altitud y pendiente.** Para generar información de altitud y pendiente, se utilizó el DEM (*modelo de elevación digital*) de Bolivia, generado por el Servicio Geológico Minero.

**Generación del modelo - Criterios de presencia y ausencia de cacao**

Los criterios de presencia son los requerimientos óptimos del cacao (Cuadro 1),

los cuales obtendrán el valor más alto; para el estudio corresponde a 4, aspecto que permitirá identificar el sitio exacto de presencia, existiendo valores menores, lo que implica que la probabilidad es alta con un valor de 3, media 2 y baja 1. Los criterios de ausencia se establecen para definir aquellas zonas que no cumplen con las características óptimas requeridas por el cacao, son las que se encuentran entre rangos mayores y menores a los requerimientos óptimos y se les asigna valor cero (0), denominándole ausencia.

**Métodos de interpolación**

El software ARC GIS 10, utiliza programas de interpolación como el Arc. Map. Se eligió este programa porque cumple las condiciones de trabajar simultáneamente con estructuras de datos vectoriales y raster, permitiendo operaciones avanzadas de álgebra de mapas y dispone de un lenguaje de desarrollo suficiente para la automatización de tareas.

**Validación del modelo de presencia de cacao**

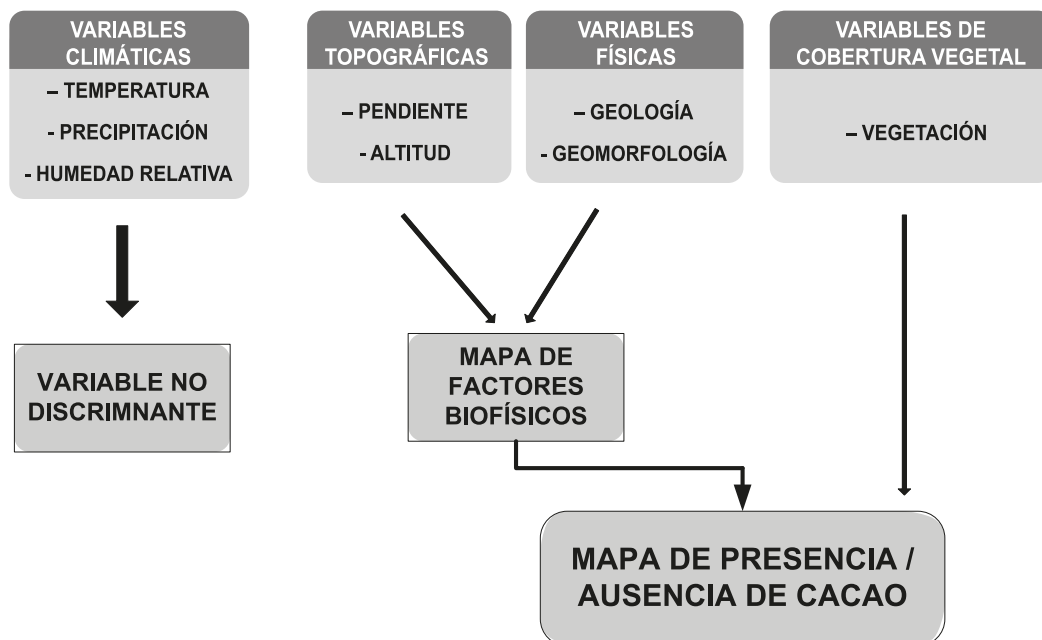
La identificación de presencia de cacao, se realizó a través de transectos que fueron trazados de acuerdo a la accesibilidad de caminos. En todas las zonas se tomaron datos georeferenciados de los sitios y se realizaron encuestas semi estructuradas a los indígenas.

**Cuadro 1.** Condiciones climáticas para la presencia de cacao

Variables	Máxima	Mínima	Óptima
Temperatura °C	30- 32	18- 21	25 - 26
Precipitación mm	3500	1200	1500
Humedad relativa %	85	65	70- 80
Altitud msnm	620	0	400- 600

Elaborado en base a revisión bibliográfica

### Esquema del modelo de presencia de cacao



## Resultados y discusión

### Descripción y ubicación de la zona de estudio

El área de estudio se encuentra en el Trópico de Cochabamba, en las tres TCO: TIPNIS, YURACARE y YUQUI. Tiene características climáticas y bióticas, típicas de los bosques húmedos tropicales amazónicos. La superficie del área de estudio es de 1.451.472,93 hectáreas.

### Descripción de las variables

**Geología.** La geología a nivel regional del Trópico de Cochabamba, se halla conformada por rocas paleozoicas del cámbrico, ordovícico, silúrico, devónico, carbónico y pérmico; suprayacen rocas del cretácico, correspondiente al mesozoico, y estratos del terciario que pertenecen al cenozoico; a las rocas mencionadas, suprayacen sedimentos del cuater-

nario aluvial en el cauce, depósitos aluviales asociados a terrazas y abanicos aluviales, depósitos fluvio lacustres y terrazas antiguas, sedimentos coluviales, y deslizamientos. *La mayor probabilidad de encontrar cacao (4) es Cuaternario: Deposito Coluviales, Aluviales y Fluvio Lacustres en una superficie de 884.128,4 has.*

**Geomorfología.** Mediante la interpretación de imágenes satelitales (Landsat TM del año 2010), se ha elaborado un mapa de unidades geomorfológicas, considerando los procesos, formas, pendientes y tipo de movimiento, que utilizaron para realizar el Plan Nacional de Cuencas, en el cual se sobrepuso el área de estudio. *La mayor probabilidad de encontrar cacao (4) es en la llanura de inundación ocasional y excepcional.*

**Vegetación y uso de suelo.** Para la generación del mapa de vegetación y uso de suelo, se utilizó la metodología de clasi-

ficación supervisada, utilizando como base, la imagen satelital Landsat 2010. *En el área de bosques existe mayor probabilidad de encontrar cacao (4) y en ríos, pantanos ausencia (0), curichis baja probabilidad (1) y en agricultura (2), probabilidad media.*

**Humedad relativa.** El requerimiento óptimo de humedad relativa, para que el cacao se desarrolle adecuadamente, es de 70% a 80 %. Los datos obtenidos de las estaciones meteorológicas, que son promedios anuales de un periodo de 10 años, muestran un rango de 70% a 82 %. Con estos datos el software modela y determina la humedad en la zona de estudio, el método de interpolación utilizado es IDW (*Distancia Inversa Ponderada*). *Según estos resultados, toda la zona de estudio presenta probabilidad alta de presencia de cacao.*

**Precipitación.** Las condiciones de precipitación para la presencia de cacao, están en un rango de 3.500, 1.200 y 1.500 mm de lluvia, como valores máximo, medio y óptimo, respectivamente. Como no existen estaciones meteorológicas dentro el área de estudio, el programa realizó una interpolación con el método Kriging, que genera una superficie estimada a partir de un conjunto disperso de puntos con n valores. *De acuerdo al resultado del mapa, la probabilidad de presencia de cacao es alta.*

**Temperatura.** En la zona de estudio la temperatura mínima está en un rango de 19°C a 20°C, el que se encuentra dentro de los parámetros mínimos requeridos (18°C a 21°C). La temperatura máxima es de 29°C a 32°C y la temperatura media de 24°C a 26°C, ambos dentro de las condiciones óptimas requeridas por el cacao.

### ***Elaboración del mapa de presencia de cacao en las comunidades Indígenas del Trópico de Cochabamba***

Para elaborar el mapa probabilístico de distribución de cacao, se utilizó el Software Arc-Gis 10, que consiste en un programado de algoritmo matemático, a través de un Sistema de Información Geográfica, el cual integra las variables ambientales, geología, geomorfología y vegetación, con los datos de presencia del cacao (parámetros determinados por los requerimientos óptimos de cacao).

**Mapa de presencia de cacao - Factores biofísicos.** De acuerdo al modelo, se realizó un álgebra de mapas, que incluye un amplio conjunto de operadores que se ejecutan sobre una o varias capas raster de entrada, para producir una o varias capas raster de salida. Por operador se entiende un algoritmo que realiza una misma operación en todas las celdillas de una capa raster. Estos operadores se definen mediante ecuaciones. Cada capa raster es una matriz de números y la operación se realiza para todos los números de la matriz, por tanto para todas las celdillas de la capa raster.

**Mapa final de presencia de cacao.** La variable vegetación es considerada de mucha importancia, teóricamente el cacao nativo, en estado silvestre, se encuentra en los bosques poco intervenidos y que se asocian con especies forestales como el bibosi, almendrillo, sangre de toro (información verbal obtenida de los indígenas). Existe mayor presencia de cacao cerca a las riberas de los ríos. Para la generación del mapa final de presencia de cacao, también se utilizó la herramienta del Arc. Gis 10 álgebra de mapas (mapa de factores biofísicos + mapa de vegetación) (ver Figura 1).

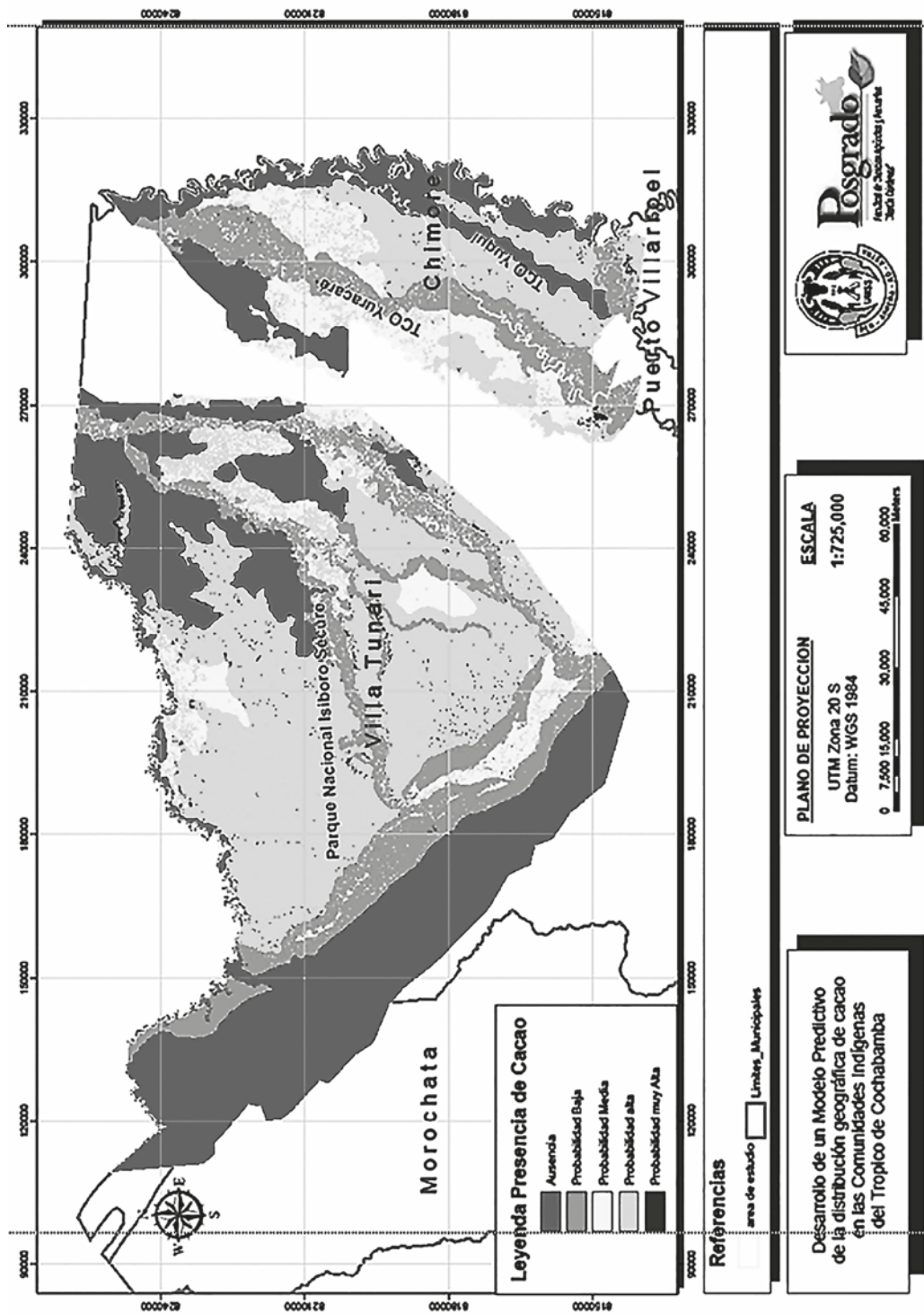


Figura 1. Mapa de presencia / ausencia de cacao en comunidades indígenas del Tropicó de Cochabamba

La clasificación de vegetación y uso de suelo, es uno de los factores que determina la presencia de cacao, existiendo dentro de esta clasificación, los curichis y los pantanos, en los que la probabilidad de encontrar cacao es muy baja o de ausencia total.

De acuerdo al modelo generado, solo el 0.69% de la superficie total, corresponde a una probabilidad *muy alta*, mientras que la superficie de ausencia de cacao es de 32.87%, es decir que con las variables seleccionadas, se podría estar subestimando la superficie de probabilidad *muy alta*.

En el Cuadro 2 se muestra los resultados del mapa de presencia de cacao, el cual indica que la probabilidad de presencia de cacao es la suma de *muy alta*, *alta*, *media* y *baja*, alcanzando el valor de 67.12% y la ausencia de cacao corresponde a 32.87%.

**Validación de resultados en campo**

Concluido el trabajo de gabinete, se realizó los viajes de expedición, teniendo identificado en el mapa los posibles sitios

donde podría existir mayor probabilidad de cacao.

Los lugares en las que no se encontraría cacao corresponden a la zona de cordillera y zona muy baja, con bastante presencia de pantanos del TIPNIS: las TCO Yuqui y Yuracare no presentan cacao en los pantanos, se visitó la comunidad “Santa Isabel” y se corroboró la información a través de cuestionarios estructurados, que se realizaron a autoridades de la comunidad.

De las 18 comunidades analizadas, 5 coinciden tanto en el modelo generado como en campo, 4 comunidades con presencia alta en campo, en el modelo están en baja a media probabilidad, 5 comunidades en campo con probabilidad media, en el modelo reportan baja probabilidad.

De acuerdo a esta apreciación, el modelo tiene una eficiencia de 30%. La corroboración en campo, demuestra que el modelo es medianamente confiable, debido a que para la información climática se tomaron solo siete estaciones.

**Cuadro 2.** Probabilidad de presencia / ausencia de cacao (*Theobroma cacao*) en comunidades indígenas del el Trópico de Cochabamba

Tipnis (ha)	Yuqui-Yuracaré (ha)	Total de superficie (hectáreas)	%	Probabilidad
396.882,8	108.662,4	505.545,2	35.03	Alta
387.601,3	86.822,3	474.423,6	32.87	Ausencia
180.253,6	86.507,6	266.761,1	18.48	Baja
104.095,2	82.308,1	186.403,3	12.92	Media
7.703,6	2.289,5	9.993,0	0.69	Muy Alta

## Conclusiones

- El modelo generado de presencia/ausencia de cacao es medianamente preciso, por lo que deben incluirse otros aspectos que no fueron tomados en cuenta en este estudio, por ejemplo el pH del suelo.
- Las variables climáticas: temperatura, precipitación, humedad relativa, para este estudio no son factores que determinan la presencia y/o ausencia de cacao, debido a que en el área de estudio, las condiciones climáticas están dentro los requerimientos óptimos del cultivo de cacao.
- Las variables geología y geomorfología presentan información que diferencia las áreas de presencia y/o ausencia, debido a que la formación geológica y geomorfológica, determina características en las que se encuentra cacao.
- A la variable vegetación se le asignó mayor peso en la generación del modelo, debido a que el cacao nativo en estado silvestre se encuentra en los bosques.
- El modelo predictivo generado tiene el inconveniente que solo permite identificar zonas con presencia y/o ausencia de cacao y no así la distribución, la riqueza y los ecotipos existentes en el área de estudio.
- El modelo desarrollado ha demostrado ser una herramienta de gran utilidad, ya que permitió realizar un gran número de operaciones, sobresaliendo las superposiciones de mapas, la representación gráfica de las condiciones ambientales del área de estudio y el mapa de presencia de cacao en las comunidades indígenas del Trópico de Cochabamba.

## Referencias citadas

- Bazoberry Ch., Salazar C. 2008. El cacao en Bolivia una alternativa económica de base campesina indígena. CIPCA. La Paz, Bolivia.

*Trabajo recibido el 14 de octubre de 2016 - Trabajo aceptado el 5 de noviembre de 2016*