



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS**  
**NATURALES**  
**CARRERA DE INGENIERÍA DE MEDIO AMBIENTE**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**“MODELAMIENTO DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE NUTRIENTES EN UN AGRO ECOSISTEMA EN EL CANTÓN PATATE PROVINCIA DE TUNGURAHUA, PERIODO 2018”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero de Medio Ambiente

Autor:

Acosta Panimboza Rovinson Santiago

Tutor:

Dr. Vicente Córdova PhD.

Latacunga - Ecuador

Febrero – 2019

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

Yo, **ACOSTA PANIMBOZA ROVINSON SANTIAGO** declaro ser autor del presente proyecto de investigación: **“MODELAMIENTO DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE NUTRIENTES EN UN AGRO ECOSISTEMA UBICADO EN EL CANTÓN PATATE PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**. Siendo el **Dr. Córdova Yanchapanta Vicente De La Dolorosa**, tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

---

**ACOSTA PANIMBOZA ROVINSON SANTIAGO**

**CI: 1805315171**

## **CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR**

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **ACOSTA PANIMBOZA ROVINSON SANTIAGO**, identificado con C.C. N° **180531517-1** de estado **SOLTERO** y con domicilio en Latacunga, Sector “El Niagara”, a quien en lo sucesivo se denominarán **EL CEDENTE**; y, de otra parte, el Ing. MBA. Cristian Fabricio Tinajero Jiménez, en calidad de Rector y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez Barrio El Ejido Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

**ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - EL CEDENTE**, es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería de Medio Ambiente, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **Proyecto de Investigación** la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad según las características que a continuación se detallan:

Historial académico. - (Abril 2014 – Agosto 2014, Hasta Octubre 2018 – Febrero 2019)

Aprobación Consejo Directivo: Febrero, 15 del 2019

Tutor. - Dr. Córdova Yanchapanta Vicente De La Dolorosa

Tema: **“MODELAMIENTO DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE NUTRIENTES EN UN AGRO ECOSISTEMA EN EL CANTÓN PATATE PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**.

**CLÁUSULA SEGUNDA. - LA CESIONARIA**, es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

**CLÁUSULA TERCERA. -** Por el presente contrato, **EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

**CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.

b) La publicación del trabajo de grado.

c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.

d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.

f) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

**CLÁUSULA QUINTA.** - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

**CLÁUSULA SEXTA.** - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

**CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD.** - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA/EL CEDENTE** podrá utilizarla.

**CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA/EL CEDENTE** en forma escrita.

**CLÁUSULA NOVENA.** - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en las cláusulas cuartas, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

**CLÁUSULA DÉCIMA.** - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

**CLÁUSULA UNDÉCIMA.** - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, del mes de agosto del 2017.

---

Acosta Panimboza Rovinson  
Santiago

**EL CEDENTE**

---

Ing. MBA. Cristian Tinajero Jiménez

**EL CESIONARIO**

## **AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“MODELAMIENTO DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE NUTRIENTES EN UN AGRO ECOSISTEMA EN EL CANTÓN PATATE PROVINCIA DE TUNGURAHUA.” de Acosta Panimboza Rovinson Santiago, de la carrera de Ingeniería de Medio Ambiente, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Febrero del 2019

El Tutor

.....

Dr. Vicente Córdova PhD

CI: 1801634922

## FORMULARIO DE LA APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Miembros del Tribunal de Lectores aprueban el presente Informe de Titulación de acuerdo con las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi y por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales de la Carrera de Ingeniería de Medio Ambiente por cuanto, el postulante:

- Acosta Panimboza Rovinson Santiago

Con el proyecto de investigación, cuyo título es: “MODELAMIENTO DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE NUTRIENTES EN UN AGRO ECOSISTEMA EN EL CANTÓN PATATE PROVINCIA DE TUNGURAHUA”.

Han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúnen los méritos suficientes para ser sometidos al **Acto de Sustentación** en la fecha y hora señalada.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, febrero del 2019.

Para constancia firman:

---

**Lector 1**

Ing. Juan Espinoza  
CI: 1713474326

---

**Lector 2**

Ing. David Landívar  
CI: 1600558728

---

**Lector 3**

Ing. Vinicio Mogro  
CI: 0501657514

## **AGRADECIMIENTO**

*Quiero utilizar este pequeño espacio para agradecer a todas las personas que me han acompañado durante todo este tiempo, pues han sido mi mayor apoyo y fortaleza en los momentos de dificultad y debilidad.*

*En primer lugar debo empezar agradeciendo a mi padres, gracias a su esfuerzo y dedcicación me ayudaron a culminar mis estudios, a mis hermanos por ser la fuerza que me motiva a dar lo mejor de mi siempre, a mis abuelos y tios que con sus palabras me supieron reponer de situaciones dificianales, me hicieron sentir orgulloso de lo que soy y de lo que puedo llegar a ser, a mis padrinos de confirmación por ser ese apoyo inesperado e incondicional, y a todos mis amigos que estuvieron con migo en momentos buenos y malos y de los cuales me llevo los mejores recuerdos. Siempre estare muy agradecido con todos.*

*A mi querida Universidad por haberme dado la gran oportunidad de formarme como profesional y humanista, ya que de esta gran institución me llevo los más gratos recuerdos.*

## **DEDICATORIA**

*Este trabajo y título universitario se lo dedico a mi querida madre, por haber sido la pieza más importante en mi vida, por ser mi mayor ejemplo de lucha, superación y humildad, por ser la persona que estuvo con su apoyo incondicional y amor, ella me enseñó a nunca rendirme ante cualquier situación, ella me regalo la vida y me enseñó a vivirle siendo un hombre de bien.*

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y DE RECURSOS NATURALES

**TITULO:** “MODELAMIENTO DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE NUTRIENTES EN UN AGRO ECOSISTEMA EN EL CANTÓN PATATE PROVINCIA DE TUNGURAHUA.”

**Autor:** Acosta Panimboza Rovinson Santiago

## RESUMEN

La variabilidad espacial y temporal de los nutrientes están dados por el material parental del cual se formó el suelo, las condiciones particulares de formación, manejo y variación entre las estaciones del año. El modelamiento de la distribución espacial de nutrientes se desarrolló en un agroecosistema ubicado en el cantón Patate –Tungurahua, con un área de 20336.48m<sup>2</sup>. Se aplicó una grilla de muestreo de 40m \* 40m, con 16 puntos de muestreo ubicados sistemáticamente de forma equidistante. Se determinó el potencial de hidrogeno (pH), materia orgánica (MO), nitrógeno (N), fosforo (P), potasio (K) y conductividad eléctrica (CE). A estos parámetros se calculó medidas de dispersión. A través de un análisis geoestadístico se estableció la estructura espacial de las variables para su ajuste a un modelo de semivariograma experimental, esférico, exponencial y de efecto pepita. Los resultados y su comportamiento fueron representados en mapas georreferenciado. Con el método de interpolación kriging se determinaron las zonas con contenidos bajos, medios y altos de los nutrientes. Se encontraron niveles óptimos de K con valores entre 0,8cmol/kg y 1,49cmol/kg para toda el área de estudios, superando el nivel óptimo de >0,4cmol/kg. Para P se encontró una concentración entre 27,4mg/kg y 68,8mg/kg que supera el rango alto de >21mg/kg. El área presenta un suelo no salino (max CE=1,89dS/m). Se estableció que el nutriente limitante fue N con valores entre 0,7% y 0,3%, todos deficitarios. También la MO mostro valores bajos y medios en el 61,76% del área. Para compensar estos déficits se necesitan 2553 Kg materia organiza fresca, en tanto que el déficit de N se compensaría mediante procesos de mineralización de MO y fijación de nitrógeno con combinación de cultivos con alfalfa (*Medicago sativa*).

**Palabras clave:** variabilidad espacial, nutrientes, geoestadística, interpolación, kriging, semivariograma.

# TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

## FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCES AND NATURAL RESOURCES

**THEME:** “MODELING OF THE NUTRIENTS SPACE DISTRIBUTION IN AN AGRO ECOSYSTEM LOCATED IN THE PATATE CANTON OF THE TUNGURAHUA PROVINCE”

**Author:** Acosta Panimboza Rovinson Santiago

### ABSTRACT

The spatial and temporal variability of the nutrients are given by the parental material from which the soil was formed, the particular conditions of formation, management and variation among the seasons of the year. The modeling of the spatial distribution of nutrients was developed in an agroecosystem located in the Patate canton, Tungurahua province, with an area of 20336.48m<sup>2</sup>. A 40m \* 40m sampling grid was applied, with 16 sampling points systematically located equidistantly. The potential of hydrogen (pH), organic matter (OM), nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K) and electrical conductivity (CE) was determined. To these parameters, dispersion measures were calculated. Through a geostatistical analysis, the spatial structure of the variables was established to fit an experimental semivariogram, spherical, exponential and nugget effect. The results and their behavior were represented in georeferenced maps. With the kriging interpolation method, the zones with low, medium and high contents of the nutrients were determined. Optimal K levels were found with values between 0.8cmol/kg and 1.49cmol/kg for the entire study area, exceeding the optimal level of > 0.4cmol/kg. For P, a concentration between 27.4mg/kg and 68.8mg/kg was found that exceeds the high range of > 21mg/kg. The area has a non-saline soil (max CE = 1.89dS/m). It was established that the limiting nutrient was N with values between 0.7% and 0.3%, all deficient. The MO also showed low and medium values in 61.76% of the area. To compensate these deficits, 2553 Kg of fresh organic material are needed, while the N deficit would be compensated by processes of MO mineralization and nitrogen fixation with a combination of crops with alfalfa (*Medicago sativa*).

Keywords: spatial variability, nutrients, geostatistics, interpolation, semivariogram, kriging.

## ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	iii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN .....	vi
FORMULARIO DE LA APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN .....	vii
AGRADECIMIENTO .....	viii
DEDICATORIA .....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT .....	xi
ÍNDICE GENERAL.....	xii
INDICE DE TABLAS.....	xiv
INDICE DE ILUSTRACIONES.....	xv
1. INFORMACIÓN GENERAL .....	1
2. INTRODUCCIÓN.....	2
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	3
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO .....	4
5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	4
6. OBJETIVOS: .....	5
6.1 Objetivo General .....	5
6.2 Específicos.....	5
7. SISTEMAS DE CONTROL DE TAREAS .....	6
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.....	7
8.1 Agroecosistemas .....	7
8.2 Agricultura sitio específico o Agricultura de Precisión.....	9
8.3 Variabilidad espacial de nutrientes .....	10
8.4 Sistemas de muestreo discretos .....	11
8.5 Muestreo sistemático o de grilla.....	11
8.6 Tecnologías y la Agricultura de Precisión.....	12
8.6.1 Sistemas de posicionamiento global (GPS).....	12
8.6.2 Sistemas de Información Geográfica (SIG).....	12
8.7 Geoestadística .....	13
8.7.1 Variograma .....	14
8.7.2 Variograma Teórico.....	15
8.7.3 Ajuste del semivariograma empírico .....	16
8.7.4 Modelos Teóricos de Variograma.....	17

9.	PREGUNTA CIENTIFICA .....	26
10.	METODOLOGÍA (TÉCNICAS, MÉTODOS INSTRUMENTOS).....	27
10.1	Diseño de una metodología para la gestión espacial de nutrientes .....	27
10.1.1	Ubicación Geográfica del Área de Estudio.....	27
10.1.2	Características de la zona.....	28
a.	Clima.....	28
b.	Abastecimiento de Agua .....	28
c.	Tipo de suelo.....	29
d.	Identificación de los cultivos.....	29
e.	Delimitación del área de estudio.....	30
f.	Definición de la grilla o cuadrícula de muestreo. ....	32
g.	Materiales y equipos utilizados.....	33
h.	Metodología para la toma de muestras .....	34
11.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	36
11.1	Ajuste espacial de fertilidad del agroecosistema.....	36
11.2	Mapas de Distribución.....	37
11.2.1	Mapa de distribución del pH .....	39
11.2.2	Mapa de distribución de la Materia Orgánica (MO). ....	41
11.2.3	Mapa de distribución de Nitrógeno (N). ....	44
11.2.4	Mapa de Distribución del Fosforo (P).....	46
11.2.5	Mapa de Distribución del Potasio (K).....	48
11.2.6	Mapa de Distribución de la Conductividad Eléctrica (CE).....	51
11.3	Cantidades mínimas a compensar.....	53
11.3.1	Ajuste de la Materia Orgánica con dosis variable.....	55
11.3.2	Ajuste de Nitrógeno con dosis variable.....	57
11.4	Modelo de Gestión Agrícola de bajo impacto ambiental .....	59
11.4.1	Fertilización con materia orgánica.....	59
11.4.2	Fertilización con nitrógeno.....	59
11.4.3	Cronograma de actividades para un periodo de producción. ....	60
12.	IMPACTOS (TECNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES Y ECONOMICOS).....	61
12.1	Metodología .....	61
12.1.1	Impactos Técnicos .....	62
12.1.2	Impactos sociales.....	63
12.1.3	Impacto económico .....	63
12.1.4	Impacto ambiental .....	64

13.	PRESUPUESTO PARA LA PROPUESTA DEL PROYECTO .....	65
14.	CONCLUSIONES .....	66
15.	RECOMENDACIONES .....	66
16.	BIBLIOGRAFÍA .....	67
17.	ANEXOS .....	70

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.-	Beneficiarios del Proyecto .....	4
Tabla 2.-	Sistemas de control de tareas.....	6
Tabla 3.-	Determinantes que definen el tipo de agricultura de cada zona geográfica.....	7
Tabla 4.-	Características de la variabilidad .....	10
Tabla 5.-	Datos de Ubicación (WGS_1984_UTM_Zone_17S).....	27
Tabla 6.-	Coordenadas del Agroecosistema (WGS_1984_UTM_Zone_17S) .....	31
Tabla 7.-	Coordenadas de los puntos de muestreo (WGS_1984_UTM_Zone_17S).....	32
Tabla 8.-	Materiales y equipos .....	33
Tabla 9.-	Resultados de las muestras tomadas en campo .....	36
Tabla 10.-	Interpretación de resultados Región – Sierra .....	36
Tabla 11.-	Parámetros estadísticos de variables analizadas.....	37
Tabla 12.-	Predicción del Error Estándar del pH.....	41
Tabla 13.-	Predicción del Error Estándar de la MO.....	44
Tabla 14.-	Predicción de Error Estándar para el N. ....	46
Tabla 15.-	Predicción de Error Estándar para el P. ....	48
Tabla 16.-	Predicción de Error Estándar para el K. ....	51
Tabla 17.-	Predicción de Error Estándar para la CE. ....	53
Tabla 18.-	Valores mínimos a compensar para el Nitrógeno.....	54
Tabla 19.-	Valores mínimos a compensar para la MO.....	54
Tabla 20.-	Coefficiente isohúmico (K1) de diversos productos empleados como abono. ....	56
Tabla 21.-	Cantidad de MO a compensar.....	56
Tabla 22.-	Composición promedio de algunos fertilizantes nitrogenados .....	58
Tabla 23.-	Valores medios de fijación de nitrógeno de algunas leguminosas.....	59
Tabla 24.-	Rangos de impactos positivos y negativos.....	62
Tabla 25.-	Matriz de evaluación de impactos técnicos .....	62
Tabla 26.-	Matriz de evaluación de impactos sociales .....	63
Tabla 27.-	Matriz de evaluación de impactos económicos .....	63
Tabla 28.-	Matriz de evaluación de impactos ambientales .....	64

## INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.- Muestreo en Grillas Sistemático.....	11
Ilustración 2.- Componentes del variograma.....	14
Ilustración 3.- Semivariograma Empírico .....	16
Ilustración 4.- Gráfico del Efecto Pepita.....	17
Ilustración 5.- Gráfico del Modelo Exponencial .....	18
Ilustración 6.- Gráfico del Modelo Esférico.....	18
Ilustración 7.- Gráfico del Modelo Gaussiano.....	19
Ilustración 8.- Gráfico del Modelo Potencia .....	19
Ilustración 9.- Gráfico del Modelo Lineal.....	20
Ilustración 10.- Gráfico de Anisotropía Geométrica.....	20
Ilustración 11.- Gráfico de Anisotropía Zonal.....	21
Ilustración 12.- Gráfico de Anisotropía Híbrida.....	21
Ilustración 13.- Gráfico de Kriging de Punto .....	23
Ilustración 14.- Mapa de Ubicación del agroecosistema.....	27
Ilustración 15.- Histograma de Precipitación en la Estación Patate .....	28
Ilustración 16.- Mapa de Tipo de Suelo.....	29
Ilustración 17.- Especies cultivadas en el Agroecosistema .....	30
Ilustración 18.- Mapa de Dominio Espacial.....	31
Ilustración 19.- Mapa de Puntos de Muestreo .....	33
Ilustración 20.- Mapa de Distribución del pH en el área de estudio.....	40
Ilustración 21.- Mapa de Distribución de Materia Orgánica en el área de estudio.....	43
Ilustración 22.- Mapa de Distribución de Nitrógeno en el área de estudio.....	45
Ilustración 23.- Mapa de Distribución del Fosforo en el Área de estudio .....	47
Ilustración 24.- Mapa de Distribución del Potasio en el Área de estudio.....	50
Ilustración 25.- Mapa de Distribución de la C. Eléctrica en el Área de estudio.....	52
Ilustración 26.- Mapa cualitativo de los parámetros de ajuste de fertilidad.....	55
Ilustración 27.- Mapa con dosis a compensar en la respectivas zonas.....	57

## ABREVIATURAS

GPS: Sistema de posicionamiento global  
SIG: Sistemas de información geográfico  
FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación  
MNSE: Manejo de nutrientes sitio-específico  
TDV: Tecnología de dosis variable  
CV: Coeficiente de variación  
AP: Agricultura de precisión  
IDW: Ponderación del inverso de la distancia  
pH: Potencial de hidrógeno  
N: Nitrógeno  
P: Fosforo  
K: Potasio  
MO: Materia orgánica  
CE: Conductividad eléctrica

## **ESTRUCTURA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PROYECTO DE TITULACIÓN II**

### **1. INFORMACIÓN GENERAL**

**Título del Proyecto:**

“MODELAMIENTO DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE NUTRIENTES EN UN AGRO ECOSISTEMA EN EL CANTÓN PATATE PROVINCIA DE TUNGURAHUA.”

**Fecha de inicio:** Abril-2018

**Fecha de finalización:** Febrero – 2019

**Lugar de ejecución:**

Barrió la Iglesia- Parroquia la Matriz- Cantón Patate- Provincia de Tungurahua- Zona 3

**Facultad que auspicia**

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

**Carrera que auspicia:**

Carrera de Ingeniería de Medio Ambiente

**Equipo de Trabajo:**

Autor: Acosta Panimboza Rovinson Santiago

Tutor de Titulación: Dr. Vicente Córdova PhD.

- Lector 1: Ing. Juan Espinoza
- Lector 2: Ing. David Landívar
- Lector 3: Ing. Vinicio Mogro

**Área de Conocimiento:**

Ambiente, manejo de sistemas de información geográfico (modelamiento espacial).

**Línea de investigación:**

Tecnologías de la información (TICS) y Diseño Grafico

**Sub líneas de investigación de la Carrera:**

Salud seguridad y ambiente

## 2. INTRODUCCIÓN

El planeta entero afronta diversos problemas relacionados con el cambio climático, la degradación del medio ambiente, la disminución de los recursos naturales entre otras. Se estima que para el año 2050 la población mundial será de 9 mil millones de habitantes, los cuales intensificarán la presión que existe sobre los recursos naturales y sobre la tierra para la producción de alimentos.

La Organización de las Naciones Unidas manifiesta que anualmente se pierden 24 millones de toneladas de suelo fértil, mientras que investigaciones de la FAO advierten que el 33 por ciento de los suelos de todo el planeta se encuentran degradados por la erosión, compactación, acidificación y contaminados químicamente con agroquímicos. Por lo que en el futuro la seguridad alimentaria del planeta estará en riesgo con consecuencias catastróficas en todo el mundo. Esto es producto principalmente de las malas prácticas agrícolas, como el uso inadecuado del suelo, el uso excesivo de pesticidas, herbicidas, la fertilización inadecuada del suelo y aplicación inadecuada de los sistemas de riego.

En síntesis en el futuro se tendrá que producir más pero con menos recursos para asegurar la soberanía alimentaria, por lo que la agricultura demanda ser garantizada, correctamente planificada y sobretodo precisa con el manejo de fertilizantes, control de malezas, el riego entre otros factores.

El presente trabajo se enfoca en el modelamiento espacial de los nutrientes en un agroecosistema, con la finalidad que el agricultor pueda determinar estrategias de manejo para fertilizar el suelo con la dosis requerida, en el sitio específico y en el momento oportuno. Esto es posible mediante la determinación de las necesidades de los nutrientes del suelo, en función de sus características físico-químicas y del mapeo georreferenciado.

En una parcela por más pequeña que sea las características del suelo no son homogéneas debido a variables como: el material parental del que se originó el suelo, la topografía, la textura del suelo, el clima, nivel superficial del suelo, plagas y enfermedades y la disponibilidad de nutrientes. Debido a todas estas variables, los nutrientes presentan una gran variabilidad en su distribución espacial haciendo que algunas zonas presenten mayor cantidad de nutrientes y otras presentaran un déficit de los mismos.

El modelamiento espacial de los nutrientes otorga al agricultor una base de datos acerca de

cómo los nutrientes se distribuyen en el agroecosistema en función de su cuantificación. Los beneficios de esta técnica de agricultura pueden ser técnicos, económicos y ambientales, como: reducción en la utilización de insumos, mayores tasas de rendimiento en los cultivos, reducción de impactos ambientales por las prácticas agrícolas, conservación de los recursos naturales, reducción de los problemas ambientales ocasionados por exceso y déficit de fertilización.

Para que este proyecto de investigación pueda ser llevado a cabo se necesitara realizar la toma de muestras del suelo, cada punto de muestreo debe estar georeferenciado con un GPS, y el modelamiento espacial se realizara mediante la utilización del software ARGIS, específicamente la herramienta kriging, el cual es un procedimiento geo estadístico con el que se genera una superficie estimada basada en un conjunto de datos dispersos con distintos valores. Se utilizó para modelar la variación espacial de los nutrientes.

### **3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

“Producir más alimentos con menos recursos” es la paradoja a afrontar en el futuro, para que esto sea posible las practicas convencionales de la agricultura deben ser sustituidas por formas de cultivo seguras, planificados y precisas al momento de fertilizar el suelo, riego y control de malezas.

En el campo la disponibilidad de nutrientes no es homogénea, algunas zonas cuentan mayor cantidad y otras presentan un déficit de los mismos. Al conocer cómo se encuentran distribuidos los nutrientes en el agroecosistema el agricultor puede tomar mejores decisiones en la gestión de sus cultivos. Esto es conocido como agricultura de precisión en la cual se optimizan los métodos de producción agrícolas, se obtienen mejores resultados, la utilización de insumos es menor y los impactos ambientales son minimizados.

La agricultura de precisión ofrece una alternativa para el manejo adecuado de la tierra, las metodologías y el enfoque que presenta la Agricultura de Precisión marcan un camino para preservar el ambiente y para poder producir alimentos de manera sostenible.

La agricultura sostenible significa cultivar de forma en que se preserve la salud de la gente y de la tierra a largo plazo. Los agricultores que aplican métodos sostenibles tratan de producir los

alimentos nutritivos que sus familias y la comunidad necesitan y al mismo tiempo conservar el agua, mejorar los suelos y guardar las semillas para el futuro. De esta forma se asegura la soberanía alimentaria y se conservan los recursos para las nuevas generaciones.

#### 4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

**Tabla 1.-** Beneficiarios del Proyecto

<b>Beneficiarios.</b>	<b>Habitantes</b>		
	Mujeres.	Hombres.	Total.
Directos (Propietarios del Agroecosistema)	2	3	5
Indirectos (Agricultores de la zona de Patate Viejo)	420	489	909

**Fuente:** INEC Censo de Población y Vivienda 2010.

#### 5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El crecimiento de la población en todo el mundo es exponencial lo cual demanda mayor producción de alimentos, lo que significa que la presión en los suelos aumentará y las fronteras agrícolas se expandirán en busca de nuevos suelos cultivables.

Los técnicas de cultivo actuales no son eficientes, demandan mayor utilización de insumos y los impactos ambientales son mucho mayores debido al uso excesivo de agroquímicos en los cultivos y en el suelo. La gestión inadecuada de fertilizantes hace que estos no se distribuyan de manera óptima en el suelo, esto sucede porque los agricultores no conocen los requerimientos mineralógicos que el suelo necesita. “Como consecuencia se fertiliza de forma excesiva o ineficiente.”

La falta de información sobre la variabilidad espacial de los nutrientes en el suelo de los agroecosistemas provoca que los agricultores desconozcan, qué nutrientes están en el suelo y cuales se encuentran en cantidades aceptables y cuáles presentan un déficit. Como consecuencia de esto los suelos tienden a degradarse debido a las malas prácticas agrícolas.

El estudio, de la Universidad de Oregón (EE.UU.) en el año 2007, revela que los contaminantes que se acumulan en el suelo disminuyen la productividad de los cultivos, o que pone en riesgo

las estrategias que persiguen una agricultura sostenible. Al reducirse la productividad, los agricultores recurren a más fertilizantes y pesticidas, lo que a su vez aumenta la contaminación del suelo y de las aguas subterráneas por nitratos procedentes del fertilizante. El resultado es un círculo vicioso, un efecto perverso a largo plazo de la contaminación que se refleja en la cantidad de la agricultura, de los acuíferos y del agua de consumo doméstico.

## **6. OBJETIVOS:**

### **6.1 Objetivo General**

Caracterizar la variabilidad espacial de la concentración de nutrientes en un agroecosistema, ubicado en el Cantón Patate.

### **6.2 Específicos**

- Diseñar una metodología para la gestión espacial de nutrientes.
- Establecer los parámetros de ajuste espacial de fertilidad del agroecosistema.
- Establecer un modelo de gestión de la fertilidad del suelo de bajo impacto ambiental.

## 7. SISTEMAS DE CONTROL DE TAREAS

Tabla 2.- Sistemas de control de tareas

Objetivo Especifico	Actividad	Resultado	Medio de verificación
Diseñar una metodología para la gestión espacial de nutrientes	Identificación de la zona.	Ubicación espacial del área de estudio.	Registro Fotográfico Diseño del Mapa de ubicación.
	Delimitación de la zona de estudio.	Dominio espacial.	Mapa de dominio espacial
	Definir técnicas de muestreo.	Modelo de muestreo. (Sistemas de muestreo discretos)	Muestreo en grillas
	Toma de muestras.	Muestras enviadas al laboratorio	Resultados del análisis de suelo
	Organización de la información tomada en campo	Información organizada en Excel	Matriz de Excel
	Creación de los Shape Files	Representación gráfica de la información geográfica.	Mapa con las coordenadas geográficas de los puntos de muestreo
	Interpolación	Precisión de valores para celdas de un raster.	Base de datos completas
	Elaboración de los Mapas de distribución de la variabilidad de la Conductividad Eléctrica (CE), el pH y NPK.	Creación de isolíneas	Mapa de isolíneas con cantidades similares de nutrientes.
Establecer los parámetros de ajuste espacial de fertilidad del agroecosistema	Definir las cantidad mínimas a compensar para ajustar la fertilidad	Cantidades a aplicar para corregir la fertilidad.	Propuesta de aplicación con las cantidades requeridas por el agroecosistema
	Definir épocas y métodos de aplicación.	Momentos adecuados de aplicación.	Cronograma de aplicación
Establecer un modelo de gestión de la fertilidad del suelo de bajo impacto ambiental	Elaborar un modelo de gestión para el agroecosistema basado en los resultados obtenidos.	Un manejo adecuado de los recursos disponibles y menor impacto ambiental.	Modelo de gestión terminado.

Elaborado por: Santiago Acosta

## 8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

### 8.1 Agroecosistemas

Los agroecosistemas se definen como ecosistemas de origen antropológico, creados por el ser humano netamente con la finalidad de producir algún bien o servicio específico que satisfaga una necesidad.

Los sistemas agrícolas son un conjunto complejo de interacciones de factores que son controlables y no controlables por el ser humano. El grado de control del agroecosistema incide directamente en la producción agrícola a mayor control mejores son los resultados y menor control tiende a provocar pérdidas. Las interacciones básicas de los agroecosistemas son: personas, los recursos naturales y la producción de alimentos (Monjarás, 2017).

Los agroecosistemas son entonces "artefactos" humanos y los factores que determinan el proceso de producción agrícola no terminan en los límites de los campos sino que abarcan aspectos del ambiente, presiones bióticas, condiciones económicas, sociales y culturales de gran importancia (Hecht, 1993).

En el planeta existe una diversidad inmensa de agroecosistemas, esto es producto de variables como las condiciones climatológicas, la textura y composición del suelo, aspectos económicos e incidencia cultural. Estos factores se encuentran detallados en el siguiente cuadro.

**Tabla 3.-** Determinantes que definen el tipo de agricultura de cada zona geográfica.

<b>Tipo de determinantes</b>	<b>Factores</b>
Físicos	Radiación Temperatura Lluvia, provisión de agua (humedad crítica) · Condiciones del suelo · Pendiente del terreno · Disponibilidad de tierras
Biológicos	Plagas y enemigos naturales Población de malezas Enfermedades de plantas y animales La biota del suelo Eficiencia fotosintética Patrones de cultivo Rotación de cultivos

Socioeconómicos	Densidad poblacional Organización social Aspectos económicos Asistencia técnica Disponibilidad de mano de obra
Culturales	Conocimientos ancestrales Creencias Ideologías Acontecimientos históricos

Fuente: (PROCISUR, 2006)

### 8.1.1 Características de los Agroecosistemas

Los agroecosistemas pueden ser tanto de tipo industrial o menor escala como la agricultura de subsistencia, además un agroecosistema puede tener altos o bajos niveles de tecnología. La disponibilidad de tierra, de recursos económicos y la mano de obra inciden de forma directa en el manejo del agroecosistema (Monjarás, 2017).

Un agroecosistemas realiza el ciclaje de nutrientes en el cual estos pasan de formas inorgánicas a formas orgánicas y viceversa, ejemplos son el ciclo del carbono y ciclo de nitrógeno.

El volumen total de materia orgánica puede ser expresado en términos de su biomasa. La cantidad, distribución y composición de biomasa varían con el tipo de organismo, ambiente físico, el estado de desarrollo del ecosistema y de las actividades humanas (Hecth, 1993).

Un agroecosistema sufre distintas fases desde su implementación hasta su maduración o cosecha en el cual este ya ha cumplido con su función.

La principal unidad funcional del agroecosistema es la población del cultivo. Los agroecosistemas tienden a ser más susceptibles a plagas o enfermedades debido a su poca biodiversidad en comparación con los ecosistemas naturales. A mayor cantidad de una sola especie vegetal, las plagas obtienen mayores cantidades de alimento disparando sus niveles de reproducción lo que hará que la población aumente de forma exponencial.

### 8.1.2 Agroecosistemas y su eficiencia

Los sistemas agrícolas actuales son altamente ineficientes, como consecuencia de esto se han producido problemáticas ambientales como la degradación del ambiente y sociales como la

insuficiencia alimentaria que sufre el planeta. Los sistemas agrícolas modernos están muy lejos de ser sustentables y de proveer la cantidad de alimentos necesarios para la sociedad actual y futura.

Los sistemas agrícolas tradicionales utilizan demasiados recursos no renovables, ha esto se le debe sumar la ineficiencia energética de los modelos de producción, todo esto está llevando a la sociedad y al medio ambiente hacia la insostenibilidad (Monjarás, 2017).

Los agroecosistemas deben funcionar en torno a una visión holística del manejo de los recursos, debe integrar todos los componentes, tanto los vivos como los no vivos (Monjarás, 2017).

El manejo de los agroecosistemas debe estar enfocado en el uso eficiente de los recursos, de esta forma se optimiza el uso de fertilizantes, semillas, tiempo y mano de obra. Este tipo de agricultura es manejada de forma holística, los resultados de producción son mayores a los de la agricultura convencional, los costos son menores y los impactos ambientales provocados por la agricultura son minimizados.

## **8.2 Agricultura sitio específico o Agricultura de Precisión**

La agricultura sitio específico, se basa en el manejo de la variabilidad de los factores de producción como la fertilidad, el control de malezas, el manejo del agua. Estos factores inciden de forma directa en los rendimientos. Cuando existe esta variabilidad en las características del suelo lo ideal debería ser, aplicar manejos diferenciados de fertilización o cualquier otro factor en el sitio específico.

El área de mayor desarrollo dentro de la AP es el Manejo de Nutrientes Sitio-Específico (MNSE), también llamado Tecnología de Dosis Variables (TDV), que corresponde a la aplicación variable de dosis de fertilizantes de acuerdo al nivel de fertilidad de cada sector de manejo homogéneo dentro del potrero, lo cual significa que no se trabaja, necesariamente con una sola dosis de fertilizante, sino que con tantas dosis como áreas significativamente homogéneas existan en la explotación (Flores, 1999).

### 8.3 Variabilidad espacial de nutrientes

Las propiedades del suelo presentan distintos grados de variabilidad espacial (Webster y Oliver, 1990; 2001). Estas propiedades varían debido a diferentes condiciones como la composición del material parental del que se formó el suelo, topografía, organismos factores ambientales, factores de origen antropológico.

Es fundamental conocer este tipo de variabilidad para poder realizar un manejo más eficiente de los recursos disponibles y causar menor impacto ambiental. Además en la AP es crítico conocer la estructura y la correlación espacial de las propiedades del suelo que están siendo estudiadas. La Geoestadística es una rama de la estadística aplicada, que cuantifica la dependencia y estructura espacial de una variable dada y usa esa información para predecir valores de la variable en sitios no muestreados. Estos dos pasos incluyen típicamente lo que se conoce en Geoestadística como modelación espacial e interpolación espacial (PROCISUR, 2006, pág. 68).

El siguiente cuadro presenta un resumen de la variabilidad típica encontrada en una serie de propiedades del suelo, usualmente relacionadas con la variabilidad productiva en diferentes sistemas agrícolas. Aunque el coeficiente de variación (CV) es un indicador de la variabilidad presente de una propiedad respecto a la media de la población muestreada, el mismo no nos brinda ninguna información de la estructura espacial en la que esta se produce. En la última columna del Cuadro se presenta el rango en el que se produce la variabilidad descrita por el CV, lo que nos brinda una idea de la estructura espacial de la variación.

**Tabla 4.-** Características de la variabilidad

FACTOR	CV %	CATEGORIZACIÓN	RANGO (m)
Rendimiento	8-29	Bajo - Moderado	70 – 700
Materia orgánica	21-41	Moderado – Alto	110 – 250
% Arcilla	16-53	Moderado - Alto	20 – 400
% Arena	3-37	Bajo – Moderado	5 – 40
pH	2-15	Muy Bajo	20 – 260
Nitrógeno	30-60	Moderado - Alto	40 – 275
Fósforo	40-160	Alto	70 – 260
Potasio	40-160	Alto	75 – 430

**Fuente:** (PROCISUR, 2006)

#### 8.4 Sistemas de muestreo discretos

Es común que en un agroecosistema los métodos de muestreo sean compuestos, en el cual se toman varias submuestras al azar y se obtiene una sola muestra compuesta, con la finalidad de determinar los niveles de fertilidad promedio del agroecosistema. Este tipo de muestreo es ineficiente, no brinda una información real del estado del agroecosistema, obvia totalmente el lugar en donde son recalentadas las muestras. En la Agricultura de Precisión (AP) o manejo sitio específico es fundamental conocer y delimitar de manera exacta el lugar en donde son tomadas las muestras.

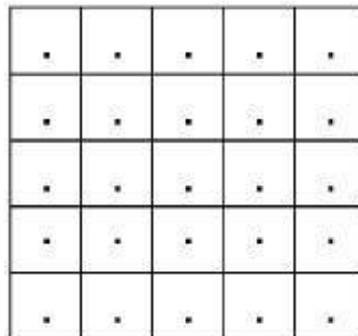
En los suelos existen 3 tipos básicos de variabilidad: micro, meso y macro variabilidad. En los dos primeros tipos los rangos de variabilidad son muy reducidos, en la micro variabilidad el rango es de 0 a 5cm, en la meso el rango va de los 5cm a los 2m y finalmente en la macro variabilidad el rango es >2m.

Cualquier diseño de muestreo de suelos o cultivos debería ser estructurado para que la influencia de la micro y meso variabilidad en el resultado final (mapa) sea minimizada y la influencia de la macro variabilidad maximizada (PROCISUR, 2006)

#### 8.5 Muestreo sistemático o de grilla.

Este es uno de los métodos de muestreo más difundidos en el planeta. Las muestras son tomadas a intervalos regulares en todas las direcciones. Este tipo de muestreo ha sido extensamente aceptado debido al potencial de incremento en la exactitud de los análisis de suelos. Es el programa de muestreo más caro, pero provee información muy valiosa acerca de la variabilidad del campo siendo la herramienta necesaria para la adopción exitosa de los sistemas de agricultura de precisión en muchas áreas (Henry, 1996).

#### Ilustración 1.- Muestreo en Grillas Sistemático



Fuente: (Royle, 1981)

La profundidad a la cual se toma la muestra puede tener un efecto marcado en la estimación de la fertilidad. Las recomendaciones de la Universidad de Illinois se basan en una profundidad aproximada de 18 cm. En los sistemas de labranza convencional (arado de rejas), los primeros 16-18 cm del suelo (capa arable) son relativamente uniformes, pero en sistemas de labranza reducida o siembra directa se observa estratificación (disminución de la fertilidad con la profundidad) (Bullock, 2000)

## **8.6 Tecnologías y la Agricultura de Precisión**

### **8.6.1 Sistemas de posicionamiento global (GPS)**

El Sistema de Posicionamiento Global, conocido por sus siglas en inglés GPS (Global Positioning System), es un sistema de radionavegación satelital operado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. El uso del sistema es gratuito, sólo es necesario contar con un receptor GPS.

Este Sistema está diseñado para que un observador pueda determinar cuál es su posición en la Tierra y presenta una cobertura sobre todo el planeta, en todo momento y bajo cualquier condición climática. El Sistema GPS se basa en la constelación de satélites NAVSTAR (Navegación por Satélite en Tiempo y Distancia) que comenzó su operación en 1978.

Existen 24 satélites ubicados en seis planos orbitales, que tienen una inclinación de 55° con respecto al Ecuador. Los satélites se encuentran a una distancia aproximada de 20.200 km de la Tierra y describen una órbita elíptica, casi circular, de doce horas de duración (FIA, 2009). Los receptores comerciales de GPS alcanzan una exactitud cercana a los 10 m como máximo, lo cual no es suficiente para la práctica de la AP, por lo que deben usarse equipos GPS con corrección diferencial en tiempo real (DGPS). Además de las señales de los satélites GPS, estos receptores reciben una señal de corrección, alcanzando exactitudes menores a 1 m, en tiempo real.

### **8.6.2 Sistemas de Información Geográfica (SIG)**

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), son herramientas desarrolladas para manejar información que asocia un conjunto de datos gráficos, en forma de planos o mapas, a bases de datos digitales (Flores, 1999).

Los SIG constituyen una herramienta computacional que permite el manejo de datos con una referencia espacial denominada “georeferencia”. Estos sistemas operan mediante modelos que

permiten relacionar diferentes variables espaciales y representarlas geográficamente. Una de las aplicaciones más importantes que tienen los SIG corresponde a la creación de grandes bases de datos georeferenciadas, las cuales permiten, entre otras funciones, identificar geográficamente un atributo temático en particular de alguna focalización específica.

Existe una variada gama de trabajos de gestión y planificación predial que se pueden hacer con los SIG; entre ellos destaca la confección de cartas temáticas prediales como, por ejemplo: capacidad de uso del suelo, problemas de drenaje, asociaciones vegetales, mapeo de rendimiento por cultivo y por potrero, mapas de vigor, construcción de bases de datos asociadas a labores prediales, planificar y cuantificar la aplicación de fertilizantes, pesticidas y agroquímicos en general, de una manera racional y económica, evitando pérdidas de dinero y reduciendo los niveles de contaminación, entre otros (Burrough, 1986).

En cuanto a la agricultura las principales aplicaciones de los SIG son:

**a.- Elaboración de mapas exactos del campo.-** Se relacionan diversos mapas como los de producción, generales de suelos y mapas de contenido de nutrientes para lograr un mapa de aplicación precisa de fertilizantes con dosis variable dependiendo de la localización del sitio en el campo, luego se puede generar un mapa de cómo se aplicó el fertilizante y otro que refleje los cambios generados por la aplicación (Reets, 2000)

**b.- Mapas digitalizados para estudios de suelos.-** Mapas de textura, pendiente y profundidad del subsuelo, que se combinan con mapas de producción, para determinar áreas que requieran drenaje interno o superficial y realizar un monitoreo de los niveles freáticos dentro las plantaciones (Castañeda, 2005)

**c.- Mapas de evaluación de tierras.-** Se pueden desarrollar mapas para determinar el valor de mercado de la tierra, basándose en las características del suelo y su productividad. Por todas estas razones el GIS se constituye en una de las herramientas más útiles para el manejo de suelos y cultivos por sitio específico (Reets, 2000).

## 8.7 Geoestadística

La geoestadística es solo una de las áreas del análisis de datos espaciales. Es importante reconocer cuándo la información georreferenciada es susceptible de ser analizada por medio de dicha metodología. La geoestadística se define como el estudio de fenómenos regionalizados, es decir, que se extiende en el espacio y presenta una cierta continuidad. Por “espacio”,

entenderemos en general el espacio geográfico, pero puede también tratarse de eje temporal o de espacios más abstracto (Emery, 2007)

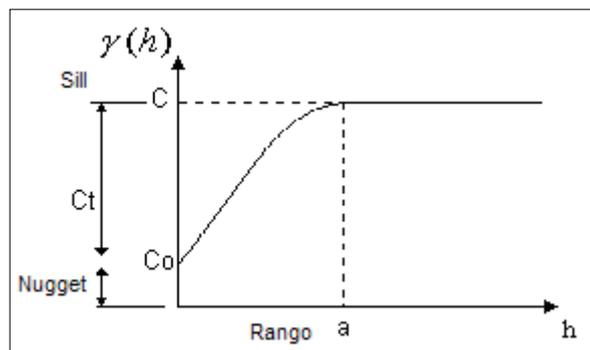
Para el caso de estudios de variabilidad del suelo, la estadística convencional no sería una buena herramienta para el análisis de los datos, debido a que esta no tiene en cuenta la estructura espacial de los atributos. Para ello es necesario utilizar otros tipos de métodos que se desprenden de la estadística convencional, como la geoestadística. El uso de Software SIG es una buena herramienta de análisis geoestadísticos (Castaño, Grajales, & Echeverri, 2016)

Existen algunos métodos para analizar los datos obtenidos sobre la variabilidad georeferencia del suelo, métodos cuantitativos que consideran el análisis estadístico como el geoestadístico. Entre los métodos más utilizados para llevar a cabo la interpolación de variables está la Ponderación del Inverso de la Distancia (IDW), método matemático que utiliza un algoritmo basado en las distancias de los puntos. Por otro lado, Kriging es un método geoestadístico que cuantifica la estructura espacial de los datos y su autocorrelación, mediante variogramas para realizar las predicciones correspondientes (Villatoro, Henríquez, & Sancho, 2008, págs. 95-105). Ambos métodos son eficientes en el proceso de interpolación; esto debido a la alta densidad de muestreo. Cuando el distanciamiento es muy grande los variogramas no son posibles de obtener; entonces el Kriging deja de ser una opción y comparativamente el IDW se perfila como el mejor (Villatoro, Henríquez, & Sancho, 2008).

### 8.7.1 Variograma

El ajuste de un modelo se lo conoce como ajuste estructural, el cual empieza con un gráfico del variograma teórico, el cual implica calcular la diferencia cuadrada entre los valores de las ubicaciones asociadas.

#### Ilustración 2.- Componentes del variograma



Fuente: (Villatoro, Henríquez, & Sancho, 2008)

El conjunto de observaciones ubicadas en la gráfica conforma el semivariograma experimental, y ajustándose a un modelo teórico para poder realizar predicciones sobre el comportamiento espacial de la variable. En los semivariogramas transicionales, es decir, aquellos en los cuales la semivarianza aumenta al aumentar la distancia hasta un cierto punto en el cual se torna constante, la distancia a la cual se estabiliza la semivarianza es llamada rango (a) y define la distancia hasta la cual hay dependencia espacial en las muestras; muestras tomadas a una distancia mayor que el rango son independientes (Villatoro, Henríquez, & Sancho, 2008).

En los semivariogramas no transicionales no puede definirse un rango ya que éste, si existe, está por fuera de la máxima longitud utilizada para el análisis.

El sill (C) es el valor de la semivarianza en el cual se estabiliza el modelo, está compuesto por la suma de la semivarianza estructural (C1) y la semivarianza aleatoria o nugget (Co); adquiere un valor muy cercano al valor de la varianza total de la variable, cuando se cumple la estacionaridad en los datos (Emery, 2007).

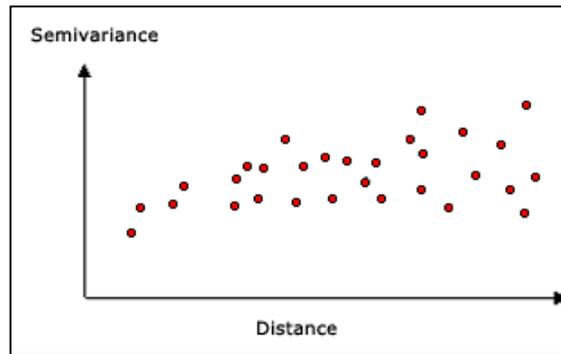
El grado de dependencia espacial de las propiedades del suelo es muy variable. Si se establece el porcentaje que le corresponde a la variabilidad aleatoria (nugget) de una propiedad, dentro de la variabilidad total (sill) que ella presenta, puede estimarse el grado de dependencia espacial que tiene. Cambardella et al 2009, establecieron 3 categorías para agrupar la importancia de la variabilidad espacial de las variables, de acuerdo con dichos porcentajes, así:

- Fuerte dependencia espacial: nugget < 25%.
- Moderada dependencia espacial: nugget entre 25 y 75%.
- Débil dependencia espacial: nugget > 75%

### **8.7.2 Variograma Teórico**

A menudo, cada par de ubicaciones tiene una distancia única y suele haber varios pares de puntos. La diagramación de todos los pares rápidamente se vuelve imposible de administrar. En lugar de diagramar cada par, los pares se agrupan en bins de intervalo. El semivariograma empírico es un gráfico de los valores de semivariograma promediados en el eje Y, y la distancia (o intervalo) en el eje X como se observa en el diagrama de a continuación.

### Ilustración 3.- Semivariograma Empírico



Fuente: (Villatoro, Henríquez, & Sancho, 2008)

El variograma trabaja con un principio básico de la geografía, las cosas tienen mayor similitud mientras cerca estén uno de otros. Entonces los pares que se encuentren más cerca del eje Y tienen una mayor correlación, mientras los pares que se encuentran más alejados del eje Y tienen poca correlación y son más distintos entre sí.

#### 8.7.3 Ajuste del semivariograma empírico

El siguiente paso es ajustar un modelo a los puntos que forman el semivariograma empírico. El moldeado del semivariograma es un paso clave entre la descripción espacial y la predicción espacial. La aplicación principal de kriging es la predicción de los valores de atributo en las ubicaciones que no fueron muestreadas. El semivariograma empírico proporciona información sobre la autocorrelación espacial de los del conjunto de datos. Sin embargo, no suministra información para todas las direcciones y distancias posibles (Royle, 1981).

Por esta razón, y para asegurar que las predicciones de kriging tengan varianzas de kriging positivas, es necesario ajustar un modelo al semivariograma empírico. En resumen, esto es similar al análisis de regresión, en el que se ajusta una línea o curva continua a los puntos de datos (Royle, 1981).

Para ajustar un modelo al semivariograma empírico, se debe seleccionar una función que sirva como modelo, por ejemplo, un tipo esférico que se eleve y nivele las distancias más grandes que sobrepasan un determinado rango. Existen desviaciones de los puntos en el semivariograma empírico con respecto al modelo; algunos están por encima de la curva del modelo y algunos están por debajo. Sin embargo, si suma la distancia de cada punto por encima de la línea y la distancia de cada punto por debajo, los dos valores deberían ser similares.

### 8.7.4 Modelos Teóricos de Variograma

Los modelos teóricos se ajustan a un modelo de variograma experimental y son capaces de explicar los diferentes comportamientos que pueden tener las variables en el espacio. Los modelos más comunes son El Efecto Pepita Puro, Gaussiano, Potencia y Exponencial.

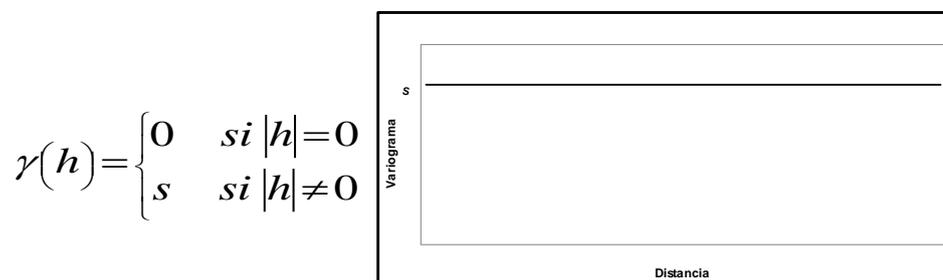
Las dos características más importantes en el modelado de Variogramas son:

- 1.- Su comportamiento en el origen, el cual puede ser lineal, parabólico y con efecto de pepita
- 2.- La presencia o ausencia de meseta.

#### a. Efecto pepita puro

El modelo Efecto Pepita representa un fenómeno completamente aleatorio, conocido también como ruido blanco, en el cual no hay correlación espacial en las muestras independiente de cual sea la distancia  $h$  que las separe.  $S$  representa el valor del sill.

**Ilustración 4.-** Gráfico del Efecto Pepita



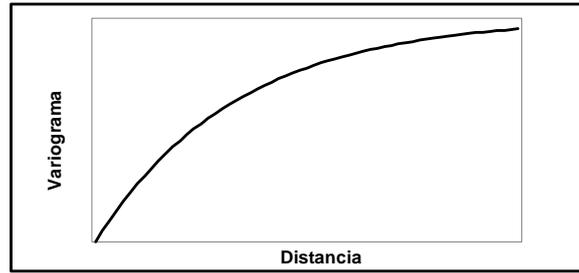
**Fuente:** (Goovaerts P. , 1997)

#### b. Modelo exponencial

En este modelo podemos observar que crece inicialmente más rápido y después se estabiliza de forma asintótica. Como la meseta no se alcanza a una distancia finita, se usa con fines prácticos el “alcance efectivo” o “alcance práctico”, se considera que el rango  $a$ , es la distancia para la cual el valor del variograma es el 95% de la meseta.

**Ilustración 5.- Gráfico del Modelo Exponencial**

$$\gamma(h) = s \left( 1 - \exp\left(-\frac{3h}{a}\right) \right)$$



Fuente: (Goovaerts P. , 1997)

**c. Modelo esférico**

Por lo general es de todos los modelos el más utilizado para análisis geoestadístico, es una expresión polinomial simple, en el gráfico se puede observar un crecimiento casi lineal y después a cierta distancia finita del origen se alcanza una estabilización, la meseta. La distancia a la cual se estabiliza la meseta indica la distancia hasta la cual la variable tiene correlación entre sí.

**Ilustración 6.- Gráfico del Modelo Esférico**

$$\gamma(h) = \begin{cases} s \left( \frac{3|h|}{2a} - \frac{1}{2} \frac{|h|^3}{a^3} \right) & \text{si } |h| \leq a \\ s & \text{si } |h| > a \end{cases}$$



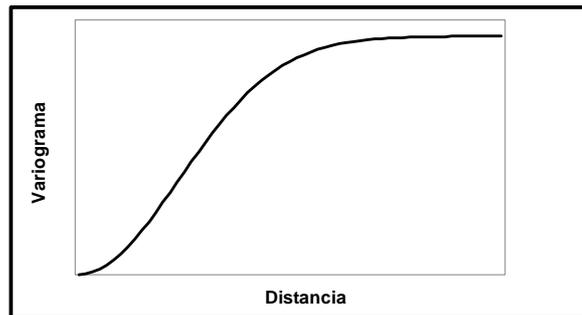
Fuente: (Goovaerts P. , 1997)

#### d. Modelo gaussiano

Este es un modelo continuo, inicialmente presenta un comportamiento parabólico en el origen, después al igual que en el modelo Exponencial se alcanza la meseta de forma asintótica. Constituye el único modelo estacionario con un punto de inflexión.

**Ilustración 7.-** Gráfico del Modelo Gaussiano

$$\gamma(h) = s \left( 1 - \exp\left(-\frac{3h^2}{a^2}\right) \right)$$



**Fuente:** (Goovaerts P. , 1997)

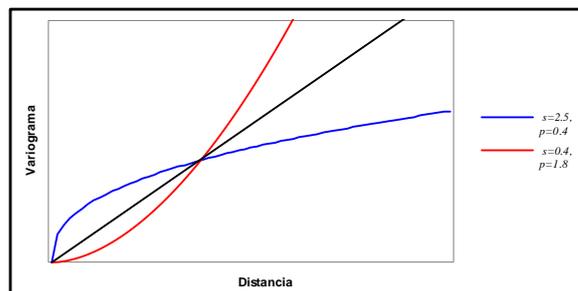
#### e. Modelo potencia

Este es un modelo sin meseta, su forma se representa con la intersección de tres líneas como podemos ver en la figura. Se aproxima a un comportamiento parabólico conforme  $p$  tiende a 2.

**Ilustración 8.-** Gráfico del Modelo Potencia

$$\gamma(h) = s|h|^p$$

$$0 \leq p < 2$$



**Fuente:** (Goovaerts P. , 1997)

#### f. Modelo lineal

El modelo Lineal no tiene sill ni rango. El sill continúa aumentando mientras la distancia  $h$  aumenta, es utilizado para modelar fenómenos que presentan capacidad infinita de dispersión.

**Ilustración 9.-** Gráfico del Modelo Lineal.

$$y(h) = A(h) + B$$



**Fuente:** (Goovaerts P. , 1997)

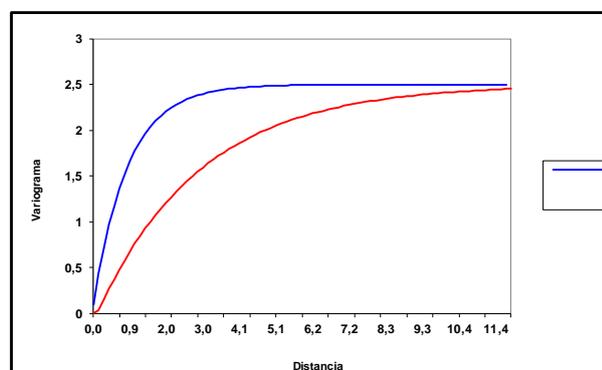
### 8.7.5 Anisotropía

Anisotropía se da generalmente cuando el variograma experimental es calculado en diferentes direcciones y este presenta distintos comportamientos con la variación de la distancia, para conocer si tenemos existencia de anisotropía o no es recomendable hacer uso del diagrama de rosa, este diagrama permite determinar de forma gráfica la zona en la cual la dirección es dominante. Existen 3 tipos de anisotropía Geométrica, zonal e híbrida.

#### a. Anisotropía geométrica

Es aquella en la que el variograma en distintas direcciones presenta el mismo sill pero rangos distintos. Presenta mayor continuidad espacial en la dirección de mayor rango y menor continuidad espacial en la dirección de menor rango.

**Ilustración 10.-** Gráfico de Anisotropía Geométrica

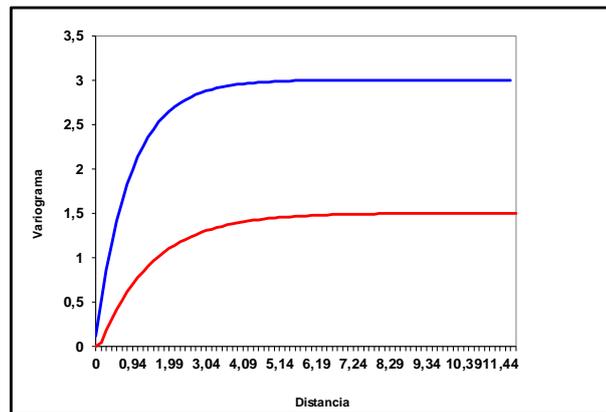


**Fuente:** (Goovaerts P. , 1997)

### b. Anisotropía zonal

Es aquella en la que el variograma en distintas direcciones presenta el mismo rango pero diferente sill (Goovaerts, 1997).

**Ilustración 11.-** Gráfico de Anisotropía Zonal

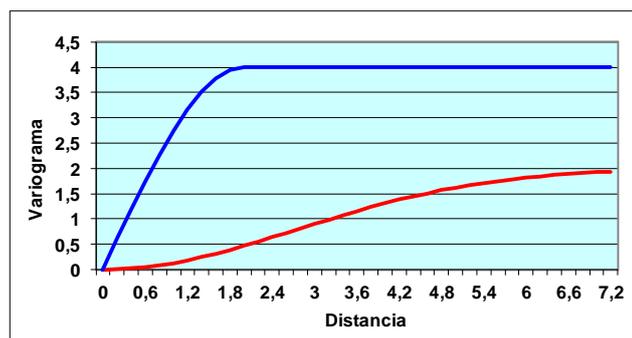


**Fuente:** (Goovaerts P. , 1997)

### c. Anisotropía híbrida

Es aquella en la que el variograma en distintas direcciones presenta rangos diferentes y distintos sill.

**Ilustración 12.-** Gráfico de Anisotropía Híbrida



**Fuente:** (Goovaerts P. , 1997)

## 8.7.6 kriging

El kriging es un método de interpolación Geoestadístico, que está asociado con las siglas en inglés B.L.U.E (Best linear unbiased estimator), es lineal porque los estimadores se forman por la combinación lineal de los datos disponibles; tiene 2 características básicas:

- Minimiza la varianza del error (el cuadrado de las desviaciones)
- Es insesgado porque trata que la suma de los errores sea cercana a 0

El kriging utiliza el variograma para predecir valores desconocidos de variables distribuidas espacialmente, a partir de datos observados en lugares conocidos. Kriging es por lo tanto, el método para calcular el valor de una variable  $Z$  en un punto  $X_0$  que ha sido considerado anteriormente, realiza una combinación lineal tomando los vecinos más cercanos al punto de interés  $X_0$ , utiliza la fórmula que es la suma ponderada sobre todos los sectores que conforman la zona de estudio (Goovaerts, 1997).

$$Z(X_0) = \lambda_1 z(x_1) + \lambda_2 z(x_2) + \dots + \lambda_n z(x_n)$$

**Dónde:  $z(x_i)$**  : Valores en los sitios donde hubo medición

$\lambda_i$  : Vector de ponderación que minimiza el error de predicción

El kriging consiste en asignar pesos a los valores observados más cercanos, los pesos son calculados de manera que minimice la varianza de estimación resultante, teniendo en cuenta las características geométricas del problema, estos pesos son asignados a partir de un análisis espacial, basado en el Variograma experimental, la diferencia del kriging con otros métodos de interpolación es que utiliza un método semejante a la interpolación por media móvil ponderada (Goovaerts, 1997).

Un método de interpolación será exacto cuando pase por los puntos muestrales, lo más cercano posibles a ellos. Para que las estimaciones de kriging sean más exactas y más confiables, es importante que un modelo para semivariograma que ha sido ajustado, represente una tendencia a los modelos antes descritos. Las estimaciones Kriging pueden ser por punto o por bloque (Goovaerts, 1997).

#### **a. Kriging simple**

En el kriging simple se supone que la media poblacional es nula o conocida, asume que las medias locales son relativamente constantes e iguales a la medida poblacional. La media poblacional es usada como un factor en cada estimación local, a lo largo con las muestras en la vecindad local.

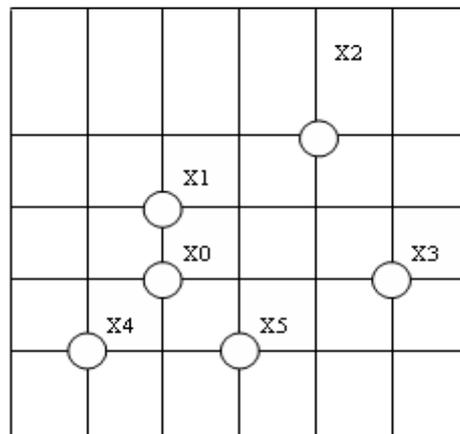
### b. Kriging ordinario

Es el método más utilizado para situaciones medioambientales, este método es la técnica más popular que elimina la necesidad de conocer el valor medio. Este método asume que las medias locales no son conocidas, por lo cual solo usa las muestra en la vecindad local para la estimación. La media varía suave y localmente (Goovaerts, 1997).

### c. Kriging de punto

Como sabemos hay características que toman valores en puntos, es aquí donde este tipo de kriging estima los valores de los puntos en los nodos de las cuadrículas.

**Ilustración 13.-** Gráfico de Kriging de Punto



**Fuente:** (Goovaerts P. , 1997)

## 8.8 Parámetros para el estudio de la variabilidad del suelo

### a) Conductividad eléctrica (CE) del suelo.

El desarrollo de los cultivos está condicionado por muchos factores, tanto bióticos como abióticos, dentro de estos últimos se encuentran las propiedades fisicoquímicas de los suelos. Sin duda, algo que determina la calidad y fertilidad de un suelo agrícola es el contenido de sales presentes. Estas sales reducen el potencial osmótico de la solución del suelo, reduciendo al mismo tiempo la disponibilidad de agua para las plantas, a pesar de que el suelo muestre niveles razonables de humedad. Los problemas de salinidad son más acentuados en regiones áridas y semiáridas. La manera en la que se mide dicha salinidad en los suelos es mediante la conductividad eléctrica (CE) (Bullock, 2000).

La CE mide la capacidad del suelo para conducir corriente eléctrica al aprovechar la propiedad de las sales en la conducción de esta; por lo tanto, la CE mide la concentración de sales solubles presentes en la solución del suelo. Su valor es más alto cuanto más fácil se mueva dicha corriente a través del mismo suelo por una concentración más elevada de sales. Las unidades utilizadas para medir la CE son dS/m (decisiemens por metro). Esta medida es equivalente a la que anteriormente se utilizaba: mmhos/cm (Bullock, 2000).

### **b) pH**

El pH influye en el suelo o sustrato en varios aspectos, pero el más significativo es en la disponibilidad de nutrientes. Es decir, la influencia del pH en la mayor o menor cantidad de nutrientes (Fósforo, Potasio, Hierro, Cobre, Boro) que hay en un suelo para que lo puedan tomar las raíces de las plantas (Sánchez, 2011).

Por ejemplo, en un suelo puede haber mucho Fósforo, pero si no está soluble, a la planta no le sirve para nada ya que no lo puede tomar. Pues el pH influye en la solubilidad del fósforo y de los demás minerales y, siguiendo con el ejemplo, en suelos alcalinos, hay una gran parte de fósforo insolubilizado y en estos suelos existe mayor riesgo de carencias de este elemento que uno que sea ácido o neutro (Monjarás, 2017).

Los pH's extremos entonces, pueden (no necesariamente) provocar la escasez de unos u otros nutrientes y las plantas lo acusarán amarilleando las hojas, floreciendo menos, dando menos frutos, disminuyendo el crecimiento, etc., etc. (Sánchez, 2011) El problema se agrava si son pH's más fuertes, tanto muy ácidos (pH=5 o menor) como muy alcalinos (pH=8 o mayor).

### **c) Nitrógeno**

El nitrógeno se encuentra en distintas formas en el suelo, es absorbido por las plantas y microorganismos como nitrato ( $\text{NO}_3$ ) o amonio ( $\text{NH}_4$ ), y puede encontrarse en muy diversos estados de oxidación y reducción (Sánchez, 2011).

El nitrógeno inorgánico está disponible para ser tomado por las plantas, mientras que el orgánico debe ser primero mineralizado (convertido a N inorgánico) antes de que las plantas lo puedan utilizar (Sánchez, 2011).

La mayor parte de la fijación del nitrógeno se lleva a cabo por bacterias que viven en el suelo. Las formas inorgánicas de nitrógeno son producidos a partir de la descomposición de la materia

orgánica del suelo o de la adición de fertilizantes nitrogenados. Los que se encuentran presentes en el suelo incluyen amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), óxido nítrico ( $\text{NO}$ ) y nitrógeno elemental ( $\text{N}_2$ ), el cuál es inerte excepto para aquellos microorganismos fijadores de nitrógeno (Follett 2001).

Desde el punto de vista de fertilidad del suelo,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ , y  $\text{NO}_3^-$  son estas tres formas representan entre 2 y 5% del nitrógeno total del suelo (Engels y Marschner 1995).

#### **d) Fosforo**

El fosforo pertenece al grupo de los macronutrientes primarios al igual q el N y P, se denominan macronutrientes por que se encuentran en concentraciones elevadas en los tejidos vegetales superiores, normalmente al 0.1% de la materia seca (Porta, Acavedo , & Poch, 2014). El fósforo es un elemento fundamental para la nutrición de las plantas. Es absorbido por éstas en forma de fosfatos mono y diácidos.

A diferencia del nitrógeno y del azufre, que son otros elementos que se absorben en forma aniónica, el fósforo es un elemento poco móvil. Por su tendencia a reaccionar dando formas fosforadas no disponibles para las plantas es que debe ser considerado uno de los elementos más críticos (Sanzano, 2011).

#### **e) Potasio**

El potasio juega numerosos roles en la nutrición de plantas y animales, no está incorporado a la estructura de los compuestos orgánicos. En cambio, permanece en forma iónica en solución en la célula ( $\text{K}^+$ ), o actúa como un activador para las enzimas celulares. Interviene en la síntesis y acumulación de hidratos de carbono y proteínas. Las plantas exigentes en K producen grandes cantidades de azúcares (remolacha, caña de azúcar, frutales, etc.). Influye en la tolerancia la frío y en la resistencia a la sequía. Mejora la calidad de las cosechas de granos y frutas. Además aumenta la resistencia de las plantas a las enfermedades (Sanzano, 2011).

El potasio es un macronutriente absorbido por las plantas en grandes cantidades, siendo superado sólo por el N y, a veces por el Ca. Es el nutriente que menores problemas de disponibilidad presenta, ya que, en general, la provisión de este elemento en los suelos es aceptable. A diferencia del fósforo (o del azufre y por extensión del nitrógeno), el potasio está presente en la solución del suelo solamente como un catión cargado positivamente,  $\text{K}^+$ . A

diferencia del nitrógeno y el fósforo, el potasio no ocasiona problemas ambientales cuando sale del sistema suelo. No es tóxico y no causa eutrofización en los sistemas acuáticos (Fernandez, 2008)

#### **f) Materia orgánica**

La materia orgánica del suelo juega un papel vital en el suelo para mantener la estructura del suelo, su estado nutricional, capacidad de retención de agua, capacidad de intercambio de cationes (CEC) y la biodiversidad (Oliver , Bishop , & Marchant , 2013 ). La biodiversidad es importante para la agricultura sostenible porque muchos tipos de organismos ayudan en procesos del suelo como el ciclo de nutrientes, descomposición de la materia, hidrología, estabilidad estructural e intercambios gaseosos.

Las operaciones agrícolas, en particular el arado y el monocultivo, han llevado al agotamiento de la materia orgánica por oxidación y por la erosión del suelo.

### **9. PREGUNTA CIENTIFICA**

¿El modelamiento de la distribución espacial de los nutrientes en el agroecosistema sub tropical seco andino permite la gestión sostenible de la fertilidad del suelo?

## 10. METODOLOGÍA (TÉCNICAS, MÉTODOS INSTRUMENTOS).

### 10.1 Diseño de una metodología para la gestión espacial de nutrientes

#### 10.1.1 Ubicación Geográfica del Área de Estudio.

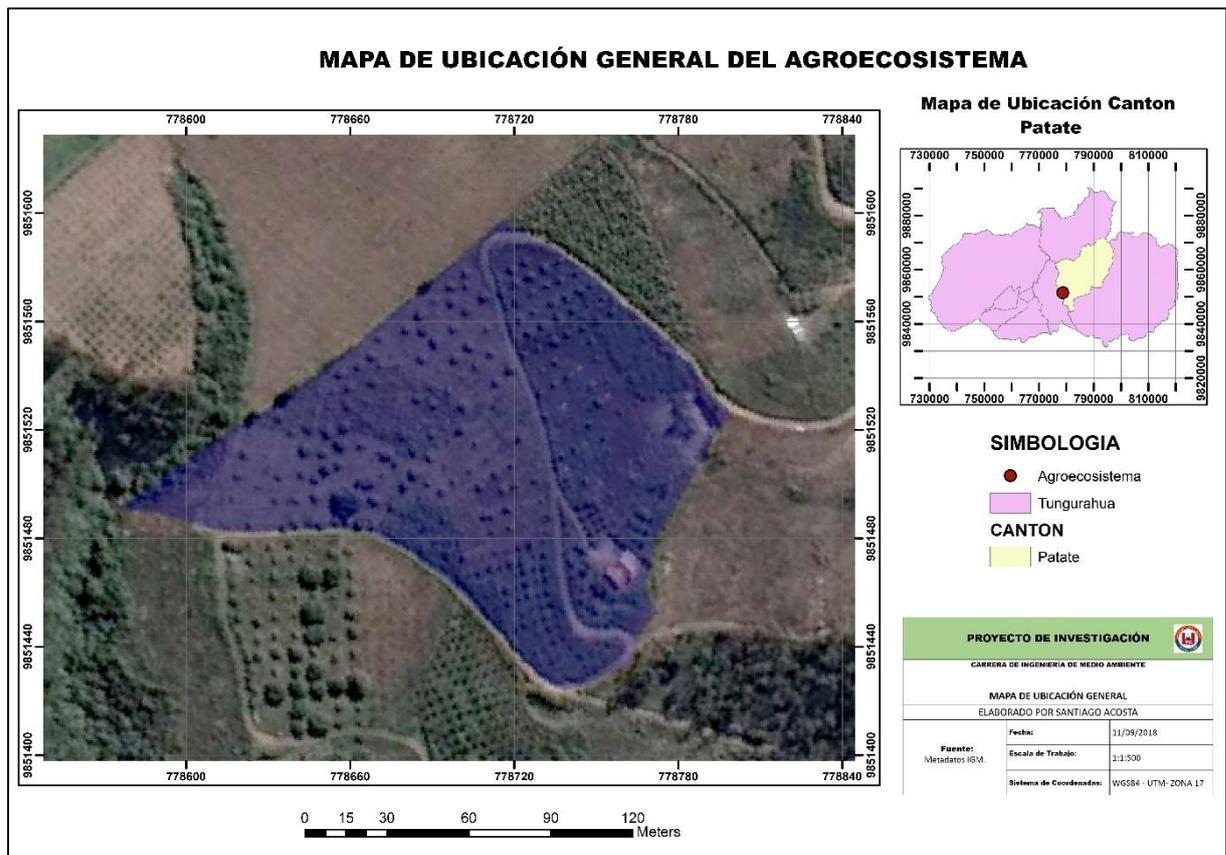
El presente estudio se realizó dentro del agroecosistema ubicado en el sector de San Antonio perteneciente a la parroquia la Matriz del Cantón Patate. Existen dos vías principales de acceso, la primera es por la vía Patate la Tranquilla hasta el caserío la Esperanza y la segunda vía Patate Baños.

**Tabla 5.-** Datos de Ubicación (WGS\_1984\_UTM\_Zone\_17S)

Altitud	2194m.s.n.m
Norte	778720
Este	9851516

Elaborado por: El Autor

**Ilustración 14.-** Mapa de Ubicación del Agroecosistema

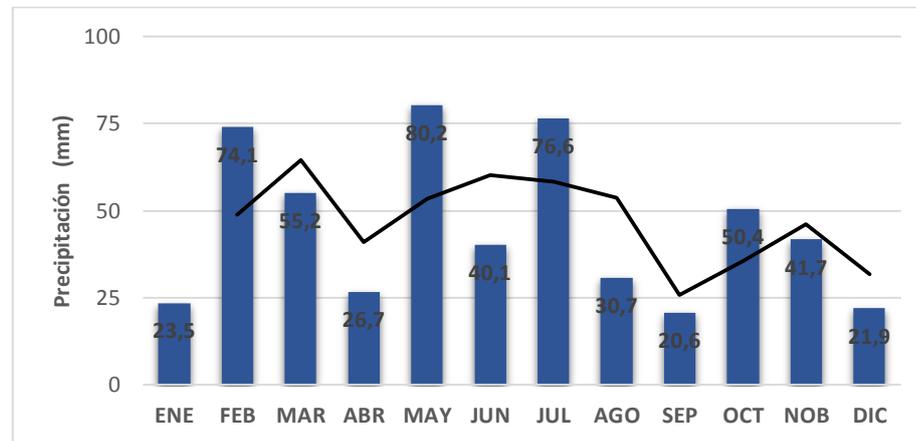


## 10.1.2 Características de la zona

### a. Clima

El clima en la zona es cálido y templado, este se encuentra clasificado como mesotérmico seco propio de los valles del callejón interandino, La temperatura promedio en Patate es 16,1 °C siendo el mes de Noviembre el más caluroso del año con una temperatura media de 17,2°C y Julio el más frío con un promedio de 14,4 °C. La precipitación más baja se registra en el mes de septiembre, con un promedio de 20,6 mm, mientras que en el mes de mayo registra un promedio de 80,2 mm siendo el mes de mayor pluviosidad. La precipitación promedio es de 541,8mm (INAMHI, 2017).

**Ilustración 15.-** Histograma de Precipitación en la Estación Patate



Fuente: (INAMHI, 2017)

### b. Abastecimiento de Agua

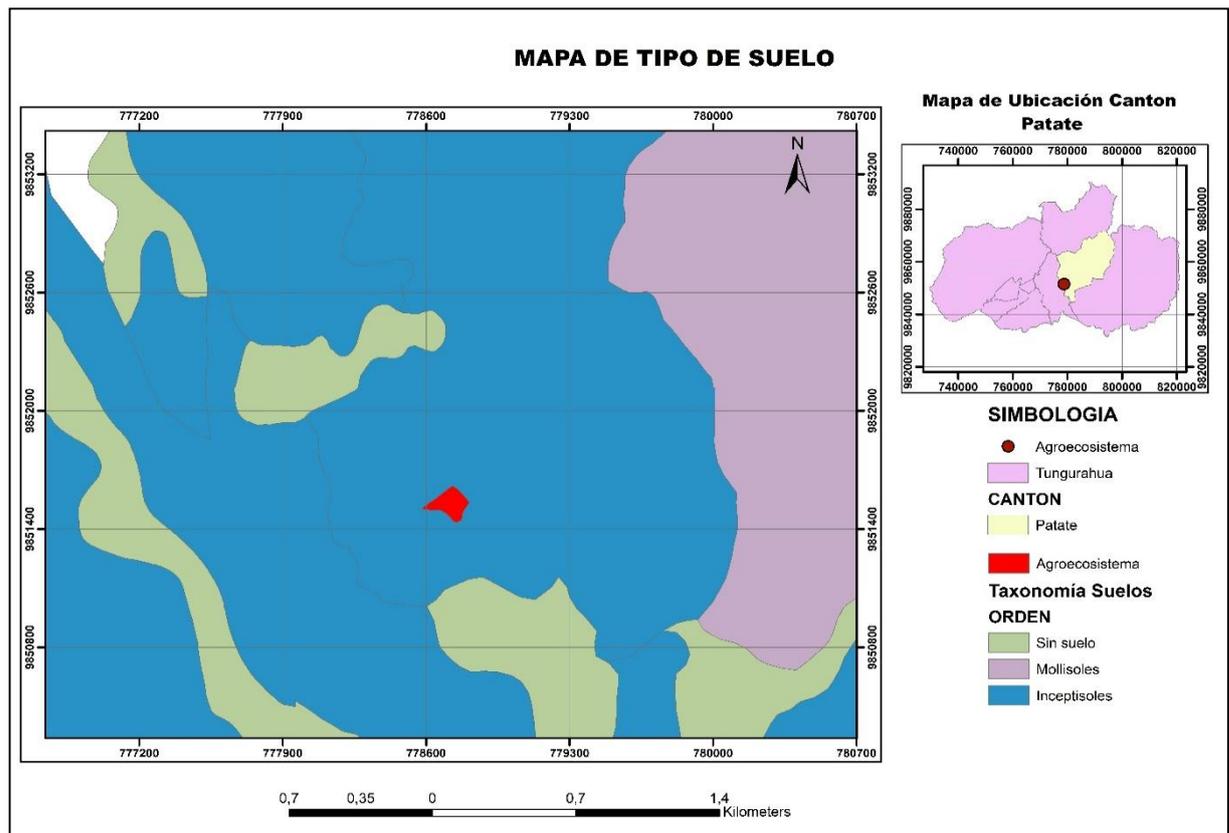
El clima mesotérmico seco se caracteriza por tener poca pluviosidad, por tal motivo el lote cuentan con agua de regadío perteneciente al ramal Leito, los horarios de riego son los días sábados de 12H00pm a 6H00am. El riego se lo realiza por gravedad el cual consiste en la distribución del agua a través de canales que se disponen en toda el área de cultivo.

Debido a que le lote tiene una pendiente de 27,5°, resulta difícil la correcta distribución del agua. Además el flujo de agua arrastra las capas superficiales y más fértiles del suelo actuando como agente erosivo.

### c. Tipo de suelo

El agroecosistema se encuentra dentro de la categoría de los suelo inceptisoles, según el mapa taxonómico. Los Inceptisoles son aquellos suelos que están empezando a mostrar el desarrollo de los horizontes puesto que los suelos son bastante jóvenes todavía en evolución. Es por ello, que en este orden aparecerán suelos con uno o más horizontes de diagnóstico cuya génesis sea de rápida formación, con procesos de translocación de materiales o meteorización extrema.

**Ilustración 16.-** Mapa de Tipo de Suelo



### d. Identificación de los cultivos

Para determinar las especies cultivadas se realizaron conversatorios y entrevistas con el Sr. Patricio Peña dueño del agroecosistema en el cual se está desarrollando la investigación, de igual forma se realizaron recorridos por el sistema agrícola. Como instrumentos para el levantamiento de la información se utilizaron preguntas abiertas y un formato para el registro de la información obtenida.

La agroforestería es el sistema de producción predominante, los principales cultivos son: aguacate, mandarina, naranja, guaba, maíz y frejol y uva.

**Ilustración 17.-** Especies Cultivadas en el Agroecosistema



Elaborado por: El Autor

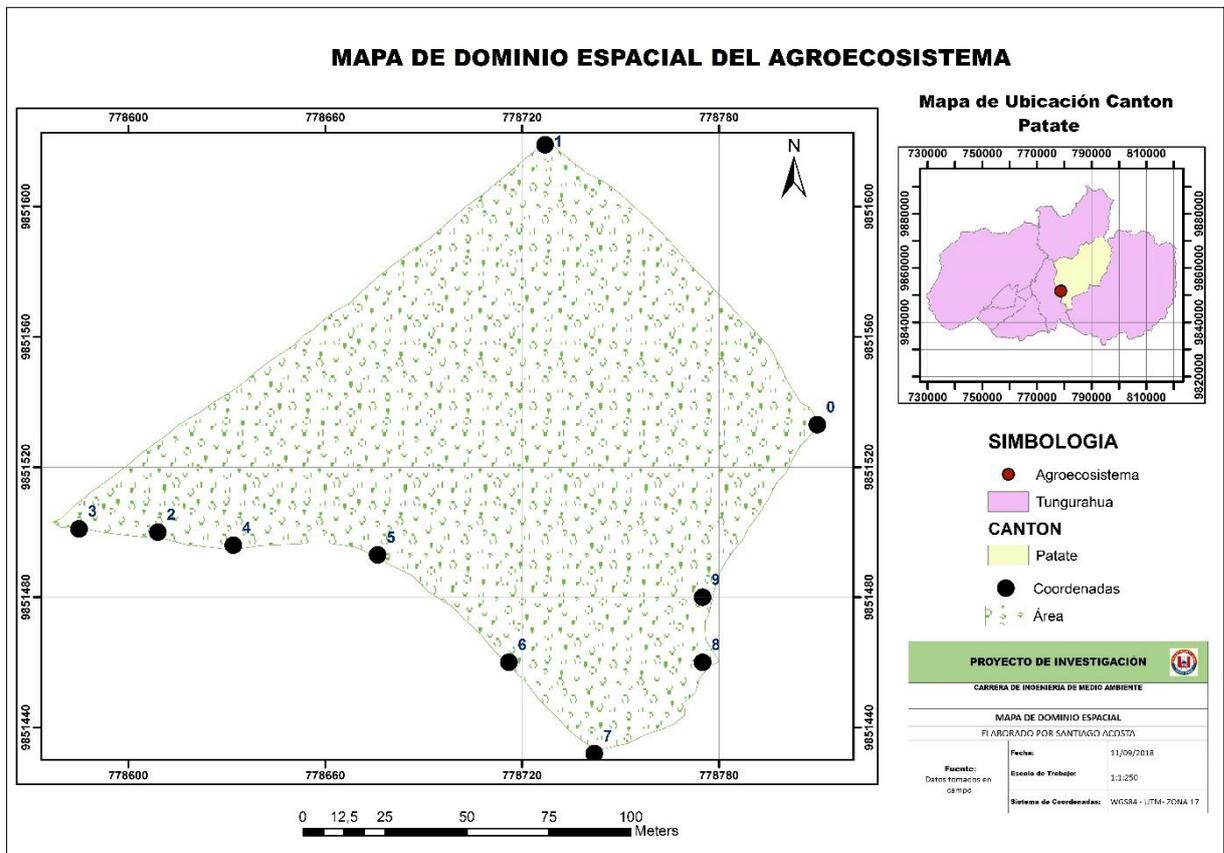
**e. Delimitación del área de estudio**

Para delimitar el área se realizó un recorrido por todo el perímetro del agroecosistema, las coordenadas se tomaron mediante un GPS marca Garmin64s, con el cual se obtuvieron las siguientes coordenadas:

**Tabla 6.-** Coordenadas del Agroecosistema (WGS\_1984\_UTM\_Zone\_17S)

PUNTO	X	Y	Z(m.s.n.m)
1	778810	9851533	2242
2	778727	9851619	2232
3	778609	9851500	2194
4	778585	9851501	2182
5	778632	9851496	2192
6	778676	9851493	2190
7	778716	9851460	2194
8	778742	9851432	2198
9	778857	9851398	2187

Elaborado por: Santiago Acosta

**Ilustración 18.-** Mapa de Dominio Espacial

#### f. Definición de la grilla o cuadrícula de muestreo.

El área del agroecosistema es de 20336.48m<sup>2</sup>. El método de muestreo en grilla contempla como primera etapa la subdivisión del predio en pequeñas unidades (grillas) para posteriormente analizar una muestra extraída de un sector específico de cada grilla.

Los puntos de muestreo definieron a través del software ArcGIS, una grilla de muestreo con una intensidad de 40m x 40m, esta se exportó en formato Shape file al colector GPS con el fin de identificar con la ayuda de este los sitios de muestreo en campo. En total se definieron 16 puntos de muestreo repartidos uniformemente a través del área de estudio, dado la densidad de muestreo se garantiza mayor precisión en la elaboración de los mapas de estimación de la distribución espacial de los nutrientes.

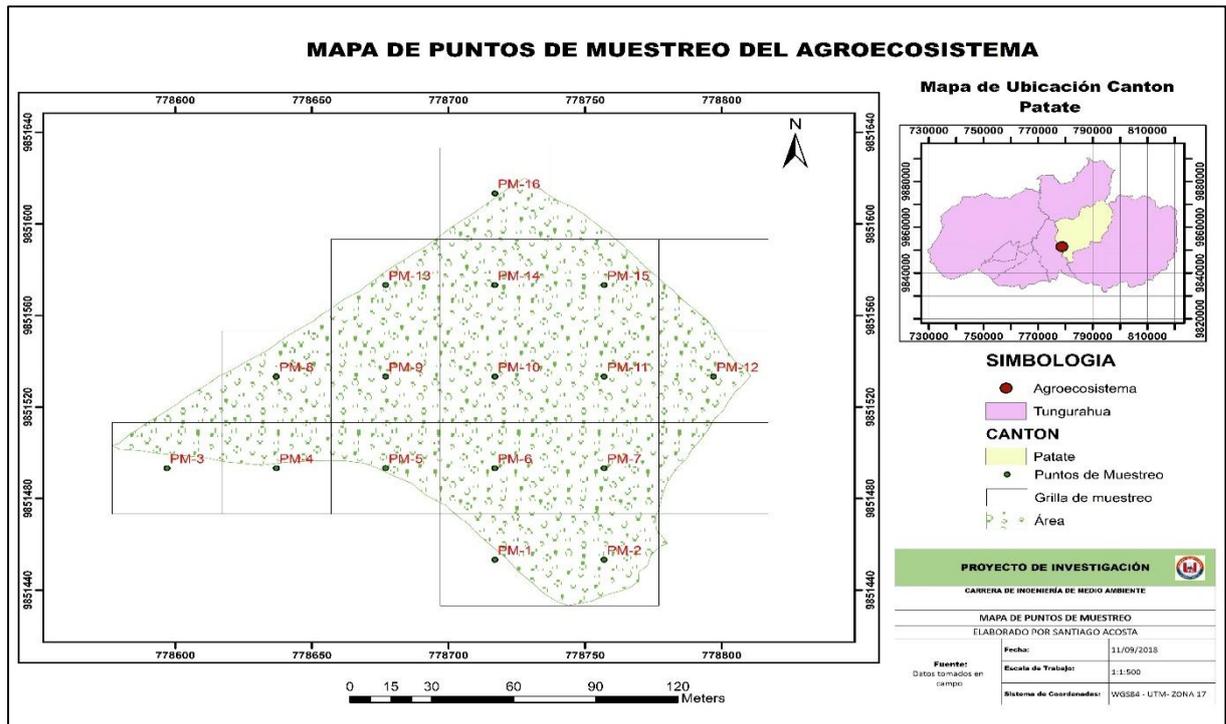
A continuación se puede observar los puntos de muestreo con sus coordenadas en sistema UTM y el mapa de muestreo con sus respectivas grillas:

**Tabla 7.-** Coordenadas de los puntos de muestreo (WGS\_1984\_UTM\_Zone\_17S)

<b>CODIGO</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
PM-1	778716,97	9851453,26
PM-2	778756,97	9851453,26
PM-3	778596,97	9851493,26
PM-4	778636,97	9851493,26
PM-5	778676,97	9851493,26
PM-6	778716,97	9851493,26
PM-7	778756,97	9851493,26
PM-8	778636,97	9851533,26
PM-9	778676,97	9851533,26
PM-10	778716,97	9851533,26
PM-11	778756,97	9851533,26
PM-12	778796,97	9851533,26
PM-13	778676,97	9851573,26
PM-14	778716,97	9851573,26
PM-15	778756,97	9851573,26
PM-16	778716,97	9851613,26

**Elaborado por:** El Autor

**Ilustración 19.-** Mapa de Puntos de Muestreo



Elaborado por: El Autor

### g. Materiales y equipos utilizados

En el Cuadro 5 se listan los materiales y equipos necesarios para la extracción de muestras de suelos en el campo. Se presentan en función de la actividad para la cual fueron utilizados.

**Tabla 8.-** Materiales y equipos

Descripción	Cantidad
Toma de muestras	
GPS	1
Fundas Plasticas	16
Pala	1
Azada	1
Guantes	2
Etiquetas	16
Marcador	1
Cinta métrica	1

Fuente: El Autor

## h. Metodología para la toma de muestras

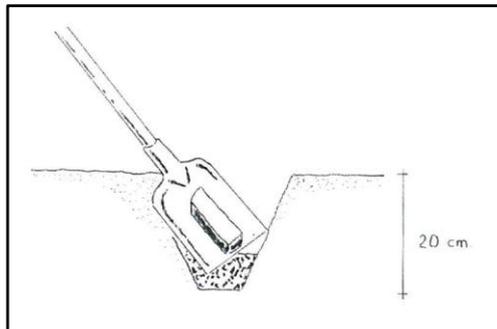
Para la toma de muestras se utilizó la metodología de toma de muestras en V, la cual se puede apreciar en el siguiente cuadro:

1. Eliminación de la cobertura vegetal y piedras de la superficie en el sitio de muestreo



Fuente: El Autor

2. Se procedió a cavar un agujero en forma de "V" del ancho de la pala y la profundidad requerida. Para el agroecosistema de estudio se determinó que la profundidad idónea es de 20cm debido a los tipos de cultivos existentes en el área de estudio.



Fuente: (Agrocalidad, 2015)



Fuente: El Autor

3. Tomar un corte de suelo de 2 a 3 centímetros de espesor de la pared del hueco y depositarla en un bolsa plástica gruesa, misma que debe estar limpia de impurezas tales como restos de fertilizante, cal, estiércol, cemento, etc



Fuente: El Autor

4. Etiquetado de las muestras recolectadas con el número de la muestra, el lugar, la fecha, coordenadas UTM, para su posterior análisis.



**Fuente:** El Autor

La profundidad de muestro es de 18cm en lugares donde se presente labranza convencional pero en zonas de labranza mínima es conveniente muestrear entre 20 y 40cm, ya que las raíces de los cultivos perennes pueden explotar estratos inferiores. Para la toma de muestras se realizaran un corte en **V** a una profundidad de 18cm como lo establece en el manual de toma de muestras de (Agrocalidad, 2015).

## 11. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 11.1 Ajuste espacial de fertilidad del agroecosistema

En la tabla 12 se observan los resultados del análisis de laboratorio realizados en AGROCALIDAD, estos resultados servirán para la elaboración de los mapas de estimación de la distribución espacial de los nutrientes.

**Tabla 9.-** Resultados de las muestras tomadas en campo

N°	X	Y	PH	MO (%)	N (%)	P (mg/kg)	K (cmol/kg)	CE (dS/m)
PM-1	778716,97	9851453,26	5,9	1,23	0,17	62,3	1,12	0,129
PM-2	778756,97	9851453,26	6,11	1,11	0,1	47,8	0,89	0,123
PM-3	778596,97	9851493,26	6,34	1,78	0,13	34,9	1,34	0,158
PM-4	778636,97	9851493,26	6,98	2,01	0,07	28,2	1,29	0,152
PM-5	778676,97	9851493,26	7,12	1,2	0,23	56,2	1,11	0,167
PM-6	778716,97	9851493,26	7,98	0,7	0,12	44,3	0,96	0,123
PM-7	778756,97	9851493,26	8,31	0,89	0,04	27,4	1,11	0,122
PM-8	778636,97	9851533,26	8,02	1	0,09	30,9	0,98	0,121
PM-9	778676,97	9851533,26	7,39	1,23	0,21	34,9	0,99	0,098
PM-10	778716,97	9851533,26	6,96	2,68	0,13	68,8	0,8	0,189
PM-11	778756,97	9851533,26	7,73	2,35	0,12	28,2	1,41	0,131
PM-12	778796,97	9851533,26	7,01	2,79	0,19	57,4	1,32	0,121
PM-13	778676,97	9851573,26	7,23	2,99	0,25	34,2	1,49	0,107
PM-14	778716,97	9851573,26	7,1	2,47	0,12	30,2	0,87	0,133
PM-15	778756,97	9851573,26	7,23	3	0,11	57,1	1,13	0,153
PM-16	778716,97	9851613,26	7,59	2,31	0,05	45,2	1,24	0,137

Elaborado por: El Autor

Para la interpretación de resultados se utilizó la Tabla 10, en la cual se establece los rangos para determinar si el resultado presente un contenido bajo, medio o alto, de la variable analizada. Esta tabla fue elaborada por AGROCALIDAD.

**Tabla 10.-** Interpretación de resultados Región – Sierra

Parámetro	MO (%)	N (%)	P (mg/kg)	K (cmol/kg)
Bajo	<1,0	0 – 0,15	0 – 10,0	<0,2
Medio	1,0 – 2,0	0,16 – 0,3	11,0 – 20,0	0,2 – 0,38
Alto	>2,0	>0,31	>21,0	>0,4

Fuente: (Agrocalidad, 2015)

Parámetro	Ácido	Ligeramente Ácido	Prácticamente Neutro	Ligeramente Alcalino	Alcalino
pH	5,5	5,6 – 6,4	6,5 – 7,5	7,6 – 8,0	8,1

Fuente: (Agrocalidad, 2015)

Parámetro	No Salino	Ligeramente Salino (Ls)	Salino	Muy Salino (MS)	Salino
CE (ds/m)	<2,0	2,0 – 3,0	3,0 – 4,0	4,0 – 8,0	

Fuente: (Agrocalidad, 2015)

En la Tabla 11 se describen los indicadores estadísticos asociados a cada una de las propiedades físicas y químicas evaluadas en el estudio de variabilidad espacial.

De acuerdo con el grado de variabilidad de cada propiedad, definido en términos del coeficiente de variación CV% se pueden establecer cuatro categorías de variables:

1. Relativamente homogéneas (CV% < 20%): pH, K, CE.
2. Moderadamente heterogéneas (20 < CV% < 40%): P
3. Normalmente heterogéneas (40 < CV% < 60%): MO, N.
4. Extremadamente heterogéneas (CV% > 60%): Ninguna variable se encuentra dentro de este rango.

**Tabla 11.-** Parámetros estadísticos de variables analizadas

Parámetro	Media	Mediana	Moda	Desv. Estan	C.V	Mínimo	Máximo
pH (%)	7,19	7,18	7,23	0,67	9,34	5,9	8,31
MO (%)	1,86	1,90	1,23	0,81	43,43	0,7	3
N (cmol/kg)	0,13	0,12	0,12	0,06	46,36	0,04	0,25
P(mg/kg)	43,00	39,60	28,20	13,78	32,05	27,4	68,8
K (mg/kg)	1,13	1,12	1,11	0,21	18,19	0,8	1,49
CE (dS/m)	0,14	0,13	0,12	0,02	17,23	0,098	0,189

Elaborado por: El Autor

## 11.2 Mapas de Distribución

Se creó un mapa de distribución espacial para cada una de las variables, en general cada mapa representa a través de una escala de colores la distribución espacial y la variabilidad de cada uno de los parámetros analizados. Teniendo en cuenta los rangos óptimos de contenido de nutrientes en el suelo, descritos en la Tabla 10 para los cultivos existentes en el agroecosistema.

Para la elaboración de los mapas de estimación se desarrolló el análisis geoestadístico de cada variable, esto permite determinar el modelo de variograma teórico que mejor se ajuste a la distribución espacial de las muestras. Este procedimiento también garantiza confiabilidad en la interpolación mediante el método Kriging.

Las herramientas utilizadas para el análisis geoestadístico fueron:

- Histograma: Sirve para examinar las estadísticas de distribución y resumen de un conjunto de datos. (Figura a)
- Diagrama de QQ normal y Gráfico de QQ general: Su función es evaluar si un conjunto de datos se distribuye normalmente y explora si dos conjuntos de datos tienen distribuciones similares, respectivamente (Figura b).
- Mapas Voronoi: Su función es examinar visualmente la variabilidad espacial y la estacionaridad de un conjunto de datos (Figura c).
- Análisis de tendencias: Su función es examinar las tendencias espaciales en un conjunto de datos (Figura d).
- Semivariograma / nube de covarianza: Su función es examinar la dependencia espacial (semivariograma y covarianza) en un conjunto de datos (Figura e)
- Variograma teórico.- Representa el modelo que mejor se ajusta a los diferentes comportamientos que pueden tener las variables en el espacio. (Figura f)

Estas definiciones fueron tomadas del asistente de ArcGIS for Desktop.

Para determinar la confiabilidad de los mapas se utilizó la validación cruzada, esta herramienta elimina una ubicación de datos y luego predice los datos asociados utilizando los datos en el resto de las ubicaciones. El uso principal de esta herramienta es comparar el valor predicho con el valor observado para obtener información útil sobre algunos de los parámetros de su modelo.

El resultado de esta validación son las siguientes propiedades:

- Error medio: la diferencia promediada entre los valores medidos y predichos
- Error cuadrático medio: indica en qué medida su modelo predice los valores medidos. Cuanto menor sea este error, mejor.
- Error medio estandarizado: el promedio de los errores estandarizados. Este valor debe estar cerca de 0.
- Error estandarizado medio cuadrático: debe estar cerca de uno si los errores estándar de predicción son válidos. Si el error estandarizado de la media cuadrática es mayor que uno, está subestimando la variabilidad en sus predicciones. Si el error estandarizado de la raíz cuadrada media es menor que uno, está sobreestimando la variabilidad en sus predicciones.
- Error estándar promedio: el promedio de los errores estándar de predicción.

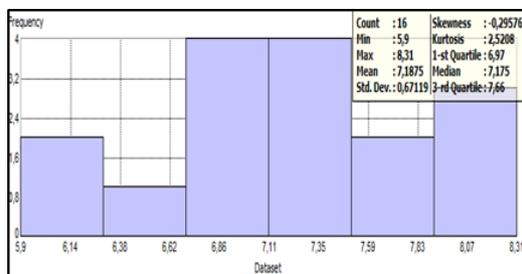
A continuación se muestran los mapas para cada una de las variables con su análisis geoestadístico y validación.

### 11.2.1 Mapa de distribución del pH

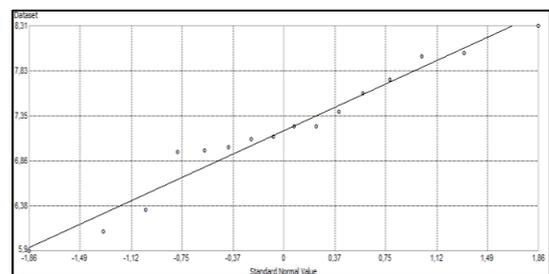
pH.- El pH se distribuye de manera relativamente homogénea según su CV en el agroecosistema, su valor mínimo 5,9 el cual se considera un pH ligeramente ácido y su valor máximo es alcalino con un valor de 8,31, estas zonas se encuentran plenamente definidas en el mapa de distribución. Los suelos con fuerte acidez son pobres en bases (calcio, magnesio, potasio), la actividad de los microorganismos se reduce y el fósforo disponible disminuye, al precipitarse con el hierro y el aluminio. Los micronutrientes, excepto el molibdeno, se absorben mejor en este tipo de suelos. Un suelo con fuerte basicidad presenta un alto contenido de bases de cambio, pero la presencia de un elevado contenido de carbonato de calcio bloquea la posible absorción de fósforo y de la mayor parte de los micronutrientes. La neutralidad en su sentido más amplio ( $6,6 \leq \text{pH} \leq 7,5$ ) es una condición adecuada para la asimilación de los nutrientes y para el desarrollo de las plantas (Sánchez, 2011). En general la mayoría de los cultivos se adaptan bien a rangos de pH entre 5,5 y 7.

Para la elaboración de los mapas de estimación se desarrolló el análisis geoestadístico de cada variable, esto permite determinar el modelo de variograma teórico que mejor se ajuste al a la distribución espacial de las muestras. Este procedimiento también garantiza confiabilidad en la interpolación mediante el método Kriging.

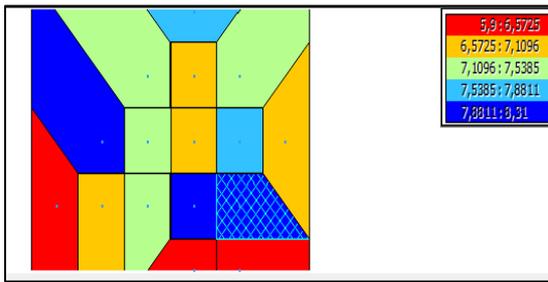
El histograma examina las estadísticas de la distribución y lo resumen en un conjunto de datos, para el pH el valor medio es de 7,18 y la mediana 7,17, esto significa que la distribución de los datos es normal. El valor del Std.Dev permite determinar mediante un índice numérico la dispersión de un conjunto de datos, para el pH la desviación estándar fue 0,67 lo que indica que la variabilidad ente las muestras no es representativa. (Figura a)



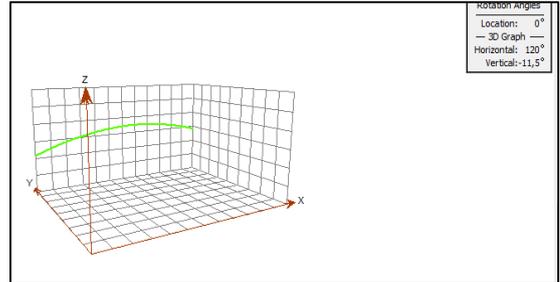
a.



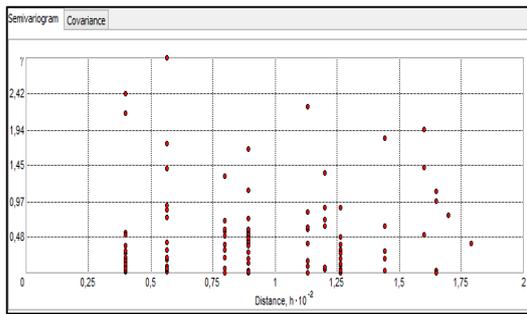
b.



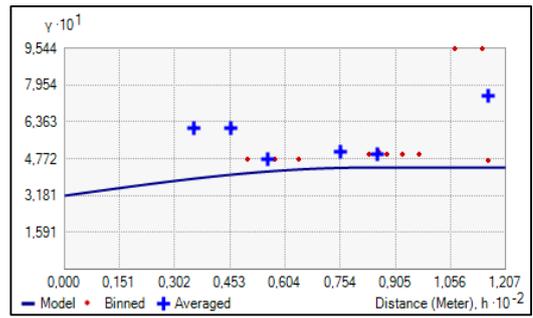
c



d.

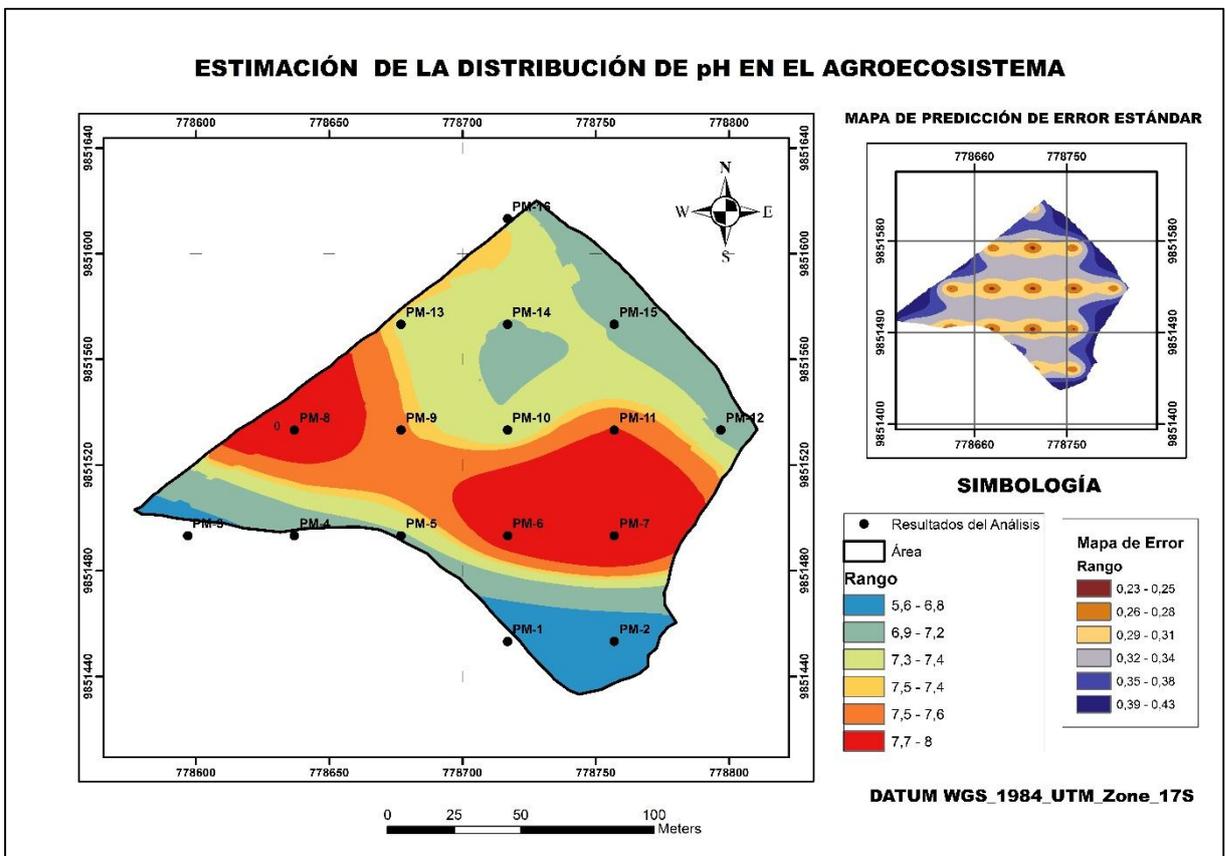


e



f

Ilustración 20.- Mapa de Distribución del pH en el área de estudio



Elaborado por: El Autor

La zona centro del agroecosistema, marcada de color rojo presenta los niveles de pH más altos. Superando de forma leve el nivel óptimo para que los procesos químicos que se dan en suelo se desarrollen normalmente, este puede deberse a que las zonas rojas contengan presencia de sales solubles calcio y magnesio. La zona celeste representa los suelos con un pH ligeramente ácido. Un pH ácido en el suelo puede provocar deficiencia de otros minerales como el fósforo, calcio, magnesio, boro.

El mapa gráfico de la predicción del error estándar representa las zonas en las cuales el error de interpolación es menor, estas zonas concuerdan con los puntos de muestreo en donde se encuentran los valores utilizados como referencia para realizar el proceso de interpolación. Las zonas azules representan los lugares en los cuales el error de interpolación fue mayor, para mejorar este valor se debe realizar la toma de más muestras en esta zona.

A continuación se aprecia una tabla con los valores del error de predicción resultante de la validación cruzada:

**Tabla 12.-** Predicción del Error Estándar del pH

Muestras	16 de 16
Error Medio	-0,001
Error cuadrático medio	0,795
Error Medio estandarizado	0,020
Error estandarizado medio cuadrático	1,416
Error estándar promedio	0,522

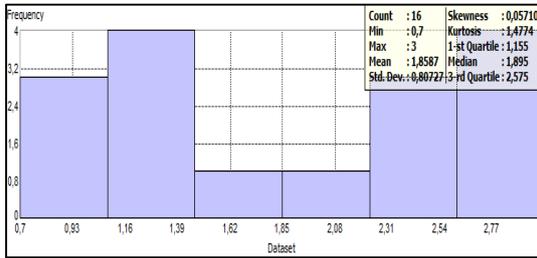
Elaborado por: El autor

### 11.2.2 Mapa de distribución de la Materia Orgánica (MO).

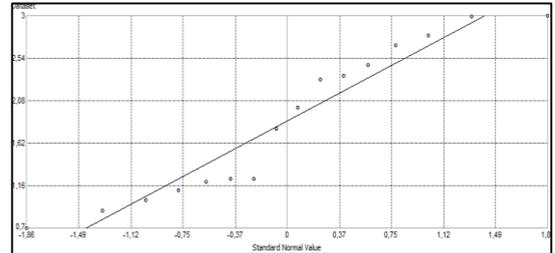
El valor medio de la materia orgánica es de 1,86% a una escala cualitativa este valor se encuentra dentro de un rango medio el cual va de 1,0% a 2,0%. El punto con mayor porcentaje de materia orgánica es el PM-15, este valor se debe a la presencia de árboles frutales caducifolios, la distribución de materia orgánica es normalmente heterogénea con un CV de 43,43.

El mantenimiento de la materia orgánica del suelo es un proceso clave relacionado con la sostenibilidad y productividad de los sistemas agrícolas, especialmente para los que están en suelos frágiles y manejados por agricultores de pocos recursos. El valor mínimo de MO es de

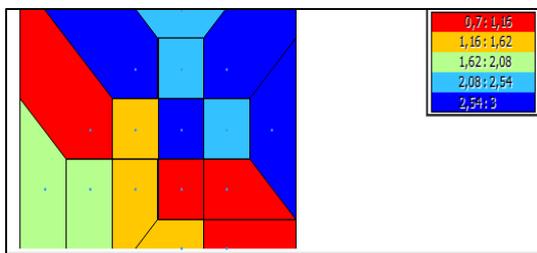
0,7%, esto indica un bajo contenido, lo cual afecta al intercambio catiónico y por consiguiente a la retención de los demás nutrientes como nitrógeno y fosforo.



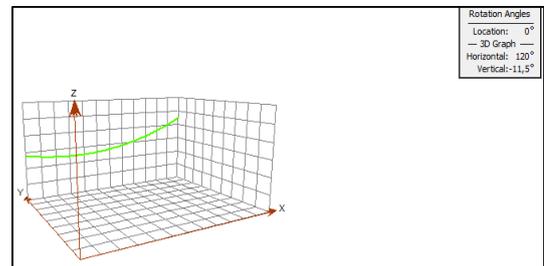
a.



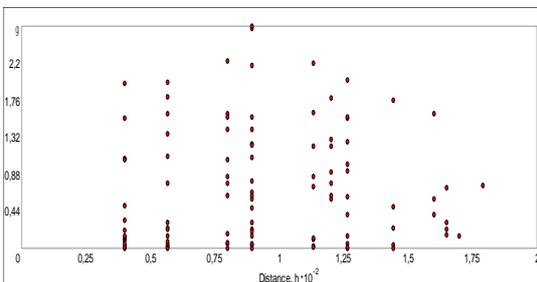
b.



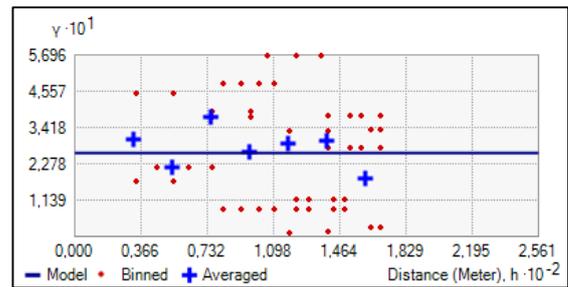
c.



d.

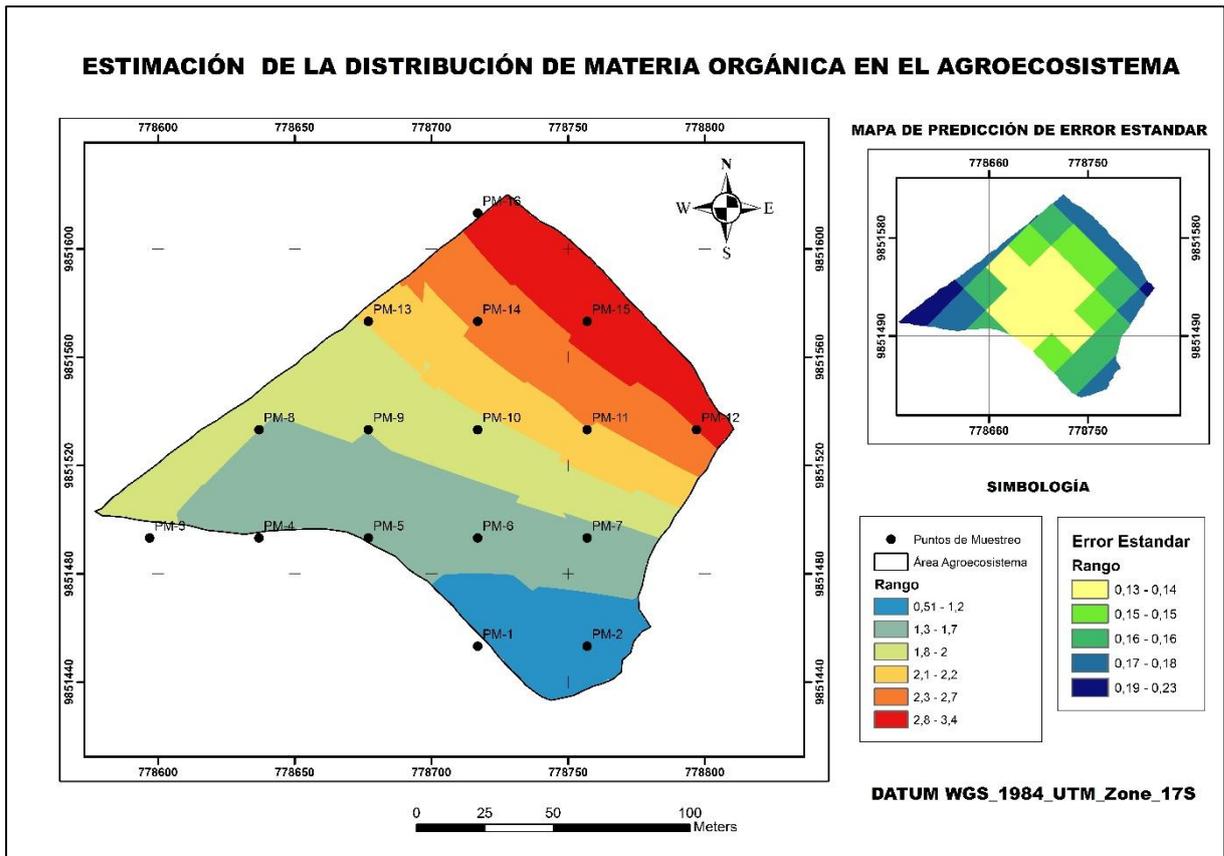


e.



f.

**Ilustración 21.-** Mapa de Distribución de Materia Orgánica en el área de estudio.



Elaborado por: El Autor

En el mapa de materia orgánica el modelo de efecto pepita (figura f) fue el que se ajustó a la distribución de las muestras, este modelo de variograma representa un fenómeno completamente aleatorio, en el cual no existe correlación espacial y las muestras son independientes unas con otras sin importar la distancia que las separe.

En la tabla 10 se muestran los niveles óptimos de nutrientes que debe tener el suelo. Para el caso de la materia orgánica un nivel adecuado es  $>2.0$ . Según el mapa de estimación la zona amarilla, naranja y roja se encuentran dentro de un nivel óptimo, la zona verde y ploma dentro de un rango medio y la zona celeste presenta deficiencia en el contenido de MO.

Las zonas con mayor contenido de materia orgánica tienen la mayor concentración de árboles frutales como el aguacate, la mandarina y la naranja, sus hojas son el principal aporte de materia orgánica al suelo. La zona con menor contenido de MO se caracteriza por tener una mayor pendiente y estar más expuesta a la erosión.

El mapa de predicción de error estándar sirve para determinar las zonas en las que el error de interpolación fue mayor, demostrando así las zonas en las cuales se debe incrementar la densidad de muestreo para obtener mejores resultados. Para el caso de MO estos valores fueron bajos, por lo que la densidad de muestreo es la adecuada.

Los resultados de la validación cruzada se los puede observar en la siguiente tabla:

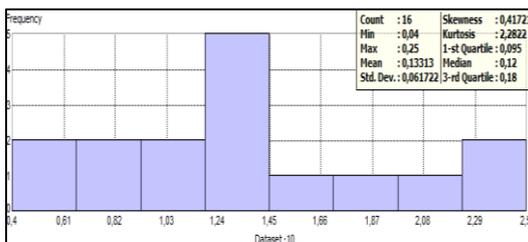
**Tabla 13.-** Predicción del Error Estándar de la MO.

Muestras	16 de 16
Error Medio	0,018
Error cuadrático medio	0,878
Error Medio estandarizado	0,031
Error estandarizado medio cuadrático	1,638
Error estándar promedio	0,536

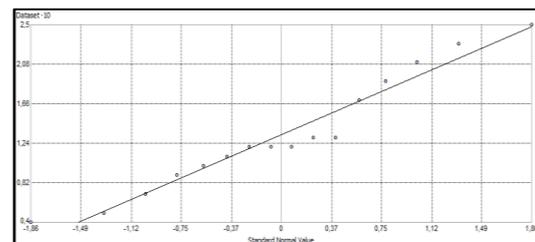
Elaborado por: El autor

### 11.2.3 Mapa de distribución de Nitrógeno (N).

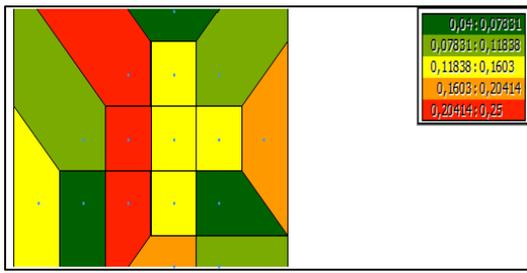
Nitrógeno (N).- El porcentaje máximo de contenido de nitrógeno es de 0,25, siendo un valor con un contenido medio, su valor con menor porcentaje es de 0.04 siendo un valor bajo, esto concuerda con su coeficiente de variación 43,46 considerado normalmente heterogéneo. El N inorgánico representa un 2% del N total del suelo, encontrándose en formas de nitrato (NO<sub>3</sub>-), amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) y nitrito (NO<sub>2</sub>-). Estas formas inorgánicas son transitorias en el suelo, por lo cual las cantidades de N inorgánico del suelo son extremadamente variables, pudiendo existir desde unos pocos gramos hasta más de 100 kg. ha<sup>-1</sup> de N. Debido a que ésta es la forma en que el N es absorbido por las plantas, el N inorgánico es muy importante para la nutrición vegetal.



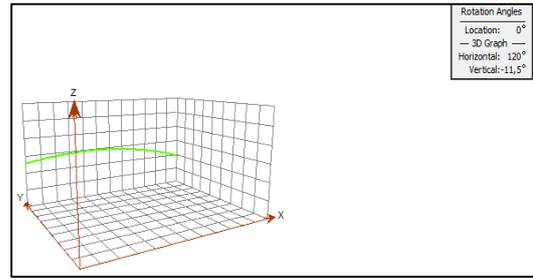
a.



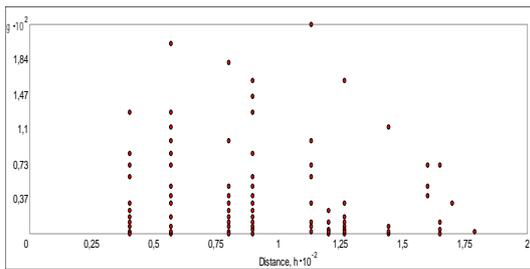
b.



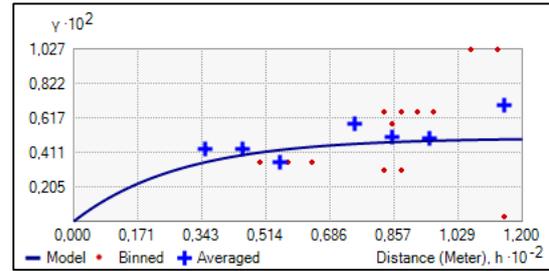
c.



d.

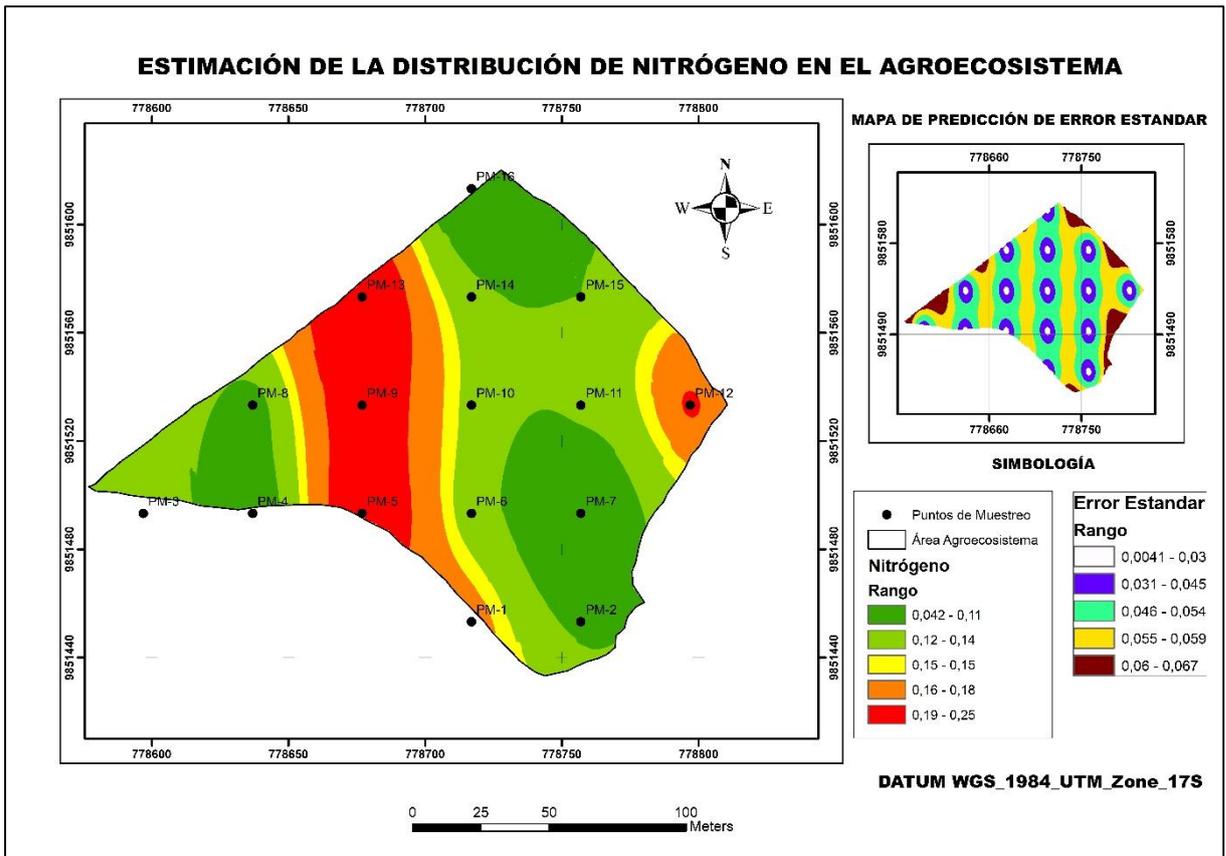


e.



f.

**Ilustración 22.-** Mapa de Distribución de Nitrógeno en el área de estudio



Elaborado por: El Autor

El agroecosistema presenta un contenido medio y bajo de Nitrógeno, siendo las zonas de coloración verde y amarillo las que menor contenido presentan, esto puede deberse a suelos

con niveles de pH muy bajos por debajo de 5,5 puede mostrar signos de deficiencia de nitrógeno, ya que el nitrógeno es menos disponible para las plantas a bajos niveles de pH. Otros factores que pueden contribuir a la deficiencia de nitrógeno incluyen lixiviación, extracción de plantas, la erosión del suelo y la desnitrificación, que es especialmente perjudicial en las plantas que se dejan en los suelos saturados. Las zonas naranja y rojo tienen un contenido medio de nitrógeno.

Los bajos niveles de nitrógeno pueden afectar al desarrollo de las plantas como disminución y amarillamiento de las hojas jóvenes en la parte inferior de la planta. El nitrógeno es un macronutriente por lo que las plantas necesitan grandes cantidades de este nutriente.

Para el Nitrógeno el modelo de variograma que mejor de ajuste, fue el modelo exponencial como se observa en la Figura f. La representación gráfico del error estandar muestra los mejores niveles de confiabilidad en las zonas de los puntos de muestreo y los niveles más altos de error en el perímetro del agroecosistema.

En la tabla 14 se muestran los resultados de la validación cruzada. La estimación de los errores de interpolación permite determinar la efectividad de este proceso.

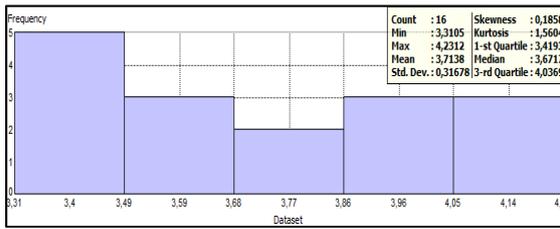
**Tabla 14.-** Predicción de Error Estándar para el N.

Muestras	16 de 16
Error Medio	-0,002
Error cuadrático medio	0,062
Error Medio estandarizado	-0,015
Error estandarizado medio cuadrático	0,932
Error estándar promedio	0,065

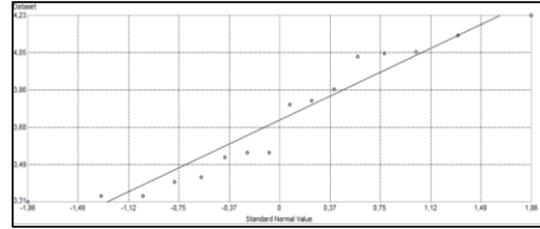
Elaborado por: El autor

#### 11.2.4 Mapa de Distribución del Fosforo (P).

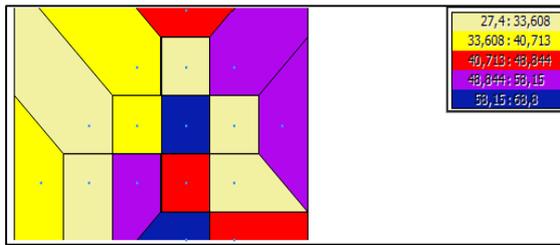
**Fosforo (P).**- El agroecosistema presenta un elevado contenido de fosforo siendo su valor promedio de 43mg/kg, su CV es de 27% lo cual presenta una distribución moderadamente heterogénea. Su valor máximo es de 68,8 y su valor mínimo de 27,7. Con esta información se determina que el área de estudio contiene niveles óptimos de fosforo.



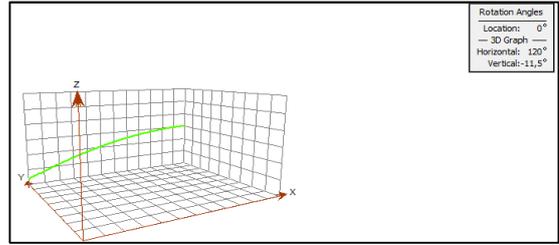
a.



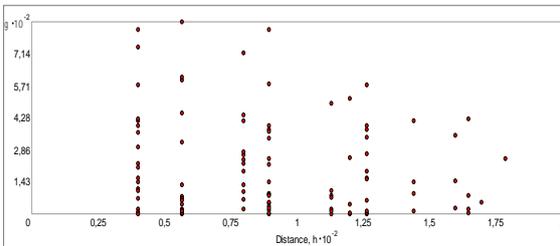
b.



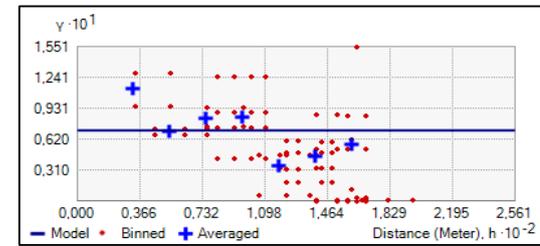
c.



d.

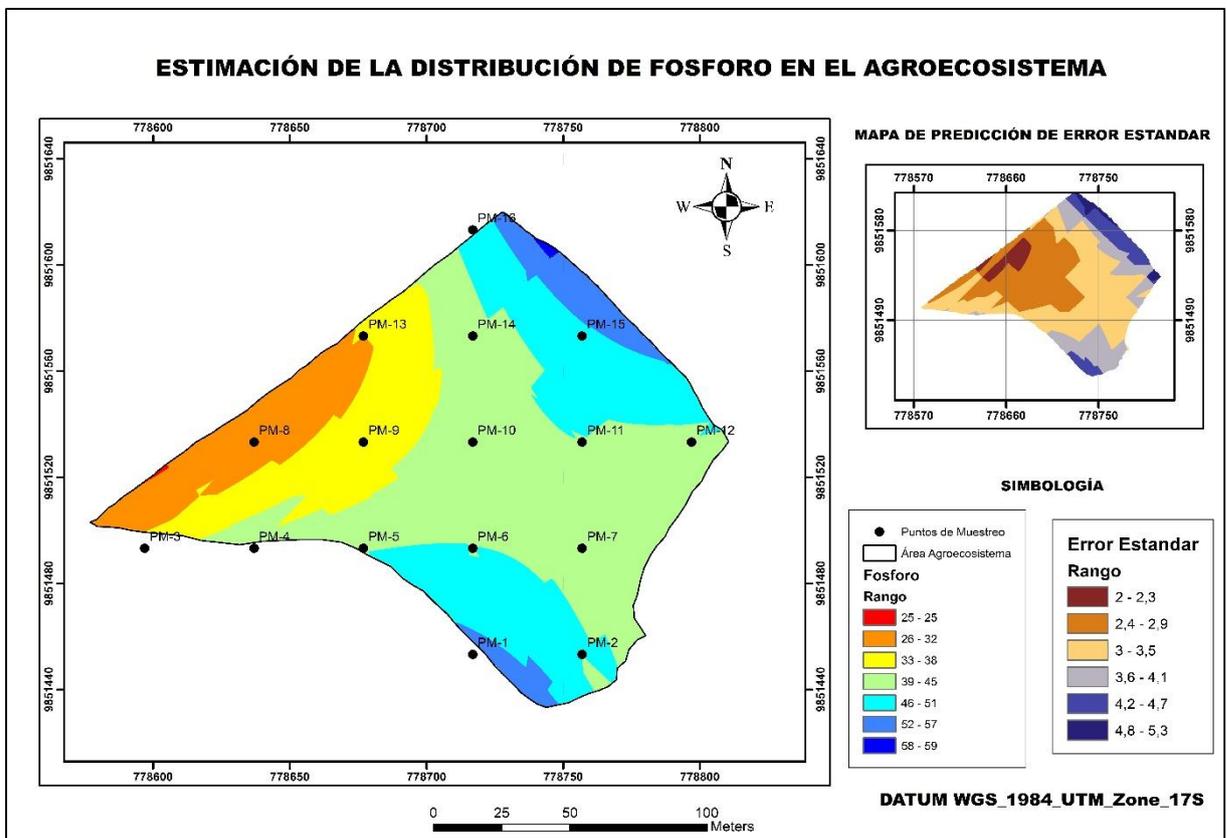


e.



f.

**Ilustración 23.-** Mapa de Distribución del Fosforo en el Área de estudio



Elaborado por: El Autor

El ajuste de variograma dio como resultado un modelo de efecto pepita en cual nos demuestra que los valores del fosforo no tiene correlación entre sí, esto sucede de forma independiente a la distancia entre cada punto de muestro. Debido a esto fenómeno los niveles de error en el mapa de error estándar son altos. Para mejorar la predicción de los datos se recomienda realizar un cokriging tomando en cuenta otra variable, incrementar información secundaria al proceso de interpolación puede arrojar mejores resultados.

De las 16 muestras analizadas todas presentan niveles óptimos de fosforo por lo que no se debe incrementar más de este nutriente. Esta variable no será tomada en cuenta en el modelo de gestión propuesto en esta investigación.

De los resultados de la validación cruzada los valores de los errores de predicción son muy elevados, por lo que la interpolación no tiene un porcentaje de confiabilidad elevado.

**Tabla 15.-** Predicción de Error Estándar para del P.

Muestras	16 de 16
Error Medio	-1,433
Error cuadrático medio	15,724
Error Medio estandarizado	-0,276
Error estandarizado medio cuadrático	1,454
Error estándar promedio	12,11

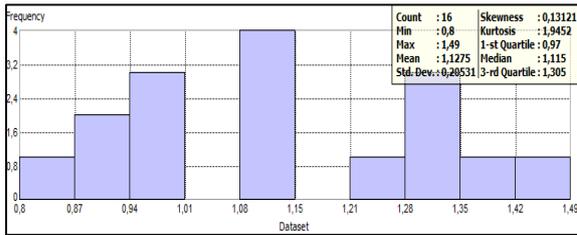
Elaborado por: El autor

### 11.2.5 Mapa de Distribución del Potasio (K).

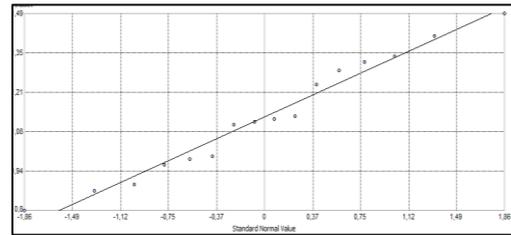
**Potasio (K).**- El contenido promedio de potasio en el agroecosistema es de 1,13 cmol/kg, este valor demuestra que un elevado contenido de este nutriente, el potasio cumple funciones trascendentes en la fisiología de las plantas. Actúa a nivel del proceso de la fotosíntesis, en la traslocación de fotosintatos, síntesis de proteínas, activación de enzimas claves para varias funciones bioquímicas, mejora la nodulación de las leguminosas. Asimismo, una buena nutrición potásica aumenta la resistencia a condiciones adversas como sequías o presencia de enfermedades.

La distribución del potasio es relativamente homogénea, el Coeficiente de variación es de 18,19%. El contenido promedio de este nutriente en el campo es de 1,12cmol/kg, este valor supera el nivel óptimo establecido en >40, por que el agroecosistema presenta un contenido adecuado de este nutriente.

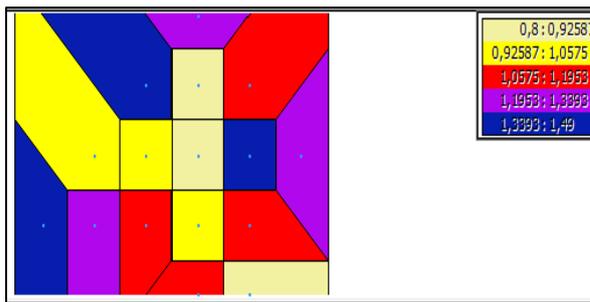
Para la elaboración del mapa de distribución se desarrolló el análisis estadístico con las siguientes herramientas:



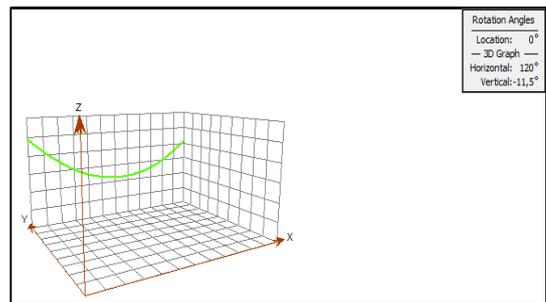
a.



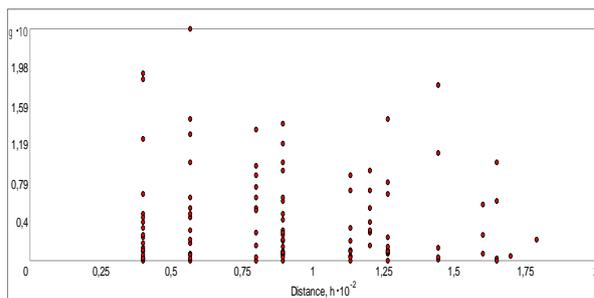
b.



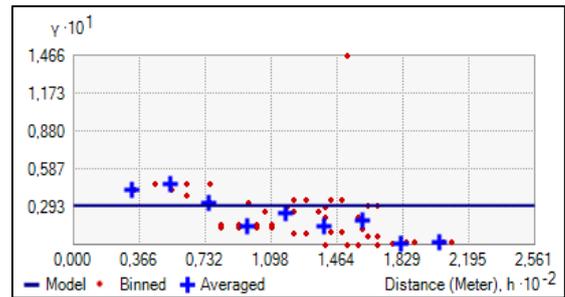
c.



d.

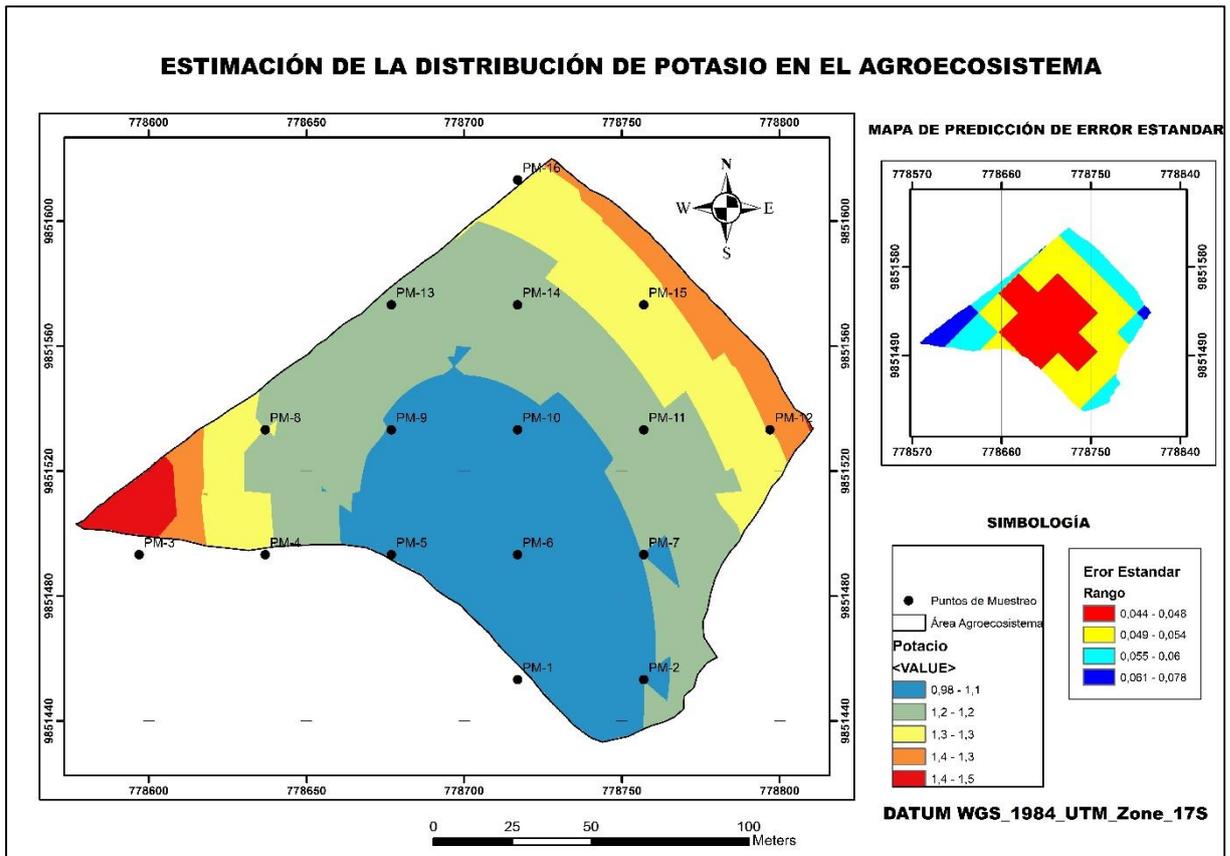


e.



f.

**Ilustración 24.-** Mapa de Distribución del Potasio en el Área de estudio.



Elaborado por: El Autor

En esta nutriente el variograma que mejor se ajustó a la distribución muestral del potasio fue el modelo pepita, con el cual se establece que no existe correlación espacial entre los valores de cada muestra sin importar la distancia que exista entre las muestras.

El valor mínimo del potasio supera el nivel óptimo, por lo que este nutriente no se tomara en cuenta en el modelo de gestión propuesto en esta investigación.

A pesar de no existir correlación entre las muestras el error estándar presenta valores muy bajos como se observa en el mapa, de igual manera los resultados de la validación cruzada fueron valores bajos por lo que la interpolación se desarrolló de forma adecuada.

A continuación se muestra la tabla con los resultados de la validación cruzada.

**Tabla 16.-** Predicción de Error Estándar para el K.

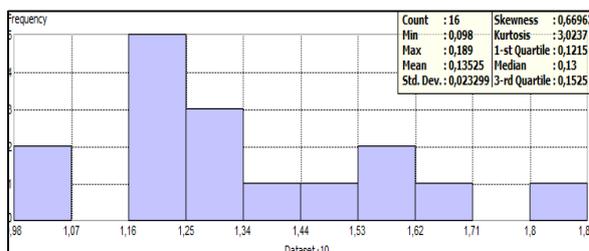
Muestras	16
Error Medio	0,009
Error cuadrático medio	0,263
Error Medio estandarizado	0,052
Error estandarizado medio cuadrático	1,451
Error estándar promedio	0,182

Elaborado por: El autor

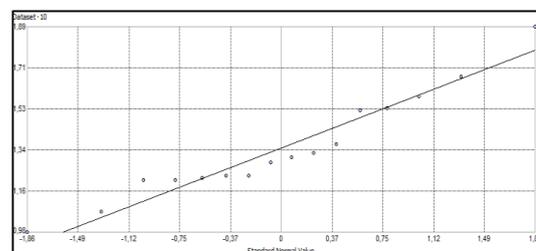
### 11.2.6 Mapa de Distribución de la Conductividad Eléctrica (CE)

**Conductividad eléctrica (CE).**- El valor promedio de la CE es de 0,14dS/m lo cual se considera como un suelo no salido. El valor máximo es de 0,189dS/m, lo suelos no salinos no tienen ninguna afectación en el desarrollo de los cultivos. Una CE baja facilita el manejo de la fertilización y se evitan problemas por citotoxicidad en el cultivo. La distribución de la CE en el suelo es relativamente homogénea su CV es 17,23.

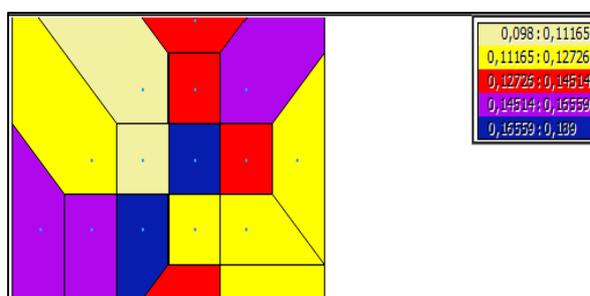
A continuación se muestran los gráficos resultantes del análisis geoestadístico de esta variable:



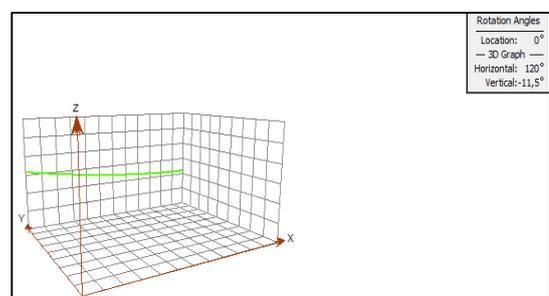
a.



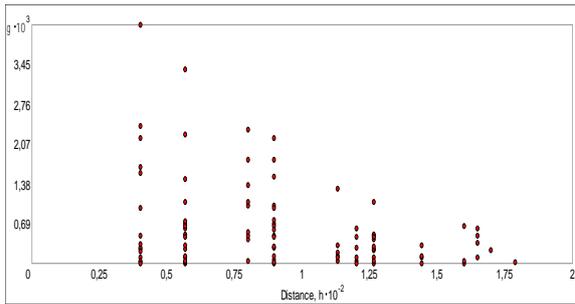
b.



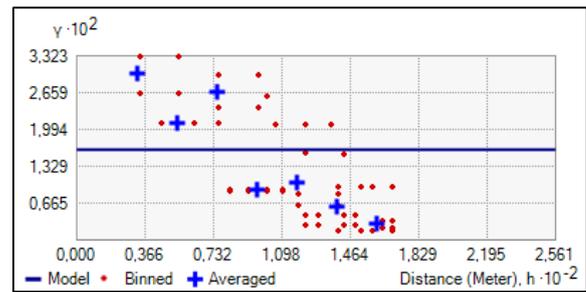
c.



d.

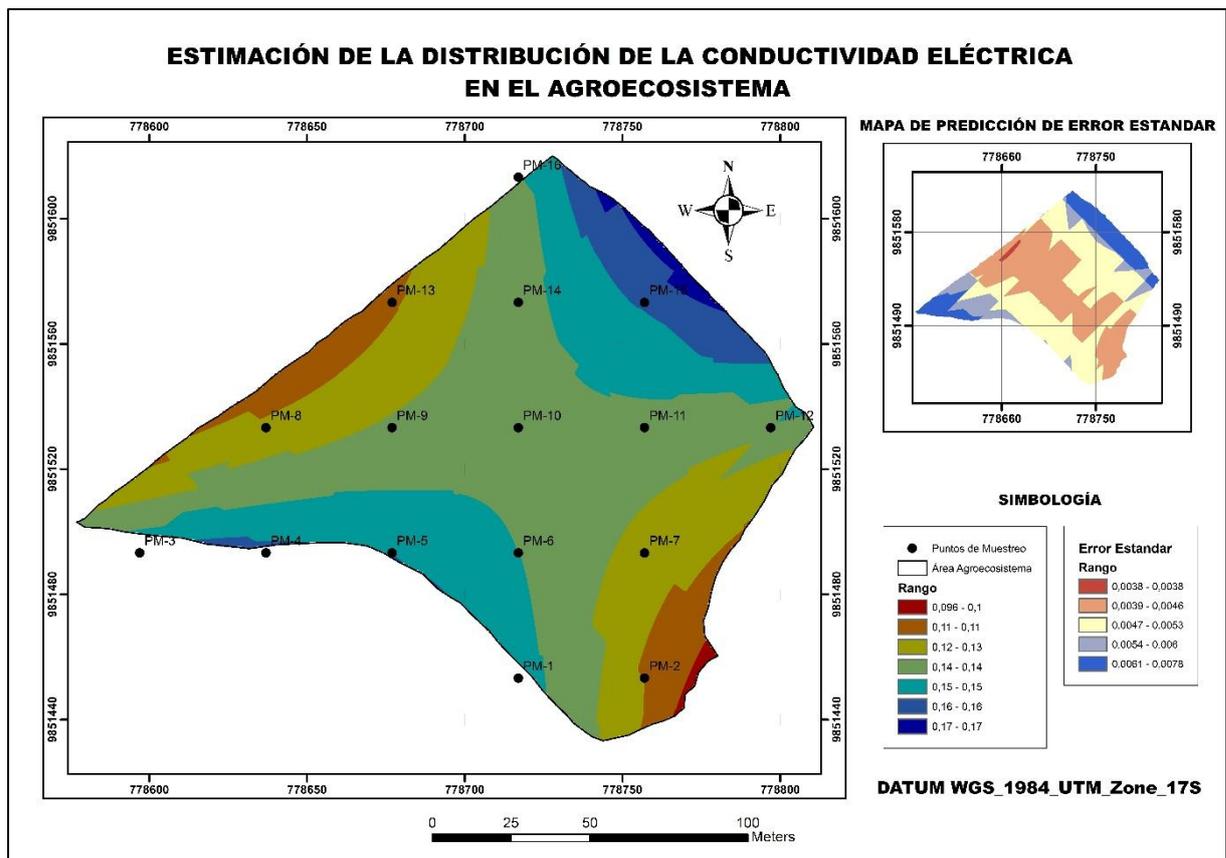


e.



f.

**Ilustración 25.-** Mapa de Distribución de la C. Eléctrica en el Área de estudio



Elaborado por: El Autor

Los valores de la conductividad eléctrica no presentan correlación espacial por lo que el modelo de variograma que mejor se ajustó fue el modelo de efecto pepita.

Mediante el análisis del contenido de la conductividad eléctrica, se determina que el suelo es no salino, incluso el valor más alto de 0,189dS/m se encuentra bajo el rango de suelo no salinos establecido en <2,0Ds/m. Estos tipo suelos no tienen ningún efecto sobre el crecimiento de la plantas.

El error estándar de la interpolación presenta valores muy bajos por que los valores estimados tienen un nivel de confiabilidad alto.

En la siguiente tabla se muestran los resultados de la validación cruzada, en la cual los valores de error son bajos.

**Tabla 17.-** Predicción de Error Estándar para la CE.

Muestras	16
Error Medio	-0,0004
Error cuadrático medio	0,024
Error Medio estandarizado	-0,114
Error estandarizado medio cuadrático	1,418
Error estándar promedio	0,018

Elaborado por: El autor

### 11.3 Cantidades mínimas a compensar

Para el ajuste la fertilidad del agroecosistema se tomaron en cuenta tres parámetros: el pH, el porcentaje de Materia Orgánica y el porcentaje de Nitrógeno, debido a que estas variables presentan zonas con concentraciones bajas y medias como se observa en la ilustración 27. El pH presento zonas óptimas con valores prácticamente neutros y zonas dentro de los rangos prácticamente alcalinos y ácidos.

Las variables P, K y CE no se tomaron en cuenta en este objetivo por que las concentraciones de estos nutrientes alcanzan niveles óptimos e incluso superiores, por lo que incrementar la fertilización con estos nutrientes es contraproducente. En el modelo de gestión agrícola no se utilizaran fertilizantes que contengan estos nutrientes al ser innecesarios en el agroecosistema.

Para determinar las concentraciones mínimas a compensar se utilizó como referencias los niveles óptimos establecidos en la Tabla 10, de los cuales se obtuvieron los siguientes resultados.

En la Tabla 18 se muestran los resultados con las cantidades a compensar para el nitrógeno, los valores son distintos para cada zona debido a que se tomó en cuenta la necesidad de específica de cada sitio. Con los mapas se realiza una mejor gestión de los fertilizantes bajo el concepto de dosis variable y sitio específico.

**Tabla 18.-** Valores mínimos a compensar para el Nitrógeno

% N optimo	Concentración actual	Cantidad a Compensar
0,31	0,042	0,268
0,31	0,12	0,19
0,31	0,15	0,16
0,31	0,16	0,15
0,31	0,19	0,12

**Fuente:** El Autor

Para la materia orgánica el porcentaje optimo esta en 2%, este valor se obtuve de la Tabla 10, en la cual Agrocalidad determina los niveles óptimos y deficitarios, de este valor se obtuvieron las cantidades mínimas a compensar, como se observa en la Tabla 19, las celdas con valor negativa muestran las zonas en las cuales el contenido de MO supero el rango óptimo. Un contenido adecuado de MO mejora la estructura coloidal del suelo, mejora el drenaje, absorbe mayor cantidad de energía por lo que mantiene la temperatura de la tierra.

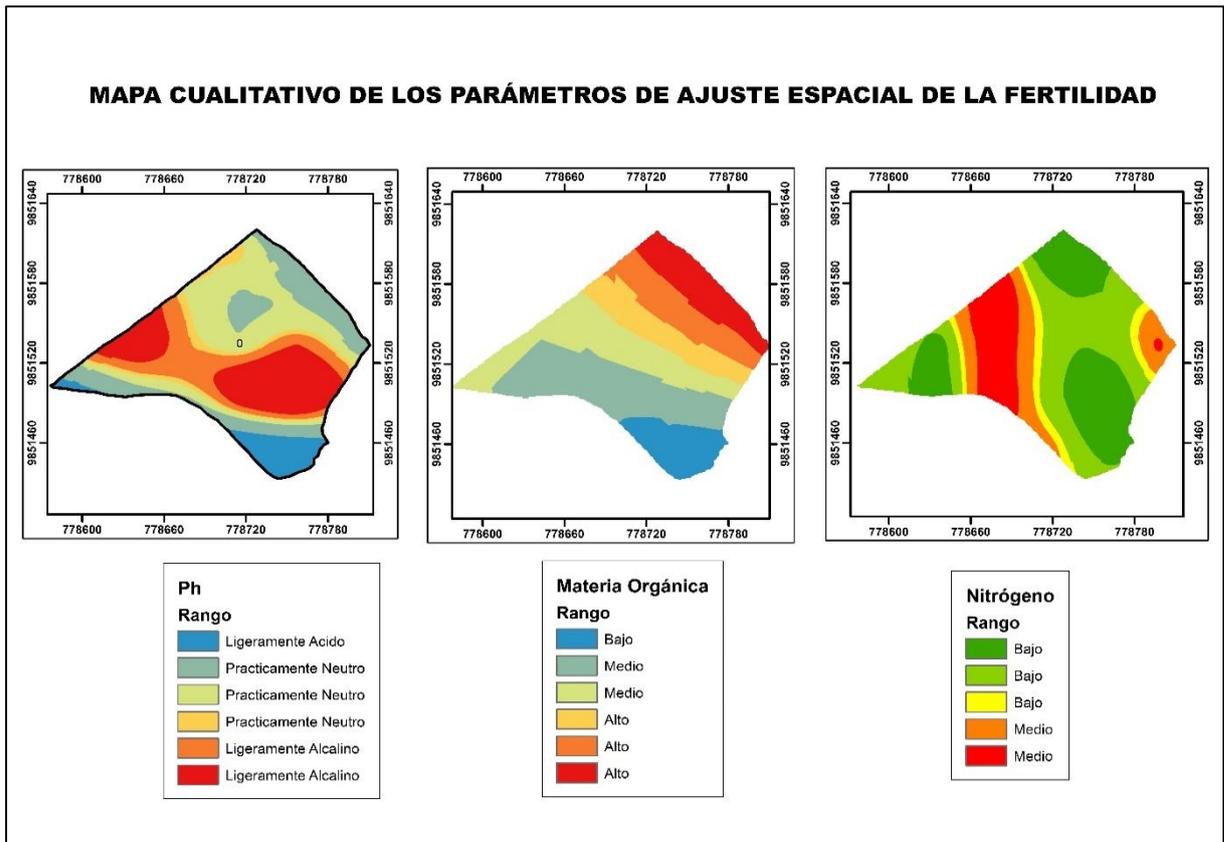
El suelo tiene una capacidad tampón o buufer, esta propiedad evita los cambios del pH, aunque para cambiar una unidad de pH se necesitan grandes cantidades de compuestos ácidos o alcalinos según el requerimiento del suelo, la MO estabiliza la variabilidad del pH al incrementar la propiedad tampón. De esta forma el suelo no se ve afectado por agua de riego con concentraciones de sales elevadas o abonos ácidos.

**Tabla 19.-** Valores mínimos a compensar para la MO.

%MO optimo	Concentración actual	Cantidad a Compensar
2	0,51	1,49
2	1,3	0,7
2	1,5	0,5
2	2,1	-0,1
2	2,3	-0,3
2	2,8	-0,8

**Elaborado por:** El Autor

**Ilustración 26.-** Mapa cualitativo de los parámetros de ajuste de fertilidad.



Elaborado por: El Autor

### 11.3.1 Ajuste de la Materia Orgánica con dosis variable

Para calcular la cantidad de materia orgánica a aportar, materia fresca (MF), aplicaremos la siguiente fórmula, obtenida del portal agrícola Agrologica desarrollado en España.

$$MF: (S * p * Da * \%MO) / (\%ms/k1)$$

- MF: Materia Seca
- S: Superficie
- p: Profundidad
- Da: Densidad del suelo
- %MO: Materia orgánica a agregar
- %ms: porcentaje de materia seca
- K1: coeficiente isohúmico

Los tres primeros valores sirven para conocer la masa de suelo sobre la que vamos a realizar la fertilización. Para aplicar la dosis variable se tomó en cuenta la necesidad de MO de cada área interpolada con déficit. Como resultado se obtuvieron tres dosis diferentes. A continuación se detalla la metodología utilizada:

La parcela tiene una superficie (S) de una hectárea (2213 m<sup>2</sup>) nuestra profundidad de 20 cm, que expresamos en metros (0,2 m). También sabemos que la densidad (Da) de la mayoría de suelos suele tener un valor de alrededor de 1,35.

Se determina el porcentaje de materia orgánica (% Mo) a agregar, para la DOSIS 1 es del 1.49% para llegar al 2%, que a efectos de la fórmula sería:  $1.49\% = 1.49/100 = 0,0149$ . Esta es la cantidad de MO a aportar a la masa obtenida antes.

El porcentaje de materia seca (% ms) y el coeficiente isohúmico (K1), empleamos la siguiente tabla. La tabla ha sido muy simplificada para obtener unos datos de referencia orientativos de forma sencilla. Para los cálculos respectivos se utilizó los valores del estiércol bien descompuesto.

**Tabla 20.-** Coeficiente Isohúmico (K1) de diversos productos empleados como abono.

MO	K1	% m.s
Estiércol bien descompuesto	0,45	22,5
Estiércol pajoso	0,3	27,5
Orujo de uva	0,4	30
Residuos de cosecha (secos)	0,15	–
Residuos de cosecha (verdes)	0,25	17,5
Residuos vegetales pajosos	0,11	–
Paja de trigo	0,15	75

**Fuente:** (Pineda & Rodríguez, 2008)

En la Tabla 21 se muestran los resultados con las cantidades de materia orgánica a compensar para cada área:

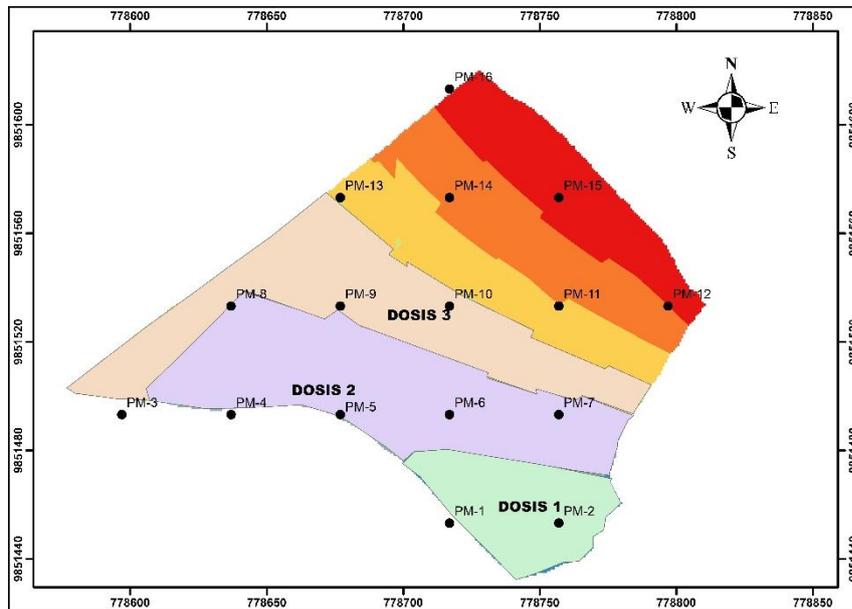
**Tabla 21.-** Cantidad de MO a compensar

	S(m <sup>2</sup> )	P(cm)	Da g. cm-3	%M0	%ms	K1	RESULTADO (Tn)	KG
DOSIS 1	5521	0,2	1,35	0,007	22,5	0,45	0,88	879,30
DOSIS 2	2213	0,2	1,35	0,0149	22,5	0,45	1,03	1030,59
DOSIS 3	4826	0,2	1,35	0,005	22,5	0,45	0,64	643,47

**Fuente:** El Autor

En la ilustración 28 se muestra el mapa con las zonas en la que se debe compensar con las cantidades de materia orgánica obtenidas en la tabla anterior

**Ilustración 27.-** Mapa con dosis a compensar en la respectivas zonas.



**Fuente:** El Autor

### 11.3.2 Ajuste de Nitrógeno con dosis variable

El nitrógeno es el segundo factor limitante para el desarrollo de las plantas, el primer factor es el agua. Con el incremento de la agricultura el porcentaje de nitrógeno en el suelo ha disminuido y desde el año 1950 el uso de fertilizantes nitrogenados se ha incrementado en 10 veces. Estas acciones incrementaron la productividad de los cultivos durante mucho tiempo pero en la actualidad han alterado las condiciones naturales del ciclo del nitrógeno. Debido al uso excesivo de estos fertilizantes los ecosistemas acuáticos y terrestres han sido contaminados con nitratos causando daños a salud de todos seres vivos. (Mercedes, 2002).

#### a. Balance de nitrógeno

Los principales mecanismos de ganancia de N son:

- N aportado con las lluvias.
- N proveniente de la fijación no simbiótica
- N proveniente de la fijación simbiótica
- N aportado por los fertilizantes y abonos orgánicos
- N proveniente del proceso de mineralización a partir de restos frescos (vegetales y animales).

Los principales mecanismos de pérdida de N son:

- N extraído por los cultivos y los animales - aunque este es el objetivo de la actividad agrícola, es también la principal forma de salida de N del sistema
- inmovilización
- Desnitrificación;

- Volatilización
- Lixiviación
- Erosión.

#### **b. Fuente de nitrógeno**

- **Fertilizantes Nitrogenados Orgánicos**

Debido a que la mayoría del N del suelo es orgánica, existe siempre una estrecha asociación entre los contenidos de materia orgánica del suelo (MO) y de N total del suelo. En general, los contenidos de N en las fuentes orgánicas son del orden del 1 al 2%, por lo cual para aplicar cantidades significativas de N es necesario utilizar altas dosis del material orgánico. La mayoría del N de estos materiales no es soluble en agua, por lo que este N se va liberando a medida que se va mineralizando. Sin embargo, esta liberación no siempre ocurre lentamente. En algunos materiales, si se dan las condiciones de temperatura y humedad adecuadas gran parte del N orgánico es convertido en  $\text{NO}_3^-$  - en las primeras 2 a 4 semanas de aplicado.

#### **Fertilizantes Nitrogenados Inorgánicos**

La mayoría de los fertilizantes nitrogenados inorgánicos derivan del amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), obtenido por síntesis de N e H gaseosos, o de la industria del carbón. A partir del  $\text{NH}_3$  se elaboran muchos fertilizantes nitrogenados.

Dentro de las fuentes nitrogenadas inorgánicas existen dos grandes tipos: las amoniacales y las nítricas. En la Tabla 23 se presentan la fórmula y contenido porcentual de algunos de los fertilizantes más frecuentemente usados.

**Tabla 22.-** Composición promedio de algunos fertilizantes nitrogenados

Fertilizante	Formula	N (%)
Nitrato de amonio	$\text{NH}_4\text{NO}_3$	33
Fosfato monoamónico	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	11
Fosfato diamónico	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	21
Sulfato de amonio	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	21
Nitrato de	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	16

**Fuente:** (Mercedes, 2002)

Estos fertilizantes no fueron tomados en cuenta para la compensación del déficit de nitrógeno debido a que se necesita grandes cantidades y su costo es elevado. Además de los impactos ambientales que ocasionan en su producción y utilización.

## 11.4 Modelo de Gestión Agrícola de bajo impacto ambiental

Actualmente existen varios modelos de producción agrícola como la agricultura convencional, el modelo industrial, el modelo de producción orgánico, para esta investigación se estableció un modelo de bajo impacto ambiental basado en actividades de labranza mínima, recuperación de suelos y fertilización con dosis variable en sitio específico.

### 11.4.1 Fertilización con materia orgánica

En total se necesitan 2553,36 kg de materia orgánica para que el suelo alcance un porcentaje adecuado 2%, la principal fuente de materia orgánica serán abonos de origen animal (estiércol, gallinaza) y restos de especies vegetales. El agroecosistema cuenta con especies como el aguacate que son fuentes de MO.

### 11.4.2 Fertilización con nitrógeno

Una de las principales fuentes de nitrógeno es la materia orgánica, que mediante acción de los microorganismos del suelo realizan el proceso de mineralización transformando el N orgánico en N inorgánico, ya sea este en forma de  $\text{NH}_4^+$  o  $\text{NO}_3^-$ . La fijación simbiótica, el N proveniente de la fijación simbiótica entre especies de leguminosas y bacterias fijadoras de N es particularmente importante en la producción agropecuaria, donde se realizan rotaciones de cultivos con praderas mezclas de leguminosas y gramíneas, las cuales generalmente permanecen en producción por tres o cuatro años. Gran parte del N que utiliza la mezcla es obtenido del proceso de fijación simbiótica llevado a cabo por la actividad de la bacteria *Rhizobium* en los nódulos de las raíces de leguminosas como alfalfa, tréboles y lotus.

Las especies leguminosas que fijan el nitrógeno se observa en la siguiente Tabla.

**Tabla 23.-** Valores medios de fijación de nitrógeno de algunas leguminosas

Leguminosa	Nitrogeno fijado kg/ha/año	Especie de <i>Rhizobium</i>
Alfalfa	200-250	<i>Sinorhizobium meliloti</i>
Altramuz	150	<i>Bradyrhizobium</i> sp ( <i>Lupinus</i> )
Trébol rojo	100-150	<i>R. Leguminosarum</i> bv. <i>trifol</i>
Lenteja	100	<i>R. Leguminosarum</i> bv. <i>viciae</i>
soja	80-90	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>
Garbanzo	60-80	<i>R. Leguminosarum</i> bv. <i>viciae</i>
Judía	50	<i>R. Leguminosarum</i> bv <i>phaseoli</i>

Fuente: (Mercedes, 2002)

### 11.4.3 Cronograma de actividades para un periodo de producción.

Para para implementar el modelo de gestión agrícola, se desarrolló un cronograma con las actividades a realizar en las distintas fases del cultivo. Este cronograma esta realizado en base al cultivo de maíz al ser el único cultivo anual, y el de mayor abundancia. Los demás cultivos son especies frutales perennes frutales como el aguacate, la mandarina, guaba y naranja.

<b>CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES PARA EL MODELO DE GESTION AGRICOLA</b>															
AGRICULTOR:											REVISIÓN:		001		
ACTIVIDADES	MESES												CUMPLIMIENTO		
	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	Bueno	Regular	Malo
<b>1. Cuidado del Medio Ambiente</b>															
Control de la calidad del agua.															
Control de calidad del suelo															
Establecimiento de cercos vivos															
Mantenimiento de las barreras vivas.															
<b>2. Fertilización del suelo</b>															
Producción de biomasa con leguminosas.															
Recolección y preparación de estiércoles.															
Incorporación estiércol fresco (90 a 120 días antes de la siembra)															
Incorporación de abonos orgánicos, ( <i>plantas</i> )															
Incorporación de otras sustancias (cal, minerales, cenizas, etc.)															
<b>3. Manejo de semillas y siembra</b>															



**Tabla 24.-** Rangos de impactos positivos y negativos

-3	Impacto negativo alto
-2	Impacto negativo medio
-1	Impacto negativo bajo
0	No hay impacto
1	Impacto positivo bajo
2	Impacto positivo medio
3	Impacto positivo alto

Fuente: El autor

Para cada aspecto identificado se generó una matriz, horizontalmente se ubica los niveles de impacto establecido, mientras que verticalmente se determina una serie de indicadores que permitirá tener información específica y puntual del área analizada. Finalmente debajo de cada matriz se pondera el impacto y se realiza un análisis corto sobre las razones, motivos, circunstancias que conllevaron a asignar el nivel de impacto al indicador de la matriz.

### 12.1.1 Impactos Técnicos

**Tabla 25.-** Matriz de evaluación de impactos técnicos

Nivel del Impacto	-3	-2	-1	0	1	2	3	Total
Indicador								
Mejora de la eficiencia del agroecosistema							3	3
Gestión técnica del agroecosistema						2		2
Fertilización al cultivo con las necesidades reales de la cada zona.							3	3
Optimización de recursos							3	3
<b>TOTAL IMPACTO TECNICO</b>								<b>11</b>
<b>PONDERACIÓN DEL IMPACTO TECNICO</b>								<b>11/4=2.7</b>
<b>NIVEL DE IMPACTO TECNICO</b>								<b>Positivo Medio</b>

Fuente: El Autor

Esta investigación genero impactos positivos en el impacto técnico al generar información real sobre el estado nutricional del agroecosistema, esta información permite al agricultor mejorar

su modelo de gestión agrícola. El agricultor toma las mejores decisiones respecto a los insumos y evita costos innecesarios.

### 12.1.2 Impactos sociales

**Tabla 26.-** Matriz de evaluación de impactos sociales

Nivel del Impacto	-3	-2	-1	0	1	2	3	Total
Indicador								
Mejora del conocimiento técnico del agricultor.							3	3
Cuidado del medio ambiente.						2		2
Mejora de calidad de vida de los beneficiarios.					1			1
<b>TOTAL IMPACTO TECNICO</b>								<b>6</b>
<b>PONDERACIÓN DEL IMPACTO TECNICO</b>								<b>6/3=2</b>
<b>NIVEL DE IMPACTO TECNICO</b>								<b>Positivo Medio</b>

Fuente: El Autor

En el impacto social con esta investigación el agricultor adquiere nuevos conocimientos sobre una agricultura técnica, conocimientos que son compartidos con más agricultores. El no utilizar los fertilizantes químicos disminuye el impacto ambiental de la agricultura y por consiguiente la calidad de vida.

### 12.1.3 Impacto económico

**Tabla 27.-** Matriz de evaluación de impactos económicos

Nivel del Impacto	-3	-2	-1	0	1	2	3	Total
Indicador								
Disminución de costos.							3	3
Mayor ganancia en los productos						2		2
<b>TOTAL IMPACTO TECNICO</b>								<b>5</b>
<b>PONDERACIÓN DEL IMPACTO TECNICO</b>								<b>5/2=2.5</b>
<b>NIVEL DE IMPACTO TECNICO</b>								<b>Positivo Medio</b>

Fuente: El Autor

Para el modelo de producción actual se necesitan 8 sacos de abono 18-20-20 a un costo de 32 dólares, un saco de urea y uno de potasa a 28 dólares cada uno, en total en fertilizantes se gastan

312 dólares por hectárea, para el área de estudio se necesitan 624 dólares. Esta información fue proporcionada por el dueño del agroecosistema.

El saco de abono orgánico de 40kg tiene un costo de \$3.50, multiplicado por los 2553,36 kg, la inversión total es de \$223. Los costos de fertilización se reducen en un 64%. Al disminuir este costo las ganancias son mayores para el agricultor.

#### 12.1.4 Impacto ambiental

**Tabla 28.-** Matriz de evaluación de impactos ambientales

Indicador	Nivel del Impacto							Total
	-3	-2	-1	0	1	2	3	
Agricultura con un impacto reducido en el ambiente.							3	3
Disminución de la contaminación por uso de fertilizantes nitrogenados en el suelo, agua y atmosfera.							3	3
Recuperación de los suelos							3	3
Incremento de la biodiversidad de microorganismos en el suelo.							3	3
<b>TOTAL IMPACTO TECNICO</b>								12
<b>PONDERACIÓN DEL IMPACTO TECNICO</b>								12/4=3
<b>NIVEL DE IMPACTO TECNICO</b>								Positivo Alto

**Fuente:** El Autor

El modelo agrícola propuesto conlleva una estrategia de manejo dirigida, fertilización dosis variada con fertilizantes orgánicos lo que conlleva incrementar la productividad y los retornos económicos con un impacto reducido en el medio ambiente.

### 13. PRESUPUESTO PARA LA PROPUESTA DEL PROYECTO

RECURSOS	DESCRIPCION	UNIDAD	VALOR UNITARIO \$	VALOR TOTAL \$
<b>Humanos</b> <b>(Transporte y</b> <b>alimentación)</b>	Tutor	1	\$50.00	\$50.00
	Tesista	1	\$100.00	\$100.00
<b>Equipos</b>	GPS	1	\$400.00	\$400.00
	Computador	1	\$700.00	\$700.00
	Cámara digital	1	\$300.00	\$300.00
<b>Materiales</b>	Flexómetro	1	\$5.00	\$5.00
	Registros	2	\$2.00	\$4.00
<b>Materiales de</b> <b>oficina</b>	Cuaderno	1	\$2.50	\$2.50
	Esferos	2	\$0.50	\$1.00
	Lápiz	2	\$0.50	\$1.00
<b>Informáticos</b>	Software Argis (licencia)	1	\$500.00	\$500.00
Gastos Varios	Internet	200	\$0.60	\$120.00
	Impresiones	600	\$0.10	\$60.00
	Copias	300	\$0.05	\$15.00
<b>Recursos</b> <b>Técnicos</b>	Análisis de suelos	16	\$23.5000	\$376.00
			<b>Subtotal \$</b>	\$2634.5
			<b>Imprevisto \$</b>	\$263.45
			<b>Total \$</b>	\$2897.95

## 14. CONCLUSIONES

La variabilidad espacial de los nutrientes en el suelo puede ser modelada y cuantificada mediante un proceso de toma de muestras, análisis de laboratorio, métodos de análisis multivariados y geoestadísticos.

Los nutrientes evaluados en esta investigación presentaron variabilidad espacial alta principalmente las variables fósforo, potasio y materia orgánica, con esto se demuestra que el suelo es un campo complejo y dinámico que no puede ser gestionado como una forma homogénea.

El agroecosistema presentó niveles óptimos en el potasio y fósforo, esto se debe a que estos nutrientes son poco móviles y la provisión de estos en el suelo es aceptable, pero la principal causa es la fertilización con abonos químicos con la fórmula 18-20-20 en los cuales el aporte de K y P es mayor que el N. Al contrario de estos nutrientes el N presentó un contenido medio y bajo en toda el área por lo que se implementó un método de fertilización en base al aporte de materia orgánica y la fijación de nitrógeno mediante la rotación de cultivos con Alfalfa (*Sinorhizobium meliloti*). La distribución del pH fue ligeramente homogénea, con zonas con un pH máximo de 8.31 y otras con valor mínimo de 5.9, mediante el aporte MO se regulara este parámetro. El análisis de conductividad eléctrica determinó que el agroecosistema tiene un suelo no salino por lo que no afecta al desarrollo de las plantas.

En el modelo de gestión se establecieron las dosis requeridas para compensar el déficit de N y MO, también se estableció los métodos de fertilización y tiempos de colocación.

El modelamiento de la distribución espacial de nutrientes permite al agricultor realizar una mejor gestión en su agroecosistema. La información obtenida sirve para incorporar al suelo los nutrientes que necesita en un lugar específico y los resultados de esta gestión son mayor eficiencia y una agricultura de bajo impacto ambiental.

## 15. RECOMENDACIONES

Se debe elaborar un método de evaluación para determinar la eficiencia del modelo agrícola propuesto.

Es recomendable realizar el análisis de forma periódica siendo conveniente realizar un análisis de fertilidad completo cada 4 años, debido a que las propiedades físicas y químicas del suelo cambian con el tiempo, el clima y las acciones antropogénicas.

## 16. BIBLIOGRAFÍA

- Agrocalidad. (2015). *Instructivo para la toma de muestras en suelos*. Quito.
- AGROCALIDAD. (2015). *Instructivo para la toma de muestras en suelos*. Quito.
- Bullock, D. (2000). Análisis de suelos. *XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Mar del Plata: University of Illinois. Obtenido de Universidad de Iliinois (EE.UU.).
- Burrough, P. A. (1986). Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. En O. U. Press. New York.
- Castañeda, D. (2005). La agricultura de precisión en el cultivo de banano. *In 2º Seminario Aplicaciones de Sistemas de Información Geográfica en*. Palmira, Colombia : Universidad Nacional de Colombia.
- Castaño, J. A., Grajales, J. D., & Echeverri, C. R. (2016). *Modelo para cuantificar la variabilidad Físico-Química del suelo por medio de análisis geoespacial*. Manizales: Universidad De Manizales.
- Emery, X. (2007). *Apunte de Geoestadística*. Santiago de Chile: Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.
- Fernandez, M. (2008). *Fertilizantes y contaminantes, un círculo vicioso*. CONSUMERERO.
- Flores, R. O. (1999). *Introducción al manejo sitio-específico*. Obtenido de [http://www.ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/\\$webindex/5D873FF80154C1D603256AE900601605/\\$file/AgricPrecisionOrtega.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/$webindex/5D873FF80154C1D603256AE900601605/$file/AgricPrecisionOrtega.pdf)
- Goovaerts, P. (1997). *Geostatistics for Natural Resource Evaluation*. Oxford University Pres.
- Hecth, S. (1993). La evolución del pensamiento agroecológico, en Módulo 1. En *II curso sobre Agroecología y Desarrollo Rural*. (págs. 1-14). CLADES.
- Henry, T. R. (1996). *El muestreo de suelos: Los beneficios de un buen trabajo*. Obtenido de [www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/.../Roberts-Muestreo%20de%20suelos.doc](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/.../Roberts-Muestreo%20de%20suelos.doc)

- INAMHI. (2017). *Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología*. Obtenido de [http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum\\_institucion/anuarios/meteorologicos/Am\\_2013.pdf](http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/Am_2013.pdf)
- Mercedes, P. (2002). *Fijación biológica de nitrógenos: factores limitantes*. Obtenido de <http://digital.csic.es/bitstream/10261/128283/1/Fijaci%C3%B3n%20Biol%C3%B3gica%20de%20Nitr%C3%B3geno%20por%20Microorganismos%20del%20Suelo%20de%20Pascual.pdf>
- Monjarás, A. (27 de Enero de 2017). *Agroecosistemas y su eficiencia*. Obtenido de Via Organica : <https://viaorganica.org/agroecosistemas-y-su-eficiencia/>
- Oliver , M., Bishop , T., & Marchant , B. (2013 ). *Precision Agriculture for Sustainability and Environmental Protection*. Routledge.
- Pineda, P. J., & Rodríguez, N. F. (2008). *Generación de la fórmula de fertilización y mejoradores del suelo a partir de análisis del suelo*. Texcoco de Mora: UACH.Salgado.
- Porta, J., Acavedo , M., & Poch, R. (2014). *Edafología Uso y Protección de Suelos*. Cataluña: Ediciones Mundi-Prensa.
- PROCISUR. (2006). *Agricultura de Precisión: Integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable*. Montevideo: Imprenta Mosca y Cia.
- Reets, H. (2000). *Las muchas facetas del sistema de información geográfico (GIS)*. Fertilizantes (Santo Domingo).
- Roel, Á., & Terra, J. (2006). *Muestreo de suelos y factores limitantes del rendimiento* . Montevideo : Imprenta Mosca y Cia.
- Royle, A. G. (1981). *Practical Universal Kriging and Automatic Contouring*. En *Geoprocessing*.
- Sánchez, J. (2011). *FERTILIDAD DEL SUELO Y NUTRICION MINERAL DE LAS PLANTAS*. Obtenido de

<http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FERTILIDAD%20DEL%20SUELO%20Y%20NUTRICION.pdf>

Sanzano, A. (2011). *El Fósforo del Suelo*. Obtenido de Edafología :

<https://www.edafologia.org/app/download/7956239776/El+Fosforo+del+suelo.pdf>

Villatoro, M., Henríquez, C., & Sancho, F. (2008). *Comparación de los interpoladores IDW y*

*Kriging en la variación espacial de pH, Ca, CICE y P del suelo*. San Jose : Agronomía

Costarricense .

## 17. ANEXOS

### Anexo N° 1.- Aval de traducción



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi

CENTRO DE IDIOMAS

### *AVAL DE TRADUCCIÓN*

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen del proyecto de investigación al Idioma Inglés presentado por el Señor Egresado de la Carrera de **INGENIERIA EN MEDIO AMBIENTE** de la **FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES, ACOSTA PANIMBOZA ROVINSON SANTIAGO** cuyo título versa **“MODELAMIENTO DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE NUTRIENTES EN UN AGRO ECOSISTEMA EN EL CANTÓN PATATE PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimare conveniente.

Latacunga, Marzo del 2019

Atentamente,

Lic. María Fernanda Aguaiza  
**DOCENTE DE INGLÉS DEL CENTRO DE IDIOMAS**  
C.C. 0503458499



## Anexo N° 2.- Análisis de suelo del PM -07

 <b>AGROCALIDAD</b> AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOOSANITARIO	<b>LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS</b> Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 02-2372-844/2372-845	<b>PGT/SFA/09-FO01</b>
		<b>Rev. 3</b>
	<b>INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO</b>	<b>Hoja 1 de 2</b>

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° SAE-LEN-16-006

Informe N°: LN-SFA-E18-3435  
 Fecha emisión Informe: 28/12/2018

**DATOS DEL CLIENTE**

Persona o Empresa solicitante: Santiago Acosta

Dirección: Patate

Provincia: Tungurahua

Cantón: Patate

Teléfono: 0983853497

Correo Electrónico: santy\_874@hotmail.com

N° Orden de Trabajo: 05-2018-248

N° Factura/Documento: 007-001-0441

**DATOS DE LA MUESTRA:**

Tipo de muestra: Suelo Conservación de la muestra: Lugar fresco y seco

Cultivo: ----

Provincia: Tungurahua

X: 778756

Cantón: Patate

Coordenadas: Y: 9851473

Parroquia: La Matriz

Altitud: 2187

Muestreado por: ----

Fecha de muestreo: ----

Fecha de inicio de análisis: 14-12-2018

Fecha de recepción de la muestra: 14-12-2018

Fecha de finalización de análisis: 28-12-2018

**RESULTADOS DEL ANÁLISIS**

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-18-4049	PM-07	pH	Electrométrico PEE/SFA/06 EPA 9045D	---	8,31
		Materia Orgánica*	Volumétrico PEE/SFA/09	%	0,89
		Nitrógeno*	Volumétrico PEE/SFA/09	%	0,04
		Fósforo*	Colorimétrico PEE/SFA/11	mg/kg	27,4
		Potasio*	Absorción Atómica PEE/SFA/12	cmol/kg	1,11
		Conductividad Eléctrica*	Conductímetro PEE/SFA/08	dS/m	0,182

Analizado por: Daniel Bedoya, Katty Pastás, Rusbel Jaramillo

 <b>AGROCALIDAD</b> AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOOSANITARIO	<b>LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS</b> Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 02-2372-844/2372-845	<b>PGT/SFA/09-FO01</b>
	<b>INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO</b>	<b>Rev. 3</b>  <b>Hoja 2 de 2</b>

**Observaciones:**

- Los ensayos marcados con (\*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.
- Las interpretaciones que se indican a continuación, están FUERA del alcance de acreditación del SAE.

**INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS - REGIÓN SIERRA**

PARÁMETRO	MO (%)	N (%)	P (mg/kg)	K (cmol/kg)
BAJO	<1,0	0 - 0,15	0 - 10,0	<0,2
MEDIO	1,0 - 2,0	0,16 - 0,3	11,0 - 20,0	0,2 - 0,38
ALTO	>2,0	>0,31	>21,0	>0,4

**INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS - REGIÓN SIERRA, COSTA Y AMAZONÍA**

	Ácido	Ligeramente Ácido	Prácticamente Neutro	Ligeramente Alcalino	Alcalino
pH	5,5	5,6 - 6,4	6,5 - 7,5	7,6 - 8,0	8,1

**INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS - REGIÓN SIERRA, COSTA Y AMAZONÍA**

	No Salino (NS)	Ligeramente Salino (LS)	Salino (S)	Muy Salino (MS)
CE* (dS/m)	< 2,0	2,0 - 3,0	3,0 - 4,0	4,0 - 8,0



Q. A. Luis Cacuango  
 Responsable de Laboratorio  
 Suelos, Foliare y Aguas



LABORATORIO DE SUELOS,  
 FOLIARES Y AGUAS  
 TUMBACO - ECUADOR



02 ENERO 2019



## Anexo N° 4.- Hoja de vida del Tutor

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**FACULTAD CARENCURRICULUM VITAE

19 de Diciembre de 2017

**1. DATOS PERSONALES**

<b>Apellidos y Nombres completos:</b> CORDOVA YANCHAPANTA VICENTE DE LA DOLOROSA				
<b>Cédula de Ciudadanía:</b> 1801634922				
<b>Lugar y fecha de nacimiento:</b> PILLARO, 5 DE ABRIL DE 1960				
<b>Título de tercer nivel:</b> INGENIERO AGRONOMO				
<b>Grado Académico:</b> DOCTOR EN EDUCACION EN CIENCIA, Ed.D.				
<b>Actividad (es):</b> DOCENCIA UNIVERSITARIA				
<b>Dirección domiciliaria:</b> Av. Simón Rodríguez s/n. Conjunto Los Arupos. Latacunga, Ecuador				
<b>Dirección del trabajo:</b> Av. Simón Rodríguez s/n. San Felipe. Latacunga Ecuador				
<b>Teléfonos.-</b> Celular: 0999731878 Oficina: Domicilio: 0999731878				
<b>Dirección electrónica:</b> vicente.cordova@utc.edu.ec				
<b>Discapacidad:</b> Ninguna X Auditiva Física Visual Sensorial				
Psicológica Intelectual				
<b>No. Carnet Conadis:</b>				

**2. FORMACIÓN ACADÉMICA**

N	Títulos de grado	País de origen	Universidad	Registro SENESCYT	Fecha registro
1	Ingeniero Agrónomo	Ecuador	Técnica de Ambato	1010-08-866090	20-10-2008
2					
3					

N	Títulos de Posgrado	País de origen	Universidad	Registro SENESCYT	Fecha registro
1	Master of Science	USA	Ball State	5435R-12-11953	28-02-2012
2	Doctor of Education in Science Education	USA	Ball State	5435R-12-12303	16-03-2012
3					
4					
<b>Suficiencia en idioma extranjero</b>		SI	X	NO	
					<b>Institución:</b>

Campos de formación (áreas y sub áreas del conocimiento UNESCO)

Área:   3100    25000   
 Sub área:  3101   25050

### 3. EXPERIENCIA

#### 3.1 Profesional

Nº	ORGANIZACIÓN	CARGO	INICIO	FIN
1	Texas Tech University	Post Doctoral Research Associate	Enero 2006	Diciembre-2006
2	Indiana University	Post Doctoral Research Associate	Enero 2007	Septiembre 2008
3	GAD Municipal Santiago de Pillaro	Director Del Departamento De Desarrollo Económico Local	Agosto 2009	Febrero 2011
4	SENESCYT	Director Técnico de Investigación Científica	Mayo 2011	Febrero 2012
5	Universidad Técnica de Cotopaxi	Docente Investigador	Mayo 2012	-
6				
7				
8				
9				
10				

### 4. PUBLICACIONES

#### 4.1 Artículos

No.	TITULO	REVISTA	AÑO	ISSN
1	Rahman, A.F., Córdova, V.D., Gamon, J.A., Schmid, H.P., Sims, D.A., 2004. Potential of MODIS ocean bands for estimating CO <sub>2</sub> flux from terrestrial vegetation: A novel approach. L1050310.1029/2004GL019778	Geophysic Research Letters.	2004	1944-8007
2	Rahman, A. F., D. A. Sims, V. D. Córdova, and B. Z. El--Masri (2005), Potential of MODIS EVI and surface temperature for directly estimating per-pixel ecosystem C fluxes	Geophysic Research Letters.	2005	1944-8007
3	Sims, D.A., Rahman, A.F., Córdova, V.D., Baldocchi, DD, Flanagan, L.B., Goldstein,A.H., Hollinger, D.Y, Misson, L., Monson, R.K. Schmid, H.P., Wofsy, S.C., Xu, L. 2005. Midday values of gross CO <sub>2</sub> flux and light use efficiency during satellite overpasses can be used to directly estimate eight--day mean flux.	Agricultural and Forest Meteorology	2005	0168-1923

4	Sims DA, AF Rahman, VD Córdova, BZ El-Masri, DD Baldocchi, LB Flanagan, AH Goldstein, DY Hollinger, Misson L, RK Monson, WC Oechel, HP Schmid, SC Wofsy, L Xu (2006). On the use of MODIS EVI to assess gross primary productivity of North American ecosystems.	Journal of Geophysical Research	2006	0148-0227
5	Rahman A. F., and Córdova, V. D., (2007). A continuous-field remote sensing method for estimating net primary production of a deciduous forest.	International Journal of GeoInformatics	2007	16866576
6	Sims, D. A., A. F. Rahman, V. D. Córdova, B. Z. El-Masri, D. D. Baldocchi, P. V. Bolstad, L. B. Flanagan, A. H. Goldstein, D. Y. Hollinger, L. Misson, R. K. Monson, W. C. Oechel, H. P. Schmid, S. C. Wofsy, and L. Xu (2008). A new model of gross primary productivity for North American ecosystems based solely on the enhanced vegetation index and land surface temperature from MODIS.	Remote Sensing of Environment.	2008	0034-4257

## 5. CURSOS Y SEMINARIOS REALIZADOS

Últimos 3 años, más de 30 horas

N°	DENOMINACIÓN DEL CURSO	INSTITUCIÓN	HORAS
	CAPACITACION		
1	Capacitación sobre elaboración de publicaciones científicas. 2014.	Universidad Técnica de Cotopaxi.	40
	PONENCIAS		
1	Cumbre del Buen Conocer y en la construcción de políticas públicas para diseñar una Sociedad del Conocimiento Común y Abierto: Agricultura Sostenible: De la Tecnología de Punta al Conocimiento Tradicional. 2014	FLOK Society	
2	I Jornadas Científicas UTC 2014. Ciencia, Tecnología y Propiedad Intelectual en la Sociedad del Conocimiento. 2014.	Universidad Técnica de Cotopaxi.	
3	ICCI - International Cryosphere Climate Initiative. Andes conference on open burning: National Realities, Existing Regulations and Incentives, and Perspectives on Policy Challenges. 2015	ICCI. ANA Peru	
4	INNOPOLIS "Conocimiento es Libertad", Yachay, Urcuqui: Plataforma de Conocimiento Agroecológico para Sostenibilidad y Resiliencia, como Mecanismo para Mitigar los Efectos del Cambio Climático. 2015	Yachay, EP.	

**6. COMPETENCIAS, HABILIDADES Y DESTREZAS (de ser el caso, mencionar las relevantes)**

Aplicaciones de Sensoramiento Remoto en procesos Biogeoquímicos  
Índices de vegetación para Agricultura de Precisión  
Aplicaciones de Sistemas de Información Geográfica en Manejo de Cuencas, Contaminación Ambiental y Caracterización de cobertura vegetal.  
Manejo de software para programación estadística  
Generación de modelos de plataformas de conocimiento para sostenibilidad productiva.  
Ecosaneamiento y energías renovables para sostenibilidad y resiliencia comunitaria

## Anexo 5.- Hoja de vida del Autor



## ACOSTA PANIMBOZA ROVINSON SANTIAGO

INGENIERO DE MEDIO AMBIENTE

### OBJETIVO

Como Ingeniero ambiental busco resolver problemas ambientales, mediante la gestión adecuada de los recursos y la minimización de los impactos ambientales.

### CONOCIMIENTOS INFORMATICOS

Conocimientos de aplicaciones ofimáticas (procesadores de textos, hojas de cálculo, bases de datos, presentaciones gráficas).

### APTITUDES

- Capacidad de resolver problemas.
- Creatividad.
- Versatilidad.
- Trabajo en Equipo.
- Humildad y ganas de aprender.

### INFORMACIÓN PERSONAL

**Nombres:** Rovinson Santiago  
**Apellidos:** Acosta Panimboza  
**Nacionalidad:** Ecuatoriano  
**Estado Civil:** Soltero  
**Fecha De Nacimiento:** 27/09/1995  
**Edad:** 23 años  
**C.I:** 1805315171  
**Dirección:** El Niagara – Junto al Colegio Ramón Barba Naranjo, Latacunga.

### EDUCACIÓN

- **TECNICO AGROPECUARIO • 1/08/2013 • COLEGIO "BENJAMIN ARAUJO"**  
 Primer escolta de la Bandera Provincial.
- **INGENIERO EN MEDIO AMBIENTE • EN PROCESO OBTENCIÓN • UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI.**  
 FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES.  
 Beca al Mérito Académico otorgado por la Universidad Técnica de Cotopaxi.

### EXPERIENCIA LABORAL

- **INSTITUCIÓN: FUNDACIÓN HEIFER ECUADOR**  
**Tiempo:** 03/04/2017 – 05/10/2017  
**Proyecto:** Proyecto Fundamento de Subsistencia Páramos II  
**Responsabilidad:** Recopilación de Información Social.  
 Capacitaciones sobre principios agroecológicos. Elaboración de planes de conservación de páramos en Cotopaxi.  
**Persona a cargo:** Ing. Alexandra Rivadeneira M.Sc.

## ACOSTA PANIMBOZA ROVINSON SANTIAGO

### INFORMACIÓN ADICIONAL

-Licencia Tipo B  
-Disponibilidad para viajar.  
-Manejo de Sistemas de Información Geográfica.  
-Emisión de Certificados Ambientales, Registros Ambientales, Registro Generador de desechos peligrosos.

- **INSTITUCIÓN:** BIOenergy Expertos en Medio Ambiente y SSO.

**Tiempo:** 20/08/2018 -

**Proyecto:** Asesoría en Procesos de Regulación Ambiental.

**Responsabilidad:** Elaboración de EslA y Planes de Manejo Ambiental. Consultoría, asesoramiento técnico industrial y ambiental.

**Persona a cargo:** Ing. Luis Fabián Aguaiza Iza.

### CURSOS, TALLERES Y SEMINARIOS RECIDOS

2016. Congreso Nacional de Legislación Ambiental, Energías Renovables y Turismo Sostenible. **INSTITUCIÓN:** Centro de Estudios Multidisciplinarios "El Libertador"

2016. Introducción al Cambio Climático. **INSTITUCIÓN:** Sistema en Línea de Organización de la Naciones Unidas. (ONU)

2017. Congreso Internacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales. **INSTITUCIÓN:** Universidad Técnica de Cotopaxi y CECATERE.

2018.- Gestión Ambiental en Empresas **INSTITUCIÓN:** BIOenergy Expertos en Medio Ambiente

### DOMINIO DE IDIOMAS EXTRANJEROS

- **Idioma:** Inglés

**Nivel:** "B1" Nivel Intermedio "Marco común europeo de referencia para las lenguas C.E.F.R. -B1).

- **Idioma:** Francés

**Nivel:** "A2" Nivel Elemental "Marco común europeo de referencia para las lenguas C.E.F.R. -A2).