



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**EVALUACIÓN DE LA FERTILIZACIÓN Y EL RIEGO EN LA  
LIXIVIACIÓN DE NITRATOS EN SUELOS AGRÍCOLAS DEL  
CANTÓN PÍLLARO**

**Trabajo de Titulación**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para obtener al grado académico de:

**INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTOR: DANNY MARCELO VASCO CHILUIZA**

**DIRECTOR: Ing. JUAN CARLOS GONZÁLEZ GARCÍA, Ph.D.**

Riobamba – Ecuador

2022

**©2022, Danny Marcelo Vasco Chiliza**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, DANNY MARCELO VASCO CHILUIZA, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 03 de agosto de 2022

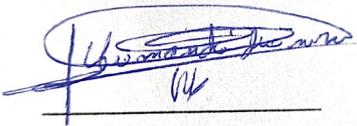


**Danny Marcelo Vasco Chiluiza**

**180526903-0**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; Tipo: Proyecto de Investigación, **EVALUACIÓN DE LA FERTILIZACIÓN Y EL RIEGO EN LA LIXIVIACIÓN DE NITRATOS EN SUELOS AGRÍCOLAS DEL CANTÓN PÍLLARO**, realizado por el señor: **DANNY MARCELO VASCO CHILUIZA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Carlos Rolando Rosero Erazo, MSc. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2022-08-03
Ing. Juan Carlos González García, PhD. <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>		2022-08-03
Dra. Lourdes Cumandá Carrera Beltrán, MSc. <b>MIEMBRO DE TRIBUNAL</b>		2022-08-03

## **DEDICATORIA**

Me complace dedicar el presente trabajo de titulación primero a Dios por ser mi guía y fortaleza durante mi vida. A mis padres, Marcelo Vasco y Beatriz Chiluiza por brindarme su apoyo y cariño incondicional, por creer en mí y enseñarme que incluso la tarea más grande se puede alcanzar con esfuerzo y dedicación. Nunca tendré como pagarles todo lo que me han dado más sin embargo quiero retribuirles en vida lo que han hecho por mí. A mis amigos con quienes compartimos alegrías y tristezas durante todo este proceso de lucha y aprendizaje mis más sinceros agradecimientos por estar conmigo en cada momento. A toda mi familia gracias por ser partícipes de este triunfo.

*Danny*

## AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por abrirme sus puertas y brindarme un espacio en las aulas de la Facultad de Ciencias; en donde tuve la oportunidad de crecer como profesional e individuo con la oportunidad de servir a la sociedad y al país dejando en alto el nombre de tan querida institución.

A mi gran amigo Wlady por el apoyo y consejos durante todo este tiempo, por el montón de anécdotas que tenemos para recordar cada vez que nos reunamos, y con la certeza que la mejor forma de predecir el futuro es crearlo por uno mismo, de igual manera al resto de mis amigos y personas a quienes estimo mucho convencido que llegarán a cumplir sus metas ahora que empezamos una nueva etapa en nuestras vidas.

De igual manera quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento a mi tutor, PhD. Juan Carlos González García por su atento asesoramiento, competencia, paciencia y apoyo durante el transcurso de la realización del trabajo de titulación de igual manera a la Dra. Lourdes Cumandá Carrera Beltrán, por el tiempo dedicado y los conocimientos brindados y guiarme a través de este trabajo, experiencias realmente gratificantes que de seguro las llevaré guardadas en mi corazón

*Danny*

## TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1

## CAPÍTULO I

<b>1. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
<b>1.1. Antecedentes.....</b>	<b>5</b>
<b>1.2. Bases Teóricas.....</b>	<b>5</b>
<b>1.2.1. <i>El nitrógeno como elemento esencial en el desarrollo de la vida</i>.....</b>	<b>5</b>
<b>1.2.2. <i>Ciclo del nitrógeno</i>.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2.3. <i>Nitrógeno orgánico fuentes, transformaciones y su disponibilidad</i>.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2.3.1. <i>Fijación</i>.....</b>	<b>7</b>
<b>1.2.3.2. <i>Nitrificación</i>.....</b>	<b>7</b>
<b>1.2.3.3. <i>Desnitrificación</i>.....</b>	<b>7</b>
<b>1.2.3.4. <i>Amonificación</i>.....</b>	<b>7</b>
<b>1.3. Fertilización Nitrogenada.....</b>	<b>7</b>
<b>1.3.1. <i>Fertilizantes sintéticos en la actualidad</i>.....</b>	<b>8</b>
<b>1.3.1.1. <i>Efectos positivos de los fertilizantes</i>.....</b>	<b>8</b>
<b>1.3.1.2. <i>Efectos perniciosos de los fertilizantes</i>.....</b>	<b>9</b>
<b>1.3.2. <i>Rutas principales de absorción y salida de los nutrientes</i>.....</b>	<b>9</b>
<b>1.3.3. <i>Lixiviación de nitratos</i>.....</b>	<b>10</b>
<b>1.3.3.1. <i>Factores asociados a la lixiviación de los nitratos</i>.....</b>	<b>10</b>
<b>1.3.3.2. <i>Nitratos y la problemática asociada a su uso agrícola</i>.....</b>	<b>11</b>
<b>1.3.4. <i>Métodos de determinación de la concentración de nitratos generados</i>.....</b>	<b>12</b>
<b>1.3.4.1. <i>Métodos basados en el balance hídrico</i>.....</b>	<b>12</b>
<b>1.3.4.2. <i>Método por cápsulas porosas de succión</i>.....</b>	<b>12</b>
<b>1.3.4.3. <i>Método de estimación del nitrato lixiviado por columnas de lixiviación</i>.....</b>	<b>12</b>
<b>1.3.4.4. <i>Toxicidad de los nitratos y su impacto medioambiental</i>.....</b>	<b>13</b>
<b>1.3.5. <i>Importancia de la caracterización del suelo</i>.....</b>	<b>13</b>
<b>1.3.6. <i>Principales parámetros morfológicos del suelo</i>.....</b>	<b>14</b>

1.3.6.1.	<i>Principales tipos de suelos de uso agrario del Ecuador</i> .....	14
1.3.7.	<b><i>Manejo del Suelo</i></b> .....	15
1.3.7.1.	<i>Siembra Directa</i> .....	16
1.3.7.2.	<i>Rotación de cultivos</i> .....	16
1.3.7.3.	<i>Gestión de purines</i> .....	16
1.3.7.4.	<i>Fertilización química</i> .....	16
1.3.8.	<b><i>Técnicas de aplicación de fertilizantes</i></b> .....	17
1.3.9.	<b><i>Manejo del riego agrícola</i></b> .....	17
1.3.9.1.	<i>Riego por inundación o superficie</i> .....	18
1.3.9.2.	<i>Riego por aspersión</i> .....	18
1.3.9.3.	<i>Riego por goteo</i> .....	18

## CAPÍTULO II

2.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	19
2.1.	<b>Localización del estudio</b> .....	19
2.2.	<b>Tipo y diseño de la investigación</b> .....	19
2.2.1.	<i>Por el tipo de investigación</i> .....	20
2.2.2.	<i>Por el diseño de investigación</i> .....	20
2.3.	<b>Unidad de análisis</b> .....	20
2.4.	<b>Población de estudio</b> .....	20
2.4.1.	<i>Criterios de establecimiento de la población de estudio</i> .....	21
2.5.	<b>Recolección de la muestra</b> .....	21
2.5.1.	<b><i>Técnica de muestreo</i></b> .....	21
2.5.1.1.	<i>Acondicionamiento de las muestras de suelo</i> .....	22
2.5.2.	<b><i>Diseño y construcción de las columnas de lixiviación</i></b> .....	22
2.5.2.1.	<i>Sistema de recolección del lixiviado</i> .....	23
2.5.2.2.	<i>Cálculo del área superficial de la columna de lixiviación</i> .....	23
2.6.	<b>Diseño experimental para la evaluación de los nitratos lixiviados</b> .....	24
2.6.1.	<i>Determinación del volumen de riego y volumen lixiviado</i> .....	24
2.7.	<b>Determinación de los parámetros fisicoquímicos</b> .....	25
2.7.1.	<i>Medición del pH en las muestras de suelo</i> .....	25
2.7.2.	<i>Medición de la Conductividad eléctrica</i> .....	25
2.7.3.	<b><i>Determinación de la concentración de nitratos</i></b> .....	26
2.7.3.1.	<i>Toma de la concentración de nitratos para muestra en Agua</i> .....	26
2.7.3.2.	<i>Determinación de la solubilidad del fertilizante</i> .....	26
2.7.4.	<b><i>Modelamiento de los datos empleando QGIS y su complemento QSWAT+</i></b> .....	26

2.7.4.1.	<i>Aplicaciones del modelamiento en Swat+</i> .....	27
2.8.	<b>Delimitación de la Cuenca San Andrés – mediante QGIS</b> .....	27
2.8.1.	<i>Morfometría de la cuenca</i> .....	28
2.9.	<b>Modelamiento por QSWAT+</b> .....	29

### CAPÍTULO III

3.	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	32
3.1.	<b>Representación de los puntos de muestreo</b> .....	32
3.1.1.	<i>Resultados morfológicos del suelo en la zona de estudio</i> .....	32
3.1.2.	<i>Resultados correspondientes a cada columna de Lixiviación</i> .....	34
3.1.3.	<i>Concentración de nitratos en el lixiviado generado</i> .....	35
3.1.4.	<i>Análisis de la relación entre la solubilidad del fertilizante la CE y el pH del suelo frente a la concentración de nitratos lixiviados</i> .....	36
3.1.5.	<i>Resultados conductividad eléctrica</i> .....	37
3.1.6.	<i>Resultados Solubilidad del fertilizante</i> .....	38
3.1.6.1.	<i>Correlación de las variables estudiadas</i> .....	39
3.2.	<b>Morfometría de la zona de estudio-Cuenca de la Parroquia San Andrés</b> .....	40
3.2.1.	<i>Curva hipsométrica</i> .....	41
3.3.	<b>Resultados modelamiento Qswat+-Parroquia San Andrés</b> .....	42
3.3.1.	<i>Tipo de suelo de la Parroquia San Andrés- Pillaro</i> .....	42
3.3.2.	<i>Resultado uso de suelo</i> .....	43
3.3.3.	<i>Delimitación de subcuentas por SWAT+</i> .....	44
3.3.4.	<i>Unidades de enrutamiento o Unidades Hidrológicas de Respuesta (HRU)</i> .....	45
3.4.	<b>Simulación de la distribución de los NO<sup>3-</sup> en la zona de estudio - Qswat+</b> .....	46
3.4.1.	<i>Resultados NO<sup>3-</sup> almacenados en las subcuencas de la parroquia San Andrés</i> .....	46
3.4.2.	<i>Resultados NO<sup>3-</sup> lixiviados a través de los canales, arroyos o vías de desfogue</i> .....	47
3.4.3.	<i>Resultados NO<sup>3-</sup> transportados por escorrentía superficial</i> .....	48
3.5.	<b>Impacto medioambiental de los nitratos lixiviados y almacenados</b> .....	49
3.6.	<b>Técnicas agrícolas y disminución de los nitratos</b> .....	50
3.6.1.	<i>Dosificación de los fertilizantes en función a las necesidades del cultivo</i> .....	51
3.6.1.1.	<i>Fertilizantes de liberación lenta</i> .....	51
3.6.1.2.	<i>Agricultura Sustentable</i> .....	51
3.6.1.3.	<i>Siembra por rotación de cultivos</i> .....	52
3.6.1.4.	<i>Uso de Biofertilizantes</i> .....	52
3.6.1.5.	<i>Mejoramiento de las Técnicas de riego</i> .....	53
3.6.1.6.	<i>Riego por aspersión tecnificado</i> .....	53

<b>3.6.1.7.</b>	<i>Sistemas de riego localizado</i> .....	54
<b>3.6.2.</b>	<i>Propuesta de mejoramiento agrícola para la parroquia San Andrés</i> .....	54
<b>CONCLUSIONES</b> .....		55
<b>RECOMENDACIONES</b> .....		57
<b>GLOSARIO</b>		
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		
<b>ANEXOS</b>		

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b>	Proceso de absorción de nutrientes por parte de las plantas.....	9
<b>Tabla 2-1:</b>	Principales factores asociados a la lixiviación de los nitratos .....	10
<b>Tabla 3-1:</b>	Capacidad de infiltración de los nutrientes.....	14
<b>Tabla 4-1:</b>	Características de los principales suelos agrarios del Ecuador.....	14
<b>Tabla 5-1:</b>	Métodos comunes de aplicación de fertilizantes en suelos agrícolas .....	17
<b>Tabla 1-2:</b>	Puntos de muestreo georreferenciados .....	21
<b>Tabla 2-2:</b>	Procedimiento para la delimitación de la cuenca .....	28
<b>Tabla 3-2:</b>	Procedimiento de modelado en QSWAT de la cuenca San Andrés-Píllaro .....	30
<b>Tabla 1-3:</b>	Principales tipos de suelo de la zona de estudio.....	33
<b>Tabla 2-3:</b>	Resultados de la correlación de $[\text{NO}_3^-]$ frente a las variables estudiadas .....	39
<b>Tabla 3-3:</b>	Resumen morfológico de la cuenca San Andrés .....	40
<b>Tabla 4-3:</b>	Proporción en (ha) del tipo de suelo correspondiente a la zona de estudio .....	42
<b>Tabla 5-3:</b>	Matriz de uso de suelo parroquia San Andrés .....	43
<b>Tabla 6-3:</b>	Fertilización orgánica vs fertilización química .....	52

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2:</b>	Delimitación geopolítica de la Parroquia San Andrés .....	19
<b>Figura 2-2:</b>	Columna de lixiviación para estudios experimentales .....	23
<b>Figura: 1-3:</b>	Mapa de ubicación puntos de muestreo suelo parroquia San Andrés.....	32
<b>Figura: 2-3:</b>	Principales tipos de suelo de la parroquia San Andrés- modelado Qswat.....	43
<b>Figura: 3-3:</b>	Uso de suelo de la parroquia San Andrés-Píllaro- modelado Qswat .....	44
<b>Figura: 4-3:</b>	Mapa subcuencas parroquia San Andrés-modelado Qswat .....	45
<b>Figura: 5-3:</b>	Mapa distribución de los HRU en la cuenca de la parroquia San Andrés .....	46
<b>Figura: 6-3:</b>	Mapa concentración de nitratos en las subcuencas de la zona de estudio. ....	47
<b>Figura: 7-3:</b>	Mapa red de arroyos o canales de desfogue de las subcuencas- San Andrés .....	48
<b>Figura: 8-3:</b>	Mapa nitratos transportados superficialmente a través de la zona de estudio ....	49

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3:</b>	Volúmenes de lixiviado generado durante el periodo de experimentación.....	34
<b>Gráfico 2-3:</b>	Concentración de $\text{NO}_3^-$ promedio alcanzados en la fase de experimentación....	35
<b>Gráfico 3-3:</b>	pH promedio a lo largo de la fase de experimentación .....	36
<b>Gráfico 4-3:</b>	CE promedio a lo largo de la fase de experimentación .....	37
<b>Gráfico 5-3:</b>	Valores promedio de TDS a lo largo de la fase de experimentación.....	38
<b>Gráfico 3-6:</b>	Curva hipsométrica de la cuenca San Andrés .....	41

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** RECOLECCIÓN DE LAS MUESTRAS DE SUELO

**ANEXO B:** CONSTRUCCIÓN DE LAS COLUMNAS DE LIXIVIACIÓN

**ANEXO C:** ACONDICIONAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE SUELO

**ANEXO D:** PUESTA EN MARCHA DE LAS COLUMNAS DE LIXIVIACIÓN

**ANEXO E:** MONITOREO DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

## RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo la evaluación de la fertilización y el riego en la lixiviación de nitratos en suelos agrícolas del Cantón Pillaro, particularmente en la parroquia de San Andrés. Se tomaron 20 muestras de suelo de las zonas más representativas del sector con un peso de 1kg, posteriormente se añadió las muestras de suelo acondicionadas en las columnas de lixiviación, las cuales consistieron en un tubo PVC con uno de sus extremos recubiertos por una malla fina conectada a un sistema recolector. Se empleó 50 gramos del fertilizante “Blau Korn 12-8-16 granulada” y se agregaron 480 ml de agua destilada por cada evento de riego. Se analizó los parámetros pH, CE, TDS en la solución lixiviada, los nitratos se determinaron por medio de un test químico basado en la reducción de nitratos en presencia de cadmio por colorimetría. Los datos de las columnas de lixiviación pasaron a un modelamiento ambiental mediante el empleo de QGIS y la herramienta soil & water assessment tool (SWAT), obteniendo 176 unidades hidrológicas (HRUs), 17 Subbasins, 22 Acuíferos y 4 desfuegos principales. Las columnas de Cardosanto, Rumipungo, Chaupiloma, La lindera, Huapante Grande, Huapante Chico y Chinintahua, concentraron la mayor cantidad de nitratos por hectárea 120.0 (kg/ha). Finalmente se hizo énfasis en el riesgo que supone las malas prácticas agrícolas en los fenómenos de contaminación, se precisó que el tipo de siembra adecuado recae en la siembra por rotación de cultivos junto a un riego por aspersión o por goteo, además que la dosificación de fertilizantes químicos o el uso de enmiendas orgánicas sea en función de las necesidades nutricionales de la planta. Se recomienda siempre calibrar el modelo en SWAT e incluir un mayor número de variables tanto físicas como ambientales para corroborar los resultados obtenidos.

**Palabras clave:** <LIXIVIACIÓN>, <NITRATOS>, <QGIS(SOFTWARE)>, <FERTILIZANTE>, <ENMIENDAS ORGÁNICAS >, <SOLUBILIDAD>.



Ing. Leonardo Fabio Medina Ñuste Msc.  
1757773294

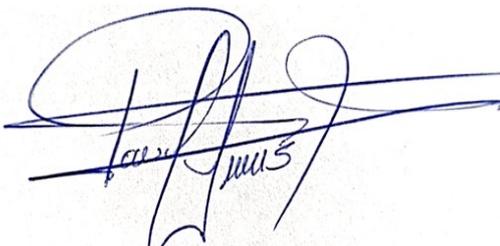


1948-DBRA-UTP-2022

## ABSTRACT

The aim of this research was the fertilization and irrigation evaluation on nitrate leaching in the agricultural soils of Pillaro County, principally in San Andrés Rural Parish. 20 one-kilogram soil samples were collected in the most representative areas of the sector, then the conditioned soil samples were added to the leaching columns, which consisted of a PVC tube with one of its ends covered by a fine mesh and connected to a collection system. Fifty grams of "granulated Blau Korn 12-8-16" fertilizer was used as well as 480 ml of distilled water for each irrigation event. In addition, pH, EC and TDS parameters were analyzed in the leached solution, nitrates were determined by means of a chemical test based on the reduction of nitrates in presence of cadmium by colorimetry. The data from the leaching columns were exposed to environmental modeling using QGIS as well as the soil & water assessment tool (SWAT), obtaining 176 hydrological response units (HRUs), 17 Subbasins, 22 Aquifers and 4 main outflows. Cardosanto, Rumipungo, Chaupiloma, La lintera, Huapante Grande, Huapante Chico and Chinintahua columns concentrated the highest amount of nitrates per hectare 120.0 (kg/ha). Finally, it was necessary to emphasize the risk caused by poor agricultural practices in the contamination phenomena, as well as the appropriate type of planting which is the crop rotation with the sprinkler or drip irrigation method. In addition, the dosage of chemical fertilizers or the use of organic amendments should be based on the nutritional requirements of the plant. It is always recommended to calibrate the SWAT model and include a greater number of physical and environmental variables to corroborate the results obtained.

**Keywords:** <LEACHING>, <NITRATES>, <QGIS (SOFTWARE)>, <FERTILIZER>, <ORGANIC AMENDMENTS>, <SOLUBILITY>.



Lic. Paul Rolando Armas Pesántez, Mg.

CI. 060328987-7

## INTRODUCCIÓN

### Planteamiento del problema

#### *Enunciado del problema*

Actualmente el sostenido crecimiento poblacional está ligado a la demanda y accesibilidad que tiene el ser humano para aprovechar los recursos naturales del planeta, tal es el caso de la producción agrícola la cual se ha intensificado en las últimas décadas con el único objetivo de mantener en pie a toda una sociedad necesitada de alimentos. Si bien el incremento en la superficie agrícola está ligado con la seguridad y soberanía alimentaria, dicha actividad no está exenta de problemas y daños al medio ambiente lo que ha puesto en alerta a la comunidad científica sobre el daño provocado a los ecosistemas por un manejo intenso e ineficiente de la agricultura, sobre todo en países denominados subdesarrollados, donde acceder a una mejor tecnología agrícola es realmente difícil o costosa. En el Ecuador gran parte de la población depende del labrado de la tierra como principal ingreso económico sobre todo en los sectores rurales o campesinos, los cuales al no tener apoyo del gobierno de turno o bien del sector empresarial carecen de acceso a maquinaria o sistemas agrícolas que mejoren su producción y disminuyan el impacto ambiental provocado por la agricultura tradicional.

El uso marcado uso de productos químicos tales como fertilizantes, plaguicidas, fungicidas entre otros, han favorecido en la degradación del suelo y contaminación de sistemas hídricos o lacustres, provocando impactos no solo al medio ambiente, sino también en la salud de la población.

Según (Liu et al., 2020, p. 6), trata en su estudio “Nitrogen leaching greatly impacts bacterial community and denitrifiers abundance in subsoil under long-term fertilization” respecta al proceso de lixiviación de los nitratos a través del suelo hasta las zonas freáticas del manto del planeta ya sea asociados a fenómenos de arrastre, lluvia, o riego, estos nitratos pasan a formar parte de los cuerpos hídricos de agua dulce que en su mayoría son aprovechados para el consumo humano.

Gran parte de esta problemática responde a las técnicas tradicionales de siembra y fertilización del suelo, el exceso de productos químicos nocivos sumado a dosificaciones y técnicas de riego inadecuadas han generado la necesidad de buscar métodos y condiciones que garanticen la nutrición del suelo sin comprometer la calidad de los recursos ecosistémicos de la zona (Daza Torres, 2018, p. 57).

Uno de los elementos sustanciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas es el Nitrógeno (N), el cual es el principal componente de los fertilizantes de origen químico, este elemento al entrar en contacto con el suelo se degrada y es aprovechado tanto por la microbiota del suelo y conforme la planta se abastece nutricionalmente el (N), pasa a formar parte de los tejidos vegetales otorgándole vitalidad y frondosidad a la planta. Por otro lado, el nitrógeno excedente posee dos vías de eliminación, la primera por volatilización producto de la climatología de la zona y la segunda por lixiviación siendo esta la que mayor daño ambiental ocasiona, responsable de la contaminación de aguas superficiales y subterráneas que agravan la calidad ecosistémica de la región (Huang et al., 2020, p. 84).

En cuanto al riego, se sabe que mejora exponencialmente la producción agrícola y ha permitido aprovechar suelos que inicialmente no eran aptos para labores de siembra, no obstante, este proceso deberá contar con una planificación previa a su construcción e implementación.

Finalmente es indudable no reconocer la importancia que tiene la siembra de productos alimenticios para la supervivencia de la sociedad, por lo cual conocer las condiciones actuales de los agricultores, las técnicas que emplean así como el grado de tecnología agrícola que manejan brindarán un panorama más claro sobre las actividades que se puedan mejorar en post del cuidado ambiental y de una agricultura más verde (Nazarieh et al., 2018).

### ***Formulación del problema***

¿De qué manera una inadecuada técnica agrícola puede favorecer en la contaminación de aguas superficiales y subterráneas por lixiviación de nitratos; qué efectos conlleva las malas técnicas agrícolas y de riego en la degradación de los suelos de la Parroquia San Andrés del Cantón Píllaro?

### **Justificación**

El principal ingreso económico de las familias pertenecientes a la Parroquia San Andrés del Cantón Píllaro se debe a las actividades agrícolas que en esta zona se generan, según lo expuesto por los planes de Ordenamiento Territorial (PDOT) del Cantón y la memoria técnica levantada por el Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca (MAGAP), hace referencia que cerca de 1,322 ha de la parroquia es aprovechada para el cultivo de hortalizas y tubérculos representando el 44,47% de la cobertura agrícola del Cantón (MAGAP, 2014, p. 29-33), y otra parte alrededor del 22% se reparte entre la siembra de pastos, maíz, habas, cebada, arveja, cebolla blanca, chocho y árboles frutales (PDOT, 2019, p. 35). Pese a que estas cifras muestran la capacidad agraria de la parroquia, una pregunta surge dentro de este proceso, y es saber si estas actividades pudieran llegar a generar algún tipo de impacto ambiental y si este puede ser sujeto de medición para posibles mecanismos de resolución.

Es así que tomando en cuenta lo mencionado por (Castorena et al., 2015, p. 204) en su estudio “Integrated Nutrient Management in Intensive Agricultural Systems”, la agricultura actual hace uso de cantidades excesivas de fertilizantes a base de nitrógeno triplicando su uso y consumo en las últimas décadas, provocando que los fenómenos de erosión del suelo y degradación de los recursos ecosistémicos se esté empeorando.

A lo largo del periodo 2014 al 2018, el ministerio de Agricultura ha reportado un decrecimiento en la producción agrícola en la provincia de Tungurahua, sobre todo de productos tales como papas, tomate de árbol, cebolla blanca, el maíz suave, choclo y el brócoli que, si bien por el momento no comprometen la seguridad alimentaria del Cantón, si nos plantea la interrogante sobre si el manejo agrícola está siendo llevado de manera correcta o en su defecto este tipo de actividades están sujetas a procesos de daño ambiental principalmente del suelo y agua.

Particularmente en la parroquia de San Andrés, la gran mayoría de agricultores aplican a sus cultivos, abonos químicos que por su facilidad de aplicación y su costo no elevado han generado una alta demanda de este producto, si bien hay claras ventajas a corto tiempo en el desarrollo de la planta, cada año es más recurrente oír, que se requiere más cantidad de fertilizantes para suplir las necesidades nutricionales de los cultivos. Es así como a la par el beneficio monetario para el agricultor es mayor, su contraparte el ambiente resulta dañado, se sabe que este tipo de compuestos alteran fuertemente el ciclo de reparación del suelo, y el exceso contenido en el suelo se desplazará hacia ríos, arroyos, embalses y fuentes de agua en general, provocando fenómenos de eutrofización u alteración en la calidad de los recursos hídricos del sector.

De ahí que las actividades exploratorias y de investigación constituyen una herramienta vital para respaldar la conservación del medio ambiente, así como comprender de manera más idónea los fenómenos físicos y químicos que suceden durante estos procesos. Por tal motivo en primera instancia se busca recopilar datos de la concentración de nitratos por medio de columnas de lixiviación donde se llevará a cabo un control periódico de los parámetros: pH, TDS, CE, los cuales están relacionados estrechamente con los fenómenos de lixiviación y de calidad del suelo (Duran y Osorio, 2021, p. 12).

Posteriormente los datos tomados en campo serán combinados con la parte tecnológica, la modelación de datos por medio de software GIS constituye un instrumento que nos permitirá brindar una perspectiva adecuada en cuanto el flujo y volúmenes de lixiviado generado a escala de la parroquia de estudio. El uso del software Quantum GIS (QGIS), con su complemento “The Soil & Water Assessment Tool” (SWAT+) para el manejo de cuencas hídricas y cuantificación de sus procesos físicoquímicos brindará a su vez de una manera más didáctica las zonas con mayor preponderancia a fenómenos de lixiviación.

Finalmente, este estudio está enfocado en dos sectores importantes del país en primer lugar, a la comunidad científica donde la información generada sirva de base para futuras investigaciones en donde se refuercen técnicas agrícolas menos invasivas con el medio ambiente y que protegen

las principales fuentes hídricas del Cantón, y en segundo lugar al sector campesino y agrario del sector quienes dedican gran parte de su vida a las labores agrícolas y son quienes mantienen a las grandes ciudades abastecidas de alimentos, este trabajo también incluye posibles mecanismos o recomendaciones encaminadas a una agricultura responsable.

## **Objetivos**

### ***Objetivo general***

- Evaluar la incidencia del proceso de fertilización y el riego en la lixiviación de los nitratos en suelos agrícolas del Cantón Pillaro.

### ***Objetivos específicos***

- Establecer la influencia de las propiedades del suelo el tipo de fertilización y riego mediante la construcción e implementación de columnas de lixiviación para conocer el volumen final de nitratos lixiviados en los suelos agrícolas del Cantón.
- Determinar la relación entre la solubilidad del fertilizante, la conductividad eléctrica y el pH del suelo en el aumento o disminución de la concentración de nitrato lixiviado mediante el empleo de un equipo multiparámetro.
- Modelar los datos obtenidos en campo mediante el uso del software QGIS para su posterior análisis geográfico, estadístico y ambiental.
- Proponer mecanismos de agricultura sustentable orientados a la reducción de los nitratos contenidos en el suelo.

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO

#### 1.1. Antecedentes

El aporte de nutrientes en el suelo con la finalidad de obtener un mayor rendimiento productivo en las cosechas ha sido una práctica recurrente. Se sabe que los primeros fertilizantes de origen natural anteceden varios siglos en la historia del ser humano, en un principio los aportes de (N) llegaban por medio del estiércol generado por las aves o el ganado el cual era esparcido a lo largo del suelo, era común ver en la edad media que se aprovechaba los residuos orgánicos generados en los hogares, conocidos hoy como compost para nutrir y mejorar el suelo (Sánchez et al., 2020, p. 747).

Con la explosión de la revolución química, aparecieron los primeros fertilizantes de origen sintético, recayendo en la obra de Justus von Liebig (1803-1873) “Química en relación con la agricultura y el crecimiento de las plantas” (Liebig y Playfair, 1841, p. 207-212), quien en 1840 anunció la “Ley del Mínimo” la cual describe de forma textual: “Un elemento que falte, o que se halle presente en una cantidad insuficiente, impide a los restantes producir su efecto normal o por lo menos disminuye su acción nutritiva”, gracias a estos estudios se llegó a concretar la síntesis del nitrato sódico convirtiéndose en el primer fertilizante nitrogenado que fue comercializado en toda Europa y con materia prima de los depósitos naturales en Chile hacia los años 1830, tal fue el beneficio agrícola de este producto que las minas chilenas no abastecían con la demanda requerida, obligando al desarrollo de métodos de obtención de un fertilizante mucho más barato y accesible.

Llegado el año de 1900 surgió lo que se conoce como la química sintética que años después originaría la diversidad de fertilizantes químicos que se disponen hasta el día de hoy, pero con la particularidad del nitrógeno como elemento mayoritario en la composición de estos (Cabanillas, 2008, p. 11-21).

#### 1.2. Bases Teóricas

##### 1.2.1. *El nitrógeno como elemento esencial en el desarrollo de la vida*

El nitrógeno forma parte de los aminoácidos y estos a su vez conforman las proteínas conocidas como los bloques estructurales para el desarrollo de un organismo vivo, el nitrógeno y sus diversas formas minerales como el nitrato, nitritos y el amonio son aprovechados por las plantas para su crecimiento y metabolismo en general, esenciales en la cadena alimentaria del hombre y animales,

se ha determinado así que el ser humano requiere de una ingesta diaria e aproximadamente 50g de proteínas equivalente a 8-12g de nitrógeno (Cantú Silva et al., 2018, p. 130-133).

La atmósfera aporta la mayoría de nitrógeno presente en el planeta, este nitrógeno pasa por una serie de transformaciones químicas antes de poder ser aprovechable por las plantas, la otra fuente de almacenamiento de este elemento está presente en rocas ígneas y en los suelos que por intervención de procesos biológicos donde existe la participación de organismos fijadores de nitrógeno este se reduce en primera instancia como amonio y por acción de las bacterias nitrificantes lo transforman en nitritos y nitratos asimilables para las especies vegetales (Guzmán Duchén et al., 2021, p. 89).

### **1.2.2. Ciclo del nitrógeno**

El nitrógeno, presente en la naturaleza sufre transformaciones químicas y de estado, si bien es muy abundante en la atmósfera como gas di nitrógeno, este en gran parte no es asimilable para la mayoría de las especies vegetales, solo cuando este nitrógeno se transforma del gas di nitrógeno en amoníaco se vuelve disponible para los productores primarios.

El nitrógeno se presenta en diversas formas, incluidas las formas inorgánicas (p. Ej., Amoniaco, nitrato) y orgánicas (p. Ej., Aminoácidos y ácidos nucleicos), durante el ciclo del nitrógeno se observan transformaciones de fijación, nitrificación, desnitrificación anammox y amonificación, las cuales en gran medida requieren de la participación de la microbiota del suelo que pueden ser bacterias nitrificantes, arqueas y hongos (Madsen, 2011, p. 456).

### **1.2.3. Nitrógeno orgánico fuentes, transformaciones y su disponibilidad**

El nitrógeno orgánico por su parte se encuentra presente en el estiércol de aves y ganado, así como en la descomposición de plantas y animales, inicialmente este nitrógeno no es aprovechable de inmediato se requiere de la participación de bacterias fijadoras de nitrógeno que se encargan de transformar el nitrógeno presente en la atmósfera o materia en descomposición en productos aptos y asimilables por las especies vegetales, es así como bacterias del género *Rhizobium*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, son fundamentales para completar el ciclo de nitrógeno (Rodríguez et al., 2020, p.89). Las tres formas inorgánicas del nitrógeno con mayor presencia en el suelo son los Amonios ( $\text{NH}_4^+$ ), Nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) y Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) conformando entre el 9 y 17% del nitrógeno total del suelo, pudiendo estos porcentajes sufrir variaciones en función al tipo de suelo por ejemplo se sabe que suelos con elevada materia orgánica son más ricos en este elemento (Bald et al., 2021, p. 102).

#### *1.2.3.1. Fijación*

Consiste en la conversión del nitrógeno molecular ( $N_2$ ) presente en la atmósfera en amonio, esta transformación es fundamental para convertir una forma no asimilable a una asimilable, los organismos encargados de este proceso son bacterias fijadoras de nitrógeno del género *Rhizobium*, las cuales habitan en las raíces y nódulos de las plantas, donde mantienen una relación simbiótica, por un lado la planta provee un sustrato para estos consorcios bacterianos y a su vez estos fijan el nitrógeno convirtiéndolo en aprovechable para la planta ( Pascual et al., 2002, p. 196-198).

#### *1.2.3.2. Nitrificación*

El amonio junto con el oxígeno da como resultado nitritos, que consecuentemente sufrirán una nueva oxidación para conformar los denominados nitratos, en conjunto con el proceso de amonificación hace referencia a lo que comúnmente conocemos como la descomposición de la materia orgánica (Li et al., 2018, p. 295).

#### *1.2.3.3. Desnitrificación*

La reducción del ion nitrato, presente en el agua o suelo a su forma molecular, durante este proceso el nitrógeno molecular vuelve a ser parte de la atmósfera convirtiéndose en la sustancia con mayor porcentaje en la composición del aire con un 78% aproximadamente (Hu y He, 2017).

#### *1.2.3.4. Amonificación*

Entendido como el proceso por el cual se transforman los compuestos nitrogenados orgánicos en amoníaco, los principales actores de este proceso son las especies animales los cuales convierten el exceso de nitrógeno no asimilado en forma de amoníaco ( $NH_3$ ) desechándolo por medio de la orina u estiércol (Velázquez y Gallardo, 2017).

### **1.3. Fertilización Nitrogenada**

El uso de fertilizantes nitrogenados está presente en casi la totalidad de actividades agrarias de todo el mundo, particularmente en zonas dedicadas a una agricultura intensiva con elevadas tasas de producción, ante el crecimiento de la población los requerimientos alimentarios también aumentan y el uso de productos que nutran el suelo de manera temprana se ha convertido en prioridad de las industrias químicas actuales (García, 2011).

Para el año de 1910 el químico alemán Fritz Haber descubrió la forma de fijar el nitrógeno atmosférico en un laboratorio para la producción de amoníaco, dicho proceso se fundamenta en la aplicación de cantidades grandes de presión y temperatura, tres años más tarde el químico Carl Bosch mejoró este sistema permitiendo obtener amonio barato que en principio se utilizó para fines bélicos pero que más tarde pasó a formar parte del común entre los agricultores como fertilizante para sus cultivos, en principio dichos avances generaron indudables ventajas en el desarrollo agrícola pero que con el paso de los años se está convirtiendo en un asesino silencioso provocando la contaminación del suelo y fuentes de abastecimiento de agua (Silva y Quesada, 2011, p. 75-77).

### ***1.3.1. Fertilizantes sintéticos en la actualidad***

Actualmente se estima que cerca del 70% del nitrógeno aplicado se lo realiza en forma de abonos químicos mediante fertilizantes combinados o multi elemento, en tanto que la urea y soluciones nitrogenadas producto de las excretas de animales alcanza un 30%. La urea por su parte posee una concentración de nitrógeno de aproximadamente un 56% siendo mayor en concentración de nitrógeno a ciertos abonos químicos en el mercado, particularmente Latinoamérica es el principal consumidor de fertilizantes sintéticos a pesar del potencial ganadero que sostiene se observa difícil que el cambio en el concepto del agricultor en dejar de lado el uso de productos químicos por orgánicos sea de un momento a otro.

Se espera que la tendencia en cuanto al consumo en cantidades elevadas de fertilizantes químicos se reduzca para los años venideros, desde la denominada “revolución verde” la agricultura moderna se ha enfocado hacia la producción sostenible donde agricultor y ambiente guarden un equilibrio a pesar de ello es claro que dicho cambio tomará varios años puesto que se mantiene arraigado el uso en cantidades elevadas de fertilizantes químicos y plaguicidas por lo que cambiar el concepto de agricultura tradicional a una mucho más tecnificada demandará de apoyo gubernamental, económico y de la sociedad (Wang et al., 2018, p. 882).

#### ***1.3.1.1. Efectos positivos de los fertilizantes***

- **Mayor producción por hectárea:** Alto aporte de macronutrientes favorece el desarrollo de los cultivos.
- **Ajuste de suelos:** Implica la estabilización de suelo en lo que se refiera a niveles fluctuantes de acidez o basicidad.
- **Respuesta ante situaciones críticas de cultivo:** Generan condiciones favorables de salud de los cultivos en sus fases avanzadas.

- **Capacidad de adecuarse a necesidades específicas:** Permiten adaptarse a las necesidades específicas nutritivas de cada cultivo (Bhatt et al., 2019, p. 177).

### 1.3.1.2. Efectos perniciosos de los fertilizantes

- **Degradación de los suelos:** Inadecuada administración de fertilizantes produce una saturación de los macronutrientes ocasionando infertilidad del suelo a largo plazo.
- **Contaminación de aguas subterráneas-Lixiviación de Nitratos:** La presencia de nitratos llegan tanto a aguas superficiales o subterráneas favoreciendo los fenómenos de eutrofización.
- **Quemaduras de sal:** Los altos contenidos de sal provocan quemaduras en las hojas de los cultivos que ocasionan la pérdida de las cosechas o enfermedad de las plantas.
- **Crecimiento exagerado:** Generan efectos secundarios en las plantas favoreciendo el crecimiento de plagas, crecimiento de mala hierba que resta los nutrientes necesarios para los cultivo (Bhatt et al., 2019, p. 178).

### 1.3.2. Rutas principales de absorción y salida de los nutrientes

El correcto desarrollo de un cultivo está determinado por cuatro factores: la planta, el suelo, el clima y la técnica de manejo del suelo, cuando este balance es óptimo el rendimiento agrícola será adecuado, las transformaciones que se suscitan desde la toma en contacto del fertilizante con el suelo se asemejan a un sistema con ganancias y pérdidas de materia y energía

**Tabla 1-1:** Proceso de absorción de nutrientes por parte de las plantas

PROCESO	ENTRADAS
<b>Retención de los nutrientes en el suelo</b>	Los nutrientes pueden permanecer en el suelo por un tiempo determinado sin ocasionar un cambio brusco de la composición química.
<b>Absorción por medio del sistema radicular de la planta</b>	En este punto los nutrientes pasan en forma de solución hacia el suelo para que sean aprovechados por las plantas.
<b>Adsorción</b>	Los nutrientes presentes en solución pasan a dividirse en función a sus cargas sean estas negativas o positivas, conformando la fase lábil o lo que se traduce en la fase rápidamente disponible de nutrientes para la planta.
<b>Fijación</b>	Posteriormente nutrientes tales como (N, P, K) pasan a formar parte de la fracción sólida del suelo.
<b>Combinación con otros elementos</b>	Los nutrientes se combinan con otros compuestos químicos que darán a la planta esa variabilidad de elementos esenciales para su desarrollo.
<b>Conversión de la forma inorgánica a orgánica</b>	En este punto los nutrientes se transforman y pasan a formar parte de estructuras y tejidos.
SALIDAS	
<b>Pérdida por erosión</b>	Los elementos excedentes tienden a perderse por erosión o lavado del suelo.

<b>Volatilización</b>	Los elementos también pueden eliminarse por volatilización este fenómeno también se encuentra relacionado con las condiciones atmosféricas, lluvia, temperatura etc.
<b>Lixiviación</b>	Quizás el punto más importante dado el peligro que representa concentraciones excesivas de nitratos que se pueden pasar a formar parte de aguas superficiales y subterráneas favoreciendo fenómenos de eutrofización.

Fuente: (Cui et al., 2020).

Realizado por: Vasco Chiluzza, Danny, 2022.

### 1.3.3. Lixiviación de nitratos

En los últimos años se ha observado un creciente interés en conocer la problemática asociada a la presencia de nitratos aguas superficiales y subterráneas por acción de la agricultura, el mecanismo de lixiviación de los nitratos empieza cuando el  $\text{NO}_3^-$  al ser un anión no puede ser retenido con facilidad en el suelo lo que lo convierte en un elemento de fácil arrastre sea por la lluvia o el riego parcelario y pasa infiltrarse hacia las capas freáticas del planeta, o bien por escorrentía superficial desembocar en tributarios hídricos como ríos o lagos.

La mayor cantidad de nitratos lixiviados se produce cuando existe un volumen de agua que excede la capacidad de retención originaria del suelo el desplazamiento de este soluto en concentraciones elevadas desencadena fenómenos de contaminación (Wang et al., 2019, p. 98).

#### 1.3.3.1. Factores asociados a la lixiviación de los nitratos

A pesar de que el proceso de lixiviación ocurre de forma natural existen factores que favorecen este fenómeno, el correcto monitoreo de estos parámetros suponen una gran ventaja a la hora de buscar estrategias que permitan mitigar los impactos ambientales que se puedan generar (Cisneros, 2017, p. 132)

**Tabla 2-1:** Principales factores asociados a la lixiviación de los nitratos

<b>FACTORES</b>	<b>INFLUENCIA</b>
<b>CLIMA</b>	La lluvia influye en la disolución de los fertilizantes. Favorece las reacciones químicas y bioquímicas. Mayores regímenes de precipitación favorece las pérdidas de nutrientes por arrastre
<b>PLANTA</b>	Sistema radical desarrollado y funcional genera una absorción adecuada de los nutrientes, reduciendo la pérdida de nutrientes hacia el interior del suelo. Fomenta la regulación de la velocidad de cantidad de la precipitación que llega al suelo.
<b>SUELO</b>	Las propiedades morfológicas del suelo como la estructura, porosidad, tipo de suelo, textura, capacidad de retención de los nutrientes entre otros afectan en las reacciones químicas y en el arrastre de nutrientes.

<b>ACTIVIDAD MICROBIANA</b>	Mayor presencia de consorcios bacterianos favorece el proceso de fijación del nitrógeno evitando que exista un excedente alto de estos elementos.
<b>USO DEL SUELO</b>	Las técnicas de labranza de suelo afectan directa o indirectamente en el proceso de lixiviación de nitratos a través del suelo, se deben tomar en cuenta una adecuada fertilización, dosificación, sitio, tipo de cultivo, requerimiento nutricional, época etc.
<b>SOLUBILIDAD DEL FERTILIZANTE</b>	Un fertilizante con mayor solubilidad podrá asimilarse de manera más rápida por la planta, en cambio un fertilizante que tienda a persistir por periodos largos de tiempo ocasiona salinidad del suelo.
<b>RIEGO</b>	Un inadecuado sistema de riego afectará en gran manera al arrastre de los nitratos en zonas donde el suelo tiende a saturarse rápidamente los nutrientes pasarán hacia aguas superficiales con mayor facilidad.
<b>FACTORES FISICOQUÍMICOS</b>	
<b>pH</b>	Un pH elevado en el suelo conlleva a generar pérdidas por lixiviación de sustancias orgánicas o compuestos de bajo peso molecular como pueden ser el humus o abonos.
<b>CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA</b>	Una tasa menor de conductividad hidráulica retiene el nitrato aplicado en forma de fertilizantes
<b>SÓLIDOS DISUELTOS</b>	Presencia de TDS elevada es un indicio de que el agua puede estar cargada con un excedente de materia orgánica y demás elementos contaminantes que pueden ocasionar efectos negativos a los ecosistemas.
<b>TEMPERATURA</b>	Aceleran la velocidad de las reacciones químicas.

Fuente: (Rakotovolona et al., 2019)

Realizado por: Vasco Chiluiza, Danny, 2022.

### 1.3.3.2. Nitratos y la problemática asociada a su uso agrícola

Los tres elementos (N, P, K) esenciales presentes en los fertilizantes agrícolas de carácter orgánico o sintético el nitrógeno es el que mayor destaca al producir con mayor brevedad efectos notables en el suelo, dichos efectos no solo se perciben cuando existe una dosis correcta, por el contrario los efectos pueden tornarse nocivos si se encuentran en exceso o déficit, se conoce que el nitrógeno influye en la capacidad de desarrollo de la planta, fomenta el crecimiento de las partes aéreas hojas y frutos así como el característico color verde pronunciado. En cierto grado participa en la regulación del potasio, ácido fosfórico en los cultivos, desde el punto de vista bio-edáfico el nitrógeno y sus formas mineralizadas intervienen de forma decisiva en las transformaciones orgánicas que se producen en el suelo ( Feria et al., 2019, p. 8). La problemática surge cuando el manejo de la fertilización del suelo es inadecuado, no tecnificado, la labranza tradicional fomenta los fenómenos erosivos del suelo sin contar que las dosis anuales de fertilizantes han incluido elementos químicos con efectos dañinos para el medio ambiente (Di y Cameron, 2002, p. 237).

#### **1.3.4. Métodos de determinación de la concentración de nitratos generados**

La determinación de los nitratos se puede deducir conociendo el volumen de flujo del lixiviado hacia el suelo y su concentración media de nitrato, el grado de similitud de estas dos variables resolverá el nivel de concentración de nitratos presentes.

Actualmente para la medición de la lixiviación de los nitratos en laboratorios se emplean las denominadas columnas de lixiviación las cuales simulan los procesos generados de manera natural en el suelo con la finalidad de recolectar la solución lixiviada que posteriormente pasará a ser analizada en un laboratorio o mediante el empleo de kits de determinación de nitratos conocer su concentración (Alahi y Mukhopadhyay, 2018).

##### **1.3.4.1. Métodos basados en el balance hídrico**

Estos métodos se basan en calcular el balance de agua de un suelo durante un período de tiempo determinado, el grado de exactitud de este método depende si la estimación del drenaje toma en cuenta las diferentes situaciones atmosféricas y climáticas, por ejemplo: los métodos de riego, régimen de precipitación, estaciones del años etc., la ecuación de cálculo de este método se resume en (Ramos 2011, p. 11-12).

**D = Lluvia + Riego - Evapotranspiración -  $\Delta H$  - Escorrentía donde  $\Delta H$  es el incremento de agua del suelo.**

##### **1.3.4.2. Método por cápsulas porosas de succión**

Estas cápsulas porosas se instalan en invernaderos o parcelas de monitoreo permitiendo un muestreo con una relativa frecuencia. Se genera una succión por medio de una pequeña bomba hacia los tubos de succión los cuales en uno de sus extremos poseen un punta porosa, generalmente este proceso se lo hace después de un día en el que haya llovido el volumen de recolección no suele ser muy grande y este dependerá en gran medida del grado de humedad y permeabilidad del suelo (Arauzo y Díez, 2003, p. 39).

##### **1.3.4.3. Método de estimación del nitrato lixiviado por columnas de lixiviación**

El empleo de las columnas dentro de un laboratorio o ambiente de trabajo posibilita al investigador estar más al tanto de todos los fenómenos que suceden durante la infiltración y a su vez modificar las variables en caso sea necesario.

Inicialmente una columna de lixiviación es un tubo PVC con un diámetro de 15 cm y un largo de 60 cm, en uno de sus extremos se encuentra una fina malla la cual estará conectada a un depósito donde caerá la solución lixiviada del suelo. El empleo de columnas de lixiviación deberá simular en lo posible todas las condiciones naturales durante el monitoreo tales como momento de riego, volumen de precipitación, temperatura entre otros, a su vez las variables y datos obtenidos permitieron transportar a una escala mayor al ser complementados con estudios de simulación (Marcano y Elizalde, 2010, p. 12).

#### *1.3.4.4. Toxicidad de los nitratos y su impacto medioambiental*

Las altas cantidades de nitratos conducen a problemas digestivos o de intoxicación además influyen en la formación de metahemoglobina en la sangre, en el plano ambiental la erosión del suelo y la contaminación de las fuentes hídricas suponen el mayor problema, los nitratos al no presentar color ni sabor pasan desapercibidas hasta que sus efectos ya son realmente visibles, fenómenos tales como eutrofización, pérdida de la calidad del agua, efectos nocivos sobre especies vegetales y animales sugieren que este compuesto al no ser dosificado de la manera adecuada puede convertirse en un asesino silencioso (Pastor, 2019, p. 224).

#### *1.3.5. Importancia de la caracterización del suelo*

El estudio y caracterización de los suelos es fundamental para obtener una agricultura eficiente, se sabe que el suelo en su parte no saturada está compuesto por una mezcla heterogénea de material sólido líquido y gaseoso que por efectos propios de la naturaleza da lugar a fenómenos tales como la adsorción y absorción de nutrientes, intercambio iónico, fenómenos de compactación y expansión de las arcillas, capilaridad y lixiviación, además que este constituye el principal sustrato para el crecimiento de consorcios bacterianos u organismos que aportan beneficios a las plantas (Zúñiga Ugalde et al., 2018, p. 187).

La parte sólida del suelo conlleva las partículas minerales que se juntan para formar agregados, las propiedades morfológicas del suelo están dictadas por; el estado de agregación, porosidad, textura, densidad que determinan los tipos de suelos que hoy en día conocemos.

La fase líquida del suelo lo constituye al agua y sales minerales en disolución, se sabe que el suelo posee una capacidad máxima de retención de agua, por lo que una vez saturado este suelo el líquido excedente tiende a formar parte del sistema hidrológico del ecosistema situación que está fuertemente ligada a los procesos de lixiviación (Baridon, 2019, p. 10).

### 1.3.6. Principales parámetros morfológicos del suelo

El suelo posee características morfológicas, físicas y químicas correlacionados a los procesos de lixiviación, estas variables son importantes a la hora de medir el grado de infiltración de nutrientes a través del suelo, dichas variables se mencionan a continuación:

**Tabla 3-1:** Capacidad de infiltración de los nutrientes

VARIABLE	INCIDENCIA
<b>TEXTURA</b>	Las fracciones granulométricas, arena, limo y arcillas, así como su estado de agregación poseen incidencia en la capacidad de permeabilidad de una solución a través del suelo.
<b>ESTRUCTURA</b>	Formación de agregados, formas y tamaños distintas que en función al tipo de suelo poseerán espacios o poros por los cuales favorecerá fenómenos de infiltración.
<b>CONCRECIONES</b>	El suelo posee distintas concentraciones de sustancias químicas que otorgan color, forma, estado de agregación entre otros, presencia de Fe y Mn inciden en un suelo con altas cargas de materia orgánica y excesos hídricos.
<b>TIPOS DE RELIEVE</b>	La forma del suelo sus irregularidades y pendientes favorecerá los fenómenos de lixiviación, suelos con relieves generan un escurrimiento mayor a un suelo plano.
<b>DRENAJE</b>	En función al tipo de suelo este presentará mayor o menor facilidad para eliminar el agua del suelo (infiltración y percolación) las cuales alcanzan las capas subterráneas.
<b>ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL</b>	Fenómenos de escurrimiento mencionan que el agua infiltrada puede desplazarse lateral o verticalmente por dentro del suelo hasta alcanzar las capas freáticas.
<b>CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA</b>	Valores de conductividad altos favorecerá la absorción de nutrientes por parte de las raíces de las plantas, valores bajos pueden generar salinidad del suelo y los excedentes posteriormente pasarán a infiltrarse o evaporarse.
<b>SUELO (pH)</b>	El pH indica por lo general el estado de salud del suelo suelos ácidos poseen valores de hidrógeno intercambiable altos lo que supone un manejo de fertilización intensiva

Fuente: ( Jiménez et al., 2019)

Realizado por: Vasco Chiluzza, Danny, 2022.

#### 1.3.6.1. Principales tipos de suelos de uso agrario del Ecuador

**Tabla 4-1:** Características de los principales suelos agrarios del Ecuador

TIPO DE SUELO	RASGO DISTINTIVO
<b>VERTISOLES</b>	Son suelos con una baja mineralización, en su estructura se presenta una dominancia de arcillas expansibles, posee una alta saturación y densidad aparentes estos suelos son de difícil laboreo. Generalmente se los encuentra en relieves costeros o casi planos, se aprovechan para la producción de maíz, soya y finalmente el arroz siendo este cultivo el predominante
<b>ALFISOLES</b>	Son suelos que presentan horizontes con un buen grado de desarrollo pedogenético formados en superficies jóvenes en donde se almacenan de buena manera minerales primarios, aparecen con un horizonte superficial claro y una buena cantidad de arcillas, en cuanto a sus

	características agrícolas este suelo retiene una buena cantidad de humedad, posicionándose en suelos de gran importancia agrícola debido a su media a alta fertilidad natural.
<b>ENTISOLES</b>	Poseen en su estructura un dominio mineral primario el cual no se encuentra consolidado, este tipo de suelo se lo encuentra en zonas donde los aportes fluviales son regulares, al ser suelos superficiales se los observa en diversos lugares del territorio nacional, en la región litoral estos suelos son denominados suelos aluviales de “banco”, muy apreciados por el sector campesino los principales productos que se dan en estos suelos son el banano, cacao, café y frutales.
<b>ANDISOLES</b>	Los Andisoles son propios de la región interandina del país, se desarrollan a partir de cenizas de origen volcánico presentando una moderada evolución y una densidad aparente baja de alrededor de (< 0,85 g/c/c), este tipo de suelo es rico en materia orgánica, N,K,P, al ubicarse a lo largo del callejón interandino se encuentran cubiertos por vegetación arbustiva o páramo, son suelos son muy fértiles en los que prácticamente se pueden sembrar la mayoría de especies vegetales desde pastos , hortalizas hasta árboles frutales.
<b>INCEPTISOLES</b>	Son suelos presentes en diversas gamas de pisos climáticos una buena parte de estos suelos se localizan en la región amazónica con zonas donde haya existido gleización lo cual produce rasgos redoximórficos, se caracteriza por un incipiente desarrollo de sus horizontes, poseen una buena cantidad mineral y de arcillas. En cuanto a la utilización agrícola estos suelos tienen una cobertura muy elevada de zonas paisajísticas y con un tipo variado de vegetación, cuando estos suelos se complementan con una correcta fertilización pueden incrementar de manera sustancial su rendimiento agrícola.
<b>MOLISOLES</b>	Son suelos que se originan en áreas semiáridas, presentes en una buena parte de la región sierra del Ecuador, generalmente se los encuentra bajo la cobertura de pastizales, poseen una coloración marrón, su composición en su mayoría está formado por arcillas, poseen una buena carga de materia orgánica. Los suelos que poseen una saturación de alrededor del 50% de su capacidad en peso, al ser denominado suelos de las praderas son la base para la formación de especies vegetales que sirven de alimento para las especies bovinas.

**Fuente:** (Changoluisa Alvear, 2020)

**Realizado por:** Vasco Chiluiza, Danny, 2022.

### **1.3.7. Manejo del Suelo**

El suelo constituye el sustrato de soporte para organismos y plantas, por su capacidad de intercambio de energía y materia se lo considera como un sistema vivo y dinámico en donde compaginan los componentes físicos, químicos y biológicos, que de estar adecuadamente equilibrados aportarán tasas de productividad elevadas de cosechas durante periodos de tiempo más largos (Duran y Osorio 2021, p. 11).

El correcto manejo del suelo y las técnicas agrícolas que se involucran permitirán mayores beneficios para el agricultor, un suelo adecuadamente nutrido, con presencia de materia orgánica o enmiendas provocará que el suelo se regenere más rápido para una futura siempre, por lo contrario, prácticas nocivas en el suelo favorecerán la disminución abrupta de la materia orgánica,

pérdida de minerales, erosión del suelo y baja naturaleza biológica lo que se traduce en suelos infértiles cuyos rendimientos agrícolas se verán mermados (Díaz et al., 2018, p. 369).

#### *1.3.7.1. Siembra Directa*

La forma más rudimentaria de producción agrícola consiste en la siembra sobre suelo sin un arado previo o aireación del terreno, la siembra directa evita la inversión de los horizontes superiores de la tierra haciendo que la parte más fértil se mantenga por debajo en cuanto al riego, durante la siembra directa una buena parte del agua que entra en contacto con el suelo no se infiltra de manera adecuada por lo que implica demandas de agua mayores (Burba et al., 2021, p. 12).

#### *1.3.7.2. Rotación de cultivos*

El sembrado se realiza alternando plantas de distintas familias, con requerimientos nutricionales diferentes para evitar que el suelo y su capacidad nutritiva se agote, se ha observado que dicha técnica funciona para contrarrestar enfermedades que afectan a un cultivo en particular, el rendimiento agrícola crece, favorece el aprovechamiento adecuado de abonos y enmiendas se reduce la presencia de malas hierbas que en su conjunto direccionan un menor consumo de fertilizantes químicos, o plaguicidas (Burba et al., 2021, p. 10).

#### *1.3.7.3. Gestión de purines*

La utilización de estiércol vacuno, porcino o avícola como fertilizante orgánico, reduce la emisión de grandes toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, es una solución que brinda ayuda al sector ganadero mediante el aprovechamiento de los purines sin la inversión de cantidades elevadas de fertilizantes químicos favorece una agricultura más sostenible siempre y cuando se haya aplicado las dosis adecuadas y controladas por cada hectárea (Lozano et al., 2008, p. 17).

#### *1.3.7.4. Fertilización química*

La utilización de cualquier material de origen sintético que en su estructura química contenga al menos un 5% de los nutrientes primarios nitrógeno, fósforo y potasio, se emplea como aporte externo de minerales al suelo para mejorar el rendimiento de los cultivos, el tipo de fertilizante se suministrará en función a la clase de vegetación sembrada se obtiene un rendimiento agrícola alto a corto plazo pero favorece los fenómenos de erosión e infiltración a través del suelo (Demelash et al., 2014, p. 358).

### 1.3.8. *Técnicas de aplicación de fertilizantes*

Este proceso implica un paso importante en la fomentación de buenas prácticas agrícolas a pesar de ello este procedimiento debe llevarse a cabo con suficiente conocimiento del tipo de cultivo, la dosis de fertilizante, fecha de siembra entre otros para un aprovechamiento óptimo del cultivo y un impacto mínimo al suelo (Sierra et al., 2020).

**Tabla 5-1:** Métodos comunes de aplicación de fertilizantes en suelos agrícolas

MÉTODO DE APLICACIÓN	CARACTERÍSTICAS
<b>AL VOLEO</b>	El fertilizante se esparce manualmente o por un equipo de esparcido a lo largo de la extensión del terreno, usado en cultivos no muy densos se realiza una nutrición del suelo de manera directa, se debe tomar en cuenta que el fertilizante es propenso a sufrir un fenómeno de evaporización del nitrógeno, por lo que es recomendable que una vez el fertilizante haya sido esparcido proceder con el arado del suelo para que el fertilizante quede cubierto por la tierra.
<b>EN HILERAS O BANDAS</b>	Es la aplicación del fertilizante en áreas específicas del cultivo estas pueden ser a manera de bandas o franjas que pueden estar por debajo del suelo o bien cercanas a las semillas o plantas, el proceso generalmente es de forma manual usado sobre todo en cultivos con tendencia a la fijación de nitrógeno, fósforo y potasio de manera progresiva como pueden ser cultivos de algodón maíz y caña de azúcar, es importante que esta técnica se considere la dosis para evitar daños en los cultivos y el suelo.
<b>APLICACIÓN ENTRE LÍNEAS</b>	Se basa en la colocación del fertilizante con un espaciado en forma de hileras a lo largo de los cultivos, usado en siembras de maíz, papas, habas entre otros.
<b>APLICACIÓN FOLIAR</b>	La aplicación foliar es el proceso más adecuado y eficiente de suministro de fertilizante y aporte de nutrientes al suelo y planta, además de evitar fenómenos de lixiviación o pérdidas por volatilización de las sustancias químicas, por medio de dosis justas para cada planta.

Fuente: (Sierra et al., 2020)

Realizado por: Vasco Chiliza, Danny, 2022.

### 1.3.9. *Manejo del riego agrícola*

El riego no es más que la suministración de volúmenes de agua adecuados a los cultivos sean estos mediante técnicas tradicionales o métodos artificiales, el riego induce el aumento en la productividad de los cultivos, favorece el crecimiento de las plantas y mantiene al suelo hidratado, el grado de tecnificación del riego implican costos e inversiones altos, pero se garantiza un aprovechamiento eficiente con el menor impacto ecosistémico (Sevilla et al., 2022, p. 161).

#### *1.3.9.1. Riego por inundación o superficie*

El riego por superficie se define como la distribución del recurso hídrico a lo largo de los cultivos aprovechando la acción de la gravedad, el hecho de que no se emplee ningún dispositivo más solamente la gravedad, lo convierte en un método tradicional y barato para el riego de los cultivos sin embargo se debe tomar en consideración que posee un consumo de agua excesivo, y no llega a ser equitativo dentro de todas las parcelas de cultivo, por esta razón es primordial este sistema consiga un alta eficiencia hídrica y uniformidad de riego, minimizando las pérdidas por escorrentía superficial e infiltración profunda, más aún si los suelos presentan tasas elevadas de fertilizantes químicos que favorecen el arrastre de nutrientes o contaminantes (Chávez y Fuentes, 2010, p. 233).

#### *1.3.9.2. Riego por aspersión*

Lo que busca es simular el proceso natural de lluvia tratando de abarcar la totalidad del suelo de cultivo, para esto se conforma una red o sistema de riego el cual conduce el agua y mediante presión los aspersores dirigen el agua y la esparcen hacia los cultivos, si el sistema está adecuadamente conformado debería evitar procesos de escorrentía, y pérdidas de nutrientes.

El tamaño de las gotas al ser mayor y estas al salir de los aspersores llegarán con una mayor energía por lo que se debe considerar que puede originar una erosión del suelo mucho más agresiva este sistema tiene como desventaja su costo elevado de implementación, así como factores naturales como el viento que dificultan la distribución de agua de forma homogénea y en algunos cultivos producen quemaduras en hojas por las sales presentes en el agua (Camposano et al., 2015a, p. 38).

#### *1.3.9.3. Riego por goteo*

Considerado como uno de los sistemas más eficientes para el suministro de agua hacia los cultivos este sistema se basa en suministrar de forma constante agua de gota en gota el agua empieza a humedecer la zona radicular de las especies vegetales alcanzando entre un 90- 95% de eficiencia siempre que el sistema se lo haya elaborado de manera técnica (García Petillo, 2010, p. 36).

La utilización de este sistema provoca un ahorro en la cantidad de agua empleada ya que se suministra solo el volumen requerido en función al tipo de planta esto reduce el crecimiento de malezas este sistema se puede adaptar a cualquier condición climática o de terreno. (García Petillo, 2010, p. 38).

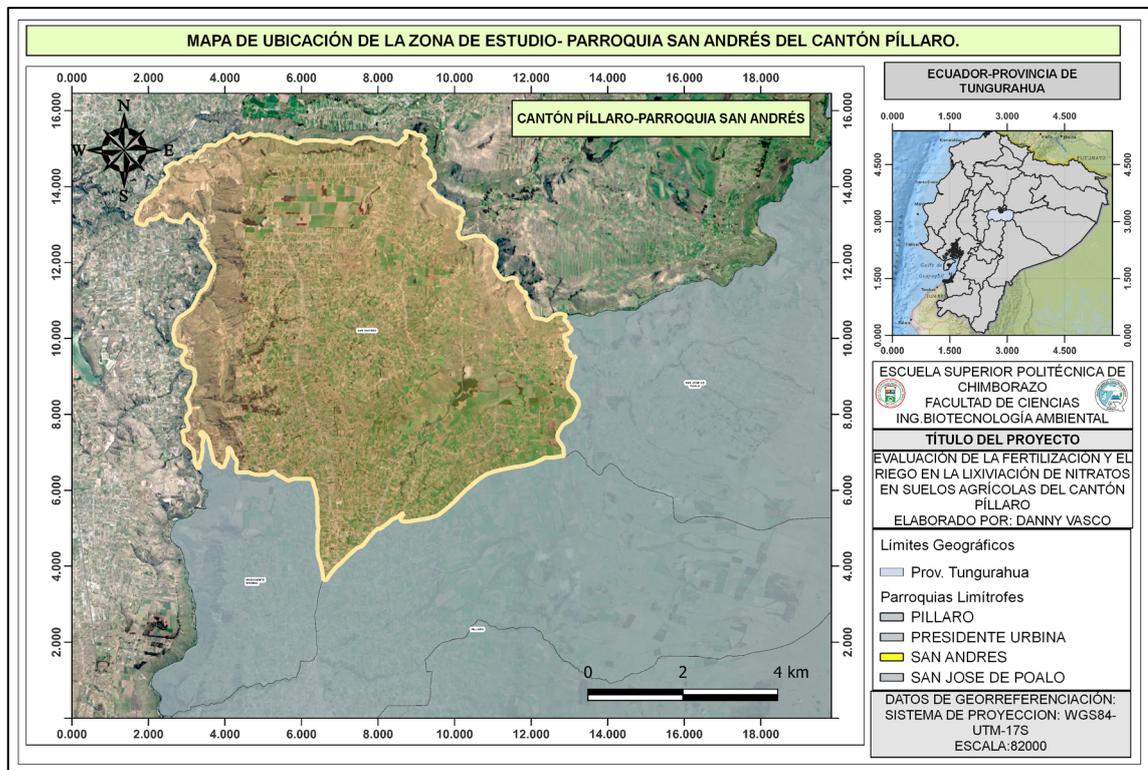
## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Localización del estudio

El desarrollo del presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la Parroquia de San Andrés perteneciente al Cantón Santiago de Píllaro, con coordenadas geográficas UTM WGS 84-17S, 1°5'48,45" latitud Sur, 78°32'09,42" de longitud Oeste. Sus Límites son: Norte: San Miguel de Salcedo. Sur: La parroquia matriz Santiago de Píllaro y la parroquia presidente Urbina. Este: San José de Poaló. Oeste: Panzaleo separado por el río Culapachán.

Extensión: 53,16 Km<sup>2</sup> o 5316,11 hectáreas.



**Figura 1-2:** Delimitación geopolítica de la Parroquia San Andrés

Realizado por: Vasco Chiluiza, Danny, 2022.

#### 2.2. Tipo y diseño de la investigación

Para este estudio se han manejado varios criterios, acorde al alcance y variables que se han determinado, lo que nos ha permitido definir un tipo y diseño de la investigación que abarque los objetivos y metas esperadas a lo largo de este trabajo es así como:

Según la manipulación de las variables es experimental puesto que el control de las variables se mantuvo durante el tiempo de la investigación. De acuerdo con el método de investigación esta es mixta ya que abarca el método de investigación cuantitativo y cualitativo incluyendo información preliminar de trabajos en software Gis, revisiones bibliográficas y comparación de datos con otros estudios de la misma índole.

### ***2.2.1. Por el tipo de investigación***

Al ser un trabajo de tipo investigativo es imprescindible que este inicie con el planteo de las respectivas hipótesis de trabajo y la formulación de un problema con base a las variables involucradas. Considerando lo anteriormente mencionado la investigación es de tipo explicativa ya que engloba la recolección de datos e información y su posterior análisis investigativo, en este caso por medio de simulaciones que deriven en los resultados frente al problema planteado.

### ***2.2.2. Por el diseño de investigación***

Según el diseño, la investigación es de tipo experimental, se plantean que las inferencias encontradas y las hipótesis planteadas buscan solventar o resolver el problema planteado. Finalmente, esta investigación busca unir tanto la parte en campo y de laboratorio con la parte tecnológica que brinde resultados acordes a las variables manejadas y que sobre todo este trabajo permita generar futuras investigaciones o proyectos que velen por el cuidado ecosistémico y la calidad de la agricultura, una agricultura más verde más sana comprometida con los nuevos avances tecnológicos del ser humano.

## **2.3. Unidad de análisis**

Agricultores que están en constante cercanía con las labores agrícolas y del campo.

- Sector rural: Parroquia San Andrés del Cantón Pillaro.

## **2.4. Población de estudio**

Todas las personas de la parroquia San Andrés que en su gran mayoría ejerce el labrado de suelo y sus cultivos son sus principales ingresos económicos para el sustento de sus hogares.

### 2.4.1. Criterios de establecimiento de la población de estudio

Los criterios para el establecimiento de la población de estudio se basaron en las necesidades y variables consideradas durante esta investigación.

- Accesibilidad a la zona de estudio
- Alta producción agrícola y ganadera.
- Buena parte de la zona cuenta con acceso al sistema de regadío.

### 2.5. Recolección de la muestra

Se aplicó la técnica de muestreo aleatorio simple, apropiado para tierras homogéneas y planas, los puntos se recolectaron al azar cumpliendo que estos sean representativos del área muestreada. La parcela para muestrear mantuvo uniformidad en color, tipo de suelo, uso e inclusive posición en la pendiente, se evitó muestrear superficies donde se apreciaban manchas o mezclas con otro tipo de material ajeno al propio del suelo. Durante el proceso de muestreo se emplearon herramientas como pala, fundas ziploc, GPS GARMIN ETREX 22X, libreta y croquis del área.

#### 2.5.1. Técnica de muestreo

- El procedimiento para la toma de muestra se basó en la “Guía Técnica para el Muestreo de Suelos” (Espinoza et al., 2017).
- Se inició con el reconocimiento del área de muestreo, se dividieron en 4 submuestras por la parcela escogida, a continuación, se georreferenció el área mediante GPS.
- Seguido se limpió el área superficialmente de los restos vegetales sin eliminación del suelo.
- Con una pala se realizó un corte en forma de V en el sitio elegido, a una profundidad de 50-60cm aproximadamente.
- Luego se tomó la submuestra de los primeros 10 a 15 cm de suelo del hoyo realizado.
- Se repitió el procedimiento en los 3 cuadrantes previamente elegidos, las submuestras se guardaron en una bolsa plástica hermética y correctamente etiquetada, el peso de la muestra total era de aproximadamente 2 kg.
- Se repitió este procedimiento en 20 puntos de la parroquia

**Tabla 1-2:** Puntos de muestreo georreferenciados

Punto	Zona	Altitud	Longitud	Latitud
1	EL PORVENIR	3087 m	777076	9875937
2	SAN FRANCISCO	2961 m	775546	9874608
3	SANTA RITA	3075 m	776640	9875534

4	EL BARATILLO	2942 m	774694	9874561
5	SAN JACINTO	2976 m	774977	9875529
6	ANDAHUALO BAJO	3044 m	775695	9876555
7	ANDAHUALO PACHA	3152 m	776449	9878978
8	CHAUPILOMA	3153 m	775191	9879685
9	YATCHIL	3057 m	775039	9877785
10	CARDOSANTO	3051 m	774720	9881780
11	RUMIPUNGO	3071 m	774800	9881664
12	HUAPANTE GRANDE	2934 m	772733	9880432
13	HUAPANTE CHICO	2935 m	773053	9877615
14	LA LINDERA	2913 m	773242	9877062
15	CHININTAHUA	2852 m	772618	9876446
16	YANAYACU	2825 m	772533	9875988
17	SAN PEDRO CAPULI	2845 m	772789	9875494
18	EL TRIUNFO	2879 m	773522	9874378
19	SAN ANDRES	2879 m	773893	9874417
20	LA DOLOROSA	2862 m	773841	9873819

**Realizado por:** Vasco Chiluiza, Danny, 2022.

#### *2.5.1.1. Acondicionamiento de las muestras de suelo*

Se realizó el acondicionamiento de las muestras recolectadas, con la finalidad de que todas las muestras en lo posible mantuvieran una adecuada granulometría y que no presenten humedad.

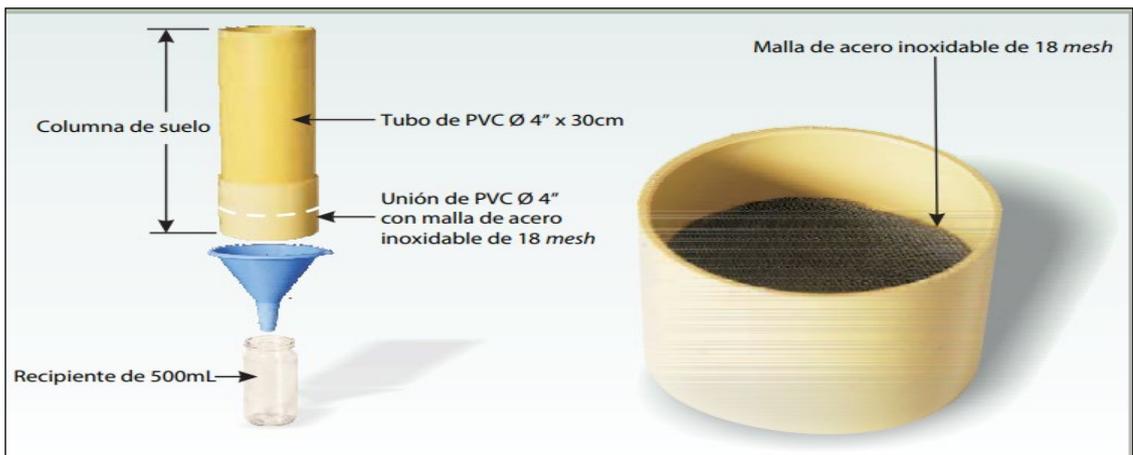
- Las muestras de suelo se colocaron sobre papel periódico posteriormente se retiró el exceso de rocas y malezas que interfieran con la muestra.
- Las muestras se dejaron secar por alrededor de 5 días, en el caso de los suelos que presentaron mayor humedad el tiempo de secado se extendió hasta 7 días donde se eliminó el exceso de humedad.
- Se dató información morfológica del suelo.

#### *2.5.2. Diseño y construcción de las columnas de lixiviación*

Se utilizaron 20 cilindros de material PVC de 25 cm de altura y un diámetro de 10cm, a cada cilindro se le fijó una malla fina de alambre de aproximadamente 0,5 mm de espacio entre cada celda a un extremo de la columna para que la malla soporte el peso del suelo se fijó la malla con unos tornillos en los laterales del cilindro.

### 2.5.2.1. Sistema de recolección del lixiviado

Las columnas se suspendieron de forma vertical en un lugar adecuado dejando un espacio de 15 cm para el sistema de recolección el cual consta de un embudo conectado a un recipiente plástico o zona de depósito. Para los embudos se emplearon envases plásticos de 1 galón de agua, se realizó un corte transversal por la mitad del recipiente y se unió la boca del galón de agua con el recipiente plástico, procurando que este se encuentre bien sellado para evitar fugas, el proceso se replicó para cada una de las 20 columnas PVC adecuadamente etiquetadas.



**Figura 2-2:** Columna de lixiviación para estudios experimentales

Realizado por: Vasco Chiliza, Danny, 2022.

### 2.5.2.2. Cálculo del área superficial de la columna de lixiviación

Para determinar el volumen de riego se requirió conocer el área superficial de las columnas de lixiviación para lo cual se tuvo los datos siguientes:

Altura (h) 25cm columna PVC

Diámetro: 10cm

Altura útil (h) 20 cm para cada columna

**Área superficial de la columna:**

$$A = 2\pi rh + 2\pi r^2$$

Donde:

r= radio

h=altura útil

## **2.6. Diseño experimental para la evaluación de los nitratos lixiviados**

El experimento tuvo una duración de 30 días tiempo en el cual el fertilizante agota sus componentes químicos en el suelo, se aplicó una “lluvia artificial” la cual consistió en aplicar agua destilada con un volumen equivalente a los meses más lluviosos de la parroquia.

Para el cálculo promedio del volumen de precipitación mensual se emplearon los datos provistos por el INAMHI de la estación meteorológica Querochaca-M0258, los meses de marzo, junio y julio registraron los mayores volúmenes de precipitación promedio con 190 mm de agua (31 días). Para mantener un constante abastecimiento de riego, se propuso realizar un riego cada 3 días con una intensidad que es resultante de la división de la precipitación total entre los 31 días del mes, es así como la intensidad de riego fue de 6.12 mm por día, considerando el área superficial de la columna previamente calculada (785.3cm<sup>2</sup>) se obtuvo un volumen de 480.6 ml de agua que se añadió por cada evento de riego.

Se agregó la muestra de suelo en los primeros 20 cm de cada columna, lo que correspondía a un peso cercano a 1 kg, se compactó el suelo con la ayuda de una cuchara presionando de forma constante y se añadió agua destilada con un volumen de 480 ml, cantidad requerida para cumplir con un valor de 1,5 veces la máxima capacidad de retención hídrica de humedad del suelo de cada columna, garantizando la generación del lixiviado (Moriassi et al., 2013).

Finalmente se añadió el fertilizante a cada columna un “Blau Korn 12-8-16 granulada” con una composición del 22 % de (N), haciendo uso de la tabla de dosificación especificada en el producto se determinó que cada columna requiere 50 g de fertilizante.

### **2.6.1. Determinación del volumen de riego y volumen lixiviado**

Se suministró 480 ml de agua destilada por cada evento de riego, posteriormente se recolectó la muestra de lixiviado almacenado. El volumen final se determinó mediante la resta entre el volumen inicial y el volumen lixiviado. Este cálculo se realizó durante todo el periodo de experimentación, por cada evento de riego (3 días) se adicionó otros 480 ml de agua lixiviada y se repitió el proceso obteniendo un promedio general por cada una de las 20 columnas de lixiviación (Moriassi et al., 2013).

$$\text{Volumen final} = \text{Volumen Inicial} - \text{Volumen lixiviado}$$

## **2.7. Determinación de los parámetros fisicoquímicos**

### **2.7.1. Medición del pH en las muestras de suelo**

- Se empleó equipo multiparámetro HANNA-HI9811-5.
- Para la calibración se añadieron pequeñas cantidades de solución de calibración de pH 7.01 (HI 7007), pH 4.01 (HI 7004) y pH 10.01 (HI 7010), en un vaso de precipitación por separado.
- Se retiró la tapa protectora de la sonda, se limpió con agua destilada y se sumergió la sonda en la solución de calibración, hasta que la lectura se estabilice.
- Ajustamos la perilla de calibración de pH hasta que en la pantalla LCD mostrará el valor de pH a la temperatura indicada por el fabricante.
- La calibración de pH se lo realiza con base a la tabla de temperatura provista por el fabricante.
- Con el equipo calibrado se procedió a tomar una muestra de 50 ml de lixiviado en un vaso de precipitación.
- Se añadió 100 ml de agua destilada a la alícuota del lixiviado.
- Se sumergió la sonda en la muestra y se esperó hasta que la lectura se estabilice
- Se registró los datos correspondientes.

### **2.7.2. Medición de la Conductividad eléctrica**

- Se empleó equipo multiparámetro HANNA-HI9811-5.
- Para la calibración se añadió pequeñas cantidades de solución de calibración CE HI70031 (1413  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) o la solución de calibración TDS HI70032 (1382 ppm)
- Se vertió aproximadamente 50ml de la solución de conductividad en un vaso de precipitación.
- Se sumergió la sonda en la solución y se esperó un tiempo hasta alcanzar el equilibrio térmico, para evitar la presencia de burbujas se agitó levemente la sonda
- Se asignó la función conductividad presionando la tecla  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (o ppm) y se giró la perilla de calibración CE/TDS hasta que la pantalla muestre el valor de CE o TDS de la lectura a 25°C.
- Con la calibración terminada se procedió a tomar 50 ml del lixiviado en un vaso de precipitación, se le añadió 100 ml de agua destilada.
- Se sumergió la sonda y se esperó a que el dato de CE se estabilice.
- Se tomó el registro correspondiente.

### **2.7.3. Determinación de la concentración de nitratos**

Se empleó un kit de nitratos HI 3874 Hanna instruments basado en la relación de reducción de los nitratos en presencia de Cadmio, los nitratos producidos al reaccionar se tornaron de un color naranja, intensidad de color que es proporcional a la concentración.

#### **2.7.3.1. Toma de la concentración de nitratos para muestra en Agua**

- Se tomó una muestra de 50 ml de lixiviado generado al cual se añadió 100 ml de agua destilada.
- Posteriormente se llenó la cubeta de cristal con 10 ml de la muestra, hasta la marca y se añadió 1 paquete de reactivo HI 3874.
- Se colocó la tapa y se agitó vigorosamente durante 1 minuto.
- Se esperó de 4 a 5 minutos a que el color se desarrolle, retiramos la tapa y llenamos el cubo comparador de color con 5 ml de la muestra tratada (hasta la marca).
- Se comparó mediante el uso del disco checker hasta encontrar el color semejante y anotamos el valor arrojado por el disco.
- Realizamos la conversión de la lectura a mg/l de nitrato, multiplicando la lectura del disco checker por un factor de 4.43.

**Nota:** Se realizó el mismo procedimiento por cada evento de riego realizado, con la

#### **2.7.3.2. Determinación de la solubilidad del fertilizante**

Se determinó la solubilidad del fertilizante utilizando la relación entre la conductividad eléctrica y los TDS, en donde se detalla que los TDS en soluciones acuosas son directamente proporcionales al porcentaje de sólidos disueltos. Para nuestro caso una vez obtenido los valores de CE correspondientes, previa la calibración del equipo se realizó la conversión automática tomando como factor de conversión que 1  $\mu\text{S}/\text{cm}$  equivale a 0,5 mg/l de TDS.

### **2.7.4. Modelamiento de los datos empleando QGIS y su complemento QSWAT+**

El modelo SWAT+ es un software de simulación que se complementa con QGIS para el uso y gestión de cuencas (QSWAT, 2019), permite a su vez al investigador procesar los datos en campo y modelarlos bajo distintas condiciones. Actualmente el programa ha alcanzado un nivel de desarrollo muy alto en cuanto a sus simulaciones, lo que nos permitió modificar parámetros tanto físicos como químicos del suelo y agua con la finalidad de brindar una proyección a futuro sobre el mecanismo de acción que tienen los elementos y fenómenos naturales suscitados en una zona o ambiente en particular (Dile et al., 2020).

#### 2.7.4.1. *Aplicaciones del modelamiento en Swat+*

Se utiliza como herramienta para la predicción de los efectos del uso y manejo de la tierra y de qué forma estos influyen en la producción de sedimentos, escorrentía y elementos químicos que puedan causar un tipo particular de contaminación en una cuenca hidrográfica. Del mismo modo SWAT+. Los modelos SWAT para una mayor precisión durante las simulaciones requieren de una base de datos espaciales de uso de suelo, relieve, morfología, cobertura de suelo que nos permitirán manejar las variables de:

- Intercepción
- Infiltración
- Evapotranspiración
- Flujo lateral subsuperficial
- Escorrentía superficial
- Estanques
- Canales tributarios
- Flujo de retorno
- Crecimiento de plantas y cobertura
- Erosión
- Nutrientes
- Pesticidas
- Manejo agrícola
- Tránsito hidrológico
- Tránsito en reservorios

### **2.8. Delimitación de la Cuenca San Andrés – mediante QGIS**

Para esta investigación se empleó el software QGIS en su versión 3.16.14 y su complemento SWAT+ en su versión 2.0.4, para la delimitación de la zona de interés se empleó la unidad hidrográfica N6 que engloba la parroquia San Andrés, datos obtenidos en formato shapefile del portal web perteneciente al Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAE), seguido se realizaron los pasos indicados en la tabla 2-2, de igual manera es necesario resaltar que cada uno de los procesos realizados se deberán hacer en el sistema de proyección cartográfica perteneciente a la zona de estudio la misma que es la correspondiente a DATUM WGS84-UTM-17S.

**Tabla 2-2:** Procedimiento para la delimitación de la cuenca

Herramienta	Función	Archivo de entrada	Archivo de salida
<b>Reproyectar</b>	Asigna el sistema de coordenadas correcto para la zona de estudio WGS84-UTM-17S	DEM “modelo de elevación digital”	DEM reproyectado
<b>r. neighbors</b>	Asigna valores de las celdas vecinas aquellos “espacios” que se encuentren sin datos en el DEM	DEM reproyectado	DEM corregido (relleno de píxeles vacíos)
<b>Algoritmos de GRASS r. watershed</b>	Calcula parámetros hidrológicos y morfológicos de la cuenca Llenamos los campos correspondientes para el algoritmo, asignamos el tamaño mínimo para cada cuenca, tomando como referencia el número de píxel que viene por defecto en nuestro DEM. Marcamos las opciones: accumulation; drainage; basins streams	DEM previamente cortado a la zona de estudio. Información de los píxeles contenidos del DEM	Capas de Salida La capa de acumulación (accumulation) contiene el valor absoluto de cada celda, que es la cantidad de flujo superficial que atraviesa la celda. La capa ráster de drenaje (drainage) contiene la dirección del drenaje indica la dirección de cada celda medida en el sentido contrario a las manecillas del reloj desde el Este. La capa de salida de cuencas (basins) contiene las cuencas que se forman dentro de la zona geográfica, y se identifican por una etiqueta única. La capa de salida de escurrimientos (streams) contiene segmentos de los escurrimientos generados. Los valores son correspondientes a los de las cuencas.
<b>r.to.vect. area</b>	Convierte los archivos raster a vectores, en este caso a polígonos.	Ráster: accumulation; drainage; basins streams	Archivos en formato shp de la cuenca delimitada.

Realizado por: Vasco Chiluiza, Danny, 2022.

### 2.8.1. Morfometría de la cuenca

Una vez que se delimitó la zona de estudio empleando el software QGIS, se procedió al análisis morfológico de la cuenca, este paso hace referencia al estudio de las variables lineales, de relieve, superficie y drenaje que maneja la cuenca, la morfometría se representó mediante una tabla que refleja los parámetros calculados correspondientes:

- *Área (A)*: Superficie delimitada por la divisoria o parte de aguas, medida en Km<sup>2</sup>

- *Perímetro (P)*: Medición de la longitud de la divisoria de aguas, calculada en kilómetros o metros
- *Coefficiente de compacidad de Gravelius*: Coeficiente que relaciona el perímetro de una cuenca hidrográfica con el de un círculo teórico de área semejante al de la cuenca. En función al valor de este coeficiente, la cuenca tendrá diferente forma:  $K_c = 1.00$  cuenca redonda;  $K_c = 1.25$ , oval redonda;  $K_c = 1.50$  oblonga;  $K_c$  igual o mayor a 1.75 indica una cuenca rectangular-oblonga

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$$

- *Curva hipsométrica*: Caracteriza el relieve y se obtiene a partir de las cotas de altitud.
- *Pendiente media*: Detalla el relieve de la cuenca, en función con la inclinación del terreno permite identificar el grado erosivo al que se ve sometida la cuenca, mantiene correlación con la infiltración, el escurrimiento superficial, la humedad del suelo y la aportación del agua subterránea al flujo de los cauces. De acuerdo con su valor expresado en (porcentaje) se puede dividir en: Muy plano a un valor menor del 0.5%; plano entre 0.5 a 1 %, de 1 a 3 % suave; de 3 a 12 % presenta lomadas; 12 a 20 % corresponde a un relieve accidentado; 20 a 50 % accidentado muy fuerte; escarpado cuando está entre 50 y 75 %, y mayor al 75% se caracteriza como muy escarpado.
- *Densidad de drenaje*: Indica la relación entre la suma de las longitudes de todos los cursos de agua que drenan por la cuenca con respecto su área calculada en  $\text{km}/\text{km}^2$ ; y, en función a su valor se caracteriza como: Densidad baja para valores entre 0.1 y 1.8, valores entre 1.9 y 3.6 corresponde a una densidad moderada, y valores entre 3.7 y 5.6 se refieren a una densidad alta.
- *Densidad de corrientes*: Demuestra la cantidad de corrientes por unidad de área, se considera como un indicador del grado de eficiencia de drenaje que tiene una cuenca, a valores mayores se observa que el parteaguas tendrá una cantidad mayor de ramificaciones.

## 2.9. Modelamiento por QSWAT+

Se empezó con la recolección de los archivos necesarios para el modelamiento de la cuenca siendo estos el archivo DEM delimitado, datos de uso y tipo de suelo, datos climáticos y los datos de concentración de nitratos obtenidos de las columnas de lixiviación, posteriormente se siguieron los pasos descritos en la tabla 3-2

**Tabla 3-2:** Procedimiento de modelado en QSWAT de la cuenca San Andrés-Píllaro

Herramienta	Procedimiento	Archivo de entrada	Archivo de salida
<b>Complemento QSWAT</b>	Abrimos el complemento QSWAT y generamos un nuevo proyecto.	DEM re proyectado y cortado a la zona de estudio.	
<b>Delineación de cuencas hidrográficas (Delineate Watershed)</b>	Se seleccionó el DEM y lo cargamos en la interfaz En la pestaña Delineate Watershed se definió el tamaño umbral para crear las subcuencas. Se puede configurar por área, en varias unidades, como kilómetros cuadrados o hectáreas, o por número de celdas. Pasamos a la pestaña Create Streams, y generamos los arroyos correspondientes	DEM re proyectado	DEM con la proyección de los arroyos a lo largo de la cuenca
Draw inlets/ outlets- create watershed	Se delimitó la cuenca eligiendo un punto de aforo, esto hará que el SWAT arroje tanto la cuenca como subcuencas que partan a partir de este parteaguas.	DEM con los arroyos	Archivo delimitado con las cuencas y subcuencas incluido sus tributarios.
<b>Creación de HRUs</b>	Finalmente, dentro de QSWAT se habilita la opción de crear los HRUs que son las unidades de respuesta hidrológica.	Tablas de búsqueda para convertir los valores numéricos que se encuentran en los mapas de suelo y uso de la tierra a códigos SWAT de uso de la tierra y nombres de suelos.	Se obtuvo datos con la codificación para que el SWAT pueda leer los usos y tipo de suelo correspondientes, por ejemplo: LANDUSE_ID, SWAT_CODE 0, AGRL 1, WATR 2, AGRL 3, PAST 4, FRST
<b>Visualización HRUs</b>	Creados los HRUs se visualizó en el QGIS en la tabla de atributos del proyecto que la cuenca ya tiene asignado tanto los usos de suelo como los datos de climatología.	Cuenca modelada con información de uso, tipo de suelo, así como de clima	

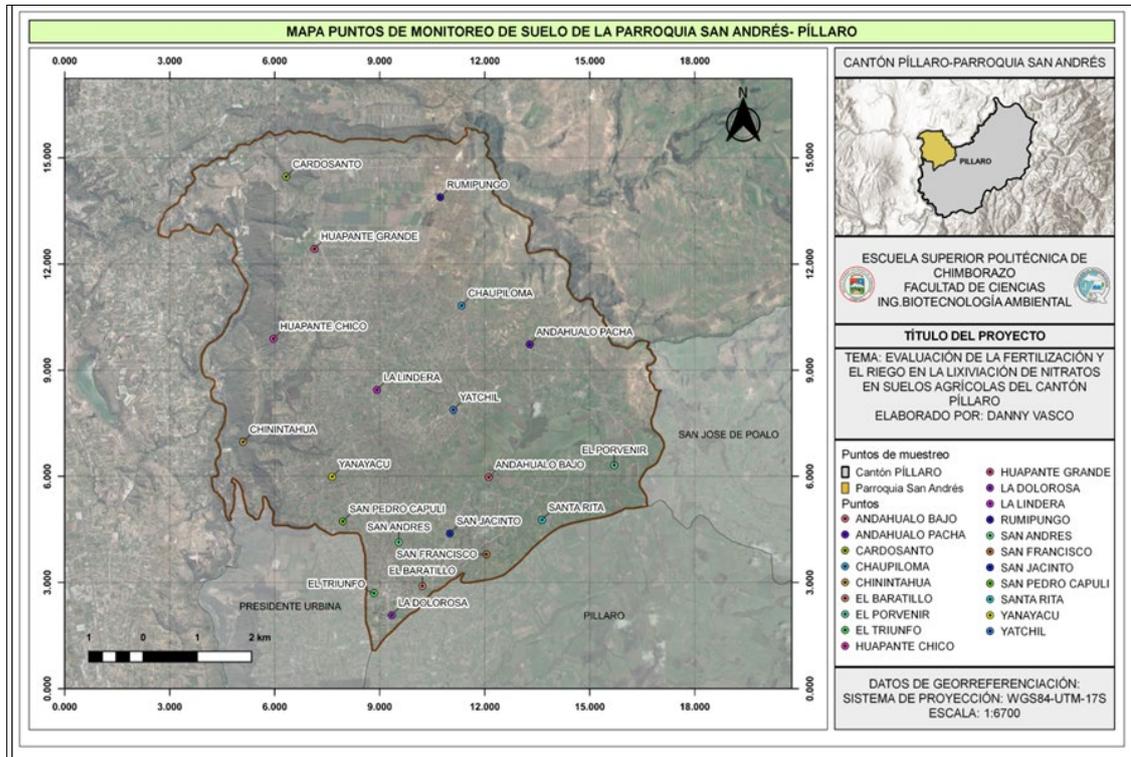
<b>Modelado en SWAT</b>	Posteriormente se habilitó la pestaña de modelado en SWAT o editor de SWAT El editor de datos permitió modificar cada uno de los parámetros tanto ambientales como químicos presentes en suelo y agua, en este punto se procederá a añadir los datos de nuestra investigación tales como concentración de nitratos, precipitación, uso y tipo suelo	Datos de concentración de Nitratos, pH, CE, TDS, y parámetros morfológicos de la cuenca.	Insumos en formato CSV o delimitados en coma.
<b>Weather Generation</b>	Importamos los datos climáticos de nuestra zona de estudio.	Datos climatológicos.	Se visualizó en SWAT la tabla con los parámetros tales como precipitación, temperatura etc.
<b>Basin Parameters</b>	En este apartado de SWAT editor ingresamos los parámetros morfológicos calculados de nuestra cuenca	Datos morfológicos de la cuenca San Andrés.	Modelo de la cuenca con los parámetros morfológicos ajustados a nuestra zona de estudio.
<b>Swat+editor Soils-Fertilizer-Nutrients</b>	Se añadió los datos de concentración de nitratos pH, tipo de fertilizante entre otros.	Datos obtenidos de las columnas de lixiviación.	Modelado de la cuenca con los contaminantes ajustados a la zona de estudio.
<b>Visualización de salida con QSWAT</b>	Finalmente se generó la simulación el SWAT+ se procesó todos los parámetros provistos.	Se añadió datos de rango de tiempo o proyección futura.	Modelado final de la cuenca con proyección de la distribución del nitrato a través de la cuenca

Realizado por: Vasco Chiluiza, Danny, 2022.

## CAPÍTULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Representación de los puntos de muestreo



**Figura 1-3:** Mapa de ubicación puntos de muestreo suelo parroquia San Andrés.

Realizado por: Vasco Chiluzza, Danny, 2022.

El área delimitada para el proceso de estudio se ubica en la parroquia San Andrés del Cantón Píllaro (figura1-3), los puntos de muestreo representan las principales zonas que hacen parte de la parroquia, recordando que estas en su gran mayoría son zonas destinadas al cultivo y que presentan un suelo con características morfológicas similares.

#### 3.1.1. Resultados morfológicos del suelo en la zona de estudio

Se obtuvo las características morfológicas de los suelos muestreados perteneciente a la parroquia San Andrés del cantón Píllaro, los tipos de suelo se tomaron y se dataron en base a la metodología detallada en los capítulos anteriores, se resalta que en su mayoría los suelos eran de tipo Molisol o Inceptisoles, dadas las características agrarias de la zona los resultados se resumen en la tabla correspondiente.

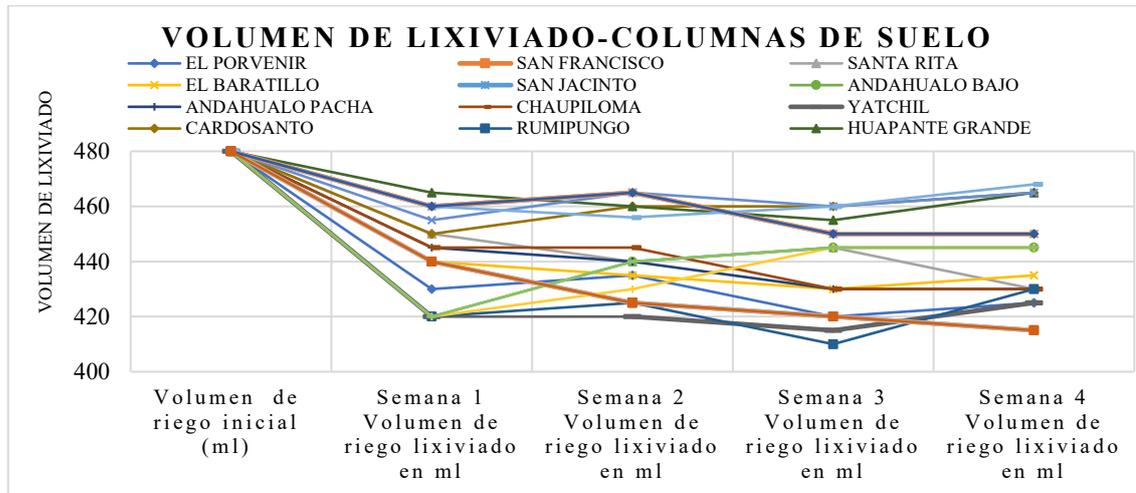
**Tabla 1-3:** Principales tipos de suelo de la zona de estudio

PUNTO	TIPO DE SUELO	COLOR	TEXTURA
EL PORVENIR	Inceptisoles	Negros o pardos	limosa
SAN FRANCISCO	Inceptisoles	Negros o pardos	limosa
SANTA RITA	Inceptisoles	Negros o pardos	limosa
EL BARATILLO	Inceptisoles	Negros o pardos	limosa
SAN JACINTO	Inceptisoles	Negros o pardos	limosa
ANDAHUALO BAJO	Inceptisoles	Negros o pardos	limosa
ANDAHUALO PACHA	Inceptisoles	Negros o pardos	limosa
CHAUPILOMA	Inceptisoles	Negros o pardos	limosa
YATCHIL	Inceptisoles	Negros o pardos	limosa
CARDOSANTO	Molisoles	Marrones	Granulometría moderadamente gruesa a fina
RUMIPUNGO	Inceptisoles	Negros o pardos	limosa
HUAPANTE GRANDE	Molisoles	Marrones	Granulometría moderadamente gruesa a fina
HUAPANTE CHICO	Molisoles	Marrones	Granulometría moderadamente gruesa a fina
LA LINDERA	Inceptisoles	Negros o pardos	limosa
CHININTAHUA	Inceptisoles	Negros o pardos	limosa
YANAYACU	Inceptisoles	Negros o pardos	limosa
SAN PEDRO CAPULI	Molisoles	Marrones	Granulometría moderadamente gruesa a fina
EL TRIUNFO	Inceptisoles	Negros o pardos	limosa
SAN ANDRES	Inceptisoles	Negros o pardos	limosa
LA DOLOROSA	Inceptisoles	Negros o pardos	limosa

Realizado por: Vasco Chiluiza, Danny, 2022.

La zona de estudio perteneciente a la parroquia San Andrés presentó 2 tipos de suelo predominantes estos son del orden Inceptisoles y Molisoles, el resto de superficie corresponde a otros tipos de suelo, que a su vez concuerdan con la información cartográfica disponible en el MAGAP, estos suelos son característicos de la zona interandina, generalmente poseen una cantidad de materia orgánica elevada y presentan una granulometría variable que en épocas lluviosas adoptan una textura limosa y por el contrario en épocas secas estos suelos tienden a formar asociaciones granulométricas de tamaño variable, lo que a su vez ocasiona que este suelo se sature e impida el ingreso de más cantidad de agua hacia los horizontes interiores del suelo, por lo cual llegado a este punto fenómenos tales como la escorrentía superficial se hacen muy presentes, fenómenos que a su vez están ligados a la procesos erosivos naturales, que si bien hoy se han convertido en problemas ambientales dado el incremento de sustancias y productos químicos que llevan consigo durante el arrastre del agua por fenómenos de riego y precipitación principalmente, de ahí la importancia de conocer sobre qué tipo de suelo se está trabajado para adoptar mecanismo eficientes y ambientalmente apropiados que tengan como finalidad la conservación de los ecosistemas y el medio ambiente.

### 3.1.2. Resultados correspondientes a cada columna de Lixiviación



**Gráfico 1-3:** Volúmenes de lixiviado generado durante el periodo de experimentación

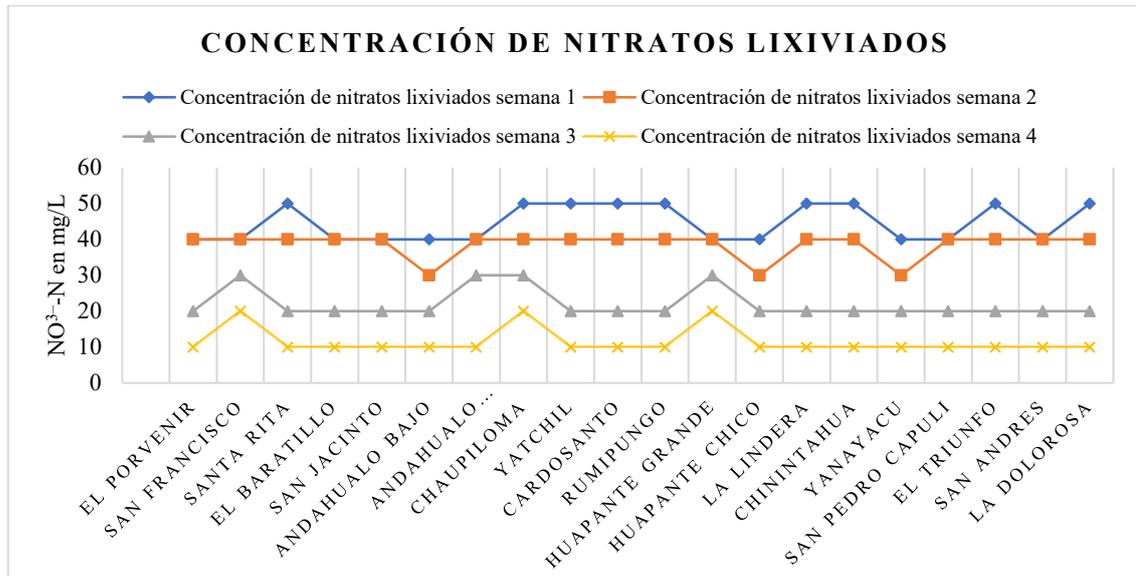
Realizado por: Vasco Chiluiza, Danny, 2022.

Se muestran los volúmenes de riego promedio que han lixiviado a través de las 20 columnas de lixiviación durante la fase experimental, recordando que se añadió inicialmente 480 ml de agua con un riego repetido cada 3 días.

Se observó que en suelos de tipo Inceptisoles, una vez saturados los volúmenes de infiltración fueron mucho menores a comparación de los suelos de tipo Molisol. Durante la semana 3 se presentó los mayores descensos en el volumen de infiltración destacándose las columnas de Rumipungo, La Dolorosa, San Andrés y Huapante Grande las cuales registraron volúmenes de lixiviación mayores alcanzado un promedio de (420 - 440ml).

La tendencia del volumen lixiviado se mantuvo semejante al estudio realizado por (Khalajabadi et al., 2015, p. 13), denominado “Lixiviación de Nitratos en suelos de la zona cafetera-prácticas que ayudan a reducirla”, estudio donde representó el porcentaje de lixiviado generado en función al número de riegos realizados determinando que los factores que favorecen volúmenes de riego elevados son el grado de permeabilidad del suelo, su saturación y el número de eventos de riego sometidos. En comparación con nuestro estudio la situación es similar por lo que es un indicio de que dichos suelos son propensos a percibir una alta escorrentía y percolación, además tal como lo propone (Cardona et al., 2015, p. 144), el tiempo de prueba de cada columna de lixiviación deberá coincidir con la eliminación de la carga nutritiva del fertilizante químico siendo este de aproximadamente un mes. Finalmente, suelos con una textura más fina tienden a erosionarse con facilidad perdiendo estabilidad lo que generó que se rellenen los espacios y se retenga superficialmente un volumen mayor de agua.

### 3.1.3. Concentración de nitratos en el lixiviado generado



**Gráfico 2-3:** Concentración de  $\text{NO}_3^-$  promedio alcanzados en la fase de experimentación

Realizado por: Vasco Chiluiza, Danny, 2022.

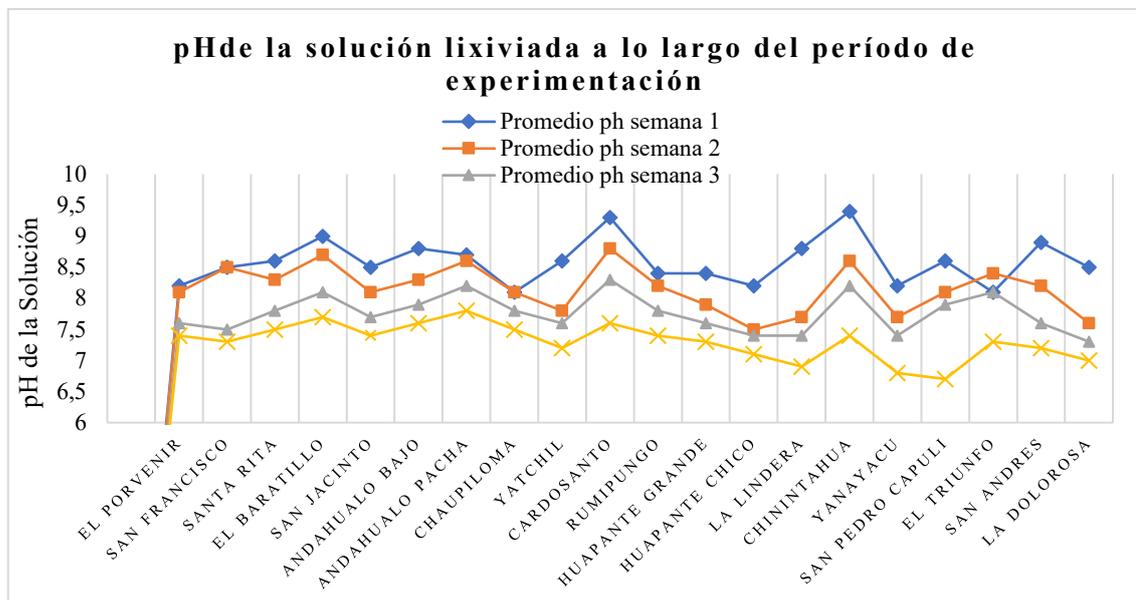
La gráfica muestra que durante la semana 1 y 2 de la experimentación los valores de concentración de  $\text{NO}_3^-$  mantuvieron valores elevados con rangos comprendidos entre 40 a 50 mg/l, lo que sugiere que este periodo el fertilizante aportó la mayor cantidad de nutrientes al suelo. De las 20 columnas de lixiviación las correspondientes a los sectores Cardosanto, Huapante Chico, Huapante Grande, San Pedro de Capulí, obtuvieron las concentraciones más elevadas dentro de la semana 1 y 2 del experimento. Al cabo de la semana 3 se observó una disminución en la concentración de nitratos lixiviados, esto influenciado por la periodicidad del riego y la volatilización del (N), los valores para esta semana rondaron los 20 mg/l.

Al finalizar la semana número 4 se obtuvo la concentración más baja de nitratos con un promedio de 10 mg/l en la mayoría de las columnas exceptuando las muestras de San Francisco, Huapante Grande y Chaupiloma que promediaron concentraciones de 15 mg/l.

Tomando como referencia a (Khalajabadi et al., 2015), los valores de  $[\text{NO}_3^-]$  registrados en su estudio estos rondaron los 30 mg/l frente a los 40-50 mg/l de la investigación que se realizó, presumiblemente esta fluctuación en los valores proceda por el tipo de suelo y las condiciones ambientales sujetas del experimento.

Los valores iniciales de concentración dentro de las 2 primeras semanas de experimentación mostraron que son las más propensas a generar fenómenos de contaminación aún más tomando en consideración que estos niveles al ser escalados a las superficies reales de la zona de estudio, lo volúmenes y concentración serán mayores, los cuales podrían provocar una mayor afectación

**3.1.4. Análisis de la relación entre la solubilidad del fertilizante la CE y el pH del suelo frente a la concentración de nitratos lixiviados.**



**Gráfico 3-3:** pH promedio a lo largo de la fase de experimentación

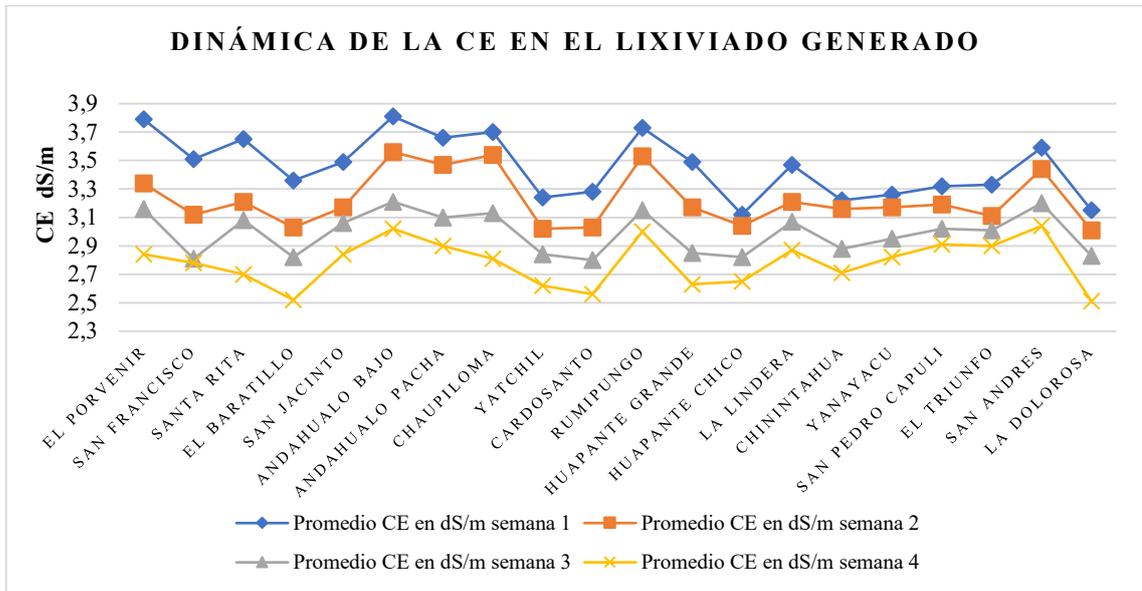
Realizado por: Vasco Chiluiza, Danny, 2022.

Los valores de pH más altos se alcanzaron posterior a la toma en contacto del suelo con el fertilizante y el agua, lo valores alcanzados fueron ligeramente alcalinos con un rango de 8.0 a 8.5 pH, las columnas de Cardosanto y Chinintahua fueron las que presentaron valores más elevados con pH de 9.0 y 9.5 respectivamente.

Entrando a la segunda semana el valor de pH sufrió un ligero descenso en su valor, las columnas pertenecientes a Yatchil, Huapante Grande, Huapante Chico Yanayacu alcanzaron rangos de pH entre 7.6 y 8.1 respectivamente. Para la semana 3 el resto de las columnas de suelo alcanzaron valores de pH entre 7.1 a 8.0.

Finalmente, en la semana 4 el pH lixiviado de las columnas mantuvo valores considerados neutros entre 7.0 a 7.5, se evidencia a su vez que los valores de pH mantuvieron una relación con los procesos de fertilización y fertilidad del suelo, tal y como lo indica (Osorio, 2012), las soluciones nutritivas suelos con pH de 4.0 a 5.0 se los consideran fuertemente ácidos y favorecen la solubilidad de minerales tales como el aluminio, manganeso y el hierro, por otro lado, valores de pH de 8.0 a 9.0 se los consideran alcalinos por lo que interfieren en la solubilidad de los nutrientes disponibles para su asimilación, un rango óptimo comprende valores entre 6.5 y 7.5 donde la microbiota del suelo transforma los nutrientes que posteriormente pasarán a incluirse en el metabolismo de plantas u organismos superiores.

### 3.1.5. Resultados conductividad eléctrica



**Gráfico 4-3:** CE promedio a lo largo de la fase de experimentación

Realizado por: Vasco Chiluíza, Danny, 2022.

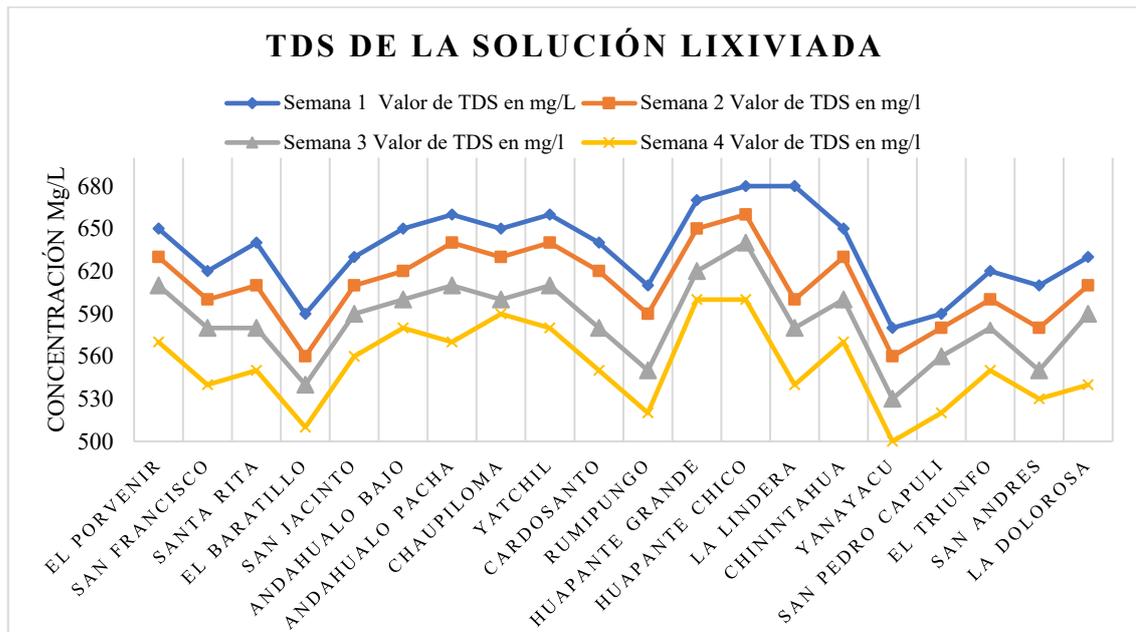
Los resultados manifestaron que durante la primera semana los valores de conductividad alcanzada fueron de 3.5 a 3.15 dS/m, a la semana 2 el comportamiento se mantuvo similar con un ligero descenso presentándose valores con rangos que van desde 3.34 a 3.01 dS/m.

Ingresando a la semana 3 de la experimentación se observó una caída marcada en los valores de CE similar a lo presentado con el pH y la concentración de los nitratos, se alcanzaron valores de entre 2.7 a 3.1 dS/m en la mayoría de las muestras de suelo, las columnas correspondientes a el Porvenir, Andahuato bajo, San Juan de Rumipungo y la Lindera, Yanayacu y el Capulí mantuvieron valores ligeramente por encima de los 3.0 dS/m.

Durante la última semana los valores arrojados de nuestro estudio resultaron ser muy similares a los descrito por (Cardona et al., 2015), en su trabajo “Guía técnica manejo y aprovechamiento de agua con fin agropecuarios” donde sus resultados obtuvieron valores de 2.0 a 2.75 dS/m, frente a los 2.84 a 2.51 dS/m indicados en nuestro estudio, lo que recalca que la CE esencial para la mayoría de cultivos no deberá exceder los 3.5 dS/m, salvo en los primeros días cuando se añade un fertilizante o enmienda, además la medida de conductividad eléctrica está regido por la periodicidad en los eventos de riego y el tipo de fertilizante que se empleó.

### 3.1.6. Resultados Solubilidad del fertilizante

Los TDS o sólidos totales disueltos no son más que la suma de los minerales, sales, metales, cationes o aniones disueltos en agua, según (Rayo et al., 2017), en su estudio “Soil quality indicators to evaluate soil fertility” propone que para los procesos fertilización una forma de determinar cuán soluble es dicho fertilizante, radica en la cantidad de TDS presentes.



**Gráfico 5-3:** Valores promedio de TDS a lo largo de la fase de experimentación

**Realizado por:** Vasco Chiluiza, Danny, 2022.

Se observó que los valores de TDS para la semana 1 y semana 2 alcanzaron los 650 a 680 mg/l coincidente con el añadido del fertilizante y su posterior proceso de solubilidad que incrementó la cantidad de sales disueltas en la solución, a medida que entramos a la semana 3 los valores descendieron arrojando valores con rangos comprendidos de 630 a 580 mg/l.

Los valores más bajos se obtuvieron en la semana 4 de la experimentación esto en parte influenciado por el fertilizante que se ha consumido casi en su totalidad, los valores en esta semana fueron de 510 a 500 mg/l con las columnas del Baratillo, Rumipungo, Yanayacu y Cardosanto como las más destacadas. Similar situación presentó el trabajo de (Ortega et al., 2018), “Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica (CE) en los sustratos para plantas” donde encontró una correlación positiva entre el aumento de los TDS y la disolución del fertilizante, además menciona que durante el desarrollo del cultivo, la CE y TDS puede aumentar por 1) la presencia de fertilizantes insolubles y de liberación lenta, 2) incorporación de una cantidad de fertilizante superior a las absorbidas o lixiviadas, 3) Cuando el sustrato mantiene una alta CIC (capacidad de intercambio catiónico).

### 3.1.6.1. Correlación de las variables estudiadas

**Tabla 2-3:** Resultados de la correlación de [NO<sup>3-</sup>] frente a las variables estudiadas

		<b>Correlaciones</b>			
		CE	pH	TDS	[NO <sub>3</sub> ]
CE	Correlación de Pearson	1	,089	,135	-,006
	Sig. (bilateral)		,709	,869	,979
	N	20	20	20	20
pH	Correlación de Pearson	,089	1	-,053	,145
	Sig. (bilateral)	,709		,824	,842
	N	20	20	20	20
TDS	Correlación de Pearson	,135	-,053	1	,220
	Sig. (bilateral)	,869	,824		,751
	N	20	20	20	20
[NO <sub>3</sub> ]	Correlación de Pearson	-,006	,145	,220	1
	Sig. (bilateral)	,979	,842	,751	
	N	20	20	20	20

**Realizado por:** Vasco Chiluiza, Danny, 2022.

Para validar la influencia de las variables CE, pH, y solubilidad en la concentración de nitratos lixiviados se calculó el coeficiente de correlación de Pearson usando el software SPSS, recordando brevemente que según (Lalinde et al., 2018), este coeficiente puede tomar valores entre +1 a -1, los valores cercanos a +1 reflejaron una alta incidencia de dichas variables es decir una asociación positiva, por su parte valores cercanos a 0 o a -1 indicaron que la correlación es nula o negativa.

El nivel de significancia de la CE con la concentración de nitratos fue de 0.979 (correlación muy alta), lo que indicó que este parámetro influyó directamente en el contenido de nitratos presentes, similar caso sucede con los TDS que presentó un coeficiente de 0.751 (correlación alta).

En cuanto al pH se obtuvo un valor de correlación de 0.842 (muy alta), concluyendo que a medida que la cantidad de nitratos presentes en el lixiviado es mayor, los parámetros evaluados también se incrementaron, por su contraparte a medida que la concentración de nitratos disminuye los valores de pH, TDS, CE lo hacen de igual manera.

Finalmente, en base (Pastor, 2019), en su trabajo “Manual práctico de Agricultura”, se menciona que los principales parámetros evaluados para obtener un cultivo eficiente son el pH, la CE y los TDS, variables que se deberán monitorizar con cierta frecuencia para corregir ciertas prácticas que puedan representar pérdidas económicas por el daño en los sembríos o impactos negativos en los ecosistemas por ineficientes técnicas agrícolas.

### 3.2. Morfometría de la zona de estudio-Cuenca de la Parroquia San Andrés

**Tabla 3-3:** Resumen morfológico de la cuenca San Andrés

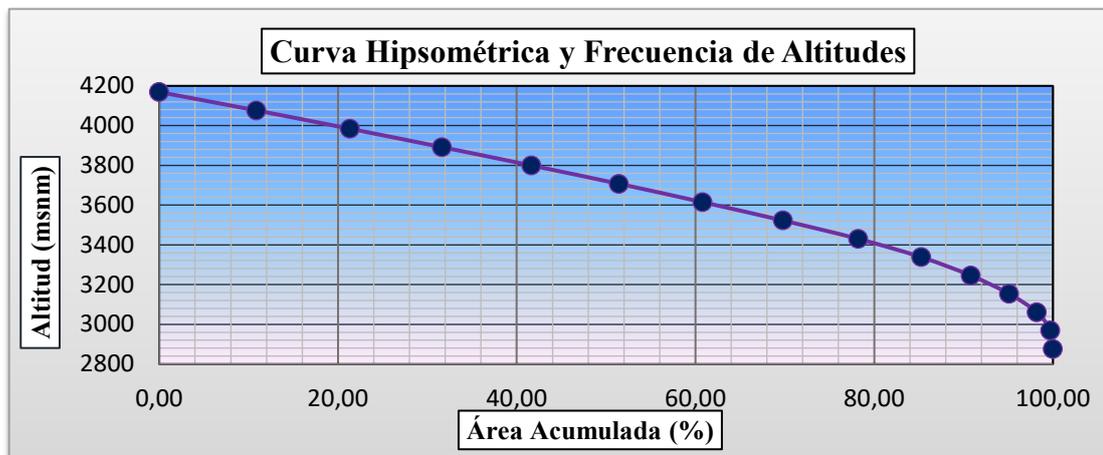
<b>PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS GENERALES</b>		
<b>PARÁMETRO / UNIDADES</b>	<b>SÍMBOLO</b>	<b>VALOR</b>
Perímetro (km)	P	65.219
Área (km <sup>2</sup> )	A	106.398
Longitud máxima o Longitud Axial(km)	LM	21.387
Longitud cauce Principal (km)	LCP	9.4440
Ancho de la Cuenca (km)	AC	4.974891289
Desnivel Altitudinal (m)	DA	1384.8453
<b>PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS ASOCIADOS A LA FORMA DE LA CUENCA</b>		
<b>PARÁMETRO / UNIDADES</b>	<b>SÍMBOLO</b>	<b>VALOR</b>
Factor Forma	FF	0.732612862
Coefficiente de Compacidad	KC	1.770375679
Coefficiente de Circularidad	CC	0.314336677
<b>PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS ASOCIADOS A LA FORMA DEL RELIEVE</b>		
<b>PARÁMETRO / UNIDADES</b>	<b>SÍMBOLO</b>	<b>VALOR</b>
Cota máxima (msnm)	cmax	4214.85
Cota mínima (msnm)	cmin	2830.0047
Altitud media (msnm)	Am	3775.78
Altitud más frecuente (msnm)	Af	3799.39641
Pendiente promedio de la Cuenca (%)	Smed	15%
Altitud mayor del Cauce	Amc	4157.4285
Altitud menor del Cauce	Ame	3680
<b>PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS ASOCIADOS A LA RED DE DRENAJES</b>		
<b>PARÁMETRO / UNIDADES</b>	<b>SÍMBOLO</b>	<b>VALOR</b>
Longitud total drenajes (km)	Lt	12.349
Densidad de Drenaje	D	0.867958044
Frecuencia de Drenajes	F	0.883475253
Coefficiente de torrencialidad	Ct	3.242542153

**Realizado por:** Vasco Chiluiza, Danny, 2022.

La presente tabla resume las principales características morfológicas de la cuenca de la parroquia San Andrés, posee un área de aproximadamente 106.398 km<sup>2</sup>, con un perímetro de 65.219 km<sup>2</sup> su cauce principal tiene una longitud de 9.440 km<sup>2</sup>. En lo que respecta a los parámetros morfológicos asociados a la cuenca según (Cruz Romero et al., 2015), un valor de 0.73 obtenido en el factor de forma de Horton responde a una cuenca ensanchada, el coeficiente de compacidad o Gravelius de 1.77 muestra que la cuenca es “Oval oblonga a rectangular oblonga”.

En cuanto a los parámetros asociados a la forma del relieve se obtuvo una pendiente promedio de la cuenca de un 15%, en base a los descrito por (Cruz Romero et al., 2015), obedecen a cuencas con un sistema de drenaje elevado, finalmente en los parámetros asociados a la red de drenajes la cuenca San Andrés posee una longitud total de drenaje de 12 km, con una densidad de 0.86 lo que nos indica que estamos ante una cuenca bien drenada, por su parte el coeficiente de torrencialidad fue de 3.42 correspondiente a una cuenca de moderada a alta en lo que a poder erosivo se refiere.

### 3.2.1. Curva hipsométrica



**Gráfico 3-6:** Curva hipsométrica de la cuenca San Andrés

Realizado por: Vasco Chiluzza, Danny, 2022.

La curva hipsométrica mostró que la cuenca se encuentra en una etapa joven según lo descrito en (Fleite et al., 2017, p. 3), el diagrama recae en una cuenca de tipo A, al ser una cuenca que posee una mayor cantidad de área y una mayor altura es posible afirmar que posee un gran potencial erosivo. La cota máxima de la cuenca inicia a los 4214.85 msnm y esta va cayendo hasta los 2830.00 msnm como cota mínima, el diagrama muestra la relación de que a mayor altitud el porcentaje de área acumulada disminuyó.

Por lo contrario, a medida que se desciende es sus cotas el porcentaje de área acumulada aumentó, con base a lo expresado en la curva hipsométrica podemos subdividir la cuenca en alta con cotas de (4000 a 3800 msnm), media (3600- 3400 msnm) y baja (3200 a 2800 msnm). De igual manera cabe considerar que a medida que el perfil topográfico desciende durante los fenómenos de precipitación mayor arrastre de nutrientes y material producto de la erosión del suelo acarrea consigo, al estar frente a una cuenca moderadamente joven, el gran potencial erosivo supone un riesgo ambiental puesto que hay que considerar que los regímenes de precipitación son mayores a la media en la zona de estudio.

### 3.3. Resultados modelamiento Qswat+-Parroquia San Andrés

#### 3.3.1. Tipo de suelo de la Parroquia San Andrés- Pillaro

**Tabla 4-3:** Proporción en (ha) del tipo de suelo correspondiente a la zona de estudio

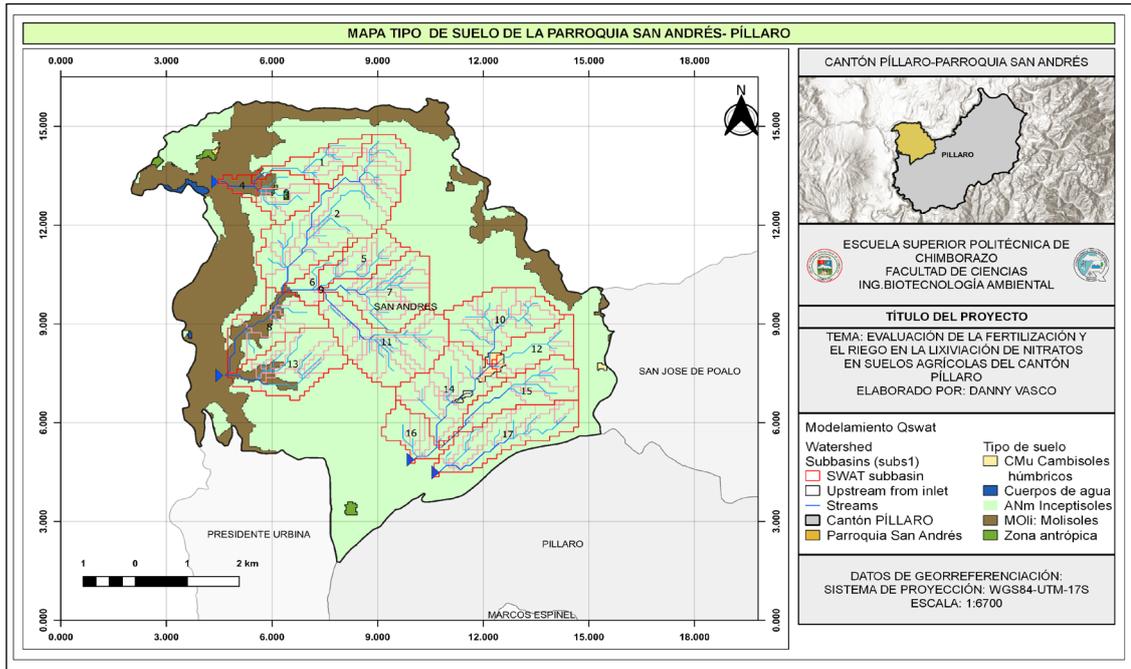
SOIL USE			
Category	Nomenclatura	Área /ha	Porcentaje
CMu	Cambisoles húmicos	756,17	10,13
Moli	Molisoles	2138,37	28,63
ANm	Inceptisoles	4475,14	59,92
Water	Cuerpos de agua	39,89	0,53
Anth	Zona antrópica	58,54	0,78
<b>TOTAL</b>			100%

Realizado por: Vasco Chiluiza, Danny, 2022.

Para el año 2020, por medio de información obtenida del MAGAP y analizada mediante software QGIS se evidenció en la figura 2-3, que la parroquia presentó 5 tipos de suelo siendo estos los de tipo Inceptisoles con un 59.92% seguido de los Molisoles con un 28.63%, en menor porcentaje los cambisoles húmicos con una cobertura del 10.13%, y los cuerpos de agua con un 0.53% y la zona antrópica con un 0.78% respectivamente.

Es necesario mencionar que dicha clasificación se obtuvo mediante información obtenida por medio del geportal y geodatabase de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), debido a que la información disponible por el IGM y el ministerio del ambiente mantiene una clasificación de forma general, por lo que nos es muy recomendable utilizar dicha información al momento de ingresar los datos para el modelamiento en SWAT.

De igual manera se destaca que tanto los tipos de suelo predominantes Molisoles e Inceptisoles son suelos característicos de la zona interandina, siendo suelos ricos en materia orgánica, guardan de gran manera la humedad y que son favorables para el cultivo de vegetales y tubérculos, por lo que en la zona de estudio productos tales como habas, papas ,lechuga, ciertos árboles frutales son característicos y responden a que el tipo de suelo muestra las condiciones para el desarrollo de este tipo de plantas.



**Figura 2-3:** Principales tipos de suelo de la parroquia San Andrés- modelado Qswat

Realizado por: Vasco, Danny, 2022.

### 3.3.2. Resultado uso de suelo

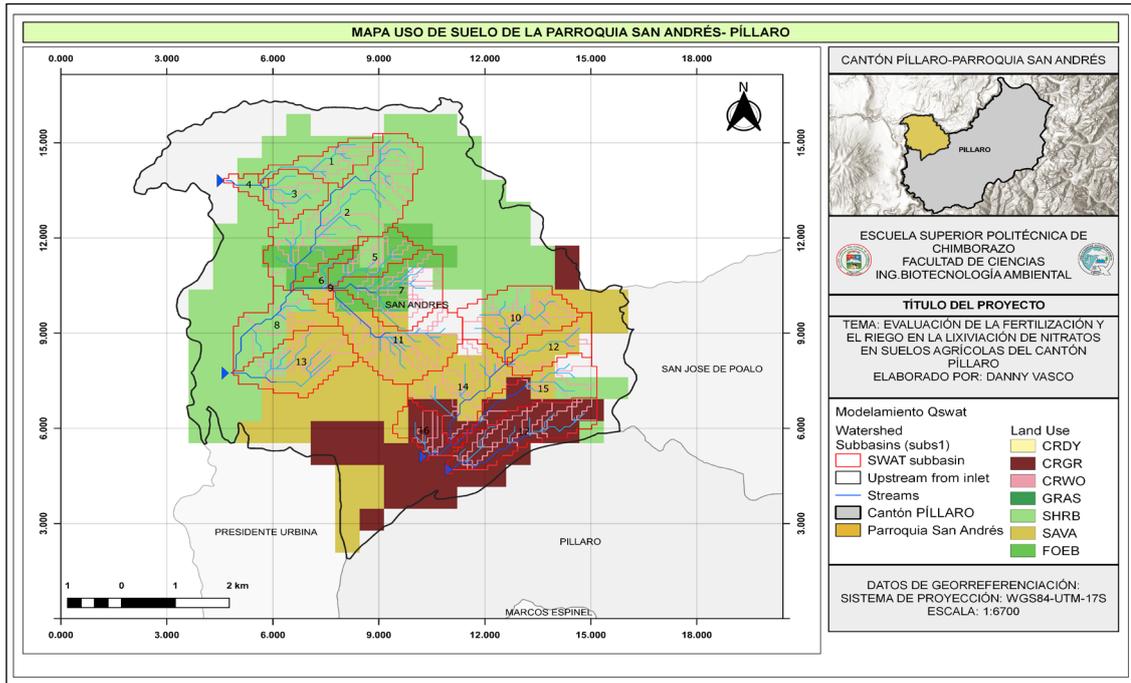
El tipo de uso de suelo predominante fue de tipo CRWO con un 40.31% de su superficie seguido del suelo CRGR, con un 35.30%, posteriormente con un 10.88% para tierras de cultivos y pastos de tierras seca CRDY, en menor proporción con un 4.58% suelos de tipo SAVA, seguido de 1.76 % para suelos de clase FOEB y suelo tipo SHRB con un 1.96% respectivamente (PDOT, 2019).

**Tabla 5-3:** Matriz de uso de suelo parroquia San Andrés

Land use distribution			
Category	Nomenclatura	Área /ha	Porcentaje
CRDY	Tierras de cultivo y pastos de tierras secas	586,17	10,88
CRGR	Mosaico de tierras de cultivo-pastizales	1901,79	35,30
CRWO	Mosaico de Tierras de Cultivo-Bosque	2171,65	40,31
SAVA	suelo de Alto Valor Agrológico	246,84	4,58
GRAS	Pastizales	280,9	5,21
FOEB	Bosque de hoja ancha de hoja perenne	94,73	1,76
SHRB	Arbusto	105,8	1,96
TOTAL			100%

Fuente: (Amisi Fabrice et al., 2009).

Realizado por: Vasco Chiluiza, Danny, 2022.

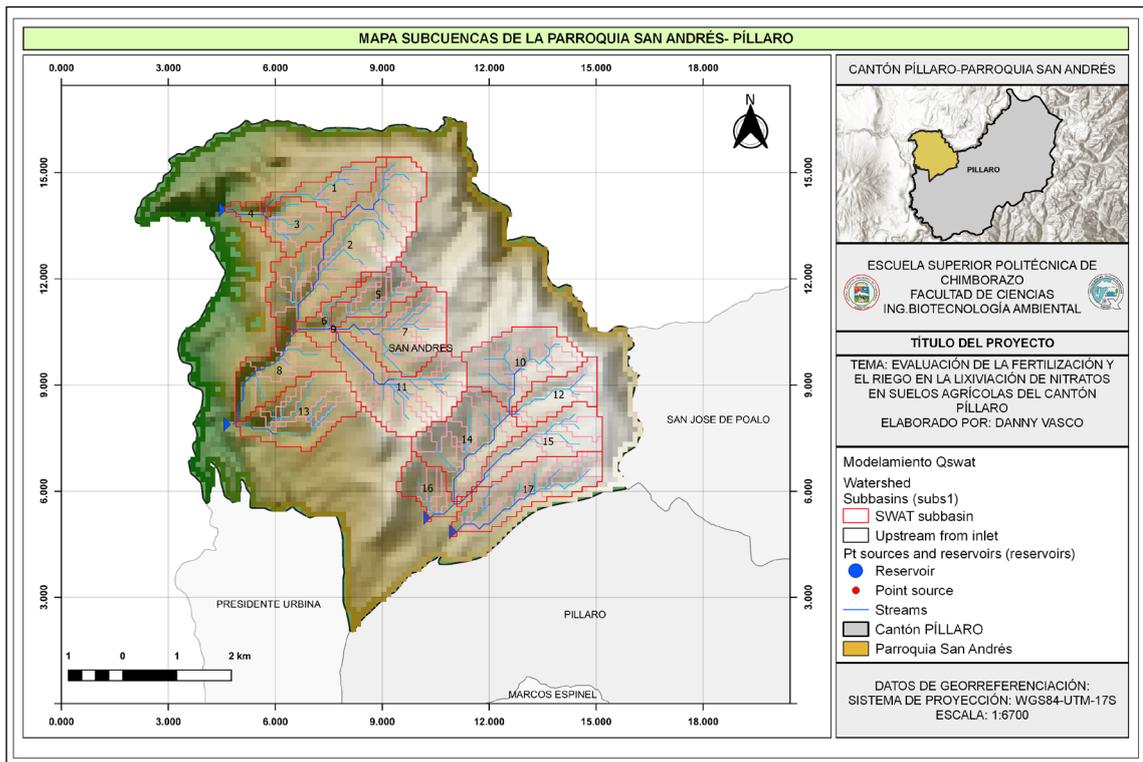


**Figura 3-3:** Uso de suelo de la parroquia San Andrés-Píllaro- modelado Qswat

Realizado por: Vasco Chiluiza, Danny, 2022.

### 3.3.3. Delimitación de subcuencas por SWAT+

El modelo SWAT determinó 176 unidades hidrológicas HRU, 17 Subbasins, 22 Acuíferos y 4 desfuegos principales, a lo largo de la zona de estudio. En la figura 4-3 se presentan las subcuencas de la zona de estudio con su correspondiente red de drenaje. Las 17 subcuencas que abarcan la zona de estudio presentaron canales de drenaje elevados, correspondiendo con lo mencionado en los parámetros morfológicos de la cuenca descrito anteriormente, estas subcuencas a su vez poseen un canal o vía de desfogue principal la cual tomará los flujos recolectados de la superficie de toda la parroquia.



**Figura 4-3:** Mapa subcuencas parroquia San Andrés- modelado Qswat

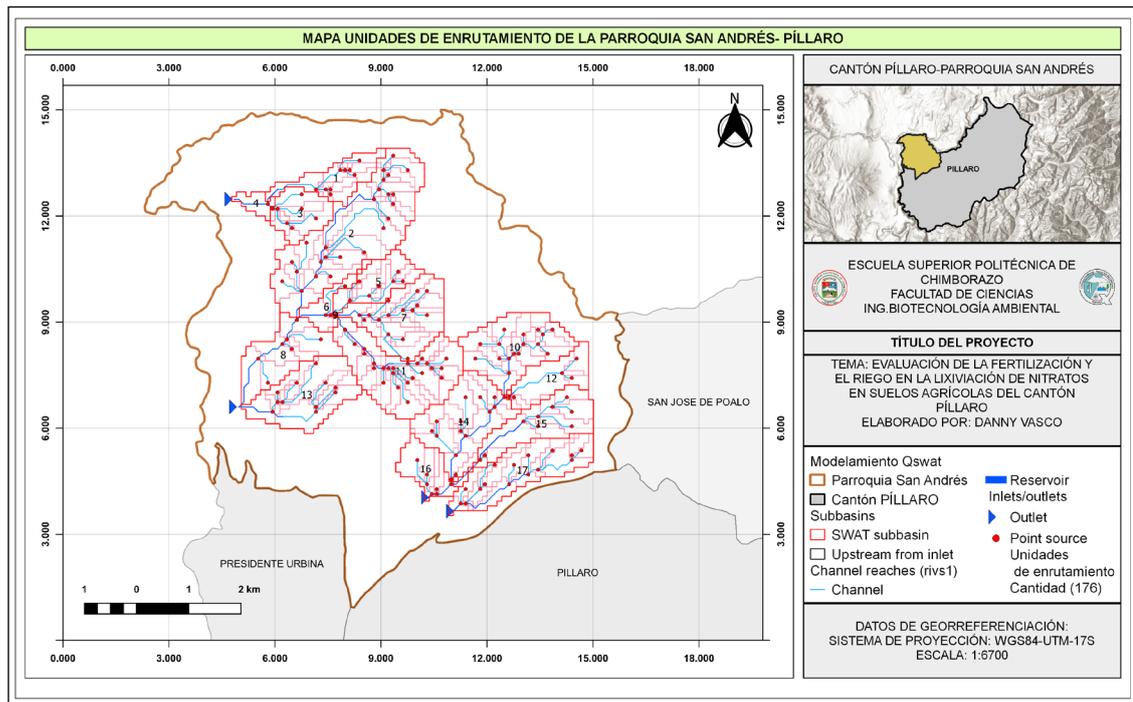
Realizado por: Vasco Chiluzza, Danny, 2022.

### 3.3.4. Unidades de enrutamiento o Unidades Hidrológicas de Respuesta (HRU)

El resultado del modelamiento Qswat arrojó 176 unidades de enrutamiento, visualizado en el mapa correspondiente, estas unidades de enrutamiento representan a su vez los puntos de toma del flujo de agua a través de la cuenca que normalmente se encaminan hacia un tributario o efluente principal.

En la figura 4-3 se aprecia que la cuenca San Andrés posee un número elevado de HRUs, destacándose que estas ramificaciones desembocan en 4 principales salidas o tomas de corriente representadas con un marcador azul a manera de triángulo horizontal (Outlet).

Los 4 puntos de desfogue principal recogen la precipitación y minerales excedentes que escurran a través de la cuenca, las unidades de respuesta hidrológica según (Arnold et al., 2012), indican si la cuenca posee un sistema de drenaje alto o insuficiente.



**Figura 5-3:** Mapa distribución de los HRU en la cuenca de la parroquia San Andrés

Realizado por: Vasco Chiluiza, Danny, 2022.

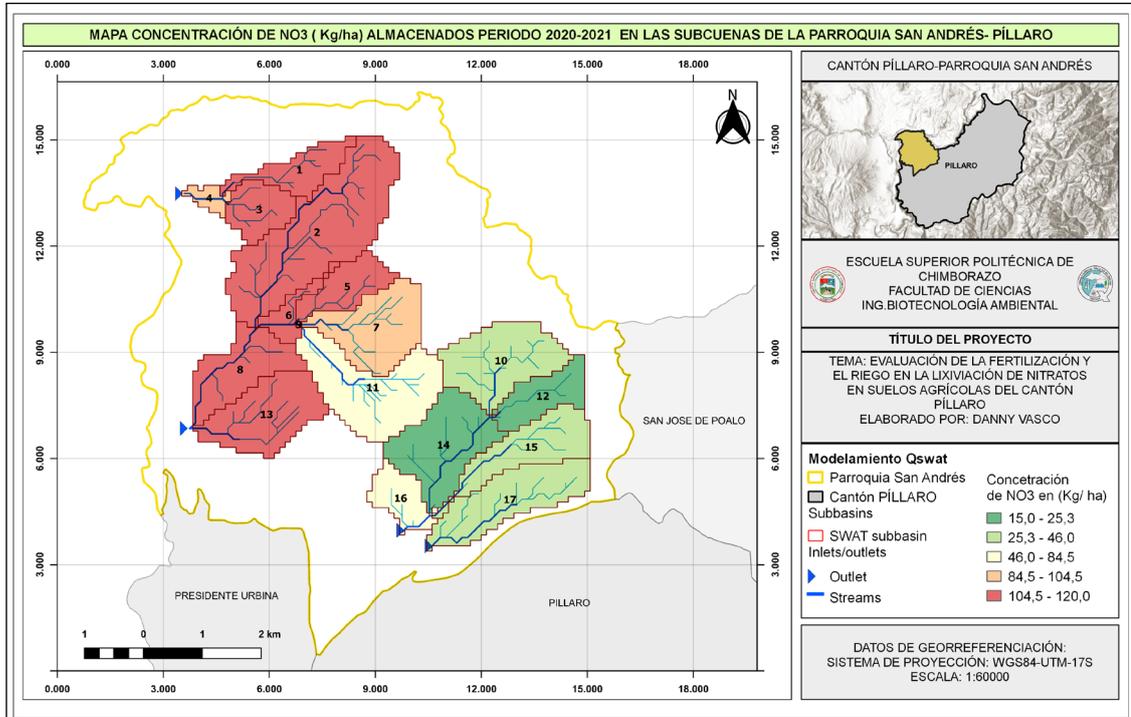
### 3.4. Simulación de la distribución de los $\text{NO}_3^-$ en la zona de estudio - Qswat+

#### 3.4.1. Resultados $\text{NO}_3^-$ almacenados en las subcuencas de la parroquia San Andrés

Se presentan los resultados de la concentración de nitratos totales que por procesos de escorrentía y lixiviación se almacenaron en las 17 subcuencas generadas por el modelo Swat+ para el periodo 2020-2021, se determinó de esta manera que las subcuencas 14 y 12 la concentración de  $[\text{NO}_3^-]$  tuvo un rango de 15.0 a 25.3(kg/ha), para las subcuencas 10,15,17 el rango de nitratos se estableció entre 25.3 a 46.0(kg/ha), por otro lado las subcuencas 11 y 16 su concentración de  $[\text{NO}_3^-]$  acumulado fue de entre 46.0 a 84.5(kg/ha), finalmente los valores más altos obedecieron a las subcuencas 4 y 7 con un rango de 84.5 a 104.5 (kg/ha) y a las subcuencas 1,2,3,5,6,9,8,13 con 104.5 a 120.0(kg/ha) respectivamente.

En contraste con el estudio de (Moriasi et al., 2013), su modelado y resultados indican que la mayor concentración de nitratos almacenados se presentan en subcuencas con mayor número de tributarios y en suelos con granulometría elevada, lo que facilitaba el paso de las sustancias hasta el nivel freático.

Comparando nuestro modelamiento revela que las subcuencas 1,2,3,5,6,9,8,13 correspondientes a las zonas de Huapante Grande, Chico, Chinintahua y Cardosanto almacenaron en mayor proporción los nitratos generados y posiblemente la razón de estas concentraciones elevadas respondan a que existió una conjunción de los arroyos y drenes aledaños.



**Figura 6-3:** Mapa concentración de nitratos en las subcuencas de la zona de estudio.

Realizado por: Vasco Chiluzia, Danny, 2022.

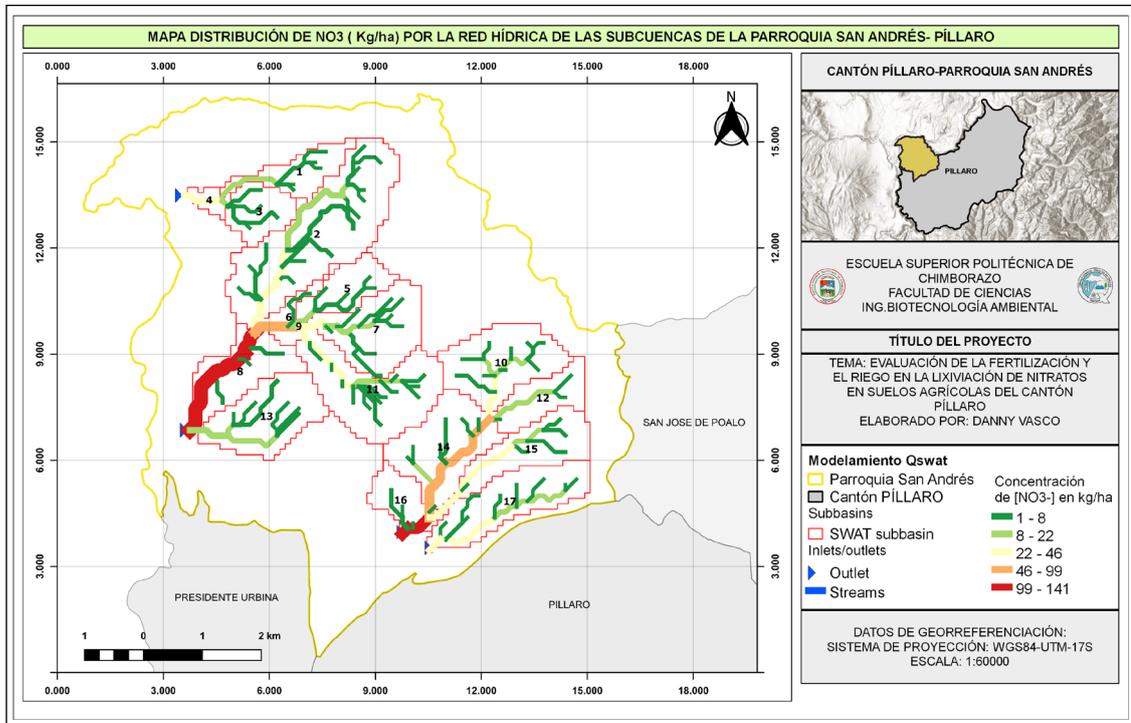
### 3.4.2. Resultados NO<sup>3-</sup> lixiviados a través de los canales, arroyos o vías de desfogue

Se evidenció la forma de distribución de los nitratos a través de las vías de desfogue generados por el SWAT+, la concentración predominante de nitratos comprendió rangos de 1.0 a 22.0(kg/ha),salvo la subcuena 16 cerca de llegar al sumidero o desfogue principal donde la cantidad de nitratos fue mayor con concentraciones comprendidas entre 99.0-141(kg/ha). Para el lado este de la zona de estudio se observó un comportamiento similar, la concentración de nitratos se mantuvo baja sobre todo en las ramificaciones de los canales o arroyos más externos.

A medida que dichas ramificaciones confluyeron en un cauce principal, la concentración de [NO<sup>3-</sup>] se incrementó ejemplificándose en las subcuencas 9 y 4 donde los valores alcanzaron los 22.0 a 46.0(kg/ha) y la cuenca 6 con 46.0 a 99.0(kg/ha) respectivamente.

Finalmente, el desfogue perteneciente a la subcuena 8 presentó la concentración de nitratos lixiviados más altos con valores entre 99.0 a 141.0(kg/ha),valores elevados que responden a que este sector de la subcuena posee el cauce principal de desfogue y toma el nitrato lixiviado de

prácticamente todo el sector este de la parroquia, con lo que respecta a la red de drenaje un punto a resaltar basándonos en el estudio por parte de (Rodríguez et al., 2020), menciona que una cuenca acarreará una mayor cantidad de nutrientes y elementos contaminantes a un desfogue principal y este estará en función a la elevación y la curva hipsométrica que mantenga la cuenca.



**Figura 7-3:** Mapa red de arroyos o canales de desfogue de las subcuencas- San Andrés

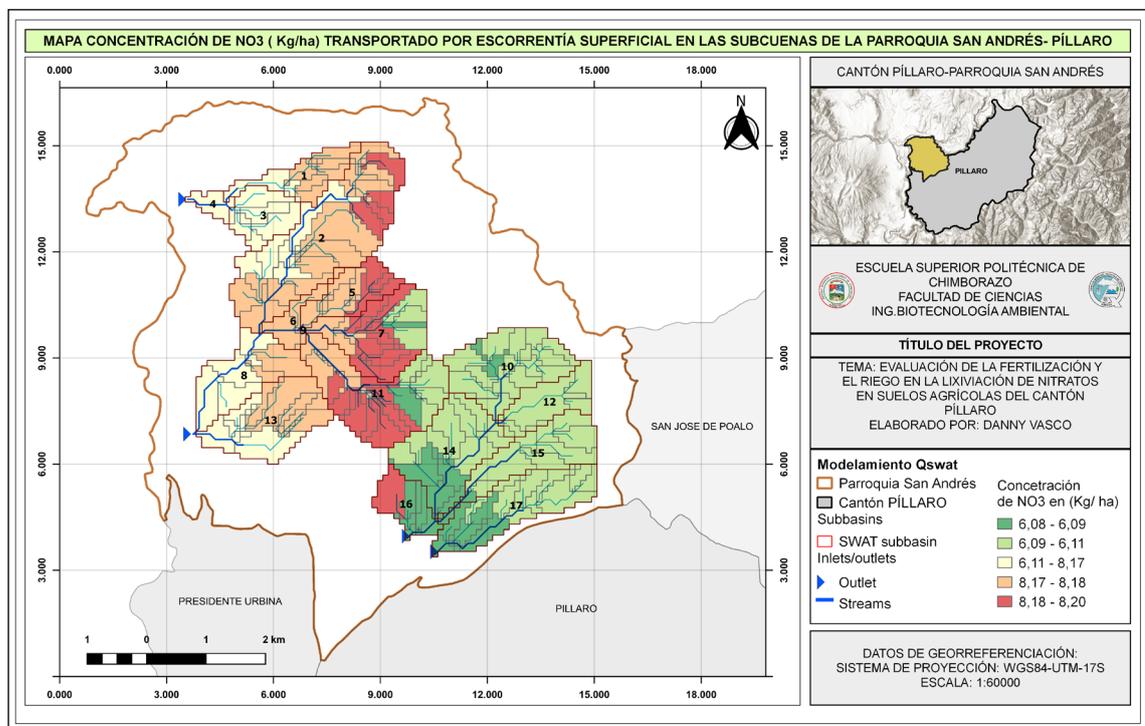
Realizado por: Vasco Chiluiza, Danny, 2022.

### 3.4.3. Resultados NO<sub>3</sub><sup>-</sup> transportados por escorrentía superficial

En lo que respecta a los nitratos transportados por escorrentía superficial, estos estuvieron sujetos a varios fenómenos tanto erosivos del suelo como climatológicos (regímenes de precipitación) e inclusive antropogénicos producto de los procesos de riego de las áreas de cultivo presentes en la zona. Los valores de concentración más bajos se evidenciaron en el sector oeste de la parroquia, un claro ejemplo es la subcuenca 16 la cual presentó valores entre 6.08 a 6.09(kg/ha), para las subcuencas 10,12, 14,15, 17 los valores rondaron un promedio de 6.09 a 6.11 (kg/ha), por otro lado las subcuencas que presentaron un valor medio de concentración son las 8,3,4 con concentraciones de 6.11 a 8.17(kg/ha), cabe resaltar que estos valores tuvieron relación con los mapas descritos anteriormente donde la zona este es la que mayor cantidad de nitratos almacena, particularmente puede estar ligado a los fenómenos de escorrentía que son mayores de este lado de la cuenca.

En cuanto al rango de concentración alto tenemos a las subcuencas 1,2,5,6,9 y 13 las cuales alcanzaron valores de 8.13 a 8.18(kg/ha), la concentración más elevada se mantuvo en las subcuencas 7 y 11 con concentraciones de nitratos de 8.20 (kg/ha) respectivamente.

Finalmente tomando como referencia el estudio propuesto por (Blandón, 2018), en su estudio “Aplicación del modelo SWAT para evaluar la contaminación por fuentes difusas en la subcuenca del lago de Chapala, México”, menciona que los fenómenos de escorrentía estuvieron ligados a suelos erosivos, cantidad de precipitación y tipo de riego presentando valores de aproximadamente 12.3 a15.7(kg/ha), en comparación con nuestro estudio se observó que durante el proceso de escorrentía superficial los valores de nitratos fueron menores puesto que gran parte del volumen lixiviado no se almacena por mucho tiempo y puede pasar a formar parte de cuerpos hídricos mayores.



**Figura 8-3:** Mapa nitratos transportados superficialmente a través de la zona de estudio

**Realizado por:** Vasco Chiluiza, Danny, 2022.

### 3.5. Impacto medioambiental de los nitratos lixiviados y almacenados

Los fenómenos de lixiviación en la zona de estudio son procesos que suceden de forma natural y forman parte de los ciclos biogeoquímicos de los ecosistemas, los resultados del presente estudio mostraron que los fenómenos de infiltración de los nitratos en la cuenca son elevados, los nitratos se almacenaron en casi el 60% de la totalidad de la cuenca lo que podría suponer afectaciones en la calidad de las aguas superficiales e interiores del sector.

Hay que mencionar que este tipo de estudios en el Ecuador no se han sido realizado, originando un vacío de información y de establecimiento de un límite permisible que indique a qué concentraciones dicho contaminante puede estar presente y que porcentaje de este puede suponer un riesgo a la salud.

No obstante dadas las carencias en cuanto a leyes y normativa, para este estudio se utilizó como guía comparativa los resultados arrojados por (Moriassi et al., 2013) en su investigación “ Modeling the impact of nitrogen fertilizer application and tile drain configuration on nitrate leaching using SWAT” en donde: se determina las concentración de nitrógeno como nitratos productos de los fenómenos de fertilización que tienden a lixiviarse obteniendo valores en las subcuencas más bajas con un perfil de suelo semejante al estudiado.

Una concentración de aproximadamente de 50.0 a 70.0 (kg/ha) lo consideraba como valores aceptables siempre y cuando dicha cuenca por efectos naturales degrade los nitratos generados, para el caso de concentraciones superiores a 100 (kg/ha) almacenados durante el periodo de un año siendo potencialmente peligrosos puesto que de no ser degradados de forma temprana tienden a generar fenómenos de eutrofización. Estos fenómenos de almacenamiento están influenciados tanto por las actividades de fertilización intensiva como las velocidades de infiltración, perfiles de los suelos e incluso que estas subcuencas no posean vías de desfogue adecuados (Pott y Fohrer, 2017).

En nuestro caso las zonas pertenecientes a San Jacinto, Santa Rita, El porvenir , San Andrés, El Baratillo, La Dolorosa y San Pedro de Capulí para un periodo de un año la cantidad de nitratos almacenados estuvo en torno a 25.0 y 85.0 (kg/ha) que en comparación con el estudio tomado como referencia los valores están dentro de lo esperado, caso contrario sucede con las columnas de los sectores de Cardosanto, Rumipungo, Chuapiloma, La lindera , Huapante Grande, Huapante Chico y Chinintahua, donde las concentraciones de nitratos fueron más altas con rangos que van desde 84.0 a 120.0(kg/ha).

### **3.6. Técnicas agrícolas y disminución de los nitratos**

Los resultados arrojados de la concentración de  $\text{NO}_3^-$  presentes en estos suelos agrícolas sugieren un cambio en el concepto tradicional del manejo agrícola que se ha venido practicando en la zona, particularmente durante el manejo y aplicación de fertilizantes químicos, principales actores en los procesos de contaminación de agua y suelo. Según (Reascos y Castillo, 2019), la implementación de buenas prácticas agrícolas deberán ser técnicamente comprobadas, ambientalmente seguras, rentables económicamente, de fácil ejecución, que permitan reducir la tasa de infiltración de nutrientes excedentes y aprovechar los recursos naturales de manera óptima y responsable.

### ***3.6.1. Dosificación de los fertilizantes en función a las necesidades del cultivo***

El resultado de la modelación de la cuenca San Andrés da una idea de que a medida que las labores agrícolas se intensifican la cantidad de nitratos y otros contaminantes degradarán con mayor fuerza los cuerpos hídricos del sector. En base a lo descrito por (Somoza et al., 2018, p. 400), en su estudio “Enseñanzas de la revolución verde”, el problema de contaminación por el uso de fertilizantes químicos es la incorrecta dosificación lo que ha favorecido en estos últimos años que las concentraciones de los nutrientes sean mayores provocando salinidad del suelo e infertilidad del mismo a largo plazo.

#### ***3.6.1.1. Fertilizantes de liberación lenta***

Una de las medidas para reducir la  $[\text{NO}_3^-]$  contenido en el suelo es el empleo de fertilizantes de liberación lenta, se conoce que el mecanismo de aprovechamiento de los nutrientes por parte de la planta depende de la capacidad de absorción que esta sostiene frente a los minerales presentes en el suelo, el empleo de fertilizantes sintéticos favorece los fenómenos de toxicidad en la planta, por tal motivo un fertilizante de acción lenta libera de forma progresiva sus nutrientes por un período de tiempo más largo, en base a lo indicado por parte de La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) las ventajas del empleo de este insumo agrícola suponen un ahorro en el proceso de laboreo, reducción en el empleo de fertilizantes, reducción de la toxicidad, eficiencia en la asimilación del nitrógeno con un rendimiento mayor al 15 al 20% (FAO, 2012).

#### ***3.6.1.2. Agricultura Sustentable***

Se entiende como agricultura sustentable aquella que a largo plazo contribuye en el mejoramiento de la calidad ambiental, satisface las necesidades alimentarias de una sociedad, manteniendo una equidad entre el la tierra y el productor, este tipo de agricultura busca frenar los efectos de la contaminación gracias a la aplicación de técnicas de siembra adecuadas que permitan la reducción en la erosión del suelo y demás riesgos que supone la contaminación por estos compuestos químicos (Salgado Sánchez, 2015).

En particular la parroquia San Andrés se observó que la gran mayoría de productores emplean técnicas agrícolas no tecnificadas, en cuanto a las labores de fertilización la más empleada es el voleo lo que a la par contribuye a que el suelo siga perdiendo su estado original y que se requiera más dosis de fertilizantes para suplir las necesidades nutricionales de los cultivos.

### 3.6.1.3. Siembra por rotación de cultivos

En base a los resultados morfológicos obtenidos, la cuenca de la parroquia es propensa a fenómenos de erosión y con alta capacidad de drenaje favoreciendo los procesos de escorrentía y lixiviación, en tal sentido se determinó que uno de los métodos de siembra más adecuados sea el método de siembra por rotación de cultivos, tomando como referencia la tesis de (Rolando, 2019), “Efecto de la labranza convencional y siembra directa en las propiedades químicas de un suelo agrícola” se menciona que la siembra por rotación de cultivos aplicado a suelos de la región interandina demuestran las siguientes ventajas:

- Conservación de la humedad por periodos de tiempo más largos.
- Disminución en el uso del recurso agua
- Favorece la asimilación de los nutrientes por parte de los cultivos.
- Menor riesgo de erosión y contaminación.

Aunque es necesario aclarar que dependiendo de la extensión del terreno en el caso de parcelas no muy extensas el complementar con un sistema de riego por goteo es lo más favorable tanto para la planta como el suelo.

### 3.6.1.4. Uso de Biofertilizantes

Los datos de las columnas de lixiviación mostraron que durante los 15 primeros días de aplicación del fertilizante la concentración de nitratos superó el límite propuesto por (Santos y Ríos, 2016), en su libro “Cálculo de soluciones nutritivas en suelo agrícola” donde hace referencia al uso de biofertilizantes o enmiendas que llegan a adaptarse de mejor manera a las condiciones naturales del suelo, además que permiten una fertilización equilibrada y controlada sin fenómenos de contaminación. Dentro de la zona de estudio la aplicación de este tipo de fertilizante es la más adecuada ya que permitiría aprovechar el residuo orgánico y ganadero como enmienda para los cultivos lo que supondría un ahorro económico y un beneficio al ecosistema.

**Tabla 6-3:** Fertilización orgánica vs fertilización química

Ventajas	
Abono orgánico	Fertilizante químico
Mantienen la estructura y propiedades del suelo	Fácil aplicación menor coste
Evitan la evaporación excesiva, termo regulador del suelo	Se puede encontrar una mayor cantidad de fertilizantes y tipos determinados
Aprovechamiento de los residuos generados.	Aplicación en cualquier etapa de desarrollo de la planta
El lixiviado generado del compost puede utilizarse como plaguicida o también como fertilizante en base a la dosificación correspondiente.	Inicialmente se obtiene un rendimiento mayor del cultivo.

Desventajas	
La cantidad de abono orgánico puede ser limitado	A la larga produce infertilidad del suelo, fenómenos de salinidad
El compost debe ser controlado para evitar pudrición o presencia de agentes patógenos.	Contaminación de las aguas
Mayor tiempo de trabajo	Favorece el crecimiento de maleza
El compost debe suministrarse en periodos determinados de tiempo en la planta	Las concentraciones de los nutrientes de no ser dosificadas adecuadamente producen contaminación ambiental.

**Fuente:** (Somoza et al., 2018)

**Realizado por:** Vasco Chiluiza, Danny, 2022.

### 3.6.1.5. *Mejoramiento de las Técnicas de riego*

Los resultados de infiltración obtenidos nos sugieren que la tasa de infiltración es alta sobre todo en la parte este de la parroquia, si bien la zona de estudio cuenta con un sistema de regadío que proporciona el agua para los cultivos, el tipo de riego empleado en su mayoría favorece los procesos de escorrentía y malgasto del recurso mencionado.

El estudio de (Revelo et al., 2021) aborda la eficiencia y el tipo de riego adecuado tomando en cuenta la morfología del suelo y la capacidad de drenaje de la cuenca, indica que el riego por superficie o de inundación llega a convertirse en el tipo menos adecuado de riego, ya que genera un lavado del suelo y sus sales de hasta de un 40% favoreciendo los fenómenos de infiltración, de igual modo al lavarse el suelo se requerirá más periodos de fertilización que suponen un aumento en la salinidad del suelo, cerca del 60% del agua empleada se desperdicia provocando disminución en los caudales de agua de regadío y sus reservas efecto notable sobre todo en épocas secas del año. Por otro lado, los sistemas de aspersión si bien mejoran el consumo de agua, también implican cierto grado de tecnificación por ejemplo según (Revelo et al., 2021, p. 55) ,para obtener un coeficiente de uniformidad superior al 80% se necesita determinar correctamente la distancia entre los aspersores, además dependiendo del tipo de agua y las sales que presente, estas gotas al caer en las hojas de la planta originando quemaduras.

### 3.6.1.6. *Riego por aspersión tecnificado*

Abarca extensiones de terreno mayores y aprovecha el recurso agua de manera eficiente, este sistema combina un sistema de monitoreo de la parcela y suministra el riego con el volumen necesario para el cultivo, el éxito de este sistema radica en el espaciado entre cada aspersor lo que evitará los procesos de escorrentía e infiltración en el suelo, del mismo modo la reducción en el consumo de agua garantiza mayores beneficios no solo económicos sino ambientales, en el caso de la zona de estudio los resultados alcanzados en este estudio mostraron que es necesario que el excedente de nitrato llegue en grandes cantidades hacia las aguas interiores (Camposano et al., 2015).

### *3.6.1.7. Sistemas de riego localizado*

El riego por goteo es un claro exponente de este tipo de sistema, si bien se podría decir que es lo más indicado a implementar dentro de la producción agrícola, se debe tomar en cuenta lo costos elevados que suponen su instalación , principal barrera que impide al agricultor de la zona adoptar este sistema, la metodología consiste en que el agua va fluyendo gota a gota a través de tubos suministrando el volumen que realmente necesita la planta. Con las ventajas que supone este método es necesario incentivar este tipo de sistemas por parte de la empresa privada o el gobierno de turno ya que no solo garantiza una agricultura más sostenible y sustentable si no que le brinda al agricultor la capacidad de maximizar sus ingresos económicos sin comprometer el estado y calidad del suelo y del ecosistema (Bautista et al., 2012).

### **3.6.2. Propuesta de mejoramiento agrícola para la parroquia San Andrés**

La resultados mostraron que la contaminación por nitratos es un problema que está presente y que si bien aún sus efectos no se manifiestan de forma abrupta es necesario considerar que mantener el sistema agrícola actual favorece que cada año se acumule mayores cantidades de nitratos en los cuerpos de agua tanto superficiales como subterráneos, es así que mediante este trabajo investigativo se propone un mejoramiento en las técnicas agrícolas tradicionales, por una metodología de siembra encaminado al cuidado ecosistémico sin comprometer la tasa de cultivos generados.

La siembra directa es el tipo de siembra más adecuado tomando en cuenta la extensión y las características morfológicas de la parroquia, en cuanto al uso de fertilizantes estos si son de origen químico deberán cumplir con las dosificaciones y requerimientos nutricionales de las plantas, en cuanto al riego se determinó que se debe evitar el riego por inundación y optar por sistemas más eficientes que aprovechen el recurso hídrico de buena manera, tal es el caso de un sistema de regadío por aspersión y si es posible un sistema por goteo.

## CONCLUSIONES

- Se estableció la influencia de las propiedades del suelo, el tipo de fertilización y riego con la ayuda de 20 columnas de lixiviación, se concluyó que de los tipos de suelo predominantes en la zona, los de tipo molisol por su granulometría eran más susceptibles a los fenómenos de infiltración, por lo que el volumen promedio final de los nitratos lixiviados era superior, las columnas correspondientes a San Juan de Rumipungo La Dolorosa, San Andrés, Chinintahua, Huapante Grande y Huapante Chico, registraron volúmenes de lixiviación más altos alcanzado un promedio de (400-420 ml), se optó por la fertilización de tipo química la cual arrojó que; para la semana 1 y 2 los valores de concentración de nitratos fueron los más altos con rangos comprendidos de (40 a 50 mg/l) y a medida que el fertilizante se solubilizaba la concentración disminuye, para la semana 4 el valor promedio era de (10 mg/l), es necesario indicar que valores de nitratos mayores a (60 mg/l) facilitan procesos de contaminación tanto de aguas interiores y producir eutrofización en las aguas superficiales, valores menores a (15-20 mg/l) podrían indicar que el suelo presenta una carencia de nutrientes.
- Mediante el cálculo del coeficiente de Pearson se pudo determinar que existe una correlación positiva (valores cercanos +1), en cuanto a la relación entre la solubilidad del fertilizante la conductividad eléctrica y el pH del suelo en el aumento o disminución de la concentración de nitrato lixiviado, a su vez los valores obtenidos en este estudio fueron; en el caso de la CE vs la  $[\text{NO}_3^-]$  un nivel de significancia de (0.979- muy alta correlación), pH vs  $[\text{NO}_3^-]$  con un nivel de significancia (0.842 correlación muy alta) , finalmente la solubilidad expresada en este caso como TDS arrojó un nivel de significancia de (0.751 correlación alta), dichos resultados reflejan que durante el proceso de fertilización en la semana 1 y 2 la concentración de nitratos sostuvieron valores altos y a medida que el fertilizante se solubiliza tanto la concentración como los valores de los parámetros estudiados presentaban una disminución en sus estimaciones.
- Se determinó mediante QGIS+SWAT que la parroquia San Andrés de acuerdo Horton corresponde a una cuenca ensanchada, con pendiente promedio de 15%, densidad de drenaje de 0,86 (buen sistema de drenaje), en cuanto al modelamiento mediante SWAT+ se determinó 176 unidades hidrológicas HRU, 17 subcuencas, 22 acuíferos, y 4 desfuegos principales, los  $\text{NO}_3^-$  totales almacenados en las subcuencas 14 y 12 presentaron valores de 15.0 a 25.3 (kg/ha) , para las subcuencas 10,15,17 el rango de nitratos se estableció entre 25.3 a 46.0(kg/ha), las subcuencas 11 y 16 su concentración de  $\text{NO}_3^-$  de 46.0 a 84.5 (kg/ha), por último, los valores más altos obedecen a las subcuencas 4 y 7 con un rango de 84.5 a 104.5 (kg/ha) y las subcuencas 1,2,3,5,6,9,8,13 con 104.5 a 120.0 (kg/ha) respectivamente, los

sectores de Cardosanto, Rumipungo, Chaupiloma, La lintera, Huapante Grande, Huapante Chico y Chinintahua, presentaron una capacidad de almacenamiento de nitratos mayor, al cotejar con estudios similares se determinó que concentraciones por encima de 100 (kg/ha) son potencialmente peligrosos ya que indican un riesgo de contaminación que puede desencadenar impactos nocivos para el ecosistema.

- Se propuso mecanismos de agricultura sustentable orientados a la reducción de los nitratos contenidos en el suelo, destacando, que parte del aumento en la concentración de los nitratos se debe a las malas prácticas agrícolas y de riego, se recomienda la siembra por rotación de cultivos, ya que ayuda a conservar la humedad del suelo por períodos más largos, disminuye el consumo de agua, y minimiza el riesgo de erosión y presencia de malezas; se debe evitar el “ Riego por inundación” pues favorece el lavado del suelo y arrastre de nutrientes hasta su posterior infiltración, finalmente, el uso de fertilizantes de origen químicos debe basarse a un cálculo óptimo en su dosificación y a la necesidad nutricional de la planta con el fin de evitar que los elementos en exceso se conviertan en un problema de contaminación, lo conveniente es el uso de biofertilizantes o enmiendas orgánicas que promueven el crecimiento radicular de las plantas favoreciendo la absorción de nutrientes del suelo.

## RECOMENDACIONES

- En base a los resultados recogidos en la presente investigación y al aporte bibliográfico se recomienda llevar a cabo estudios complementarios en la zona de estudio que permitan tomar en cuenta otros parámetros tanto físicos como químicos que puedan ser precursores de fenómenos de contaminación ambiental, con el fin de contrastar las investigaciones realizadas y poner en marcha actividades que velen por el cuidado y la calidad de los ecosistemas y sus recursos que cada vez son más limitados.
- Efectuar procesos de modelamiento mediante software que incluyan los datos tomados en campo tomando en cuenta los periodos secos e invernales de la zona de estudio, además es necesario generar un fuente de datos con futuros monitoreos del sector que permitan calibrar los modelos de forma más exacta, adaptado a las condiciones reales del sector , destacándose el requerimiento de variables tales como velocidad de infiltración, perfil de los suelos, regímenes de precipitación, humedad de suelo, escorrentía entre otros, datos necesarios para dichos modelamientos.
- Finalmente es necesario que se ponga en marcha planes de capacitación a los agricultores del sector sobre los efectos nocivos del uso indiscriminado de fertilizantes y prácticas agrarias inadecuadas, además se debe enfatizar en la búsqueda de una normativa propia que indique los límites máximos permisibles de nitratos propensos a lixiviarse que lleguen a alcanzar los diferentes cuerpos hídricos, encaminar a un cambio en la perspectiva de una agricultura sostenible supone grandes ventajas protegiendo la fragilidad de los ecosistemas sin comprometer los ingresos económicos que son sustento de los pobladores del sector.

## GLOSARIO

**Andisoles:** Son un tipo de suelo propio de la región interandina o sierra, se caracteriza por ser suelos con alto contenido de materia orgánica poseen un color oscuro y una porosidad elevada (Chinchilla et al., 2011, p. 85).

**Archivo ráster:** Se denomina archivo ráster a un conjunto de imágenes satelitales, las cuales en cada una de sus celdas conformante, almacenan información de los fenómenos del mundo real (Athán et al., 2018, p. 79).

**Capilaridad:** En un proceso por el cual agua y nutrientes tienden a subir por medio de raíces y se distribuye a los tallos, hojas y frutas (Arboleda, 2009, p. 16).

**Ciclos biogeoquímicos:** Se considera como un sistema de intercambio de materia y energía entre los elementos químicos los seres vivos y el ambiente que los rodea, los ciclos biogeoquímicos son los encargados de mantener el balance en los ecosistemas (Espinosa et al., 2015, p. 158).

**Correlación:** Es una prueba estadística que mide la relación entre dos variables continuas, valores cercanos a 1 indican una fuerte correlación por el contrario valores cercanos a 0 o a -1 implican que las variables no se correlacionan entre sí (Lalinde y Tarazona, 2018, p. 588).

**Cuenca hidrológica:** Se conoce como cuenca a un espacio, territorio, región o zona cuya característica principal es que el agua de lluvia que se deposita en dicha superficie escurra hacia un tributario o tributarios en común (Velez et al., 2003, p. 11).

**Curva hipsométrica:** Representa de forma gráfica la variación de la elevación de una cuenca observando los puntos más altos medios y bajos respectivamente (Velez et al., 2003, p. 23).

**DEM:** Modelo de elevación digital, en general hacen una representación de una superficie de la tierra en particular, la precisión de los datos estará en función a la resolución del DEM (Athán et al., 2018, p. 94).

**Eutrofización :** Proceso de contaminación de las aguas que se caracteriza por un crecimiento exagerado de especies vegetales , producto del exceso de nutrientes presentes en el agua ( Balcorta, 2010, p. 23).

**Escorrentía:** Es un fenómeno que se caracteriza por el escurrimiento del agua producto de las precipitaciones por medio de la red de drenaje la misma que desemboca en una red fluvial (Roa Lobo y Kearney, 2013) .

**HRU:** En Swat representan las unidades de respuesta hidrológica únicas para cada cuenca estudiada (Athan et al., 2018, p. 94).

**Shapefile:** Es un archivo que almacena información variada de una entidad geográfica , por lo general este archivo posee las coordenadas, así como los atributos de las entidades (Athan et al., 2018, p. 94)

## BIBLIOGRAFÍA

**ALAHÍ, Md. Eshrat E. & MUKHOPADHYAY, Subhas Chandra.** "Detection methods of nitrate in water: A review". *Sensors and Actuators A: Physical*, 2018, vol. 280, pp. 210-221., ISSN 0924-4247. DOI 10.1016/j.sna.2018.07.026.

**AMISI FABRICE, Muvundja. et al.** "Balancing Nutrient Inputs to Lake Kivu". *Journal of Great Lakes Research*, 2009, vol. 35, pp. 406-418., DOI 10.1016/j.jglr.2009.06.002.

**ARAUZO, M. & DÍEZ, J.A.** "Estimación de balances hídricos y lixiviación de nitratos en sistemas agrícolas". , 2003, pp. 6.,

**ARBOLEDA, Fernando Muñoz.,** 2009. *Importancia del agua en la nutrición de los cultivos* [en línea]. 2009. S.l.: Cenicaña,. Disponible en: [https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portaIIG/home\\_4/mod\\_virtuales/modulo2/5.pdf](https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portaIIG/home_4/mod_virtuales/modulo2/5.pdf).

**ARENAS-BAUTISTA, María Cristina. et al.** "Evaluación de dos sistemas de riego por goteo en la producción y la calidad de la fruta de pera (*Pyrus communis* L.) variedad Triunfo de Viena". *Acta Agronómica*, 2012, vol. 61, no 1, pp. 1-9., ISSN 0120-2812. Redalyc

**ARNOLD, Jeffrey G. et al.** "SWAT: Model use, calibration, and validation". , 2012, vol. Vol. 55(4), pp. 20.,

**ATHAN, Tara. et al.,** 2018. *INSTALACIÓN Y CODIFICACIÓN DE LA GUÍA DE USUARIO: QGIS* [en línea]. 2018. S.l.: Copiapo,. Disponible en: [https://download.osgeo.org/qgis/doc/manual/qgis-1.6.0\\_user\\_guide\\_es.pdf](https://download.osgeo.org/qgis/doc/manual/qgis-1.6.0_user_guide_es.pdf).

**BALD, Daniela Ritieli. et al.** "Microbiota do solo: a diversidade invisível e a sua importância". *Bio Diverso*, 2021, vol. 1, no 1, pp. 31.,

**BHATT, Manoj. et al.** "Influence of Long-term Chemical fertilizers and Organic Manures on Soil Fertility -A Review". *Universal Journal of Agricultural Research*, 2019, vol. 7, pp. 177-188., DOI 10.13189/ujar.2019.070502.

**BLANDÓN, Licda Lisseth Carolina.,** Influencia del uso de suelo en la dinámica hidrológica de las aguas superficiales en la Microcuenca río Pire, Municipio de Condega, Departamento de Estelí

[en línea]. (Investigación). Universidad autónoma de Managua Nicaragua,. Nicaragua: 2018. Disponible en: <https://repositorio.unan.edu.ni/10879/1/0707.pdf>.

**BURBA, Jose Luis. et al.**, 2021. "Manejo de suelos y preparacion del terreno para el cultivo de ajo en areas bajo riego de Mendoza". En: Accepted: 2021-10-04T14:45:57Z [en línea]. (info:ar-repo/semantics/informe técnico). S.l.: Estacion Experimental Agropecuaria La Consulta, INTA. [Consulta: 22 febrero 2022]. Disponible en: <http://repositorio.inta.gob.ar:80/handle/20.500.12123/10415>.

**CABANILLAS, Antonio Guiberteau.**, Técnicas de cultivo en agricultura ecológica. S.l.: s.n. 2008.

**CAICEDO CAMPOSANO, Oscar. et al.** "Evaluación hidráulica del riego por aspersion subfoliar en banano (*Musa paradisiaca*) en la finca San José 2, provincia Los Ríos, Ecuador". *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 2015a, vol. 24, no 1, pp. 38-43., ISSN 2071-0054.

**CANTÚ SILVA, Israel. et al.** "Efecto del cambio de uso de suelo en el contenido del carbono orgánico y nitrógeno del suelo". *Revista mexicana de ciencias forestales*, 2018, vol. 9, no 45, pp. 122-151., ISSN 2007-1132. DOI 10.29298/rmcf.v9i45.138.

**CARDONA, William Andrés. et al.** "Efecto de fertilizantes químicos y orgánicos sobre la agregación de un suelo cultivado con *Musa acuminata* AA". *Acta Agronómica*, 2015, vol. 65, no 2, pp. 144-148., ISSN 2323-0118, 0120-2812. DOI 10.15446/acag.v65n2.44493.

**CHANGOLUISA ALVEAR, Byron Fabricio.**, Determinación de las funciones de pedotransferencia para propiedades físicas del suelo en el Ecuador [en línea]. Universidad Central del Ecuador, Quito: 2020. [Consulta: 22 febrero 2022]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/21399>.

**CHAPA-BALCORTA, Cecilia.** "Eutrofización: Abundancia que mata". *Como ves*, 2010, pp. 22-25.,

**CHÁVEZ, Carlos. & FUENTES, Carlos.** "Uso eficiente del agua de riego por gravedad utilizando yeso y poliacrilamida". , 2010, pp. 231-237.,

**CHINCHILLA, Miguel. et al.** "Andisoles, inceptisoles y entisoles de la subcuenca del río Pirrís, región de Los Santos, Talamanca, Costa Rica". *Agronomía Costarricense*, 2011, pp. 83-107., ISSN 2215-2202, 0377-9424. DOI 10.15517/rac.v35i1.6688.

**CISNEROS, Rodolfo.** Apuntes de la materia de riego y drenaje [en línea]. Universidad San Luis Potosí., México: 2017. Disponible en: <http://www.ingenieria.uaslp.mx/Documents/Apuntes/Riego%20y%20Drenaje.pdf>.

**CRUZ ROMERO, Bartolo. et al.** "Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México". *Investigación y Ciencia*, 2015, vol. 23, no 64, pp. 26-34., ISSN 1665-4412. Redalyc

**CUI, Meng. et al.** "Measures for reducing nitrate leaching in orchards:A review". *Environmental Pollution*, 2020, vol. 263, pp. 15., ISSN 0269-7491. DOI 10.1016/j.envpol.2020.114553.

**DAZA TORRES, Martha Constanza.** Estrategias para la optimización de la fertilización nitrogenada y reducción de la lixiviación de nitratos en sistemas productivos de plantas aromáticas [en línea]. universidad del valle, Colombia: 2018. Disponible en: [https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/15011/CB\\_0576532.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/15011/CB_0576532.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

**DEMELASH, Nigus. et al.** "Current and residual effects of compost and inorganic fertilizer on wheat and soil chemical properties". *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2014, vol. 100, no 3, pp. 357-367., ISSN 1573-0867. DOI 10.1007/s10705-014-9654-5.

**DI, H.J. & CAMERON, K.C.** "Nitrate leaching in temperate agroecosystems: sources, factors and mitigating strategies". *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2002, vol. 64, no 3, pp. 237-256., ISSN 1573-0867. DOI 10.1023/A:1021471531188.

**DILE, Yihun. et al.**, 2020. *QGIS Interface for SWAT (QSWAT)* [en línea]. 2020. S.l.: s.n. Disponible en: [https://swat.tamu.edu/media/116371/qswat-manual\\_v19.pdf](https://swat.tamu.edu/media/116371/qswat-manual_v19.pdf).

**DURAN, Mónica Viviana León. & OSORIO, Álvaro Acevedo.** "Sostenibilidad del manejo del suelo en procesos productivos de transición agroecológica.". *Ecosistemas*, 2021, vol. 30, no 2, pp. 11., ISSN 1697-2473. DOI 10.7818/ECOS.2061.

**DURAN, Mónica Viviana León. & OSORIO, Alvaro Acevedo.** "Sostenibilidad del manejo del suelo en procesos productivos de transición agroecológica". *Ecosistemas: Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*, 2021, vol. 30, no 2, pp. 3., ISSN 1697-2473.

**ESPINOSA-FUENTES, María. et al.**, "Ciclos biogeoquímicos". [en línea]. México: s.n., 2015. pp. 157-176. ISBN 978-607-02-7522-7. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/305380070\\_CICLOS\\_BIOGEOQUIMICOS/citation/download](https://www.researchgate.net/publication/305380070_CICLOS_BIOGEOQUIMICOS/citation/download).

**ESPINOZA, Ariel. et al.**, 2017. *Guía Técnica para el Muestreo de Suelos*. [en línea]. 2017. S.l.: Complejo Gráfico TMC,. Disponible en: <https://repositorio.una.edu.ni/3613/1/P33M539.pdf>.

**ESTUPINAN SILVA, Rosmerlin. & QUESADA, Benjamin.** "El Proceso Haber-Bosch En La Sociedad Agroindustrial: Peligros Y Alternativas (The Haber-Bosch Process in the Agroindustrial Society: Dangers and Alternatives)". , 2011, pp. 75-96.,

**FAO**, Los fertilizantes y su uso: Una guía de bolsillo para los oficiales de extensión [en línea]. Rome, Italy: FAO,. 2012. [Consulta: 5 marzo 2022]. ISBN 978-92-5-304414-6. Disponible en: <https://www.fao.org/publications/card/en/c/b0f8bfc5-4c95-54b0-80cd-96b810006037/>.

**FERNÁNDEZ-PASCUAL, Mercedes. et al.** "Fijación biológica del nitrógeno: factores limitantes". En: Accepted: 2016-01-28T12:08:31Z [en línea], 2002, [Consulta: 22 febrero 2022]. ISSN 84-699-7972-8. DOI 10.13039/501100006280. Disponible en: <https://digital.csic.es/handle/10261/128283>.

**FLEITE, Santiago N. et al.** "Análisis hipsométrico de la pampa ondulada y su importancia como herramienta para la prevención de impactos ambientales". , 2017, vol. 9, pp. 8., ISSN 1852-2181.

**GARCÍA, María Rosa Granados.**, Lixiviación de nitratos desde cultivo de invernadero en suelo en las condiciones de Almería: magnitud, factores determinantes y desarrollo de un sistema de manejo optimizado [en línea]. (<http://purl.org/dc/dcmitype/Text>). Universidad de Almería,. S.l.: 2011. [Consulta: 17 julio 2022]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=222636>.

**GARCÍA PETILLO, Mario.** "Análisis crítico del método de riego por goteo en las condiciones del Uruguay". *Agrociencia (Uruguay)*, 2010, vol. 14, no 1, pp. 36-43., ISSN 2301-1548.

**GARCÍA-VELÁZQUEZ, Laura. & GALLARDO, Antonio.** "El ciclo global del nitrógeno. Una visión para el ecólogo terrestre:". *Ecosistemas*, 2017, vol. 26, no 1, pp. 4-6., ISSN 1697-2473. DOI 10.7818/ECOS.2017.26-1.02.

**GLADYS PATRICIA GUEVARA ALBAN et al.** "Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción)". *RECIMUNDO*, 2020, vol. 4, no 3, pp. 50., DOI 10.26820/recimundo/4.(3).julio.2020.163-173.

**GUTIÉRREZ-CASTORENA, Edgar. et al.** "Manejo integrado de nutrientes en sistemas agrícolas intensivos: revisión\* Integrated nutrient management in intensive agricultural systems: a review". *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2015, vol. 6, pp. 201-215.,

**GUZMÁN DUCHEN, Daniel. et al.** "Interacción de bacterias y plantas en la fijación del nitrógeno". *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 2021, vol. 8, no 2, pp. 87-101., ISSN 2409-1618. DOI 10.53287/uyxf4027gf99e.

**HERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, Alberto. et al.** "La clasificación de suelos de Cuba: énfasis en la versión de 2015". *Cultivos Tropicales*, 2019, vol. 40, no 1, pp. 18.,

**HU, Hang-Wei. & HE, Ji-Zheng.** "Comammox a newly discovered nitrification process in the terrestrial nitrogen cycle". *Journal of Soils and Sediments*, 2017, vol. 17, no 12, pp. 2709-2717., ISSN 1614-7480. DOI 10.1007/s11368-017-1851-9.

**HUANG, Chunbo. et al.** "Responses of soil nutrients to vegetation restoration in China". *Regional Environmental Change*, 2020, vol. 20, no 3, pp. 82., ISSN 1436-378X. DOI 10.1007/s10113-020-01679-6.

**KHALAJABADI, Siavosh Sadeghian. et al.,** Lixiviación de Nitratos en suelos de la zona cafetera-Prácticas que ayudan a reducirla [en línea]. Colombia: Cenicafe., 2015. ISBN 978-958-8490-16-8. Disponible en: <https://www.cenicafe.org/es/publications/BT403.pdf>.

**LALINDE, Juan Diego Hernández. et al.** "Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones". , 2018, vol. 37, pp. 16.,

**LALINDE, Juan Diego Hernández. & TARAZONA, Elena Peñaloza.** "Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones". , 2018, pp. 587-593.,

**LI, Yaying. et al.** "Nitrification and nitrifiers in acidic soils". *Soil Biology and Biochemistry*, 2018, vol. 116, pp. 290-301., ISSN 0038-0717. DOI 10.1016/j.soilbio.2017.10.023.

**LIEBIG, Justus Freiherr Von.** *Organic Chemistry in Its Applications to Agriculture and Physiology*. S.l.: J. Owen., 1841.

**LIU, Mengshuai. et al.** "Nitrogen leaching greatly impacts bacterial community and denitrifiers abundance in subsoil under long-term fertilization". *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2020, vol. 294, pp. 106885., ISSN 0167-8809. DOI 10.1016/j.agee.2020.106885.

**LOZANO, Zenaida. et al.** "Siembra directa como alternativa agroecológica para la transición hacia la sostenibilidad de las sabanas". *Acta Biológica Venezuelica*, 2008, vol. 28, pp. 15-28.,

**MADSEN, Eugene L.** "Microorganisms and their roles in fundamental biogeochemical cycles". *Current Opinion in Biotechnology*, 2011, vol. 22, no 3, pp. 456-464., ISSN 09581669. DOI 10.1016/j.copbio.2011.01.008.

**MARCANO, Lily. & ELIZALDE, Graciano.** "Nitrato lixiviado de columnas de suelo sin disturbar, pertenecientes a dos suelos de la Cuenca del Lago de Valencia". *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 2010, vol. 25, no 2, pp. 67-72., ISSN 0798-4065.

**MARTINEZ-FERIA, Rafael. et al.** "Can multi-strategy management stabilize nitrate leaching under increasing rainfall?". *Environmental Research Letters*, 2019, vol. 14, no 12, pp. 11., ISSN 1748-9326. DOI 10.1088/1748-9326/ab5ca8.

**MORIASI, Daniel N. et al.** "Modeling the impact of nitrogen fertilizer application and tile drain configuration on nitrate leaching using SWAT". *Agricultural Water Management*, 2013, vol. 130, pp. 36-43., ISSN 0378-3774. DOI 10.1016/j.agwat.2013.08.003.

**NAZARIEH, F. et al.** "Spatial and temporal dynamics of deep percolation, lag time and recharge in an irrigated semi-arid region". *Hydrogeology Journal*, 2018, vol. 26, no 7, pp. 2507-2520., ISSN 1435-0157. DOI 10.1007/s10040-018-1789-z.

**NIETO, Nicomedes Teodoro Esteban.** "TIPOS DE INVESTIGACIÓN". , 2018, pp. 4.,

**ORTEGA, Diego Javier Perez. et al.** "Uso del suelo y su influencia en la presión y degradación de los recursos hídricos en cuencas hidrográficas". *RIAA*, 2018, vol. 9, no 1, pp. 1., ISSN 2145-6453.

**OSORIO, N.W.** "pH DEL SUELO Y DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES". , 2012, vol. 1, no 4, pp. 4.,

**PASTOR, Francisco Lloret.** "Nitratos: ¿Buenos o malos?". *Anales de Química de la RSEQ*, 2019, vol. 115, no 3, pp. 218-226., ISSN 2792-5250.

**PDOT, San Andrés.** *Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial* [en línea]. 2019. S.l.: s.n. Disponible en: [https://www.gadsanandres.gob.ec/images/cwattachments/175\\_5c0f21b9f3b2a05fde85ea5eb6828edf.pdf](https://www.gadsanandres.gob.ec/images/cwattachments/175_5c0f21b9f3b2a05fde85ea5eb6828edf.pdf).

**POTT, Cristiano. & FOHRER, Nicola.** "Best management practices to reduce nitrate pollution in a rural watershed in Germany". *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 2017, vol. 12, pp. 888., DOI 10.4136/ambi-agua.2099.

**QSWAT.**, 2019. "| QSWAT | SWAT Herramienta de evaluación de suelos y aguas". [en línea]. [Consulta: 22 febrero 2022]. Disponible en: <https://swat.tamu.edu/software/qswat/>.

**RAKOTOVOLOLONA, Lucia. et al.** "Driving factors of nitrate leaching in arable organic cropping systems in Northern France". *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2019, vol. 272, pp. 38-51., ISSN 0167-8809. DOI 10.1016/j.agee.2018.10.005.

**RAMÍREZ-GRANADOS, Pablo. et al.** "Morphometry of the Páez River hydrographic sub-basin, Cartago, Costa Rica.". *Revista Geográfica de América Central*, 2021, no 67, pp. 121-143., ISSN 2215-2563. DOI 10.15359/rgac.67-2.5.

**RAMOS, C.** "Revisión crítica de los métodos de medida de la lixiviación de nitrato en suelos agrícolas". , 2011, pp. 8.,

**RAYO, I. et al.** "Indicadores de calidad de suelo para evaluar su fertilidad". , 2017, pp. 19., ISSN 51: 813-831. 2017.

**REASCOS PARDO, José Luis. & CASTILLO CRIOLLO, Felipe.** "Buenas prácticas agrícolas". *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, 2019, no marzo, pp. 10., ISSN 1696-8352.

**REVELO, Tulia Esperanza Delgado. et al.,** Evaluación de sistemas de riego utilizados en el cultivo de palma de aceite [en línea]. Bogotá: s.n. 2021. ISBN 978-958-8360-80-5. Disponible en:<https://repositorio.fedepalma.org/bitstream/handle/123456789/141302/Evaluacio%CC%81n%20de%20sistemas%20de%20riego%20w.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

**ROA LOBO, José. & KEARNEY, Michael.** "Acumulación y dirección de la escorrentía superficial a través del método del Número de Curva (nc) y SIG en una vertiente urbana de la ciudad de Trujillo-Venezuela". *Revista Geográfica Venezolana*, 2013, vol. 54, no 2, pp. 273-300., ISSN 1012-1617. Redalyc

**RODRÍGUEZ, Sebastián Ariza. et al.** "Evaluación de fijadores biológicos de nitrógeno libres sobre el crecimiento de gramíneas en suelo degradado". *Revista Colombiana de Biotecnología*, Vol 22, Iss 1, Pp 87-97 (2020), 2020, pp. 87-97., ISSN 0123-3475. DOI 10.15446/rev.colomb.biote.v22n1.78019.

**ROJAS-RODRÍGUEZ, Isaac Shamir. et al.** "Contaminación por nitratos y fosfatos provenientes de la actividad agrícola en la cuenca baja del río Mayo en el estado de Sonora, México". *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 2020, vol. 38, no 2, pp. 247-256., ISSN 2395-8030. DOI 10.28940/terra.v38i2.642.

**ROLANDO, Avila Manotoa Oscar.,** Efecto de la labranza convencional y siembra directa en las propiedades químicas de un suelo sembrado con maíz y fréjol [en línea]. (Investigación). Universidad Central del Ecuador,. Quito: 2019. Disponible en: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjblbe63q\\_2AhUgQTABHS3hB70QFnoECA0QAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.dspace.uce.edu.ec%2Fbitstream%2F25000%2F17977%2F1%2FT-UCE-0004-CAG-078.pdf&usq=AOvVaw1sboc3S91WiPJfv6jVmpnA](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjblbe63q_2AhUgQTABHS3hB70QFnoECA0QAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.dspace.uce.edu.ec%2Fbitstream%2F25000%2F17977%2F1%2FT-UCE-0004-CAG-078.pdf&usq=AOvVaw1sboc3S91WiPJfv6jVmpnA).

**SALGADO SÁNCHEZ, Raquel.** "Agricultura sustentable y sus posibilidades en relación con consumidores urbanos". *Estudios sociales (Hermosillo, Son.)*, 2015, vol. 23, no 45, pp. 113-140., ISSN 0188-4557.

**SÁNCHEZ, M. Edna Álvarez. et al.** "Manejo agroecológico para la restauración de la calidad del suelo". *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2020, vol. 11, no 4, pp. 741-752., ISSN 2007-0934.

**SANCHEZ-VELEZ, Alejandro S. et al.**, La cuenca hidrográfica: unidad básica de planeación y manejo de recursos naturales. Mexico, D.F.: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales., 2003. ISBN 978-968-817-581-1.

**SANTOS COELLO, Belarmino. & RÍOS MESA, Domingo.**, Cálculo de soluciones nutritivas: en suelo y sin suelo [en línea]. 1ª Diciembre 2016. Tenerife: Servicio de Agricultura y Desarrollo Rural, Cabildo Insular de Tenerife., 2016. ISBN 978-84-15012-87-0. Disponible en: [https://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/otro\\_622\\_soluciones\\_nutritivas.pdf](https://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/otro_622_soluciones_nutritivas.pdf).

**SEVILLA, Isaí Álvarez. et al.** "Indicadores de sostenibilidad para el uso del agua en sistemas de riego / sustainability indicators for the use of water in irrigation systems". *Universidad & Ciencia*, 2022, vol. 11, no 1, pp. 161-170., ISSN 2227-2690.

**SIERRA, Alejandra. et al.**, 2020. "Principios y prácticas para el manejo de nutrientes en la producción de Hortalizas". [en línea]. Uruguay. Disponible en: <http://www.fagro.edu.uy/~fertilidad/curso/docs/Aplicaci1.pdf>.

**SOMOZA, A. et al.** "Implementación de buenas prácticas agrícolas para la gestión ambiental rural". *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 2018, vol. 44, no 3, pp. 398-423., ISSN 1669-2314.

**WANG, Yan. et al.** "What could promote farmers to replace chemical fertilizers with organic fertilizers?". *Journal of Cleaner Production*, 2018, vol. 199, pp. 882-890., ISSN 0959-6526. DOI 10.1016/j.jclepro.2018.07.222.

**WANG, Yingcheng. et al.** "Estimating soil nitrate leaching of nitrogen fertilizer from global meta-analysis". *Science of The Total Environment*, 2019, vol. 657, pp. 96-102., ISSN 0048-9697. DOI 10.1016/j.scitotenv.2018.12.029.

**YÁÑEZ DÍAZ, María Inés. et al.** "Efecto del cambio de uso de suelo en las propiedades químicas de un vertisol". *Terra Latinoamericana*, 2018, vol. 36, no 4, pp. 369-379., ISSN 0187-5779. DOI 10.28940/terra.v36i4.349.

**ZÚÑIGA UGALDE, Felipe. et al.** "Propiedades morfológicas de los suelos asociadas a los ecosistemas de Páramo, Nariño, Sur de Colombia". *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 2018, vol. 36, no 2, pp. 183., ISSN 2395-8030. DOI 10.28940/terra.v36i2.363.

## ANEXOS

### ANEXO A: RECOLECCIÓN DE LAS MUESTRAS DE SUELO

	
<p><b>Fotografía 1A:</b> Recolección de las muestras de suelo- Parroquia San Andrés. Pillaro.</p>	<p><b>Fotografía 2A:</b> Georreferenciación de los puntos de muestreo.</p>

Realizado por: Vasco Chiluiza, Danny, 2022.

### ANEXO B: CONSTRUCCIÓN DE LAS COLUMNAS DE LIXIVIACIÓN

	
<p><b>Fotografía 1B:</b> Corte del tubo PVC con una altura de 25 cm de altura y un diámetro de 10cm y colocación de una malla fina.</p>	<p><b>Fotografía 2B:</b> Ensamblaje del sistema de recolección del lixiviado.</p>

Realizado por: Vasco Chiluiza, Danny, 2022.

## ANEXO C: ACONDICIONAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE SUELO



**Fotografía 1C:** Limpieza de las muestras de suelo, retiro de piedras y malezas.



**Fotografía 2C:** Secado de las muestras de suelo.



**Fotografía 3C:** Pesaje de las muestras de suelo.



**Fotografía 4C:** Colocación de las muestras de suelo en cada una de las columnas elaboradas.

## ANEXO D: PUESTA EN MARCHA DE LAS COLUMNAS DE LIXIVIACIÓN



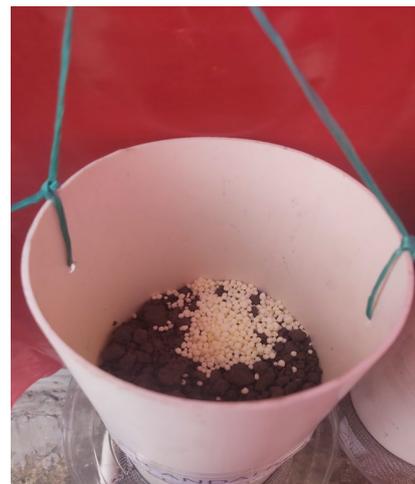
**Fotografía 1C:** Disposición en vertical de las 20 columnas de estudio con el sistema de recolección correspondiente.



**Fotografía 2C:** Hidratación previa de las columnas de lixiviación.



**Fotografía 3C:** Pesaje del fertilizante químico.



**Fotografía 4C:** Colocación del Fertilizante en cada columna de lixiviación, se aplica un riego cada 3 días de 480ml de agua destilada.

## ANEXO E: MONITOREO DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS



**Fotografía 1E:** Generación del lixiviado correspondiente.



**Fotografía 2E:** Toma de pH, CE, TDS mediante el equipo multiparámetro.



**Fotografía 3E:** Añadimiento del sobre de reactivo el cual se basa en método de reducción de cadmio para medir el nitrato, y agitamos por 1 min.



**Fotografía 4C:** Determinación del valor de concentración de nitratos, por colorimetría en el cubo de comparación de colores.

Realizado por: Vasco Chiluiza, Danny, 2022.



epoch

Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 14 / 11 / 2022

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Danny Marcelo Vasco Chiluita
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Ingeniería en Biotecnología Ambiental
<b>Título a optar:</b> Ingeniero en Biotecnología Ambiental
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.



1948-DBRA-UTP-2022