



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS**  
**NATURALES**

**CARRERA INGENIERÍA DE MEDIO AMBIENTE**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**“DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA CONDUCTIVIDAD HÍDRICA EN EL CAMPUS  
CEASA”**

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

**Autor:**

Jimena Verónica Curay Changoluisa

**Tutor:**

Ing.Mg. Juan Miguel Espinosa Soto

Latacunga - Ecuador

**Agosto - 2018**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

Yo, Curay Changoluisa Jimena Verónica, declaro ser autor del presente proyecto de investigación: **“DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA CONDUCTIVIDAD HÍDRICA EN EL CAMPUS CEASA”**, siendo Juan Espinosa, 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.

.....

Jimena Verónica Curay Changoluisa

C.I. 050327777-4

## CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DEL AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte de **JIMENA VERÓNICA CURAY CHANGOLUISA\_** identificada con C.C. N° **050327777-4** de estado civil **SOLTERA** y con domicilio en Latacunga Salcedo Cusubamba “Cobos Grande” , a quien en lo sucesivo se denominará **LA/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.** - **LA/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 de Titulación de 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.

Fecha de inicio: MARZO 2012-AGOSTO 2012

Fecha de finalización: ABRIL- AGOSTO 2018

Aprobación HCA.:

Tutor: Ing. Juan Espinosa

Tema: “**DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA CONDUCTIVIDAD HÍDRICA EN EL CAMPUS\_ CEASA**”.

**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, **LA/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 **LA/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 **LA/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, a los 2 días del mes de julio del 2017.

.....  
Jimena Verónica Curay Changoluisa

**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:

**“DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA CONDUCTIVIDAD HÍDRICA EN EL CAMPUS CEASA”**, de Curay Changoluisa Jimena Verónica, 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 Consejo Directivo de la FACULTAD de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Agosto del 2018.

**Tutor:**

.....

**Ing.Mg.** Juan Miguel Espinosa Soto  
**C.I.** 171347432-6

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN**

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, el postulante: Curay Changoluisa Jimena Verónica ; con el título de Proyecto de Investigación: “**DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA CONDUCTIVIDAD HÍDRICA EN EL CAMPUS CEASA**”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

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

Latacunga, Agosto del 2018

Para constancia firman:

---

**Lector 1**

**Ing.Mg. Mercy Ilbay**

**C.I. 060414790-0**

---

**Lector 2**

**PhD. Vicente Córdova**

**C.I. 180163492-2**

---

**Lector 3**

**Ing.Mg. Vinicio Mogro**

**C.I. 050165751-4**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecer a Dios por la fuerza, salud que me cobija a mí y a mi familia todos los días, agradezco a mis adorados Padres LORENZO CURAY CHILLAGANA Y ROSA ZOILA CHANGOLUISA LOPEZ que son el pilar fundamental en mi vida con sus consejos, valores, sabidurías, experiencias me inculcaron para terminar lo que un día empecé fueron y son mi fuerza mi guía para seguir en el túnel de la vida, a mis Hermanos que estaban en las buenas y en las malas para darme apoyo incondicional, a los Docentes de la Universidad Técnica de Cotopaxi por la acogida y la Educación de Calidad.



## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto de investigación a Dios y a mis padres. A Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, a mis padres, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Es por ello que soy lo que soy ahora. Los amo con mi vida.

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

**TITULO: “Distribución espacial de la conductividad hídrica en el Campus CEASA”**

**Autor:** Jimena Verónica Curay Changoluisa

## RESUMEN

El estudio de la distribución espacial de la conductividad hídrica se realizó en la Universidad Técnica De Cotopaxi en el Campus Salache, en el Lote denominado N°14 que principalmente es utilizado para la producción de hierba. Se analizó este factor como parte importante para contrarrestar el efecto la erosión del suelo, mediante la escorrentía producida por desequilibrio de infiltración. Se planteó generar un modelo de muestreo espacial para conductividad. Se diseñó el sistema de muestreo y se los ubicaron los puntos en el campo. El modelamiento digital se lo realizó en el software ArcGIS Versión 10.2.2. Se determinó la cantidad de conductividad hídrica del lugar y se realizaron isolíneas de conductividad. Con la información obtenida se elaboró un mapa con 24 puntos de muestreo distribuidos en 12.000 m<sup>2</sup> aproximadamente. La determinación de la conductividad hídrica del lote analizado permite identificar que la velocidad de infiltración básica tiene una media con un valor de 24.49 mm/h con un tipo de suelo de textura aparente franco arcilloso, cambiando a franco arenoso. El desarrollo de isolíneas de conductividad hidráulica modelada permite identificar de una manera gráfica las zonas del área de estudio con mayor y menor infiltración y conductividad. La construcción de isolíneas es una manera gráfica de modelar de forma espacial la conductividad que tiene un suelo.

**Palabras claves:** Conductividad, hidráulica, suelos, permeabilidad, infiltración, isolíneas.

# UNIVERSITY TECHNICAL OF COTOPAXI

AGRICULTURAL AND NATURAL RESOURCES FACULTY

**TITLE: “Spatial distribution of water conductivity in the Campus CEASA”**

**Author:** Jimena Verónica Curay Changoluisa

## ABSTRACT

The study of the spatial distribution of water conductivity was conducted at the Technical University of Cotopaxi in the Campus Salache: This tool is displayed as an important part to counteract the environmental effect, soil erosion by runoff from imbalance infiltration. Was raised to generate a model for conductivity spatial sampling, sampling points are designed and places them in the field. The digital modeling it performed in the ArcGIS software Versión 10.2.2. the amount of water conductivity is determined and place isolines conductivity is performed. With the information a map with 24 sampling points spread over 12,000 m<sup>2</sup> is dimensioned. The determination of conductivity to identify that the rate is moderate basic infiltration average values of 24.49 mm / h with soil type clay loam, sandy loam changing. The development of hydraulic conductivity isolines identifies modeled in a graphical zones of the study area with major and minor infiltration and conductivity. Isolines development is a graphical way of modeling the conductivity having a floor spatially, meeting all requirements according to technical rules easy to interpret and meets the needs of the study.

**Keywords:** Conductivity, hydraulics, soil permeability, infiltration, isolines.

## ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO ESCLUSIVA DE DERECHOS DEL AUTOR.....	iii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	vi
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN .....	vii
AGRADECIMIENTO .....	viii
DEDICATORIA .....	ix
RESUMEN .....	x
ABSTRACT.....	xi
ÍNDICE GENERAL .....	xii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvi
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	xvii
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO .....	2
4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN: .....	3
5.- OBJETIVOS .....	4
5.1. General .....	4
5.2. Específicos .....	4
6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS: .....	5
7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA .....	6
7.1. EL SUELO .....	6
7.2. CICLO HIDROLÓGICO .....	6
7.2.1. Componente del ciclo Hidrológico.....	6
7.3. INFILTRACIÓN Y FLUJO DE AGUA SUBTERRÁNEA .....	7
7.4. LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA. ....	8
7.5. DENSIDAD APARENTE.....	9

7.6. CONDUCTIVIDAD HÍDRICA EN SUELOS TOTALMENTE SATURADOS.....	10
7.7. ANÁLISIS LITOLÓGICO Y TEXTURAL.....	10
7.8. TEXTURA .....	11
7.9. POROSIDAD.....	13
7.9.1. Comportamiento físico.....	14
7.10. TEXTURA SEGÚN EL TIPO DE ROCA.....	14
7.11. HERRAMIENTAS GEOESPACIALES PARA CONDUCTIVIDAD HÍDRICA. ....	15
7.11.1. Kriging .....	15
7.12. MÉTODO DEL CILINDRO DE DOBLE ANILLO PARA DETERMINAR LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA. ....	18
7.12.1. Explicación del método.....	18
7.12.2. Obtención de datos en campo.....	18
7.12.3. Materiales y equipos requeridos para la determinación de la conductividad hídrica: .....	19
8. PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS:.....	28
8.1 Operacionalización de Variables.....	28
9. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL:.....	28
9.1. Sitio de estudio.....	28
9.3. TIPOS DE INVESTIGACIÓN .....	29
9.3.1. Investigación de campo:.....	29
9.3.2. Investigación bibliográfica.....	29
9.3.3. Investigación Descriptiva.....	29
9.4. MÉTODOS .....	29
9.4.1. Método cuantitativo.....	29
9.4.2. Método Analítico.....	30
9.5. TÉCNICAS .....	30
9.5.1. Observación Directa.....	30
9.6. METODOLOGÍA PARA LAS ACTIVIDADES. ....	30
9.6.1. Generación de un modelo de muestreo espacial para la conductividad hidráulica. ....	30

9.6.2. Ubicación en campo de los puntos de muestreo.....	30
9.6.3. Determinación la conductividad hidráulica por punto. ....	30
9.6.4. Modelamiento de la distribución espacial de la conductividad hidráulica.....	32
10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	33
10.1.1. Identificación de puntos de muestreo.....	33
10.1.2. Ubicación en campo de los puntos de muestreo.....	34
10.2. Aplicar un algoritmo para el modelamiento de la distribución espacial de la conductividad hidráulica.....	34
10.2.1. Aplicación del algoritmo para el modelamiento de la conductividad hidráulica. ....	34
10.2.2. Determinación de la conductividad hidráulica por punto de muestreo. ....	36
10.3. Desarrollar isolíneas de conductividad hidráulica modelada para el campus CEASA Lote N° 14.....	41
10.3.1. Modelamiento de la distribución espacial de la conductividad hidráulica. ....	41
10.3.2. Desarrollo de isolíneas de conductividad hidráulica. ....	43
10.3.3. Construcción de isolíneas.....	44
11. IMPACTOS (TÉNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS) .....	45
11.1. Técnicos. ....	45
11.2. Sociales. ....	45
11.3. Ambientales.....	45
11.4. Económicos.....	45
12. PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO:.....	46
13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	47
13.1. CONCLUSIONES .....	47
13.2. RECOMENDACIONES.....	48
14. BIBLIOGRAFÍA .....	49
15. ANEXOS.....	51

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Beneficiarios.....	2
<b>Tabla 2:</b> Actividades y sistemas de tareas.....	5
<b>Tabla 3:</b> Conductividad.....	11
<b>Tabla 4:</b> Porosidad .....	13
<b>Tabla 5:</b> Tipo de roca.....	14
<b>Tabla 6:</b> Valores de velocidad de infiltración.....	14
<b>Tabla 7:</b> Determinación de la velocidad de infiltración de los suelos.....	25
<b>Tabla 8:</b> Operacionalización de variables.....	28
<b>Tabla 9:</b> Coordenadas UTM del área del proyecto.....	29
<b>Tabla 10:</b> Puntos de muestreo.....	33
<b>Tabla 11:</b> Ejemplo de un punto de conductividad hídrica Lote N° 14 Punto 17.....	36
<b>Tabla 12:</b> Presupuesto.....	46

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Gráfico 1:</b> Proceso de infiltración. ....	7
<b>Gráfico 2:</b> Infiltrómetro de doble anillo.....	20
<b>Gráfico 3:</b> Instalación del dispositivo de aforo .....	21
<b>Gráfico 4:</b> Regla graduada adherida a la anilla interior .....	22
<b>Gráfico 5:</b> Velocidad de infiltración. ....	26
<b>Gráfico 6:</b> Vista aérea del Lote N° 14 CEASA.....	29
<b>Gráfico 7:</b> Identificación de puntos de muestreo. ....	30
<b>Gráfico 8:</b> Instalación de las anillas .....	31
<b>Gráfico 9:</b> Control de nivel de las anillas.....	31
<b>Gráfico 10:</b> Vertido de aguas. ....	32
<b>Gráfico 11:</b> Hoja de toma de datos. ....	32
<b>Gráfico 12:</b> Modelo espacial de muestreo. ....	34
<b>Gráfico 13:</b> Velocidad de infiltración básica Lote N° 14 Punto 17. ....	37
<b>Gráfico 14:</b> Velocidad de infiltración básica Lote N° 14 Punto 17. ....	37
<b>Gráfico 15:</b> Velocidad de infiltración Lote N° 14 Promedio. ....	38
<b>Gráfico 16:</b> Infiltración acumulada Lote N° 14 Promedio.....	38
<b>Gráfico 17:</b> Velocidad de Infiltración e Infiltración Acumulada Lote N° 14 Promedio.....	39
<b>Gráfico 18:</b> Infiltración básica Lote N° 14 Promedio.....	40
<b>Gráfico 19:</b> Histograma. ....	41
<b>Gráfico 20:</b> Análisis de tendencia.....	42
<b>Gráfico 21:</b> Nube de covariancia/semivariograma.....	42
<b>Gráfico 22:</b> Q-Q Normal.....	43
<b>Gráfico 23:</b> Geoestatistical Wizard: Kriging/ CoKrigin. ....	43
<b>Gráfico 24:</b> Isolíneas de conductividad hídrica Lote N° 17.....	44



## ÍNDICE DE ANEXOS.

<b>Anexo 1:</b> Aval de Idioma. ....	51
<b>Anexo 2:</b> Hoja de vida del Tutor. ....	52
<b>Anexo 3:</b> Hoja de vida Autora. ....	53
<b>Anexo 4:</b> Tabla de puntos de muestreo ....	54
<b>Anexo 5:</b> Pasos del Muestreo. ....	55
<b>Anexo 6:</b> Tabla de Datos. ....	56
<b>Anexo 7:</b> Gráficos de resultados. ....	57

## **1. INFORMACIÓN GENERAL**

Título del proyecto

“Distribución espacial de la conductividad hídrica en el campus CEASA”.

**Fecha de inicio:**

Septiembre 2017

**Fecha de finalización:**

Agosto 2018

**Lugar de ejecución:**

Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga, Universidad Técnica de Cotopaxi.

**Facultad que auspicia**

Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

**Carrera que auspicia:**

Ingeniería de Medio Ambiente

**Proyecto de investigación vinculado:**

**Equipo de Trabajo:**

Investigación para el manejo sostenible de recursos hídricos de la provincia de Cotopaxi

**Equipo de Trabajo:**

Tutor: Ing. Mg.- Juan Espinosa

Alumna.- Verónica Curay

**Tribunal:**

Lector 1.- Ing.Mg. Mercy Ilbay

Lector 2.- PhD. Vicente Córdoba

Lector 3.- Ing.Mg. Vinicio Mogro

**Área de Conocimiento:**

Universidad Técnica de Cotopaxi Campus CEASA periodo: 2017-2018

**Línea de investigación:**

Conservación y aprovechamiento de la biodiversidad local

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

Educación Ambiental

## 2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El estudio de la conductividad hidráulica es de gran importancia en el Campus CEASA porque aportará con información actualizada para ayudar a un correcto manejo de los suelos del campus. La información generada con este estudio servirá, para cualquier proyecto de producción en el lote escogido para el estudio.

El proyecto de investigación será de gran interés para la institución en especial para los habitantes que viven en sectores aledaños, porque servirá como un modelo de aplicación para mejorar sus actividades productivas.

A nivel de instituciones públicas y privadas es importante porque dispondrá de estudios, en el cual se identifican plenamente el problema y la propuesta como parte de solución. Será un estudio con información de mucho significado en el campo de la gestión ambiental. Este estudio podrá ser utilizado como base de otros productos y proyectos en el futuro.

En el campo académico esta investigación es de vital importancia por ser un requisito previo a la obtención del título de tercer nivel de la carrera de ingeniería de medio ambiente en la Universidad Técnica de Cotopaxi, además que ayuda a la formación técnica y científica en los temas de hidrología y edafología.

## 3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO.

**Tabla 1:** Beneficiarios

Beneficiarios Directos.	Beneficiarios indirectos.
<p><b>Son los planificadores que usan el suelo agrícola de “CEASA”</b></p>	<p>Son los estudiantes de “CEASA”.</p>

**Elaborado por:** Autora, 2018

#### **4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN:**

La hidrología a nivel mundial está determinada por la topografía, la geología, la vegetación, y la civilización. Las actividades humanas invaden gradualmente el medio ambiente natural del agua, alterando el equilibrio dinámico del ciclo hidrológico, lo cual ejerce una presión sobre el recurso hídrico.

En nuestro país existen problemas de baja eficiencia de aprovechamiento del agua, problema que se manifiesta en la alta demanda de agua para riego de muchas comunidades campesinas. Los pobladores de zonas rurales están logrando suplir este problema gracias a su propio trabajo, con la implementación de infraestructura de riego.

En la Provincia de Cotopaxi existen pocos estudios hidrológicos, los mismos que han concentrado únicamente en la medición de la precipitación y el caudal, sin explicar los problemas relacionados con el desequilibrio que viene presentando desde hace ya más de 50 años en el rendimiento hídrico.

En el campus CEASA existe baja eficiencia en el aprovechamiento en el agua de riego por lo que este estudio pretende buscar y elaborar métodos que generan datos y a su vez ayuden a encontrar nuevas formas de explotación óptima del uso del recurso hídrico.

## 5.- OBJETIVOS

### 5.1. General

- ✚ El objetivo de este estudio es evaluar la distribución espacial de la conductividad hídrica del área agrícola del campus CEASA mediante el conocimiento de la conductividad hídrica del suelo.

### 5.2. Específicos

- ✚ Generar un modelo de muestreo espacial para conductividad hidráulica.
- ✚ Aplicar un algoritmo para el modelamiento de la distribución espacial de la conductividad hidráulica.
- ✚ Desarrollar mapa de conductividad hidráulica modelada para el campus CEASA Lote N° 14.

## 6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS:

**Tabla 2:** Actividades y sistemas de tareas.

Objetivo 1	Actividad	Resultado de la actividad	Descripción de la actividad (técnicas e instrumentos)
<b>Generar un modelo de muestreo espacial para conductividad hidráulica.</b>	Identificación de puntos de muestreo.	Levantamiento de información.	Georreferenciar el área destacada. Determinación de las distancias la cual se llevara a cabo en el sector agrícola CEASA Lote N° 14.
	Ubicación en campo de los puntos de muestreo.	Mapas georreferenciados	Definición de los puntos de muestreo. Instrumentos. GPS Cinta métrica Cámara fotográfica
<b>Objetivo 2</b>	Actividad	Resultado de la actividad	Descripción de la actividad (técnicas e instrumentos)
<b>Aplicar un algoritmo para el modelamiento de la distribución espacial de la conductividad hidráulica.</b>	Aplicación del algoritmo para el modelamiento de la conductividad hidráulica.	Algoritmo definido para el modelamiento de la conductividad hidráulica	<b>Técnica:</b> algebraicamente un modelo matemático de conductividad hidráulica. <b>Instrumentos:</b> Bibliografía
	Determinación de la conductividad hidráulica por punto de muestreo.	Valores de conductividad georreferenciada	Computadora Base de datos Software
<b>Objetivo 3</b>	Actividad	Resultado de la actividad	Descripción de la actividad (técnicas e instrumentos)
<b>Desarrollar isolíneas de conductividad hidráulica modelada para el campus CEASA Lote N° 14</b>	Construcción de isolíneas	Campo	<b>Técnica:</b> Prueba del algoritmo in situ <b>Instrumentos:</b> Software, Cámara fotográfica Computador Cinta métrica

Elaborado por: Autora, 2018

## **7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA**

### **7.1. EL SUELO**

El suelo es un sistema heterogéneo, polifásico, particulado, disperso y poroso en el cual el área interfacial por unidad de volumen puede ser muy grande. (Hillel, 1998) Las tres fases que componen el sistema suelo son: La fase sólida, compuesta por el conjunto de las partículas inorgánicas (cristalinas y no cristalinas) y las orgánicas. La fase líquida, que la componen el agua y los solutos que están disueltos en ella, es decir, la fase líquida es, en realidad, una solución: la solución del suelo. La fase gaseosa: o atmósfera del suelo, formada por todos aquellos compuestos que se presentan en forma gaseosa y cuyos representantes más abundantes, en condiciones de aireación adecuada del suelo son el CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y vapor de agua. (Hillel, 1998)

### **7.2. CICLO HIDROLÓGICO**

El ciclo hidrológico, constituye en la repetida circulación de humedad y de agua sobre nuestro planeta, este ciclo no tiene principio ni fin, pero básicamente el concepto del mismo se origina en los océanos, que constituyen las tres cuartas partes de la superficie de la tierra.

Es por causa de la radiación solar que el agua de los océanos llega hasta la atmosfera por evaporación. El vapor de agua se eleva, luego se aglomera lo que da lugar a la formación de las nubes, la humedad contenida en las nubes se condensa y se precipita a tierra en forma de lluvia, granizo o nieve, elementos que constituyen las variadas formas de precipitación, la cual fluye por superficie de la tierra llegando hasta los ríos y otra parte se infiltra dentro del suelo. (Johnson Inc, 1975)

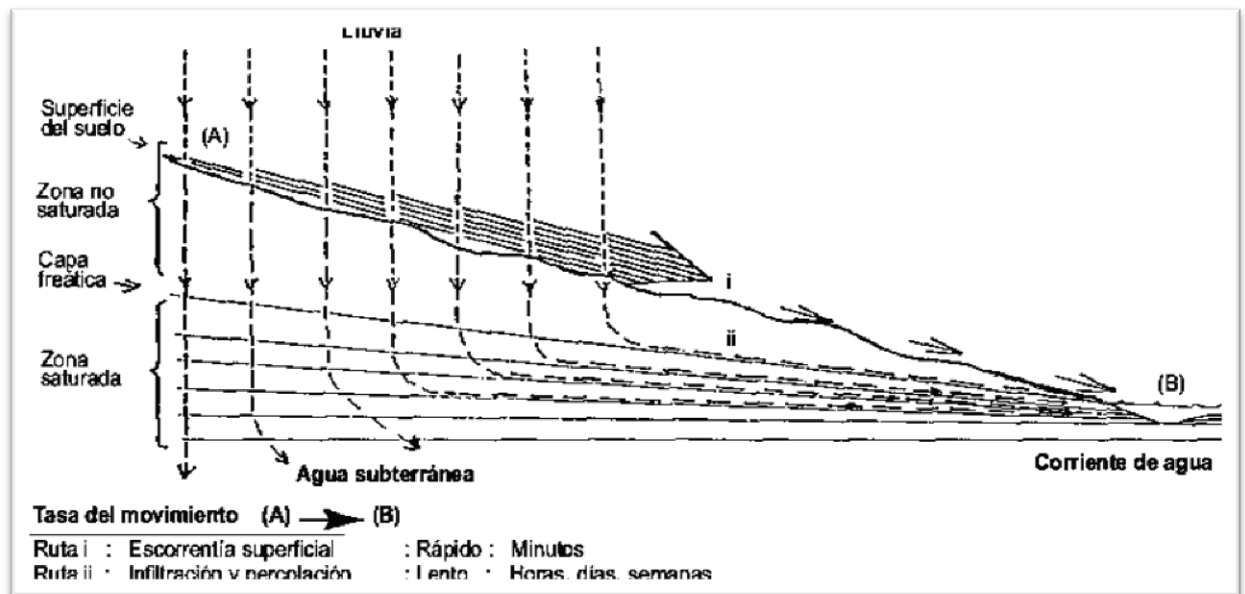
#### **7.2.1. Componente del ciclo Hidrológico.**

La hidrología de una región está determinada por sus patrones de clima tales como la topografía, la geología, y la vegetación. También, a medida que la civilización progresa, las actividades humanas invaden gradualmente el medio ambiente natural del agua, alterando el equilibrio dinámico del ciclo hidrológico e iniciando nuevos procesos y eventos. (Chow, 1994).

### 7.3. INFILTRACIÓN Y FLUJO DE AGUA SUBTERRÁNEA

La infiltración es el proceso mediante el cual el agua penetra desde la superficie hasta el suelo y se la denomina superficial. Muchos factores influyen en la tasa de infiltración, incluyendo la condición de la superficie, la cubierta vegetal, las propiedades físicas de los medios tales como porosidad, conductividad hidráulica, contenido de humedad.

**Gráfico 1:** Proceso de infiltración.



FUENTE: (Johnson, 1975)

Tres son los hechos que tienen relación con esta agua: Primero.- que puede ser devuelta a la superficie por fuerzas capilares y evaporada hacia la atmósfera, ahorrándose así gran parte de su recorrido dentro del ciclo hidrológico descrito anteriormente;

Segundo.- que puede ser absorbida por las raíces de las plantas que crecen en el suelo, ingresando de nuevo en la atmósfera a través del proceso de transpiración.

Tercero.- que la que se ha infiltrado profundamente en el suelo, puede ser obligado a descender por la acción de la gravedad hasta que alcance el nivel de saturación, constituyendo un depósito de agua subterránea.

Para comprender la manifestación del agua subterránea se debe conocer la distribución vertical del agua dentro de las formaciones, definiéndose así 2 zonas, la parcialmente saturada "Aireación" o de presiones intersticiales negativas y la zona de saturación con presiones intersticiales positivas. El origen de las presiones intersticiales radica en la presencia de agua



en los poros o intersticios del suelo conocido también como presión de agua de poros que se entiende como la resistencia ejercida por la fase intersticial del suelo al aplicarse una carga en superficie. (Lambe, 1995)

La zona de aireación en la que las aberturas se encuentran parcialmente llenas de agua no tiene límites definidos ya que el espesor de la franja intermedia varía mucho, lo que tiene un efecto muy significativo en el tiempo que le toma al agua pasar para recargar la zona de saturación. El espesor de la franja capilar depende directamente de tamaño de los granos del material (Johnson, 1975)

Siendo así la distribución del agua debajo de la superficie se pueden identificar dos tipos de flujo del agua en medios porosos, los que se dan en suelos totalmente saturados y los parcialmente saturados definidos por la Ley de Darcy fundamental para evaluar el movimiento de agua en el suelo.

#### **7.4. LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA.**

La conductividad hidráulica ( $K$ ) es la propiedad del suelo que describe la facilidad con la cual los poros del suelo permiten el flujo de agua. Cuando el suelo se satura, todos los poros pueden dirigir el agua y la conductibilidad está en su máxima expresión y es representada como  $K_s$ , mientras que en condiciones insaturadas o no saturadas es representada como  $K_q$ . En cualquier caso, depende del tamaño, número, orientación, distribución y continuidad de los poros especialmente los de retención, el tamaño de las partículas, tipo de fluido, cantidad relativa de fluido presente en la matriz del suelo. (Reichard, 2004)

Es por ello que existe una relación cuantitativa entre la conductividad hidráulica y volumen de agua en un suelo que cuente con un alto porcentaje de partículas grandes (arenas), las cuales permitan el paso del agua rápidamente, y suelos que presentan un alto porcentaje de partículas pequeñas (arcillas) las cuales hacen que el paso del agua sea más lento. (Rowell, 1994)

La conductividad hidráulica es una de las características de mayor importancia de los suelos, por cuanto son muchos los problemas referidos al riego y drenaje que, para su solución satisfactoria, requieren de este parámetro. La conductividad hidráulica se considera como la velocidad de infiltración que se presenta en un medio saturado (suelo), cuando el

gradiente de energía o hidráulico es igual a la unidad y constituye una expresión numérica. (Leitón, 1985)

Una baja conductividad hidráulica puede ser provocada por un bajo contenido de materia orgánica, combinada con un alto contenido de sodio, particularmente en suelos de textura fina. Un suelo que contiene más de 5% de sodio intercambiable reportan baja conductividad hidráulica. Para que estos suelos mejoren su productividad no basta adicionar solo fertilizantes, sino que requieren la aplicación de un mejorador como fuente de calcio y/o de abonos orgánicos. (FUNPROVER, 2014) Presentaron el permeámetro de Guelph como una modificación del permeámetro presentado por. Este permeámetro consiste en un Mariotte construido con dos tubos concéntricos que actúan como depósito manteniendo la carga hidráulica constante en un hoyo practicado en el suelo. Los mismos autores desarrollaron además el procedimiento numérico para la determinación de los valores de la conductividad saturada en campo ( $K_s$ ) a partir de las mediciones de velocidad de flujo infiltrándose en estado estacionario. La medida de  $K_s$  con el método de Guelph es una técnica sencilla y relativamente rápida, aunque requiere un esfuerzo experimental considerable en el caso de muestreos de gran cantidad de puntos. (Talsma, 1980)

## **7.5. DENSIDAD APARENTE**

La densidad de volumen o densidad aparente se define como el peso seco del suelo por unidad de volumen de suelo inalterado, tal cual se encuentra en su emplazamiento natural, incluyendo el espacio poroso (Pinot, 2000)

La densidad aparente del suelo es un buen indicador de propiedades importantes del suelo, como son: la compactación, porosidad, grado de aireación y capacidad de infiltración, lo que condiciona la circulación de agua y aire en el suelo, los procesos de establecimiento de las plantas (emergencia, enraizamiento) y el manejo del suelo. La densidad aparente afecta al crecimiento de las plantas debido al efecto que tienen la resistencia y la porosidad del suelo sobre las raíces.

Con un incremento de la densidad aparente, la resistencia mecánica tiende a aumentar y la porosidad del suelo tiende a disminuir, con estos cambios limitan el crecimiento de las raíces a valores críticos. Los valores críticos de la densidad aparente para el crecimiento de las raíces, varían según la textura que presenta el suelo y de la especie de que se trate.

## **7.6. CONDUCTIVIDAD HÍDRICA EN SUELOS TOTALMENTE SATURADOS**

El flujo saturado ocurre cuando la presión del agua de poros es positiva; es decir, cuando el potencial matricial del suelo es el cero. En la mayoría de suelos esta situación tiene lugar cuando aproximadamente el 95% del espacio del poro total está lleno con agua. El restante 5% está lleno con el aire atrapado (Donado, 2004)

Esta Conductividad hidráulica ocurre sobre el nivel freático, donde los poros se encuentran parcialmente llenos de agua por lo que su contenido de agua es inferior a la porosidad y la presión del fluido es menor a la atmosférica. (Donado, 2004)

Jaramillo (2002) dice que la textura es aquella propiedad que establece las cantidades relativas en que se encuentran las partículas de diámetro menor a 2 mm, es decir, la tierra fina en el suelo; estas partículas, llamadas separados, se agrupan en tres clases, por tamaños: Arena (A), Limo (L) y Arcilla (Ar).

Este autor indica también que el hombre puede acondicionar el suelo a sus necesidades, mediante el laboreo; el comportamiento físico edáfico obedecerá a la presencia de ciertas propiedades físicas y a la interacción entre ellas, en la fase sólida encontramos dos propiedades como son la textura y la estructura que son las que controlan la dinámica física del suelo. Para mantener un adecuado medio físico en el suelo, se deben implementar aquellas prácticas de manejo que garanticen que no se va a hacer un uso abusivo del mismo. Éstas se refieren a la utilización de la labranza y a la selección adecuada de los implementos de acuerdo con el suelo y el cultivo; además, llevarla a cabo en las condiciones de humedad óptimas para el suelo y en la cantidad justa. El mantenimiento de las condiciones de humedad apropiadas para el cultivo se logra con la ayuda de sistemas adecuados de riego y drenaje, así como con el manejo de coberturas en el suelo, etc.

## **7.7. ANÁLISIS LITOLÓGICO Y TEXTURAL**

La conductividad hidráulica de los suelos no es un valor constante debido a que en ella influyen muchos factores, por lo que no puede llegarse a determinar un valor exacto de ésta; pero sí un valor estimado que refleje las condiciones del movimiento del agua en el suelo por lo que se trata de proponer métodos de estimación de esta variable, tal es el caso de Cendret quien encontró que existe una relación muy definida entre la  $K$  y el análisis textural de muestras de suelo, siguiendo una ley matemática que se cumple sólo hasta ciertos límites, y la cual se recomienda trabajar en función del porcentaje de arena o de limo + arcilla, para los

cuales existe una correspondencia de los resultados, no así para el limo y la arcilla tomados separadamente.

Un método más descriptivo fue el planteado por la U.S. Soil Conservation Service quienes en los relevamientos de suelos en campaña, describen los horizontes, realizando una estimación cualitativa de la conductividad hidráulica. Su propuesta consiste en una escala de siete clases de conductividad hidráulica. Las clases de permeabilidad propuestas, tienen los intervalos que se detallan en la Tabla 3 convertidos al sistema métrico decimal y redondeadas las cifras. (Service, 2008).

**Tabla 3:** Conductividad

CLASE	HIDRÁULICA	
	cm/h	m/día
Muy lenta	0.1	0.03
Lenta Moderadamente	0.1-0.5	0.03-0.12
lenta	0.5-2	0.12-0.50
Moderada Moderadamente	2.0-6.0	0.50-1.50
rápida	6.0-12.0	1.50-3.00
Rápida	12.0-18.0	3.00-4.50
Muy rápida	>18.0	>4.50

**FUENTE:** (Service, 2008)

## 7.8. TEXTURA

Se refiere al arreglo y disposición que existe entre los granos o minerales individuales, con respecto a su tamaño, forma y grado de cristalización. La textura es una propiedad compleja que depende principalmente del origen del material y las características de los granos. Es importante su determinación ya que se relaciona íntimamente con propiedades índice y mecánicas como la porosidad, permeabilidad y resistencia del material. (Ruiz, 2000)

**Textura Arenosa:** es no cohesiva y forma sólo gránulos simples. Las partículas individuales pueden ser vistas y sentidas al tacto fácilmente. Al apretarse en la mano en estado seco se soltará con facilidad una vez que cese la presión. Al apretarse en estado húmedo formará un molde que se desmenuzará al palparlo.

**Textura Franco arenosa:** es un suelo que posee bastante arena pero que cuenta también con limo y arcilla, lo cual le otorga algo más de coherencia entre partículas. Los granos de arena pueden ser vistos a ojo descubierto y sentidos al tacto con facilidad. Al apretarlo en estado seco formará un molde que fácilmente caerá en pedazos, pero al apretarlo en estado húmedo el modo formado persistirá si se manipula cuidadosamente.

**Textura Franca:** es un suelo que tiene una mezcla relativamente uniforme, en términos cualitativos, de los tres separados texturales. Es blando o friable dando una sensación de aspereza, además es bastante suave y ligeramente plástico. Al apretarlo en estado seco el molde mantendrá su integridad si se manipula cuidadosamente, mientras que en estado húmedo el molde puede ser manejado libremente y no se destrozará.

**Textura Franco limosa:** es un suelo que posee una cantidad moderada de partículas finas de arena, sólo una cantidad reducida de arcilla y más de la mitad de las partículas pertenecen al tamaño denominado limo. Al estado seco tienen apariencia aterronada, pero los terrones pueden destruirse fácilmente. Al moler el material se siente cierta suavidad y a la vista se aprecia polvoriento. Ya sea seco o húmedo los moldes formados persistirán al manipularlos libremente, pero al apretarlo entre el pulgar y el resto de los dedos no formarán una “cinta” continua.

**Textura Franco arcillosa:** es un suelo de textura fina que usualmente se quiebra en terrones duros cuando éstos están secos. El suelo en estado húmedo al oprimirse entre el pulgar y el resto de los dedos formará una cinta que se quebrará fácilmente al sostener su propio peso. El suelo húmedo es plástico y formará un molde que soportará bastante al manipuleo. Cuando se amasa en la mano no se destruye fácilmente sino que tiende a formar una masa compacta.

**Textura Arcillosa:** constituye un suelo de textura fina que usualmente forma terrones duros al estado seco y es muy plástico como también pegajoso al mojarse. Cuando el suelo húmedo es oprimido entre el pulgar y los dedos restantes se forma una cinta larga y flexible.

**Textura Afanítica:** cuando los minerales no pueden determinarse u observarse a simple vista o con ayuda de lente de mano.

**Textura Porfirítica:** se observan a simple vista fenocristales, en una matriz afanítica.

**Textura Clástica:** agregados de granos o minerales de carácter fragmentario claramente visible. Los agregados tienen una amplia gama de tamaños de partículas. (Ruiz, 2000).

## 7.9. POROSIDAD

Es la relación entre el volumen de huecos y el volumen total de una roca o suelo. Es un parámetro adimensional y depende únicamente de la constitución de la roca o suelo, es decir, de su textura característica, sin que intervenga la forma geométrica ni la potencia de la formación o su mecanismo de funcionamiento hidráulico en la naturaleza. (Vallejo, 2002)

Porosidad total: depende únicamente de la textura del material, está referida al volumen total de poros, independientemente de que el fluido tenga o no la capacidad de circular entre ellos.

Porosidad eficaz: se denomina también porosidad cinemática, referida al volumen de poros conectados por los que el transporte de fluido es posible, y queda ligada no solo a la textura del suelo, sino también a las características del fluido . (Vallejo, 2002)

La forma y característica de los poros influyen en la conductividad hidráulica debido a que el agua en el suelo es conducida y contenida por los poros de éste. (LambeWilliam, 1995)

**Tabla 4:** Porosidad

TIPO DE SUELO	TIPO DE SUELO	TOTAL (%) EFICAZ (%)
Arcilla	40-60	0-5
Limos	35-50	3-19
Arenas finas, arenas limosas gruesa	20-50	10-28
clasificada	21-50	22-35
Grava	25-40	13-26
Shale intacta	1-10	0.5-5
Shale fracturada/alterada	30-50	0.5-7
Arenisca Calizas, dolomías no	5-35	0.5-10

**FUENTE:** (Sander, 1998)

### 7.9.1. Comportamiento físico.

Cuando los agregados se secan su volumen disminuye originándose grietas y la subsidencia del suelo, mientras que cuando se humedecen se expanden, cerrándose las grietas y volviendo el suelo a su posición original. Este comportamiento afecta los procesos físicos y químicos de los suelos, lo que conduce a la modificación de su estructura, su infiltración, su aireación, el movimiento en profundidad de nutrientes y agroquímicos, lo mismo que el desarrollo de las raíces. (Coulombe, 1996)

### 7.10. TEXTURA SEGÚN EL TIPO DE ROCA

Se refiere a las características a gran escala que afectan al material (tamaño, morfometría, porosidad, etc.), las cuales están en función del origen de la roca.

**Tabla 5:** Tipo de roca.

Rocas volcánicas	Derrames lávicos, estructura fluidal, vesículas, amígdalas, etc.
Rocas intrusivas	Batolitos, stocks, diques, mantos, lopolitos
Rocas sedimentarias	Estratificación: cruzada, ondulada, graduada, masiva o laminar, fisilidad, nódulos, arrecifal
Rocas	Foliación, esquistosidad, bandeada, granoblástica

**FUENTE:** (Ruiz, 2000)

**Tabla 6:** Valores de velocidad de infiltración.

<b>Textura del suelo</b>	<b>Velocidad de infiltración (mm/h)</b>
Arenoso	25 – 255
Franco Arenoso	13 – 76
Franco	80 – 200
Franco Arcilloso	25 – 15
Arcilloso Arenoso	3 – 50
Arcilloso	1 – 10

**FUENTE:** (Coras Merino, 2000)

## 7.11. HERRAMIENTAS GEOESPACIALES PARA CONDUCTIVIDAD HÍDRICA.

### 7.11.1. Kriging

Las herramientas de interpolación IDW (Distancia inversa ponderada) y Spline son consideradas métodos de interpolación determinísticos porque están basados directamente en los valores medidos circundantes o en fórmulas matemáticas especificadas que determinan la suavidad de la superficie resultante. Hay una segunda familia de métodos de interpolación que consta de métodos geoestadísticos, como kriging, que está basado en modelos estadísticos que incluyen la autocorrelación, es decir, las relaciones estadísticas entre los puntos medidos. Gracias a esto, las técnicas de estadística geográfica no solo tienen la capacidad de producir una superficie de predicción sino que también proporcionan alguna medida de certeza o precisión de las predicciones.

Kriging presupone que la distancia o la dirección entre los puntos de muestra reflejan una correlación espacial que puede utilizarse para explicar la variación en la superficie. La herramienta Kriging ajusta una función matemática a una cantidad especificada de puntos o a todos los puntos dentro de un radio específico para determinar el valor de salida para cada ubicación. Kriging es un proceso que tiene varios pasos, entre los que se incluyen, el análisis estadístico exploratorio de los datos, el modelado de variogramas, la creación de la superficie y (opcionalmente) la exploración de la superficie de varianza. Este método es más adecuado cuando se sabe que hay una influencia direccional o de la distancia correlacionada espacialmente en los datos. Se utiliza a menudo en la ciencia del suelo y la geología (Oliver, 1990).

#### La fórmula de kriging

El método kriging es similar al de IDW en que pondera los valores medidos circundantes para calcular una predicción de una ubicación sin mediciones. La fórmula general para ambos interpoladores se forma como una suma ponderada de los datos:

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i)$$



Dónde:

$Z(s_i)$  = el valor medido en la ubicación  $i$

$\lambda_i$  = una ponderación desconocida para el valor medido en la ubicación  $i$

$s_0$  = la ubicación de la predicción

$N$  = la cantidad de valores medidos

En IDW, la ponderación,  $\lambda_i$ , depende exclusivamente de la distancia a la ubicación de la predicción. Sin embargo, con el método kriging, las ponderaciones están basadas no solo en la distancia entre los puntos medidos y la ubicación de la predicción, sino también en la disposición espacial general de los puntos medidos. Para utilizar la disposición espacial en las ponderaciones, la correlación espacial debe estar cuantificada. Por lo tanto, en un kriging ordinario, la ponderación,  $\lambda_i$ , depende de un modelo ajustado a los puntos medidos, la distancia a la ubicación de la predicción y las relaciones espaciales entre los valores medidos alrededor de la ubicación de la predicción. En las siguientes secciones se describe cómo se utiliza la fórmula general de kriging para crear un mapa de la superficie de predicción y un mapa de la precisión de las predicciones (Oliver, 1990).

### **Mapa con el método kriging.**

Para llevar a cabo una predicción con el método de interpolación de kriging, es necesario realizar dos tareas:

Descubrir las reglas de dependencia.

Realizar las predicciones.

A fin de completar estas dos tareas, kriging atraviesa un proceso de dos pasos:

Crea los variogramas y las funciones de covarianza para calcular los valores de dependencia estadística (denominada autocorrelación espacial) que dependen del modelo de autocorrelación (ajustar un modelo).

Prevé los valores desconocidos (hacer una predicción).

Se dice que en este método los datos se utilizan dos veces, debido a estas dos tareas bien distintas: la primera vez, para calcular la autocorrelación espacial de los datos, y la segunda, para hacer las predicciones (Oliver, 1990).

### **Variografía**

El ajuste de un modelo, o modelado espacial, también se conoce como análisis estructural o variografía. En el modelado espacial de la estructura de los puntos medidos, se comienza con un gráfico del semivariograma empírico, calculado con la siguiente ecuación para todos los pares de ubicaciones separados por la distancia  $h$ :

$$\text{Semivariogram}(\text{distance}_h) = 0.5 * \text{average}((\text{value}_i - \text{value}_j)^2)$$

La fórmula implica calcular la diferencia cuadrada entre los valores de las ubicaciones asociadas. En la imagen a continuación se muestra la asociación de un punto (en color rojo) con todas las demás ubicaciones medidas. Este proceso continúa con cada punto medido.

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. Por ejemplo, calcule la semivarianza promedio de todos los pares de puntos que están a más de 40 metros de distancia pero a menos de 50 metros. 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 (consulte el diagrama a continuación).

La autocorrelación espacial cuantifica un principio básico de geografía: es más probable que las cosas que están más cerca sean más parecidas que las que están más alejadas. Entonces, los pares de ubicaciones que están más cerca (extremo izquierdo del eje X de la nube de semivariograma) deberían tener valores más similares (parte inferior en el eje Y de la nube de semivariograma). A medida que los pares de ubicaciones estén más separados entre sí (hacia la derecha en el eje X de la nube de semivariograma), deberían ser más distintos y tener una diferencia cuadrada más grande (hacia arriba en el eje Y de la nube de semivariograma).

### **Los métodos kriging**

Existen dos métodos kriging: ordinario y universal.

El kriging ordinario es el más general y más utilizado de los métodos kriging y es el predeterminado. Presupone que el valor medio constante es desconocido. Esa es una presuposición razonable a menos que haya una razón científica para rechazarla.

El kriging universal presupone que hay una tendencia de invalidación en los datos, por ejemplo, un viento prevaleciente, y puede modelarse a través de la función determinística polinómica. Esta función polinómica se resta de los puntos medidos originalmente y la autocorrelación se modela a partir de los errores aleatorios. Una vez que el modelo se ajusta a los errores aleatorios y antes de realizar una predicción, se vuelve a sumar la función polinómica a las predicciones para obtener resultados significativos. El kriging universal solo se debe utilizar si se conoce una tendencia en los datos y se puede dar una justificación científica para describirla (Oliver, 1990).

## **7.12. MÉTODO DEL CILINDRO DE DOBLE ANILLO PARA DETERMINAR LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA.**

### **7.12.1. Explicación del método.**

Las anillas de infiltración sirven para hacer pruebas que determinan la permeabilidad en suelo, simulando el proceso de infiltración del agua. Las pruebas se realizan enterrando dos anillas de forma concéntrica, esto quiere decir que una es de diámetro mayor (Paloni, 1971).

Las de mayor tamaño generalmente son de 60 cm de diámetro y las menores de 30 cm de diámetro. Se llenan ambas con agua y se mide la tasa de descenso de esta agua en la anilla interior.

Se realiza así para que el flujo del agua en el suelo sea lo más vertical posible, dado que la infiltración en la anilla externa limita el flujo lateral del agua infiltrada por la anilla interna, disminuyendo la distorsión de los datos obtenidos. (Paloni, 1971)

### **7.12.2. Obtención de datos en campo**

La prueba se realiza directamente “in situ” buscando un sitio (o sitios) representativo (s) dentro de la parcela agrícola que se quiere caracterizar.

### **7.12.3. Materiales y equipos requeridos para la determinación de la conductividad hídrica:**

2 juegos de anillas infiltrómetros (interno y externo)

1 Combo

1 Nivel de albañil

1 Flexómetro

1 Flotador o una regla de 30 cm

Plástico (1-2 m<sup>2</sup>)

Planilla de campo

1 Cronómetro

#### **Anotaciones previas**

Es muy importante anotar previamente algunas características del sitio de la prueba, tales como: la ubicación precisa de la parcela en la zona (croquis), características de la superficie del suelo (condición de arado, vegetación existente, grietas, humedad), si se realizaron prácticas culturales recientemente, etc. (Gurovich, 1985)

#### **Previsiones para la prueba**

Son algunos aspectos a considerar para iniciar las pruebas de infiltración, para garantizar la fiabilidad de los resultados y el adecuado manejo de los equipos. (Gurovich, 1985)

#### **Lugar representativo**

Una vez definida la parcela donde se realizará la prueba se tendrá el cuidado de ubicar sitios representativos de la misma. Se sugiere realizar por lo menos dos pruebas de infiltración en forma simultánea, siendo deseables tres, localizadas en la cabecera, medio y pie de la parcela. El número de pruebas simultáneas se definirá también en función a algunas limitaciones que se podría encontrar, por ejemplo, distancia al lugar de provisión de agua.

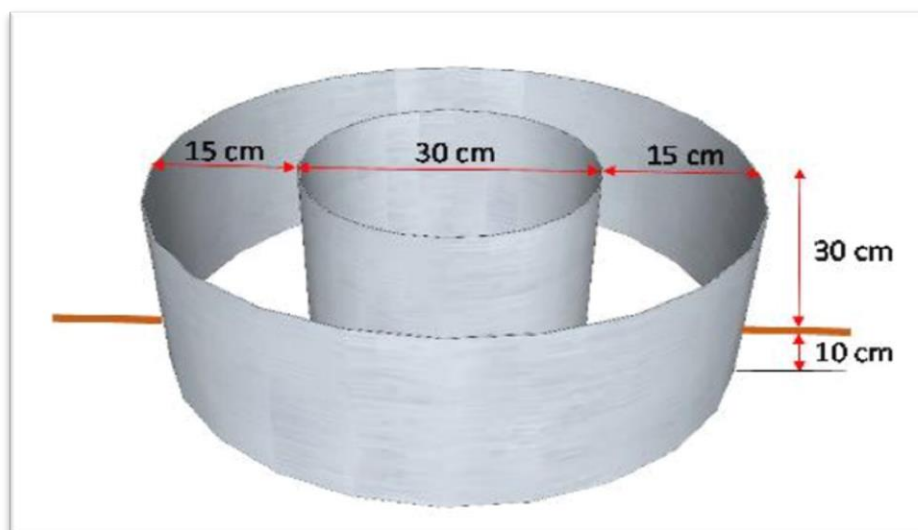
Medición de la infiltración del agua en el suelo – Método de la doble anilla disponible, el nivel de precisión requerido o la representatividad de la prueba, el tiempo disponible para realizarlo así como el costo involucrado, provisión de agua es un aspecto muy importante para la realización de la prueba, por tanto se deberá llevar la cantidad suficiente y así garantizar la finalización de la prueba con éxito, o se deberá identificar previamente una fuente cercana de aprovisionamiento de agua. Se debe realizar una limpieza adecuada del sitio de la prueba sin dañar las condiciones iniciales del suelo, es decir, solamente retirar material vegetal grueso o basuras, cuidando de no dañar excesivamente la superficie del suelo. (Gurovich, 1985)

Un aspecto que hay que cuidar bastante es la integridad de las anillas al momento de hincar en el suelo, para ello si es posible trasladar la plancha metálica utilizada para este propósito o de lo contrario utilizar un trozo de madera para golpear el borde superior de las anillas sin dañarlo.

### Instalación de las anillas

Las anillas se hincan en forma concéntrica de ahí que se conoce también como el método de las anillas concéntricas, asegurándose que se introduzcan por lo menos 10 cm de profundidad. Esto determinará el éxito de la prueba, pues sino se realiza un adecuado hincado el agua podría filtrar, lo cual significaría repetir la instalación e iniciar nuevamente la prueba. (Asselborn, 2001)

**Gráfico 2:** Infiltrómetro de doble anillo



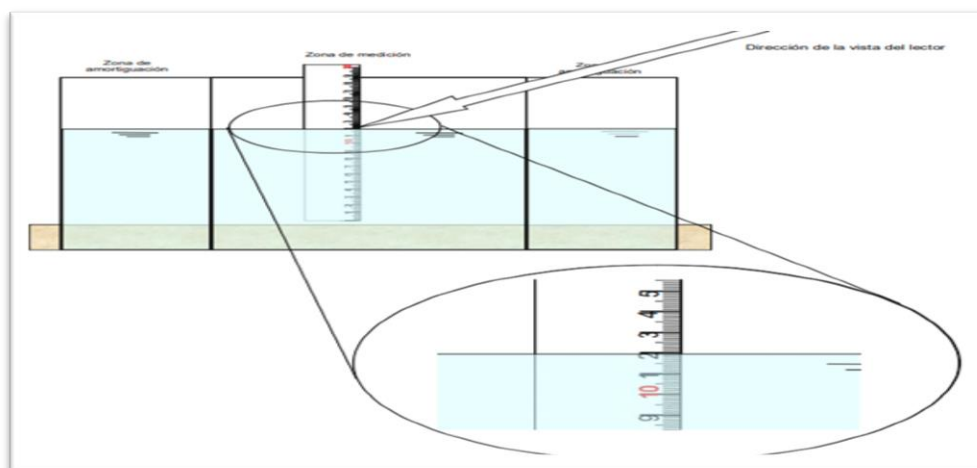
**FUNTE:** (Asselborn, 2001)

Asimismo, se deberá controlar el nivel de las anillas (horizontalidad de los bordes superiores), sobre todo de la anilla interna, que es donde se realizarán las lecturas, y especialmente si se va a utilizar un flotador con un soporte, para cuya lectura se requiere nivel cero. En caso de utilizar una regla graduada pegada en la pared del cilindro, el nivel horizontal cero es deseable aunque no es imprescindible. (Asselborn, 2001)

### Instalación del dispositivo de aforo

Una vez colocadas las anillas se debe considerar la instalación del dispositivo de aforo escogido, según la elección realizada previamente. Esta elección está motivada fundamentalmente por la disponibilidad de equipos. Existen dos opciones básicas: el uso de un flotador o el de una regla graduada. La más recomendable es utilizar un flotador para realizar las lecturas del descenso de agua porque permite una mejor posición al registrador para visualizar la varilla; vale aclarar que se trata de lecturas indirectas. Nótese que, si este es el método escogido, se debe instalar el flotador y su soporte inmediatamente después de quitar el plástico que contiene el agua para la anilla interior. Este aspecto será desarrollado más adelante. En cambio, si se opta por aforar mediante una regla graduada adherida a la anilla interior su instalación debe ser posterior a la de las anillas y anterior a la utilización del plástico para la anilla interior. En este caso, la lectura será directa por registrarse el nivel del agua directamente sobre la regla graduada.

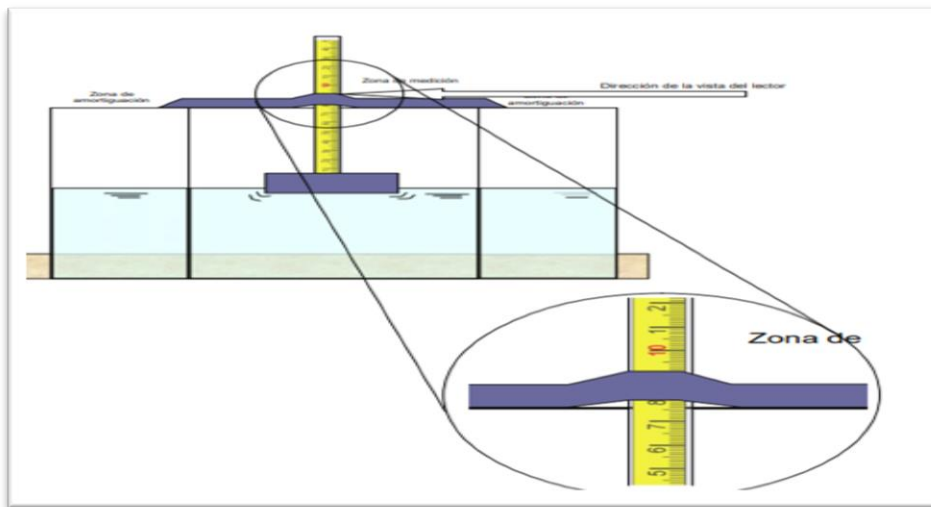
**Gráfico 3:** Instalación del dispositivo de aforo



**FUENTE:** (Fernandes, 1971)

En el ejemplo anterior, la lectura sería 11,9 cm, lectura realizada a nivel del agua. Sin embargo, por la posición incómoda de la persona que hace las lecturas, hay mayor probabilidad de cometer errores en las mismas. Utilizando el flotador la dirección de la vista del lector es prácticamente horizontal por tanto la probabilidad de cometer error en las lecturas disminuye.

**Gráfico 4:** Regla graduada adherida a la anilla interior



**FUENTE:** (Fernandes, 1971)

En el ejemplo anterior, la lectura sería 9,15 cm con la ventaja de que la posición del lector es más cómoda y prácticamente horizontal.

### **Vertido de agua**

Una vez instaladas las dos anillas en forma concéntrica, alistado el cronómetro o reloj y ubicada la regla graduada (si es el caso), se procede a verter el agua en ambos compartimentos creados por la disposición de las anillas. Como se ha visto en algunas anteriores, al compartimento formado entre ambas anillas se le llamará “zona de amortiguación” y el espacio del centro simplemente será mencionado como “la anilla interna o zona de medición”. En primer lugar se coloca el plástico en la anilla interna, cuidando que no permita filtraciones de agua, y se vierten al menos 20 cm de altura de agua en su interior.

Inmediatamente se vierte agua en la zona de amortiguación, procurando que la altura de agua sea la misma que en la anilla interna. Se debe evitar aplicar el agua directamente al suelo porque existe el riesgo de que el chorro socave su superficie, influyendo así la toma de datos. Para ello se puede echar el agua sobre una parte del plástico o las manos. En último caso, se aplicará directamente al suelo pero repartiendo el chorro en varios lugares de la zona de amortiguación y con suavidad.

Luego se procede a quitar el plástico. Se esperan algunos segundos para que se estabilice el agua y se inician las lecturas (Nivel inicial), ya sea colocando el flotador con su soporte o leyendo directamente en la regla pegada en la parte interna de la anilla.

Las lecturas iniciales se deberán realizar con mayor frecuencia (las primeras cinco lecturas cada minuto), debido a que normalmente al inicio la infiltración del agua es más rápida, para disminuir paulatinamente. Asimismo, el inicio es el momento crítico ya que es cuando se podrían presentar filtraciones por una mala instalación de las anillas. O sea que se debe vigilar esta posible situación. Si fuese así, hay que suspender la prueba, instalar las anillas en otro sitio e iniciar nuevamente.

### **Lecturas**

La lectura es muy simple, pues solamente se anota la altura de agua mientras descende, sea con el flotador o mediante la regla pegada a la pared de la anilla interna, a ciertos intervalos de tiempo definidos previamente. Por lo general, se registran los datos durante aproximadamente cinco horas.

Para la anilla interna se procede de la siguiente manera. Se realiza una última lectura del nivel de agua, anotando el tiempo correspondiente. Luego se vierte el agua, con los mismos cuidados expuestos al describir el llenado de la zona de amortiguación. Así se llega a un nuevo nivel e inmediatamente se procede a realizar la nueva lectura en la cual se considera el nuevo nivel de referencia (nuevo nivel inicial) y se anota en la segunda columna (Nivel de recuperación de agua). A partir de éste, se vuelven a registrar las lecturas en forma regular, anotándose nuevamente en la primera columna (Nivel de agua) y respetando los intervalos programados; esto quiere decir que no es necesario comenzar nuevamente las lecturas con periodos cortos de tiempo.

### **Procesamiento de datos.**



Este trabajo puede ser resumido en los siguientes pasos secuenciales:

Paso 1. Calcular el tiempo acumulado, la lámina infiltrada según cada intervalo de tiempo y la lámina acumulada.

Paso 2. Calcular los coeficientes necesarios para determinar la ecuación de la infiltración acumulada, ya sea por el método de los mínimos cuadrados o mediante una hoja de cálculo.

Paso 3. Definir la ecuación de la velocidad de infiltración instantánea.

Paso 4. Calcular el tiempo en alcanzar la velocidad de infiltración básica y la velocidad de infiltración básica

El objetivo de la prueba de infiltración, considerando fines de riego, es determinar la velocidad de infiltración básica. Esto se debe a que es un dato necesario para calcular y realizar un adecuado diseño para sistemas de riego superficial y riego por aspersión.

Son cálculos bastante sencillos, cuyo objetivo es obtener datos más elaborados para ser utilizados en operaciones más complejas. El cálculo del tiempo acumulado se realiza sumando el intervalo de tiempo de la lectura al valor del tiempo acumulado correspondiente a la anterior lectura. Cuando se trata de la primera lectura, el tiempo acumulado de la anterior lectura es cero. A continuación se calcula la lámina infiltrada para cada intervalo de tiempo. Para ello se debe calcular la diferencia entre cada valor de nivel de agua y el nivel de agua anterior, anotando el resultado en valor absoluto (sin signo negativo). Cuando exista el dato de nivel de recuperación del agua, éste será considerado el nivel de agua anterior.

Para el cálculo de la lámina acumulada, se debe sumar cada valor de lámina infiltrada al valor anterior de lámina acumulada, de forma análoga al cálculo de tiempo acumulado. Una vez más, cuando se trata del primer dato, la lámina acumulada de la anterior lectura es cero. (Fernandes, 1971)

Este método se utiliza para determinar la velocidad de infiltración en suelos en los que se establecerán métodos de riego, tales como acequias en contorno, bordes, tazas, aspersión y goteo. Según Gurovich, los materiales necesarios para la ejecución adecuada de éste, son:

- a. Cilindro metálico de acero, y un diámetro no inferior a 30 cm y de 0,5cm de grosor.
- b. Martillo (pesado para labores de penetración en el suelo)
- c. Estanque de agua de 10 a 15 litros.

- d. Agua de igual calidad.
- e. Regla milimétrica.
- f. Protector de erosión (plástico, madera en el fondo del cilindro)
- g. Cronómetro o reloj.

El registro de las mediciones, se realiza en base a una tabla con distintas alturas de agua en el cilindro, a intervalos periódicos, de modo de registrar intervalos a los 5, 10, 20, 30, 45, 60 90.... de igual forma su representación gráfica puede apreciarse en el gráfico.

**Tabla 7:** Determinación de la velocidad de infiltración de los suelos

Tiempo (min) (1)	Altura (cm) (2)	Altura (cm) (3)	Diferencial (cm) (4)	Infiltración (mm/hr) (5)
0	18		0	
5	16		2,0	240
10	15,2		0,8	96
20	13,4		1,8	108
30	12,5		0,9	54
45	10,8	18*	1,7	68
60		16,1	1,9	76
90		12,5	3,6	72
Promedio de infiltración				65 mm/h

FUENTE: (Fernandes, 1971)

Para la determinación de la velocidad de infiltración se empleó la siguiente formula:

$$I = \frac{Dhx600}{t}$$

Dónde:

I: Velocidad de infiltración en mm/hr

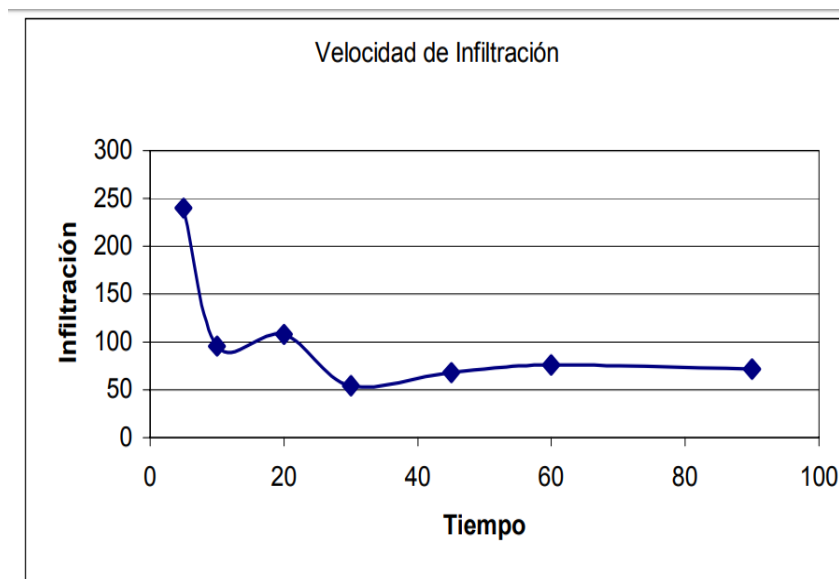
Dh: Diferencial de altura de agua (cm)

t: Diferencial de tiempo (m)

$$I \frac{\text{Diferencial. } H(\text{columna}) \times 600}{\text{Tiempo}(\text{columna})} = I(\text{columna5})$$

En relación con los datos encontrados en cada uno de los ensayos, se optó por el criterio de utilizar el promedio de los tres valores de menor velocidad de infiltración, con el fin de asumir un criterio conservador.

**Gráfico 5:** Velocidad de infiltración.



**FUENTE:** (Fernandes, 1971)

### **Velocidad de infiltración y velocidad de infiltración instantánea**

La velocidad de infiltración puede definirse como la capacidad de admisión de agua de un terreno desde la superficie al interior del mismo. En otros términos, es la relación entre la lámina de agua infiltrada y el tiempo que tarda en infiltrarse esa lámina. Comúnmente suele expresarse en cm/h ó mm/min.

La velocidad de infiltración no es uniforme, tiende a disminuir mientras transcurre el tiempo desde que comienza la aplicación de agua en el suelo cuando ésta es continua. Si se grafican las velocidades registradas en función del tiempo transcurrido, se obtendrá una curva que puede ser adecuadamente descrita mediante el modelo potencial de la ecuación.

Si, a su vez, se grafica este modelo potencial, se obtendrá la curva representativa de la velocidad de infiltración. La velocidad de infiltración instantánea es el valor puntual obtenido en un tiempo determinado, cuando se introduce este último en la curva representativa.

$$I=at^b$$

Dónde:

I = Velocidad de infiltración, expresada en mm/hora, cm/hora, etc.

t = Tiempo de oportunidad (tiempo de contacto del agua con el suelo) expresado en minutos u horas

a = Coeficiente que representa la velocidad de infiltración para el intervalo inicial de tiempo

b = Exponente adimensional que varía de acuerdo a las características del suelo entre 0 y -1

3 Medición de la infiltración del agua en el suelo. Método de la doble anilla

Este modelo fue propuesto por (Kostiakov, 1932).

Es evidente que existen otros modelos desarrollados para representar la infiltración en el suelo, sin embargo, la ecuación de infiltración empírica propuesto por Kostiakov ha resultado muy útil y práctica para aplicación con fines de riego. Los límites para los cuales se considera que esta ecuación reporta valores confiables oscilan entre 25 y 125 mm de infiltración acumulada, que es un rango que coincide razonablemente con los valores manejados en riego, sobre todo por superficie.

## 8. PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS:

Hay diferencia espacial en la conductividad hidráulica de los suelos del campus CEASA lote N° 14.

### 8.1 Operacionalización de Variables

**Tabla 8:** Operacionalización de variables.

Hipótesis	Variables	Indicadores
Dinámica espacial de la conductividad hídrica en el campus CEASA Lote N° 14	<b>Independiente</b>	Textura Estructura pendiente
	Características del suelo	
	<b>Dependiente</b>	Conductividad hidráulica puntual y modelada
	Dinámica espacial de la conductividad hídrica	

Elaborado por: Autora, 2018

## 9. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL:

### 9.1. Sitio de estudio.

Para el levantamiento de información de los puntos de muestreo, se escogió el lote número 14, debido que está destinado a la agricultura, siendo de gran importancia identificar la conductividad hídrica y su dinámica en distintas franjas. El proyecto de investigación se encuentra ubicado:

**Provincia:** Cotopaxi

**Cantón:** Latacunga

**Parroquia:** Eloy Alfaro

**Barrio:** Salache

**Lote:** N° 14 (Área 12420 m<sup>2</sup>)

**Tabla 9:** Coordenadas UTM del área del proyecto.

PUNTOS	COORDENADAS X	COORDENADAS Y	ALTITUD
P 1	764435	9889449	2753 (msnm)
P 2	764425	9889538	2749 (msnm)
P 3	764363	9889546	2734 (msnm)
P 4	764249	9889509	2736 (msnm)
P 5	764312	9889471	2745 (msnm)

**Elaborado por:** Autora, 2018

**Gráfico 6:** Vista aérea del Lote N° 14 CEASA.

**Elaborado por:** Autora, 2018 **FUENTE:** Google Earth

### 9.3. TIPOS DE INVESTIGACIÓN

#### 9.3.1. Investigación de campo:

Se generara mapeo y la toma de datos de infiltración en el sitio de estudio.

#### 9.3.2. Investigación bibliográfica

Se aplicara Investigación bibliográfica sobre infiltración en tipos de suelo.

#### 9.3.3. Investigación Descriptiva

Se aplicara para determinar textura y estructura del suelo.

### 9.4. MÉTODOS

#### 9.4.1. Método cuantitativo.

Se aplicara este método para determinar los volúmenes de agua infiltrada en el suelo.

#### **9.4.2. Método Analítico.**

Se analizaran y se determinaran cuál es su situación actual de la conductividad hídrica.

### **9.5. TÉCNICAS**

#### **9.5.1. Observación Directa**

Permitió identificar el lugar de estudio, la mejor ubicación de los puntos de muestreo delimitando el área y sus características cualitativas.

### **9.6. METODOLOGÍA PARA LAS ACTIVIDADES.**

#### **9.6.1. Generación de un modelo de muestreo espacial para la conductividad hidráulica.**

La generación de la aplicación se realizó en el software Google Earth Pro versión 2017 para la toma de datos.

#### **9.6.2. Ubicación en campo de los puntos de muestreo.**

Se identificaron el sitio mediante la utilización de GPS. Sin embargo se utilizaron instrumentos tecnológicos de aplicación, mediante se tomaron puntos referenciales en el lugar. Los puntos fueron cogidos aleatoriamente el sitio de estudio.

**Gráfico 7:** Identificación de puntos de muestreo.



**Elaborado por:** Autora, 2018

#### **9.6.3. Determinación la conductividad hidráulica por punto.**

**Método de las anillas**

**Instalación de las anillas (2 cilindros)**

Las anillas se hincan en forma concéntrica de ahí que se conoce también como el método de las anillas concéntricas, asegurándose que se introduzcan por lo menos 10 cm de profundidad. Esto determinará el éxito de la prueba, pues sino se realiza un adecuado hincado el agua podría filtrar, lo cual significaría repetir la instalación e iniciar nuevamente la prueba (Paloni, 1971).

**Gráfico 8:** Instalación de las anillas



**Elaborado por:** Autora, 2018

De la misma manera, se debe controlar el nivel de las anillas (horizontalidad de los bordes superiores) sobre todo de la anilla interna, que es donde se realizarán las lecturas, y especialmente si se va a utilizar un flotador con un soporte, para cuya lectura se requiere nivel cero. En caso de utilizar una regla graduada pegada en la pared del cilindro, el nivel horizontal cero es deseable aunque no es imprescindible.

**Gráfico 9:** Control de nivel de las anillas.



**Elaborado por:** Autora, 2018

### **Vertido de agua**

Una vez instaladas las dos anillas en forma concéntrica, alistado el cronómetro o reloj y ubicada la regla graduada (si es el caso), se procede a verter el agua en ambos compartimentos creados por la disposición de las anillas.

### **Medición de la infiltración del agua en el suelo**

Método de la doble anilla anterior, al compartimento formado entre ambas anillas se le llamará “zona de amortiguación” y el espacio del centro simplemente será mencionado como



“la anilla interna o zona de medición”. En primer lugar se coloca el plástico en la anilla interna, cuidando que no permita filtraciones de agua, y se vierten al menos 20 cm de altura de agua en su interior.

**Gráfico 10:** Vertido de aguas.



**Elaborado por:** Autora, 2018

La lectura es muy simple, pues solamente se anota la altura de agua mientras desciende, sea con el flotador o mediante la regla pegada a la pared de la anilla interna, a ciertos intervalos de tiempo definidos previamente. Por lo general, se registran los datos durante aproximadamente dos horas. Posteriormente los datos tomados en campo deben ser llenados en una tabla con la que se muestra a continuación.

**Gráfico 11:** Hoja de toma de datos.

TIEMPO LECTURAS (min)	LECTURA DE LA ESCALA	
	Nivel del agua (cm)	Nivel de recuperación del agua (cm)
1		
1		
1		
1		
1		
5		
5		
10		
10		
15		
15		
30		
30		
60		
60		
120		
120		

**Elaborado por:** Autora, 2018

#### **9.6.4. Modelamiento de la distribución espacial de la conductividad hidráulica.**

Con los datos georreferenciados de conductividad hidráulica se aplicó el modelo geoestadísticos kriging ordinario.

Crea los variogramas y las funciones de covarianza para calcular los valores de dependencia estadística (denominada autocorrelación espacial).

## 10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

### 10.1. Generación de un modelo de muestreo espacial para conductividad hidráulica.

#### 10.1.1. Identificación de puntos de muestreo.

El levantamiento de información se realizó en Salache CEASA (U.T.C) lote N° 14 se determinaron los puntos de muestreo, mediante la utilización de GPS. Sin embargo se utilizaron instrumentos tecnológicos de aplicación, mediante la cual tomara puntos referenciales en el lugar donde se realizó el estudio (Tabla 10)

**Tabla 10:** Puntos de muestreo

Puntos	X	Y	Z
M01	764264.00	9889505.37	2757
M02	764274.00	9889486.00	2749
M03	764283.00	9889504.00	2748
M04	764293.00	9889483.00	2747
M05	764299.00	9889519.00	2746
M06	764313.00	9889490.00	2744
M07	764310.00	9889510.00	2744
M08	764322.00	9889505.00	2743
M09	764328.00	9889520.00	2743
M10	764332.00	9889491.00	2742
M11	764340.00	9889517.00	2742
M12	764344.00	9889492.00	2741
M13	764357.00	9889533.00	2741
M14	764361.00	9889508.00	2740
M15	764363.00	9889489.00	2739
M16	764378.00	9889519.00	2738
M17	764381.00	9889499.00	2738
M18	764385.00	9889483.00	2737
M19	764398.00	9889524.00	2737
M20	764397.00	9889506.00	2736
M21	764403.00	9889486.00	2735
M22	764426.00	9889473.00	2734
M23	764422.00	9889494.00	2735
M24	764420.00	9889520.00	2736

Elaborado por: Autora, 2018

La tabla muestra las 24 unidades de muestreo en coordenadas UTM (Norte, Este y altura) que se encuentran distribuidas aleatoriamente en el lugar de estudio.

### 10.1.2. Ubicación en campo de los puntos de muestreo.

El modelamiento espacial se realizó mediante un software Google Earth Pro versión 2017, permitiendo ubicar puntos para toma de datos de infiltración en el sitio de estudio (Gráfico 12)

**Gráfico 12:** Modelo espacial de muestreo.



**Elaborado por:** Autora, 2018

El gráfico muestra los 24 puntos de muestreo, claramente definidos de acuerdo al área del terreno y distribuidos de acuerdo a las especificaciones de la investigación.

## 10.2. Aplicar un algoritmo para el modelamiento de la distribución espacial de la conductividad hidráulica.

### 10.2.1. Aplicación del algoritmo para el modelamiento de la conductividad hidráulica.

Para calcular la conductividad hidráulica del suelo en condiciones de saturación a partir, Excel. El método consiste en la inclusión de una línea de tendencia en base a la curva formada por los datos de campo.

El cálculo de infiltración acumulada se realiza sumando el intervalo de tiempo de la lectura al valor del tiempo acumulado correspondiente a la anterior lectura. Cuando se trata de la

primera lectura, el tiempo acumulado de la anterior lectura es cero. A continuación se calcula la lámina infiltrada para cada intervalo de tiempo. Para ello se debe calcular la diferencia entre cada valor de nivel de agua y el nivel de agua anterior, anotando (Fernandes, 1971).

$$IA = \sum IA_{ant} + AI * 10$$

IA = Infiltración acumulada

IA ant = infiltración acumulada anterior

IA = altura infiltrada

10 = cm-mm

Calculo de infiltración básica IB, se realiza tomado en cuenta las ultimas cantidades cuando, la diferencia entre dos valores no varía del 10%, se considera los últimos valores de saturación y se obtiene el promedio el resultado tomo el nombre de infiltración básica, se puede aplicar el método de trazado de dos líneas en la curva de acuerdo a la pendiente en donde, se forma la línea horizontal (Fernandes, 1971)

$$IB = \sum V_{min} / \# V_{min}$$

IB = infiltración básica

$\sum V_{min}$  = valores mínimos

$\# V_{min}$  = número de valores

El cálculo de la velocidad de infiltración se realiza mediante la altura infiltrada en cm dividido para el tiempo en minutos el resultado multiplicado por 600 (Fernandes, 1971).

$$VI = \frac{AI}{T_{min}} * 600$$

VI= Velocidad de infiltración

AI = altura de infiltración

Tmin = Tiempo de minutos

600 = cambio de cm-mm/min y mm/mim-mm/h.

### 10.2.2. Determinación de la conductividad hidráulica por punto de muestreo.

Los resultados de la velocidad de infiltración, infiltración acumulada e infiltración básica se obtuvieron mediante el método de doble anillo, obteniéndolos siguientes datos en la investigación de campo como se observa en la (Tabla 11)

**Tabla 11:** Ejemplo de un punto de conductividad hídrica Lote N° 14 Punto 17.

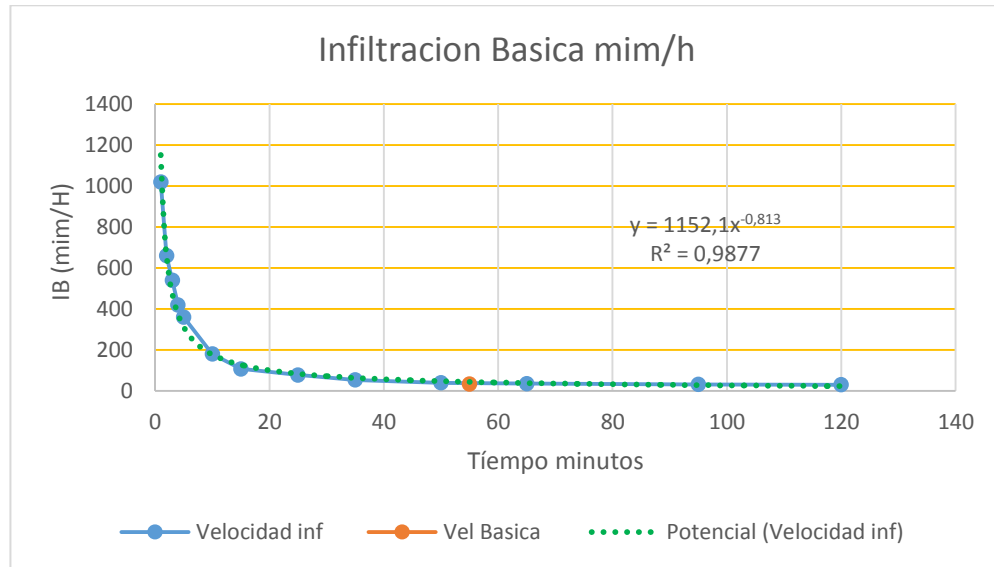
Lectura N°	Tiempo (min)	Lectura (cm)	δ tiempo (min)	Altura infiltrada (cm)	Infiltración acumulada (cm)	Infiltración acumulada (mm)	Velocidad infiltración (mm/h)
1	0	22					
2	1	20,3	1	1,7	1,7	170,0	1020
3	2	19,2	1	1,1	2,8	280,0	660
4	3	18,3	1	0,9	3,7	370,0	540
5	4	17,6	1	0,7	4,4	440,0	420
6	5	17	1	0,6	5,0	500,0	360
7	10	15,5	5	1,5	6,5	650,0	180
8	15	14,6	5	0,9	7,4	740,0	108
9	25	13,3	10	1,3	8,7	870,0	78
10	35	12,4	10	0,9	9,6	960,0	54
11	50	11,4	15	1,0	10,6	1060,0	40
12	65	10,5	15	0,9	11,5	1150,0	36
13	95	8,9	30	1,6	13,1	1310,0	32
14	120	7,9	20	1,0	14,1	1410,0	30
promedio							273,692
infiltración básica							34

**Elaborado por:** Autora, 2018

La tabla muestra los datos obtenidos en campo como, la lectura del tiempo en minutos, altura infiltrada centímetros y el número de lecturas tomadas, y los resultados obtenidos como velocidad de infiltración, infiltración acumulada y la infiltración básica.

La velocidad de infiltración básica permitió saber cuánta lámina de agua se infiltró en el suelo hasta llegar a saturarse, corresponde a la velocidad de infiltración instantánea en el momento en que la variación o incremento entre 2 valores continuos es igual o menor a 10%. (Gráfico 13)

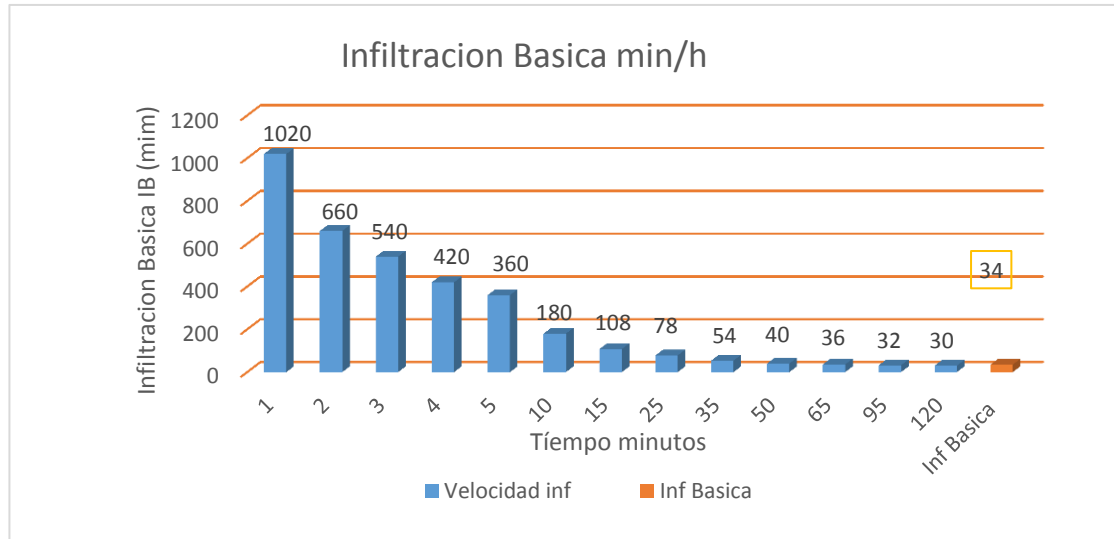
**Gráfico 13:** Velocidad de infiltración básica Lote N° 14 Punto 17.



**Elaborado por:** Autora, 2018

La gráfica muestra como la curva va descendiendo hasta mantenerse de forma horizontal llegando a no existir infiltración de forma vertical, demostrando la infiltración básica.

**Gráfico 14:** Velocidad de infiltración básica Lote N° 14 Punto 17.

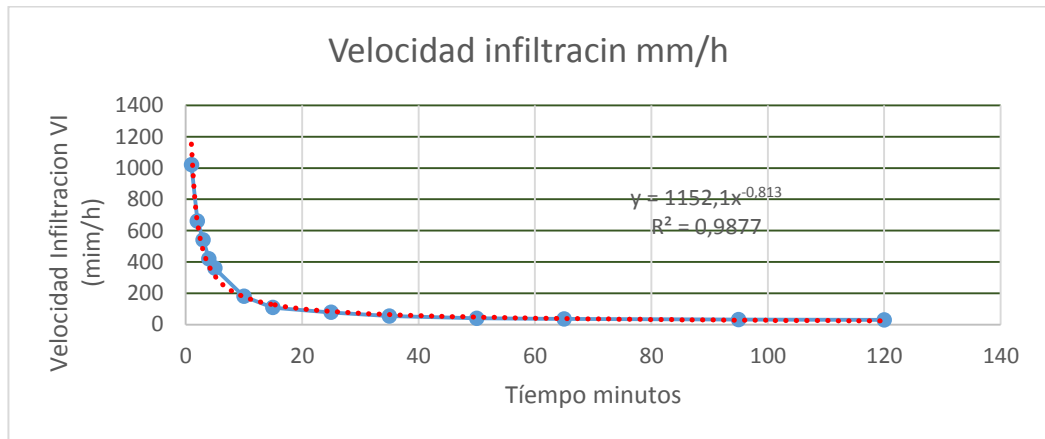


**Elaborado por:** Autora, 2018

El gráfico 14 muestra que la velocidad de infiltración básica es a los 34,5 milímetros metros por hora, identificando que a lo largo de la gráfico. Cuando la tasa de infiltración llega a ser constante, las cantidades no varían o se encuentra en el parámetro de variación que es de un 10%, la velocidad de infiltración básica es igual a la conductividad hídrica saturada sin que exista filtración estrictamente vertical (Coello Granda, 2005).

La velocidad de infiltración permite identificar la velocidad, con la cual en agua infiltra en el suelo, si se encuentra seco la infiltración será mayor de acuerdo pasa el tiempo la velocidad disminuirá, se la expresa en medidas de espacio sobre tiempo, generalmente milímetros por hora (Gráfico 15)

**Gráfico 15:** Velocidad de infiltración Lote N° 14 Promedio.

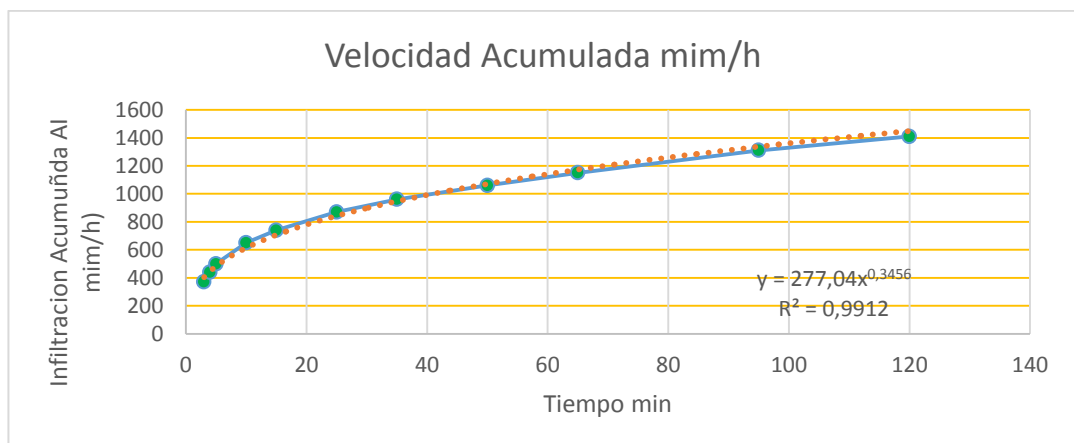


**Elaborado por:** Autora, 2018

La curva muestra que existe una velocidad de infiltración de 1020 mm/h cuando el suelo se encuentra seco, conforme se va humedeciendo y pasando el tiempo la velocidad disminuye paulatinamente. A 30 mm/h, encontrándose en los parámetros de un suelo franco arenoso de acuerdo (Coello Granda, 2005)

La infiltración acumulada está íntimamente relacionada con la velocidad de infiltración (VI) que presenta el suelo, ya que a mayor velocidad de infiltración mayor infiltración acumulada (Gráfico 16)

**Gráfico 16:** Infiltración acumulada Lote N° 14 Promedio.

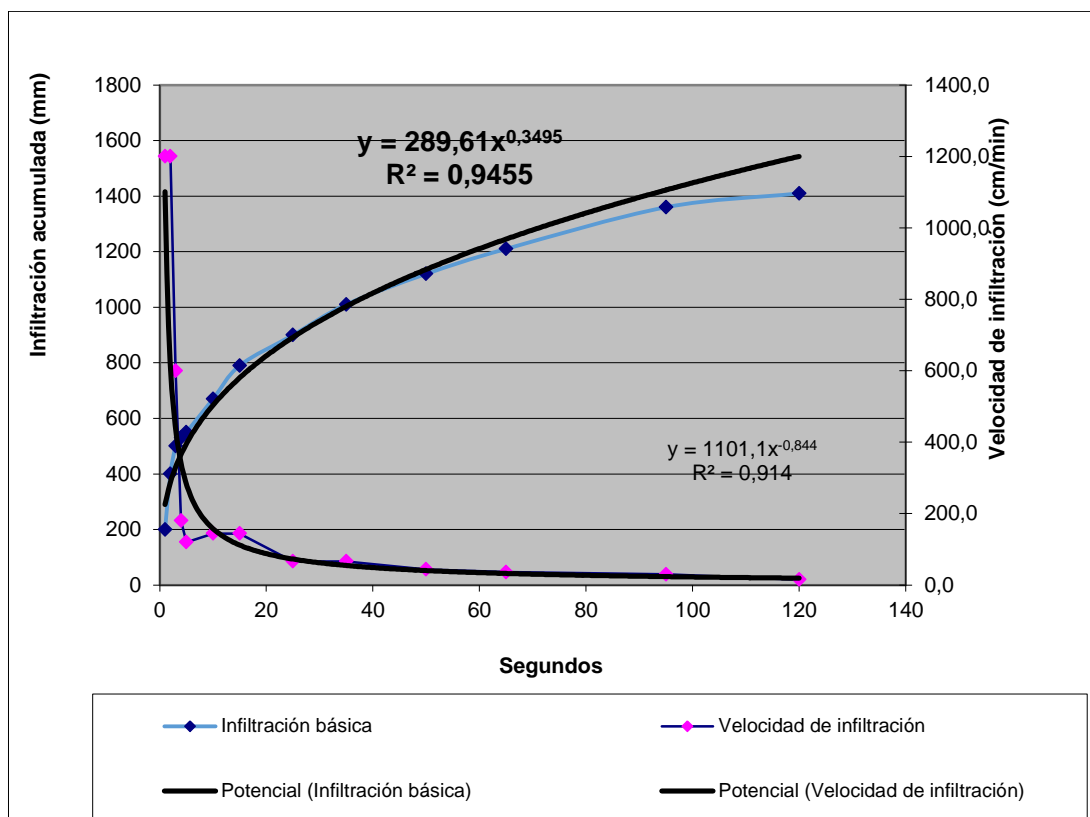


**Elaborado por:** Autora, 2018

El gráfico 16 muestra que en un periodo de tiempo de dos horas, se acumularon 1041 milímetros cantidad total de agua que entra al suelo en función del tiempo. (Gurovich L. A., 1985).

La velocidad de infiltración e infiltración acumulada existe una estrecha relación debida que dependerá mucho de la velocidad que el agua se infiltre en el suelo en un determinado tiempo, para que exista una mayor cantidad de infiltración acumulada (Gráfico 17).

**Gráfico 17:** Velocidad de Infiltración e Infiltración Acumulada Lote N° 14 Promedio.

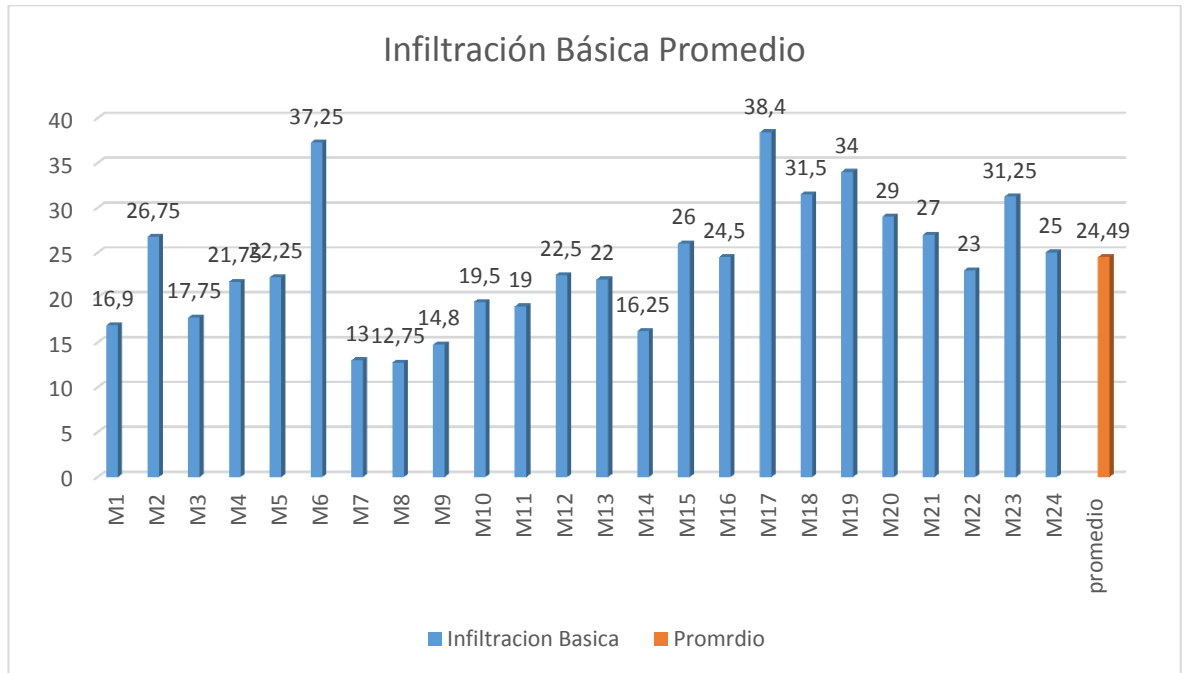


**Elaborado por:** Autora, 2018

La gráfica muestra las dos curvas tanto la velocidad de infiltración que alcanza una velocidad de 1020 mm/h obteniendo también una velocidad mínima de 30 mm/h de infiltración por otro lado también muestra la infiltración acumulada de 1041 mm/h.

Infiltración básica promedio de los 24 puntos de muestreo, los cuales fueron obtenidos aleatoria mente en el terreno, muestran una variación significativa obteniendo puntos altos y bajo (Gráfico 18).



**Gráfico 18:** Infiltración básica Lote N° 14 Promedio.

**Elaborado por:** Autora, 2018

Mediante la gráfica se puede identificar que el área de estudio presenta puntos altos de infiltración básica (conductividad hídrica) como de 38,4 y 37,2 y puntos bajos como 12,7 y 12,2 (mm/h). Dando un promedio de 24,49 mm/h a este tipo de infiltración básica de acuerdo a los datos obtenidos se los clasifica, como una infiltración media moderada con un tipo de suelo franco arenoso (13-76 mm/h) (Coello, 2005.) Los suelos con baja infiltración pueden ocasionar escorrentía e inundaciones y pueden llegar a saturarse durante las lluvias, lo cual disminuye la resistencia del suelo y aumenta la erosión potencial. También puede causar deficiencias de nutrientes en plantas y generar condiciones anaeróbicas.

La diferencia significativa que existe en los puntos de muestreo es debido. A que el momento que se realizó el trabajo de campo, se pudo evidenciar la mala distribución del sistema de riego, el micro clima que genera las barreras vivas del lugar y la variación de la textura del suelo.

La textura del suelo, la pendiente del lugar y el tipo de vegetación son factores que pueden variar directamente en la cantidad de infiltración básica en un determinado lugar (Coras Merino 2000)

El valor promedio para el lote 15 de estudio de la conductividad hídrica es de 24,49 mm/h.

El autor (Selker et al. 1999), manifiesta que el valor de la infiltración básica viene a ser lo mismo que la conductividad hídrica saturada en campo.

### 10.3. Desarrollar isolíneas de conductividad hidráulica modelada para el campus CEASA Lote N° 14.

#### 10.3.1. Modelamiento de la distribución espacial de la conductividad hidráulica.

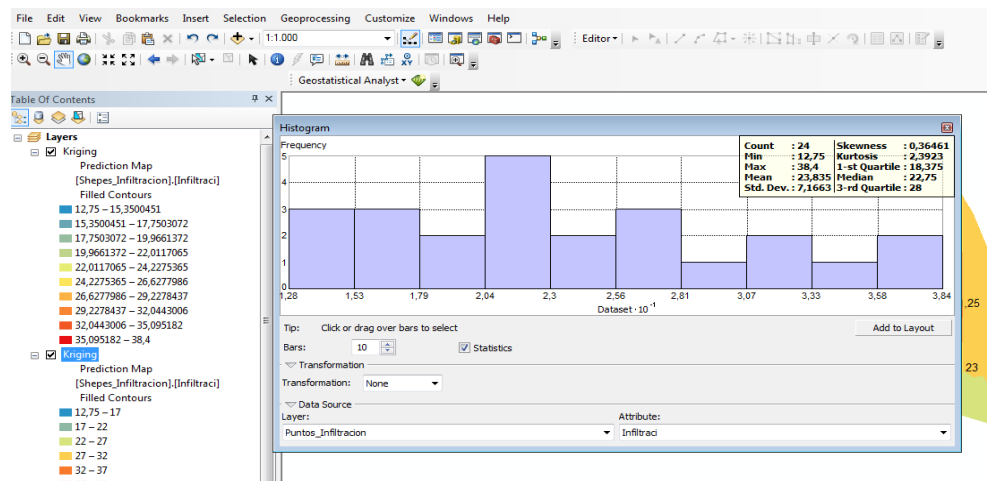
Con los datos georreferenciados de conductividad hidráulica se aplicó el modelo geoestadístico kriging ordinario

Crea los variogramas y las funciones de covarianza para calcular los valores de dependencia estadística (denominada autocorrelación espacial).

#### Histograma

Exploración de datos para poder mirar el histograma, cuando los datos no siguen una tendencia normal se aplica la transformación logarítmica en la cual miraremos el resultado estadístico.

Gráfico 19: Histograma.

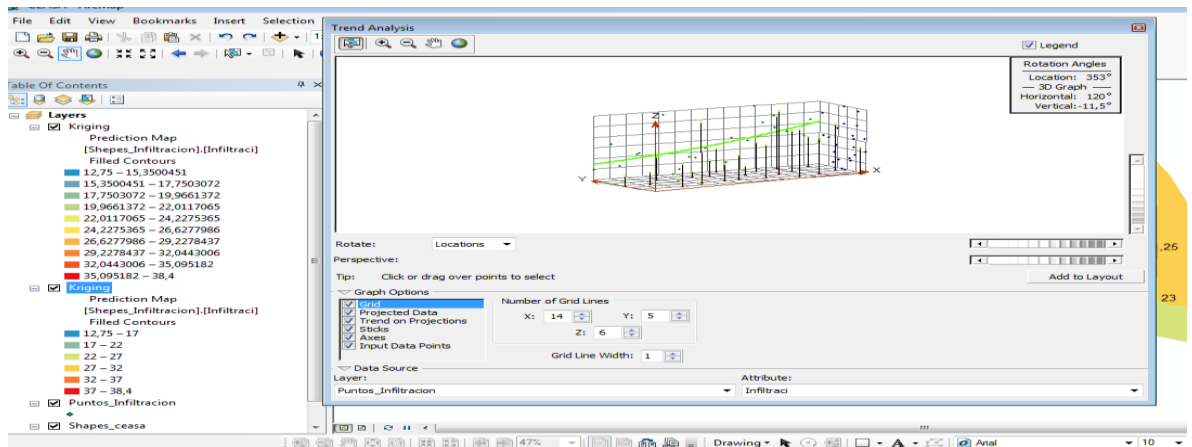


Elaborado por: Autora, 2018 FUENTE: ArcGIS

#### Análisis de tendencia.

Esta herramienta. Es para mirar la tendencia que siguen los datos, con el cual se puede observar las líneas verde y azul formen una parábola, por lo tanto la tendencia que siguen es de segundo orden, tener en cuenta el momento de hacer el modelado. Se puede observar la localización Horizontal, Vertical.

Gráfico 20: Análisis de tendencia

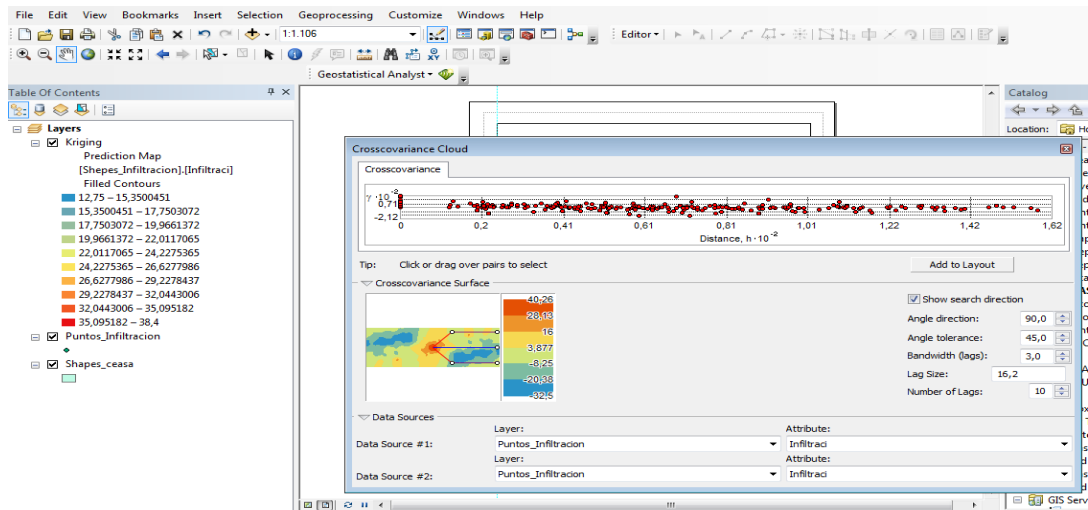


Elaborado por: Autora, 2018 FUENTE: ArcGIS

### Nube de covariancia/semivariograma.

En este paso el programa ayuda a ver la distribución espacial de los datos, especialmente la relación de cercanía o lejanía que tiene todos los pares de datos. Además se puede analizar la dirección predominante que podría poner los datos (Angulo)

Gráfico 21: Nube de covariancia/semivariograma.

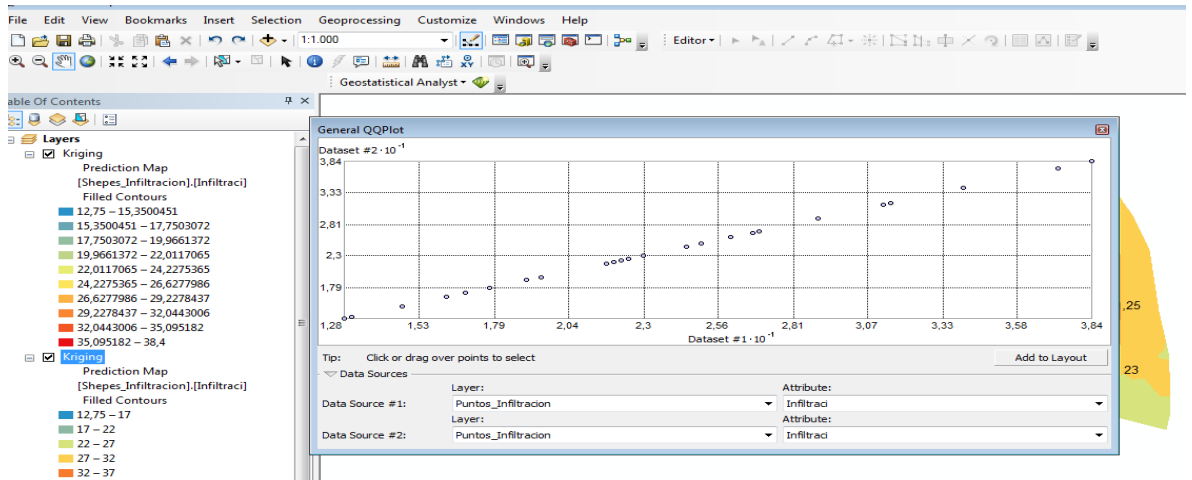


Elaborado por: Autora, 2018 FUENTE: ArcGIS

### Gráfico Q-Q Normal

Otra de las herramientas que permiten evaluar los datos se encuentra normalmente distribuida en el gráfico Cuantil –Cuantil Normal. En este gráfico se puede visualizar la distribución de los datos sobre una línea recta, si los registros se acercan a la misma se puede decir que existe una distribución normal.

Gráfico 22: Q-Q Normal

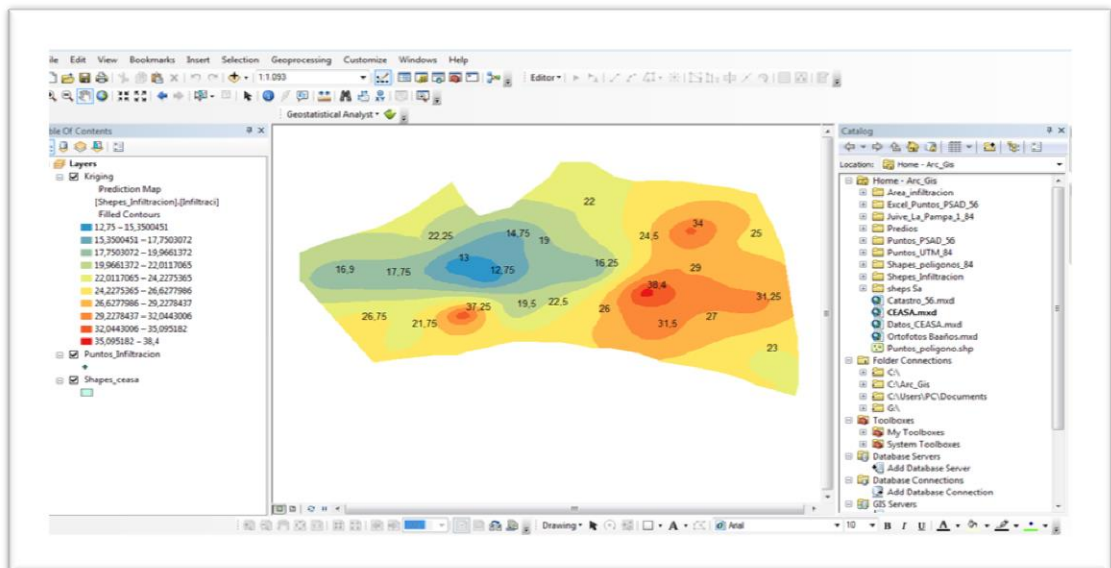


Elaborado por: Autora, 2018 FUENTE: ArcGIS

### Herramienta Geostatistical Wizard: Kriging/ CoKriging

En el programa ArcGis 10.2.2. Para realizar Kriging nos dirigimos a Geostatistical methods, Kriging Cokrigin, en el cual obtendremos el mapa con diferentes características para diferenciar la clasificación de los puntos en cada color.

Gráfico 23: Geoestatistical Wizard: Kriging/ CoKrigin.



Elaborado por: Autora, 2018 FUENTE: ArcGIS

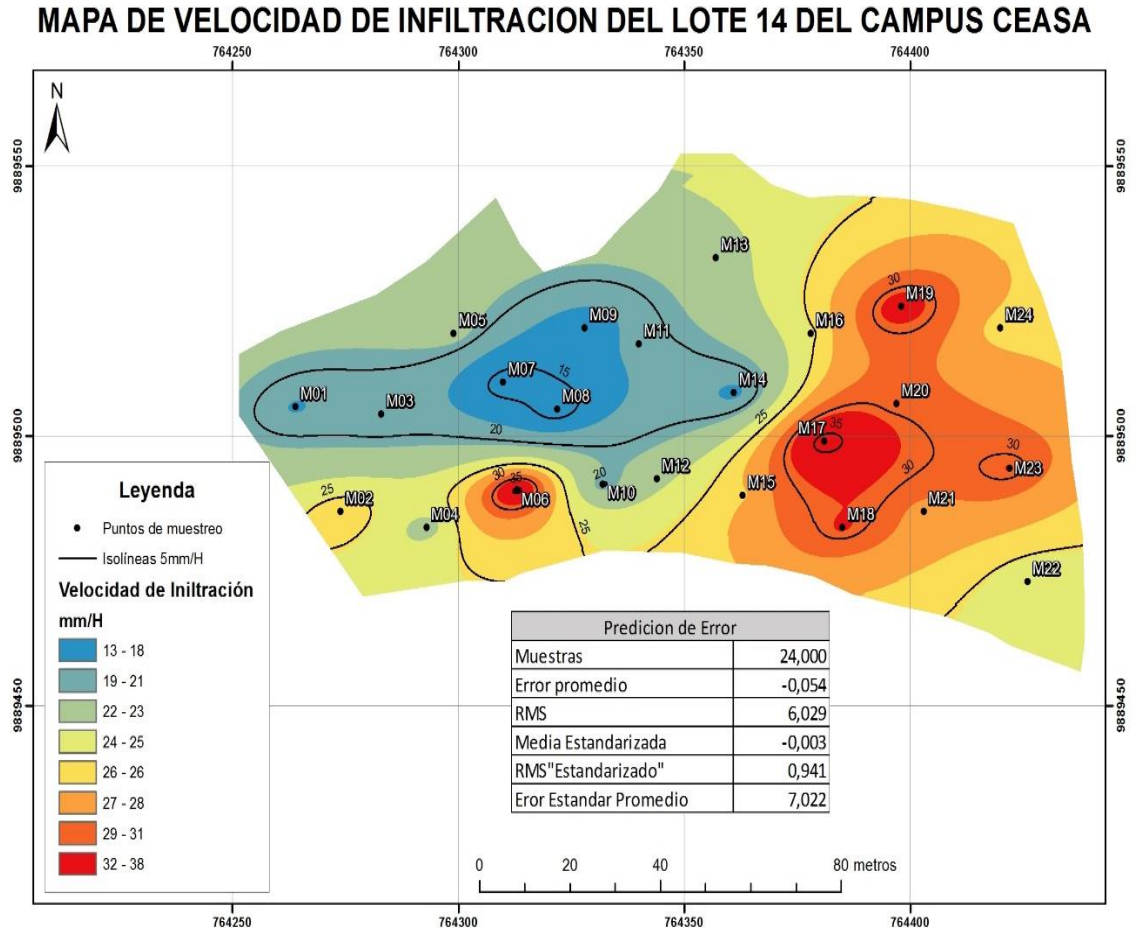
### 10.3.2. Desarrollo de isolíneas de conductividad hidráulica.

Se graficaron los resultados del modelo geoestadístico en ArcGIS versión 10.2.2. En la cual se obtiene los datos y resultados.

### 10.3.3. Construcción de isolíneas.

Determinado los valores de la conductividad hídrica de cada uno de los puntos de muestreo se realizó un mapa de isolíneas de conductividad hídrica (Gráfico 24).

**Gráfico 24:** Isolíneas de conductividad hídrica Lote N° 17.



**Elaborado por:** Autora, 2018 **FUENTE:** ArcGIS

Las isolíneas muestran de una manera gráfica la conductividad hídrica, se observa que en la zona noreste existe una conductividad entre 12-22 mm/h (color azul) menor infiltración y en la zona sur y noroeste una conductividad de 22-39 mm/h (color rojo) mayor infiltración. La superposición del mapa de conductividad hídrica, permite comprobar que en la zona noreste corresponde a suelos de textura franco arcilloso, cambiando a franco arenoso en la zona sur y noroeste.

## **11. IMPACTOS (TÉNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)**

### **11.1. Técnicos.**

- ✚ El desarrollo de un modelo espacial permite identificar los puntos de muestreo, para realizar la investigación mediante la técnica de doble amillo, para determinar la conductividad hídrica, mediante parámetros que influyen directamente.
- ✚ Reduce la dependencia de instrumentación convencional a instrumentación y métodos alternativos, fáciles de implementar en el campo y de resultados eficientes.

### **11.2. Sociales.**

Impartir a la sociedad información, de causas que afectan al desarrollo de los cultivos locales y promover a utilizar información para el mejoramiento de la manejo de suelos con relación a la conductividad hídrica.

### **11.3. Ambientales.**

- ✚ No causa alteración alguna al entorno ambiental, donde se desarrolló la investigación El modelo de isolíneas para determinar la conductividad hídrica permite obtener información para reducir el volumen y la velocidad de la escorrentía, y contrarrestar impactos como disminución de la cobertura vegetal, disminución de la fertilidad del suelo, retención de humedad, reducción de la erosión hidráulica, reduce la calidad del suelo.

### **11.4. Económicos.**

- ✚ Disminución del consumo de agua, generando información para una adecuada distribución de riego con ello aumento de la productividad y minimizando costos.
- ✚ Incremento de producción con bajo costo manteniendo los nutrientes del suelo que muchas base se pierden por escorrentía al no conocer la conductividad hídrica.

## 12. PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO:

**Tabla 12:** Presupuesto

Recursos	PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO			
	Cantidad	Unidad	V. Unitario	Valor Total
Equipos	1	Computadora	700	850
	1	Impresora	150	
Transporte y salida de campo	25	Viajes para revisión	0.30	7.50
	25	Viajes de la casa hacia la parada	0.35	8.75
Materiales y suministros	100	Horas de internet	0,60	60.00
	100	Hojas de impresión	0.02	8.75
Material Bibliográfico y fotocopias.	1	Libreta de anotación	1.20	1.20
	2	Esfero	0.35	0.70
	100	Hojas impresas	0.10	10.00
Gastos Varios	12	Alimentación	----	30.00
Otros Recursos		Imprevistos		20.00
<b>Sub Total</b>				<b>990.15</b>
<b>10%</b>				<b>99.015</b>
<b>TOTAL</b>				<b>1089.165</b>

Elaborado por: Autora, 2018

## 13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### 13.1. CONCLUSIONES

- ✚ La generación de un modelo de muestreo espacial para conductividad hidráulica, permitió obtener 24 puntos de muestreo claramente definidos y distribuidos en un área de 12420 m<sup>2</sup> ubicados en Salache UTC lote N° 14, lo cual permitió la toma de datos definidos de acuerdo a las técnicas y parámetros de la investigación.
  
- ✚ El área de estudio posee en general una aceptable conductividad hidráulica 24.49mm/h (básica moderada a básica rápida) de acuerdo a la tabla 6 de infiltración (Coras Merino, 2000). Lo que implica un buen drenaje natural; con poca escorrentía, manteniendo a los suelos de lugar en buenas condiciones, conservando el equilibrio de los ecosistemas del lugar.
  
- ✚ El desarrollo de isolíneas de conductividad hidráulica modelada, permitió identificar la variación de conductividad que existe en determinadas zonas del área de estudio, valorar la capacidad de infiltración del suelo y las características de los mismos.
  
- ✚ La textura, la mala distribución del sistema de riego son factores que influyen directamente en la conductividad hídrica y la escorrentía que pueden presentar los suelos de acuerdo a la infiltración.



### 13.2. RECOMENDACIONES.

- ✚ El levantamiento de información se debe realizar con instrumentación debidamente calibrada y la generación del modelo espacial con software con versiones actuales, con la finalidad de obtener imágenes más precisas y actuales del lugar.
  
- ✚ Realizar simulación de datos hasta obtener información con cantidades que no varíen notoriamente. Aplicar métodos para determinar la conductividad hídrica con variables que dependan entre sí. Utilizar cilindros con medición digital para obtener mayor precisión para la toma de datos realizar el muestreo donde el suelo se encuentre lo más homogéneo posible.
  
- ✚ Desarrollar un mapa de isolíneas para determinar la conductividad del suelo con factores que influyen directamente como la textura del suelo, la pendiente y la cobertura vegetal relevante del lugar para obtener resultados más precisos.
  
- ✚ Utilizar dos tipos de métodos que permitan comparar los resultados y la variación que existe entre ellos, para determinar la conductividad hídrica.

## 14. BIBLIOGRAFÍA

- Adetuyi, A. (2004). *Productividad de larvas*. Santiago: Nuevo Amanecer .
- Arroyave, S. (2005). *Experisncia en el uso de la larva de mosca domestica* (Vol. II). Bogota: Adventure Work.
- Asselborn. (2001). *El proceso de infiltración en parcelas agrícolas*.
- Burch, Z. (2013). *Mortalidad en aves en postura*. Dinamarca: WARS -THNRSGDF.
- Cardenas, M. (2003). *Impactos economicos y ambientales* (Vol. 37). Rev.Cubana Cienc Agric.
- Chow. (1994). *Hidrología Aplicada*. Texas: McGraw-Hill.
- Coello Granda, C. (2005). *Análisis de métodos de estimación de la conductividad hidrica*. Cuenca : Universidad De Cuenca .
- Coulombe. (1996). *Coulombe, C. E. (1996)*. .
- Donado. (2004). *Modelo de Conductividad Hidraulica en Suelos. Modelo de Conductividad Hidraulica en Suelos*. Bogota D.C., Colombia.
- EcuRed, A. . (2013). *Avicultura - EcuRed*. Obtenido de Avicultura - EcuRed: <https://www.ecured.cu/Avicultura>
- Fernandes. (1971). *Análisis de la Infiltración y su aplicación para*.
- FUNPROVER. (2014). *[En línea] [Fecha de consulta] 17 de enero*. .
- Gerrero, M. (2007). *USO DE LARVAS ALIMENTADAS CON RESIDUOS ORGANICOS COMO ALIMNETO PARA AVES* (Tercero ed.). Mexico: Unidad Xochimilco,MX.
- Guerreo, A. (2016). *Los insectos como fuente de proteina y otros nutientes*. Cuba: V.Congreso Internacional de Produccion Animal.
- Gurovich. (1985). *Fundamentos y díselo de sistemas de riego*.
- Gurovich, L. A. (1985). *Fundamentos y diseño de sistemas de riego*. Costa Rica : San Jose.
- Harwood, J. (1987). Dominicana: RAP-AL.
- Harwood, R., & James. (1987). *Entomologia medica veterinaria*. Buenos Aires: AG Limusa.
- Hillel. (1998). *Environmental soil physics*. Academic Press. San Diego. 771 p.
- Johnson. (1975). *E. El agua subterránea y los pozos*. New York: Wheelabrator Clean Water Inc.
- Johnson Inc. (1975). *Johnson Inc. El agua subterranea y los pozos*. USA: Johnson screens.
- Juan, I. (3 de JULIO de 2015). *MANEJO DE RESIDUOS EN GRANJAS Y PLANTAS AVICOLAS*. VIII Seminario Internacional Encuentro Científico, pág. 98.
- Keith, J. W. (2004). *Groudwater Hydrology*. En M. L. Keith D., *Groundwater Movement* (pág. 90). USA: Jhon Wiley y Sons, Inc.
- Kostiakov. (1932). *Análisis de la Infiltración y su aplicación*. Costa Rica: Limusa Wiley.
- Lambe, w. (1995). *Mecánica de suelos*. Massachusetts: Instituto Tecnológico de Massachusetts.
- LambeWilliam. (1995). *R. W. Mecánica de suelos*. Massachusetts: Instituto Tecnológico de Massachusetts.
- Laurat, P. (2017). *LA MOSCA DOMESTICA*. ESPAÑA: ES.Lynx.
- Leitón. (1985). *Riego y drenaje. Primera edición*. Editorial UNED. .
- Lon Wo, E. L. (5 de Enero de 2003). *Efecto de los residuales avícolas en el ambiente*. *Impacto económico y ambiental de una alimentación diferenciada para las gallinas ponedoras*.
- Luna, R. A. (2011). *Frecuencia de remoncion de la gallinaza*. Estados Unidos: BLOK URS.
- Magaña, K. (2000). *ETAPAS DE DESCOMPOSICION ANIMAL*. Estados Unidos: URS- NN.

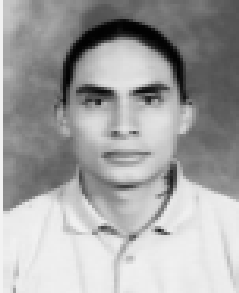
- MasTiposde.com, R. e. (2006). <http://www.mastiposde.com/riego.html>. Obtenido de <http://www.mastiposde.com/riego.html>.
- Oliver, M. A. (1990). *Method of Interpolation for Geographical Information Systems* (Vol. 4). International Journal of Geographic Information Systems .
- Paloni. (1971). *Centro de Investigaciones de Recursos*.
- Pinos J, C. M. (2012). *Contaminacion ambiental que produce las avícolas* (Primero ed.). Inglaterra: utrhes UPS.
- Pinot. (2000). *R, H. Manual de Edafología. Ed. Computec. Chile*.
- Ramos. (2016). *Alternativas a las tradicionales fuentes proteicas* (Vol. III). (B. ther, Trad.) Cuba.
- Ramos, E. (6 de Agosto de 2002). Alimento vivo como Alternativa en la dieta de Larvas. (P. Lichtenstein, Ed.) *Avances en Investigacion en alimento Animal* , 3.
- Ramos, J. (2003). *Insectos como fuente de proteina y sus aplicaciones*. Colombia: Sociedad Colombiana de la Entomologia.
- Regau, R. (1994). *Caliadad de la gallinaza* (Primera ed.). (M. Hanset, Ed.) Cuba: AAPP-GB.
- Reichard, T. (2004). , C. L. *Solo, planta e atmosfera. Conceitos, Processos e Aplicações*. Editora Manole. SP (Brasil). 478 p.
- Reynolds. (2002). *W. D., Elrick, D.E., Youngs, E.G., Amoozegar, A., Booltink, H. W. G., and Bouma, J. Saturated and field-saturated water flow parameters. In: Methods of Soil Analysis, Part 4- Physical Methods, Dane, J.H. & Topp, G.C. (Eds). Soil Science Soc.*
- Rodriguez Seclèn Effio, O. (1999). *Impactos residuales avícolas en el ambiente*. Europa: Instituto del Libro. La Habana, Cuba.
- Rodriguez, M. (2005). *GENERALIDADES DE LA GALLINAZA COMO UNA ALTERNATIVA DE PRODUCCION* (Vol. 32). Aleman: ISSN.
- Rowell. (1994). *Soil Science: Methods and application. Department of Soil Science. University of Reading. Edit. Longman Scientific & Technical. UK. p.*
- Ruiz, G. (2000). *Geología aplicada a la Ingeniería Civil*. Mexico: LIMUSA.
- Sanchez, F. (3 de Septiembre de 2009). Efectos de la producción avícola en el entorno ambiental y social. *entornoAmbiental y SocialIng.*, 54.
- Sander. (1998). *A manual of Field Hydrology*. Prentice-Hall.
- Service, E. (2008). *Service, E.U.A. Soil Conservation. (2008). Drainage Surveys. Washington. .*
- Smith, U. C. (2001). *Efectos residuales avícolas en el ambiente*. Urgel: WURSD CRIANs.
- Talsma, H. (1980). *Hydraulic conductivity measurement of forest catchments. Soil Research, 18(2), 139-148.*
- Tegua, & al., H. e. (12 de Febrero de 2009). <https://insectsrevolution.wordpress.com/2016/05/02/insectos-en-alimentacion-animal-larva-de-mosca-domestica-comun/>. (PUBLISHED, Editor) Recuperado el 14 de Junio de 2018, de <https://insectsrevolution.wordpress.com/2016/05/02/insectos-en-alimentacion-animal-larva-de-mosca-domestica-comun/>.
- Vallejo. (2002). *Ingeniería Geológica. Madrid: PEARSON EDUCACION*.
- Villee, C. (2009). *Biología* (4ta ed.). España: Edit. Mc Graw Hill.
- Zuly. (2010). [http://preservacionsena.blogspot.com/2010/07/propiedades-quimicas-del-suelo\\_28.html](http://preservacionsena.blogspot.com/2010/07/propiedades-quimicas-del-suelo_28.html). Obtenido de [http://preservacionsena.blogspot.com/2010/07/propiedades-quimicas-del-suelo\\_28.html](http://preservacionsena.blogspot.com/2010/07/propiedades-quimicas-del-suelo_28.html).

**15. ANEXOS.****Anexo 1:** Aval de Idioma.

## Anexo 2: Hoja de vida del Tutor.

## JUAN MIGUEL ESPINOSA SOTO

### Especialista en Sistemas de Información Geográfica - SIG



**Información Personal**  
**Fecha de Nacimiento:** 22/10/1981  
**Estado Civil:** Casado  
**Nacionalidad:** Ecuatoriano

**Idiomas:**  
 Español (100%)  
 Portugués (100%)  
 Inglés (80%)

**Contacto**  
**Dirección:**  
 Isla Seymour N44-44 y Río Coca  
 Quito - Ecuador  
**E-mail:**  
 juanmiguelmancos@gmail.com  
 juanmiguel7@yahoo.com  
**Tel. Celular:** 0998178838

**Referencias**  
**Laborales:**  
 Ing. Alejandra Repetto, Directora de Planificación, Ministerio de Educación del Ecuador. (0998300281)  
 Lic. Jenny Arroyo, Coordinadora de Cultura FUCE. (0991700 / 0991901228)  
 Ing. Marco Ayala Delgado, Líder de Proyectos Eléctricos, Consorcio Eshashuñdi S.A. (0983925488)


**Personales:**  
 Ing. Carlos Zuleta 0984637873  
 Mr. Santiago Rubio 0998048501  
 Ph.D. Oscar Pérez 0998604181

**Otros**  
**Reconocimientos:**  
 Contra-Mestre de Caposira  
 Grupo de Caposira KUMIZUMBI


**Aficiones:**  
 Fotografía, Música, Cine, Artes, Deportes

**PERFIL PROFESIONAL**  
 Mi experiencia laboral me ha llevado hacia el mejoramiento de la calidad de la información geográfica que han generado y generan las instituciones del Estado. He puesto énfasis en el uso de nuevas tecnologías, procedimientos estandarizados y constante aprendizaje para cumplir los objetivos propuestos en las instituciones en donde he podido aportar.  
 Mi pasión por la Geografía me ha llevado a tener amplios conocimientos de ciencias de la tierra como la geología, climatología, oceanografía, vulcanología; así como los fenómenos humanos que caracterizan el territorio. En el último año me he dedicado a otra de mis pasiones, la docencia. El contacto con los estudiantes hace que se genere un círculo de aprendizaje continuo, donde las experiencias de los alumnos y los conocimientos del profesor enriquecen los contenidos académicos.


Cartografía




Topología




Teledetección



IDE's



Redes Geom.



**EXPERIENCIA LABORAL**

2017 - 2018	Universidad Técnica de Cotopaxi UTC - Docente de las carreras de Ingeniería en Medio Ambiente y Agronomía
2014 - 2016	Ministerio de Educación del Ecuador - Especialista en Sistemas de Información Geográfica
2014	Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca - Coordinador de Geomática de la Subsecretaría de Tierras
2013 - 2014	Instituto Nacional de Investigaciones Geológico, Minero Metalúrgico - Analista de Información Geográfica
2011 - 2013	Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo - Analista de Información Geográfica
2009 - 2011	Instituto Nacional de Patrimonio Cultural - Geógrafo





**EDUCACIÓN**

2016	Máster en Teledetección - Universidad de Valencia
2010	Ingeniero en Ciencias Geográficas y Desarrollo Sustentable - Pontificia Universidad Católica del Ecuador


**PUBLICACIONES**

2018	CONAGE/SENPLADES - Estándares de Información Geográfica (Coautor)
2018	CONAGE/SENPLADES - Catálogo Nacional de Objetos Geográficos (Coautor)
2011	INPC/MCP - Guías Patrimoniales del Ecuador (Elaboración de Mapas)

**PROGRAMAS (SOFTWARE)**

ArcGIS	
ENVI	
Q-GIS	
gvSIG	

**Anexo 3:** Hoja de vida Autora.**CURRÍCULUM VITAE****DATOS PERSONALES:**

<b>APELLIDOS</b>	:	Curay Changoluisa	
<b>NOMBRES</b>	:	Jimena Verónica	
<b>CEDULA DE IDENTIDAD</b>	:	050327777-4	
<b>NACIONALIDAD</b>	:	Ecuatoriano	
<b>LUGAR DE NACIMIENTO</b>	:	Cotopaxi – Salcedo	
<b>FECHA DE NACIMIENTO</b>	:	27 Enero de 1991	
<b>EDAD</b>	:	27 años	
<b>ESTADO CIVIL</b>	:	Soltera	
<b>DIRECCION DOMICILIARIA</b>	:	Cusubamba– Cobos Grande	
<b>TELEFONO</b>	:	0995558959	
<b>E-MAIL</b>	:	<a href="mailto:Jimena_curay@hotmail.com">Jimena_curay@hotmail.com</a>	

**ESTUDIOS REALIZADOS:****PRIMARIA:***Escuela Fiscal “Mercedes Cobos de Holguín”***SECUNDARIA:***Instituto Superior Nacional “José Peralta”***Especialidad:** *“Químico Biólogo”***CURSANDO ESTUDIO SUPERIOR:***“Universidad Técnica de Cotopaxi”***Carrera:** *“Ingeniería en Medio Ambiente”***IDIOMAS:****Inglés:** *Básico***CURSOS REALIZADOS:**

- ✓ **Certificado:** *EVALUCION DE IMPACTO AMBIENTAL*
- ✓ **Certificado:** *CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL, FORESTAL*

**REFERENCIAS PERSONALES:**

Sr Pablo Curay Changoluisa  
Sra. Evelina Curay Taipe

Cel. 0997799997  
Cel. 0987048143

**Anexo 4:** Tabla de puntos de muestreo

Puntos	X	Y	Z
M01	764264.00	9889505.37	2757
M02	764274.00	9889486.00	2749
M03	764283.00	9889504.00	2748
M04	764293.00	9889483.00	2747
M05	764299.00	9889519.00	2746
M06	764313.00	9889490.00	2744
M07	764310.00	9889510.00	2744
M08	764322.00	9889505.00	2743
M09	764328.00	9889520.00	2743
M10	764332.00	9889491.00	2742
M11	764340.00	9889517.00	2742
M12	764344.00	9889492.00	2741
M13	764357.00	9889533.00	2741
M14	764361.00	9889508.00	2740
M15	764363.00	9889489.00	2739
M16	764378.00	9889519.00	2738
M17	764381.00	9889499.00	2738
M18	764385.00	9889483.00	2737
M19	764398.00	9889524.00	2737
M20	764397.00	9889506.00	2736
M21	764403.00	9889486.00	2735
M22	764426.00	9889473.00	2734
M23	764422.00	9889494.00	2735
M24	764420.00	9889520.00	2736

**Anexo 5: Pasos del Muestreo.**

Localización del sitio de muestreo



Limpieza del lugar de la prueba



Nivelación de anillos



Hincado del cilindro



Anillas instaladas



cubrimiento del anillo interno



Vertido de agua



Toma de datos



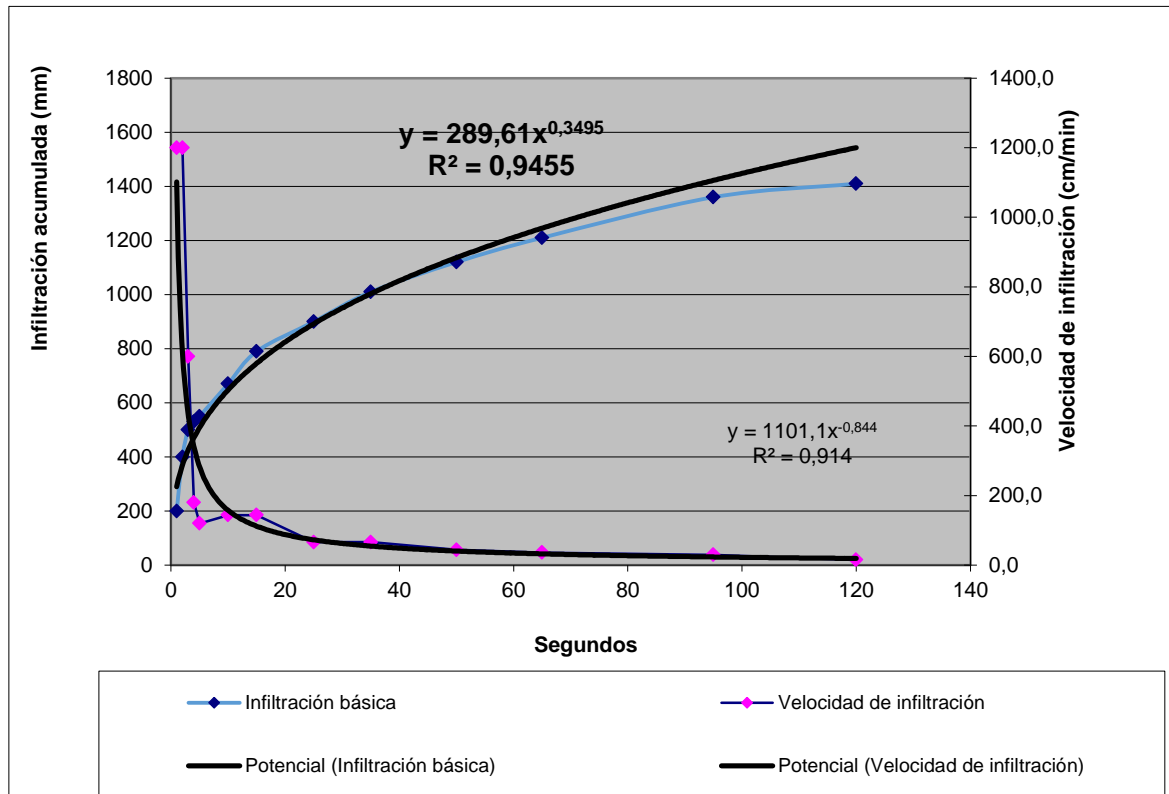


**Anexo 6:** Tabla de Datos.

	C	D	E	F	G	H
2	Lectura	$\delta$ tiempo	infiltrada	acumulada	acumulada	infiltración
3	(cm)	(min)	(cm)	(cm)	(mm)	(mm/h)
4	22					
5	20,3	1	1,7	1,7	170,0	1020
6	19,2	1	1,1	2,8	280,0	660
7	18,3	1	0,9	3,7	370,0	540
8	17,6	1	0,7	4,4	440,0	420
9	17	1	0,6	5,0	500,0	360
10	15,5	5	1,5	6,5	650,0	180
11	14,6	5	0,9	7,4	740,0	108
12	13,3	10	1,3	8,7	870,0	78
13	12,4	10	0,9	9,6	960,0	54
14	11,4	15	1,0	10,6	1060,0	40
15	10,5	15	0,9	11,5	1150,0	36
16	8,9	30	1,6	13,1	1310,0	32
17	7,9	20	1,0	14,1	1410,0	30
18	promedio					273,692
19	infiltracion basica					38,4
20						

**Anexo 7: Gráficos de resultados.**

Velocidad de infiltración y velocidad acumulada.



Mapa de velocidad de infiltración básica Lote 14.

