



## Modelación espacial para la evaluación de la fertilidad del suelo, Estación Experimental Sapecho

### Spatial modeling for the evaluation of soil fertility, Experimental Station Sapecho

*Carlos Eduardo Choque Tarqui.*

#### RESUMEN:

El presente trabajo realizado para el predio de la Estación Experimental de Sapecho, municipio de Palos Blancos. En el mismo estudio se evalúa la fertilidad de los suelos, en cuanto a la variabilidad espacial de los parámetros físicos y químicos, los parámetros estudiados fueron: Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Capacidad de Intercambio catiónico CIC, reacción del suelo pH, Materia Orgánica M.O., textura, densidad aparente, porosidad e infiltración. Se han tomado 29 muestras sub superficiales de 0-50 cm de profundidad, las mismas se analizaron en el laboratorio. Para el procesamiento de la información cartográfica se utilizó software en Sistemas de Información Geográficas SIG (Arc Gis 10.3), mediante sus diferentes geoherramientas se crearon capas. La distribución espacial de cada elemento físico y químico del suelo ha sido elaborada por interpolación procedimiento IDW (ponderación de distancia inversa) método de interpolación que estima los valores de las celdas calculando promedios de los valores de los puntos de datos de muestra en la vecindad de cada celda de procesamiento. Previo a crear las capas, cada parámetro ha sido evaluado y analizado estadísticamente, las mismas presentaron sus rangos mínimos y máximos, así como su variabilidad, según sus unidades el rango numérico es muy diferentes entre cada uno de ellos, por tal modo según el modelo a utilizar fue necesario el procedimiento de normalización, para posteriormente aplicar al modelo espacial por el proceso de análisis jerárquico AHP, desarrollado por Thomas L. Saaty (The Analytic Hierarchy process, 1980). La metodología seguida consta de; la recolección de información secundaria, seguidamente el reconocimiento del lugar relevamiento de las parcelas y el levantamiento edafológico, finalmente como una tercera etapa consta del procesamiento de la información operación de capas para posteriormente editarlas en cartográficamente (mapas agrologicos). La evaluación de la fertilidad de los suelos se categoriza en cinco escalas que según Riquier-Bramao-Cornet (1970) considera la puntuación de los parámetros entre 0 a 100, cabe aclarar que este sistema considera otros factores para su evaluación sin embargo esta escala es muy adecuada en este estudio por la manera de separar las puntuaciones, que en el modelo de jerarquización lanza en un mismo rango. Los resultados encontrados han sido 40% de suelos con baja fertilidad, 35% media fertilidad y 25% alta fertilidad.

#### PALABRAS CLAVE:

Fertilidad, Modelo Espacial, Cartografía.

#### ABSTRACT:

The present work done for the site of the Sapecho Experimental Station, municipality of Palos Blancos. In the same study the fertility of the soils is evaluated, in terms of the spatial variability of the physical and chemical parameters, the parameters studied were: Nitrogen (N), Phosphorus (P), Potassium (K), Cationic Interchange Capacity CIC, soil pH reaction, organic matter MO, texture, bulk density, porosity and infiltration. Twenty-nine sub-surface samples of 0-50 cm depth were taken, they were analyzed in the laboratory. For the processing of cartographic information software was used in Geographic Information Systems GIS (Arc Gis 10.3), through their different geo-tools layers were created. The spatial distribution of each physical and chemical element of the soil has been elaborated by interpolation procedure IDW (inverse distance weighting) method of interpolation that estimates the values of the cells by calculating averages of the values of the sample data points in the vicinity of each processing cell. Prior to creating the layers each parameter has been evaluated and statistically analyzed, each of them independently has a numerical range according to their units, they were then normalized, to subsequently apply a spatial model by the AHP hierarchical analysis process, developed by Thomas L. Saaty (The Analytic Hierarchy process, 1980). The methodology followed consists of; the collection of secondary information, then the recognition of the place where the plots are collected and the edaphological survey, finally as a third stage consists of the processing of the information layer operation to later edit them in cartographic (agrological maps). The evaluation of soil fertility is categorized into five scales that according to Riquier-Bramao-Cornet (1970) considers the score of the parameters between 0 to 100, it is clear that this system considers other factors for its evaluation, however this scale is very appropriate in this study for the way of separating the scores, which in the hierarchical model launches in the same range. The results found were 40% of soils with low fertility, 35% medium fertility and 25% high fertility.

#### KEYWORDS:

Fertility, Spatial Model, Cartography.

#### AUTOR:

**Carlos Eduardo Choque Tarqui:** Investigador. Estación Experimental de Sapecho. Facultad de Agronomía. Universidad Mayor de San Andrés. [eduard.charly@gmail.com](mailto:eduard.charly@gmail.com)

**Recibido:** 15/05/2018. **Aprobado:** 31/07/2018.



## INTRODUCCIÓN

La modelación espacial se basa en criterio y procesos metodológicos, en este estudio se ha considerado, el proceso de análisis jerárquico AHP, desarrollado por Thomas L. Saaty (The Analytic Hierarchy process,

1980) diseñado para resolver problemas complejos de criterio múltiples. Este proceso requiere de quien toma las decisiones proporcione evaluaciones subjetivas respecto a la importancia relativa de cada uno de los criterios y que después especifique su

preferencia con respecto a cada una de las alternativas de decisión y para cada criterio. El resultado AHP muestra las preferencias globales para cada una de las alternativas de decisión.

Evaluar la fertilidad de los suelos en la EES, nos permite conocer el estado nutricional en las parcelas y/o bosques secundarios (barbechos). Para los cuales se requiere clasificar el estado de la fertilidad espacialmente en todo el predio, en el estudio se encontró áreas de muy buena fertilidad en otros de bajas fertilidad atribuidas a diferentes causas, por lo que nos permite recomendar prácticas de manejo de suelos, así mismo planificar actividades para cada periodo de cultivo, a su vez dar una clase de uso de suelos.

Según Sánchez (2007), la Fertilidad del Suelo es una cualidad que resultante de la interacción entre las características físicas, químicas y biológicas del mismo y que consiste en la capacidad de poder suministrar condiciones necesarias para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Estos factores interactúan en conjunto y determinan la fertilidad del suelo.

Graetz (1996), indica que un suelo es fértil si contiene y suministra a las raíces cantidades adecuadas de nutrientes, agua y aire para que el cultivo crezca y produzca bien, además tiene una estructura y profundidad adecuada para proporcionar un ambiente favorable al desarrollo de las plantas.

Cabe señalar que la distribución de los nutrientes y las propiedades del suelo ha sido estudiada dentro de una unidad fisiográfica (unidad homogénea) que no presenta cambios abruptos litológicas. Sino más bien por las labores de cultivos presentes, prácticas de manejo de suelos, micro relieves ligeramente ondulados, pequeños espacios a nivel de parcela anegados en épocas húmedas.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El estudio se llevó a cabo en la EES, ubicado geográficamente en una latitud 15°33'53.57" S, longitud 67°19'11.23" O, Municipio de Palos Blancos (ver figura 1), Los suelos se encuentran en

una posición fisiográfica de llanura aluvial, el tipo de suelos está clasificada dentro del orden Oxisoles y Ultisoles en el sistema de USDA. El área de trabajo encierra una superficie de 150 ha, dentro del predio se encuentran cultivos que datan de los años 80's cacao y cítricos principalmente, la misma formación vegetal está conformada por bosque secundario (barbecho).

En una primera fase se ha identificado el área de influencia, seguidamente se realiza el relevamiento de las parcelas con la ayuda de un receptor GPS, posteriormente se realizó la planificación del levantamiento edafológico densificación de muestreo de suelos, para el mismo se tomaron un total de 29 muestras de suelos que se enviaron al laboratorio de Suelos y Aguas del IBTEN las mismas son tomadas a una profundidad de 0 a 50 cm, paralelamente se hicieron tres calicatas para observar los cambios litológicos en el perfil del suelo.

Una vez sistematizada los reportes del análisis de suelos se realizó una evaluación estadística para homogenizar valores y evitar errores, consecutivamente se realizó la interpolación espacial IDW (ponderación de distancia inversa) que estima los valores de las celdas calculando promedios de los valores de los puntos de datos de muestra en la vecindad de cada celda de procesamiento, el mismo fue realizado mediante las geo-herramientas del software en Sistemas de Información Geográficas SIG (Arc Gis 10.3)

Seguidamente la evaluación de la fertilidad de los suelos se realiza a partir de las capas generadas mediante interpolación IDW, generado valores en cada celda según el rango de cada parámetro estudiado, para el modelo fue necesario homogenizar unidades el cual se realizó estandarizado unidades en un rango de 0 a 1 valoración normalizada.

Para los análisis físicos y químicos se han construido las tablas de análisis jerárquico AHP, desarrollado por Thomas L. Saaty (The Analytic Hierarchy process, 1980), en el mismo se han priorizado cada uno de los parámetros en función de la importancia dentro de la fertilidad del suelo. Separadamente se ha construido un modelo de la fertilidad física y otro de la química.

Seguidamente ambas capas han sido sobrepuestas generando un mapa que representa la fertilidad espacial edáfica del suelo.

Según Riquier, Bramao y Cornet (1970) la evaluación de la fertilidad de suelos considera factores intrínsecos (suelos) y extrínsecos (clima), en esta

evaluación se agrupan cinco niveles o clases de fertilidad en una escala de 0 a 100, cabe aclarar que este sistema considera gran parte de los parámetros utilizados en el estudio, además posee versatilidad de integración en el proceso de análisis jerárquico y el SIG

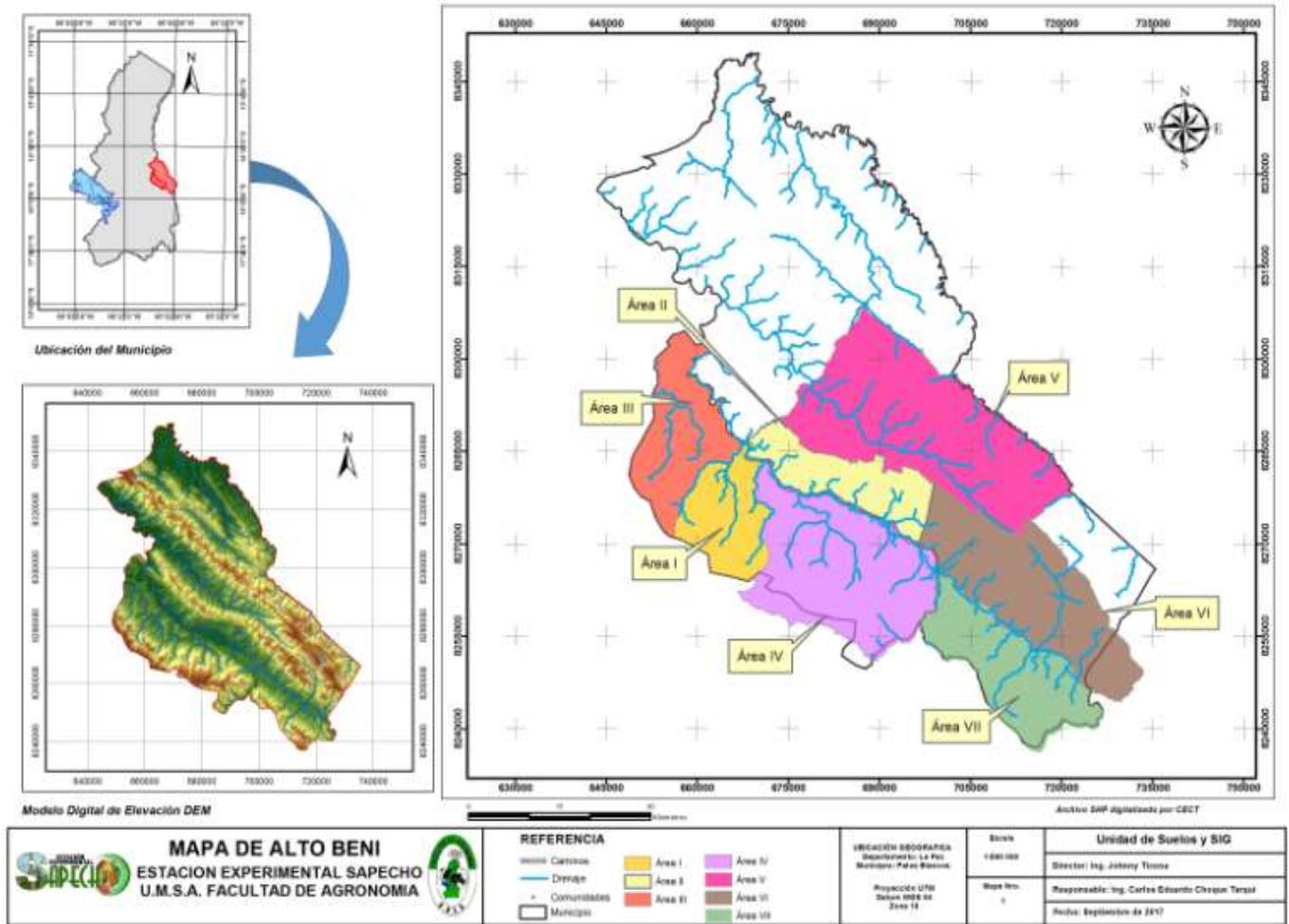


Figura 1. Mapa de Ubicación Alto Beni.  
Fuente: E.E. Sapecho en base a DEM y Riquier, Bramao y Cornet (1970).

Finalmente, con las capas generados (layer) se realizó la edición cartográfica mapas de la fertilidad edáfica física y química, y la sobre posición de ambas para

conocer una fertilidad edáfica, en la cual se presentan espacialmente áreas con diferentes clases de fertilidad.

Tipo de Fertilidad	Valor índice	Interpretación de Uso
Excelente	100 - 65	Muy adecuada para todos los cultivos
Buena	64 - 35	Moderadamente adecuada para todos los cultivos
Media	34 - 20	Marginales, adecuadas para cultivos de árboles no forestales
Pobre	19 - 8	para Pastoreo, Forestal
Extremadamente pobre	7 - 0	Reservas

## RESULTADOS

Los reportes de análisis de suelos han sido evaluados estadísticamente para conocer su variación, previo a su proceso de interpolación por el mismo se ha construido el siguiente cuadro No. 1, en la cual se

Tabla 1. Estadísticas descriptivas de las variables físicas y químicas de los suelos.

Variables	Unidad	Mínimo	Máximo	Media	Desv.Std	Varianza	% Variación
N	%	0.03	0.19	0.09	0.04	0.00	47
P	ppm	0.06	5.92	1.15	1.44	2.08	126
K	Cmol/kg	0.09	0.38	0.19	0.08	0.01	43
C.I.C.	Cmol/kg	4.84	13.37	9.45	2.42	5.87	26
pH		4.60	6.29	5.56	0.45	0.20	8
M.O.	%	0.31	2.58	0.84	0.68	0.46	81
Dist.particulas	%	28.00	71.00	47.66	11.89	141.31	25
Dap	g/cc	1.11	1.70	1.39	0.21	0.04	15
Poros	%	35.92	58.12	47.67	7.74	59.88	16
In	cm/h	0.05	0.90	0.33	0.38	0.15	117

n = 29

### Mapa de distribución de variables físicas y químicas del suelo

El siguiente mapa figura No.2, se muestra las sobre posición de los parámetros de físicos y químicos del suelo, en la parte inferior se observa la interacción de los parámetros físicos los mismo que se han estudiado

observa que el potasio tiene una amplia variación, así como los contenidos de M.O. en cuanto a los parámetros físicos la distribución de las partículas de arcilla y la infiltración también presentan una variación significativa.

son la textura, densidad aparente, porosidad e infiltración del suelo, y los parámetros químicos considerados son el Nitrógeno (N), Fosforo (P), Potasio (K), Capacidad de Intercambio catiónico CIC, reacción del suelo pH, Materia Orgánica M.O. ambos parámetros físicos y químicos independientemente muestra una distribución espacial muy diferente.

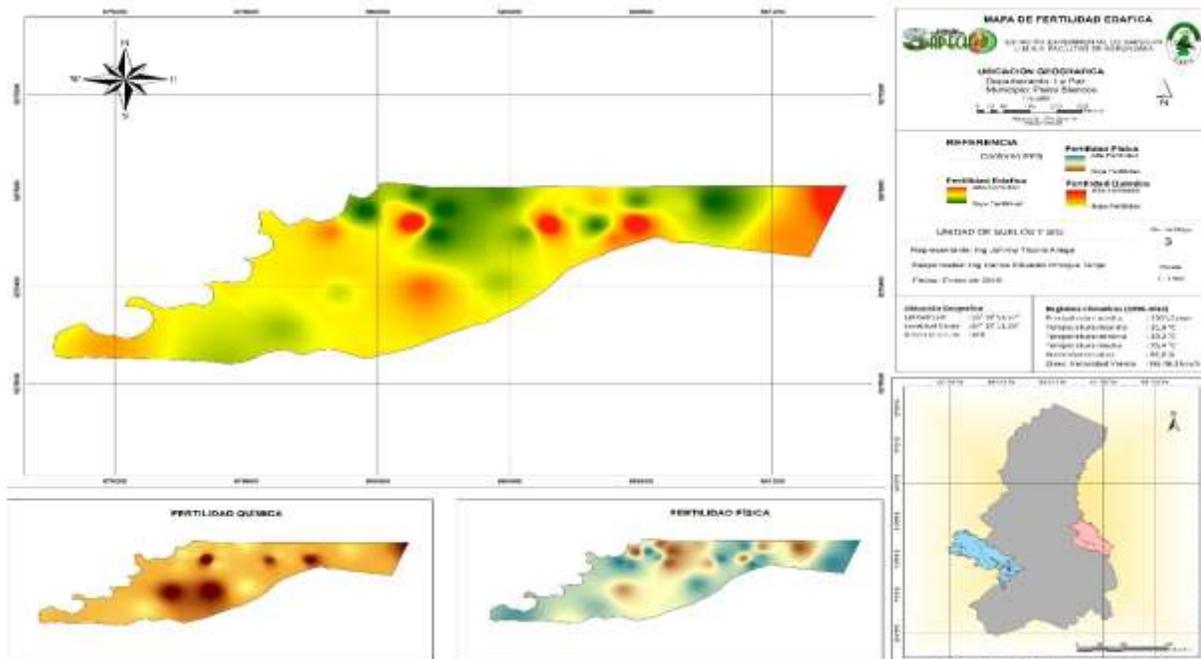


Figura 2. Mapa de la fertilidad edáfica.

Mediante le proceso de análisis jerárquico AHP se presentan los valores de ponderación utilizadas para

cada variable, en la representación espacial según en la tabla 2.

Tabla 1. Valores de ponderación para cada variable físico y químico.

Físicos		Químicos	
Parámetro	Ponderación	Parámetro	Ponderación
Dist. Partículas	0.40	CIC	0.17
Dap	0.27	pH	0.24
Porosidad	0.20	M.O.	0.33
Infiltración	0.13	Nitrógeno	0.12
		Fosforo	0.08
		Potasio	0.07

## DISCUSIONES

De acuerdo a la metodología empleada se han visto varios sistemas de evaluación de la fertilidad del suelo, sin embargo, son unos cuantos que pueden ser aplicados a este tipo de análisis multicriterio o modelo espacial integrado en SIG.

Los análisis multicriterio es una herramienta muy importante que nos permiten tomar decisiones, nos permite encontrar soluciones rápidas con mínimos insumos, además de ser muy aplicadas en diferentes ramas. Así mismo estas herramientas son capaces de trabajar con la mayor información pertinente a un estudio el cual optimiza información.

El presente trabajo se ha limitado a conocer la fertilidad edáfica en función a los parámetros convencionales físicos y químicos del suelo realizados.

Por los insumos utilizados como análisis de suelos de diferentes estudios se han tratado de estandarizar y extraer los parámetros de suelos de mayor importancia es en este sentido que se ha conseguido elaborar el presente trabajo, sin embargo, para conocer con mayor detalle el tipo de uso de suelos índices de productividad, nos demandarían de otros insumos como ser estado nutricional de cada cultivo, mapa de vegetación, fisiográfico, geológico, imágenes satelitales entre otros.

## CONCLUSIONES

En cuanto a los reportes encontrados en el mapa existen áreas muy aptas para diferentes cultivos así

mismo existen áreas muy marginales las cuales demandan prácticas de manejo de suelos como ser aplicaciones de abonos orgánicos, coberturas vegetales, drenaje de parcelas, las enmiendas agrícolas (encalado) principalmente.

La fertilidad del suelo es una característica muy dinámica, por las extracciones de los cultivos y las interacciones físico-químicas que ocurren a nivel de suelo por tanto se recomienda elaborar un plan de manejo de la fertilidad de suelos, en función a aplicaciones de abonos orgánicos uso de coberturas vegetales y otros, y principalmente generar estos modelos en función a muestras de suelos actualizados.

El trabajo desarrollado permite establecer una herramienta base para el manejo de suelos, así mismo contar con una mejor planificación territorial del predio, así mismo da una pauta para clasificar en una categoría según el uso de suelos.

Se recomienda contar con este documento para cualquier intervención, habilitación de parcelas, así mismo actualizar la información los análisis de suelos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abarca O. (2010). *Desarrollo de un Modelo de Geoprocesamiento para la Valoración Productiva y Tributaria de Tierras Agrícolas en Venezuela*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid E.T.S. de ingenieros en

Topografía Geodesia y Cartografía. Madrid España. 247 p.

Esse C; Valdivia P; Encina-Montoya, F.; Aguayo C; Guerrero M. y Figueroa, D. (2014). *Modelo de Análisis Espacial Multicriterio (AEMC) para el Mapeo de Servicios Ecosistémicos En Cuencas Forestales del sur de Chile*. Universidad Católica de Temuco, Escuela de Ciencias Forestales. Chile. 12 p.

Martínez, A., Pinedo, A., Hernández, A. y Jiménez, J. (2014). *Modelación Espacial de Atributos*

*Nutricionales del Suelo*. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Mexico. 5 p.

Graetz, M. A. (1996). *Suelo y Fertilización*. Editorial TRILLAS. México.

Sánchez, J. (2007). *Fertilidad del Suelo y Nutrición Mineral de Plantas*. FERTITEC S.A. consultado septiembre 2017. Disponible en [www.agronegociosperu.org](http://www.agronegociosperu.org)