



Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Sede Ibarra

ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES

“ECAA”

INFORME FINAL DEL PROYECTO

TEMA:

“DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE NITRATO EN SUELO, PLANTA,
TUBÉRCULO EN CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum*) PARA EVALUAR LA
CONTAMINACIÓN CON NITRATOS.”

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN CIENCIAS AMBIENTALES Y ECODESARROLLO.

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

LINEA 2. AMBIENTE Y BIODIVERSIDAD

SUBLINEA: 2.2 IMPACTOS AMBIENTALES

AUTOR: ANGEL DAVID QUILCA FLORES

ASESOR: Ph.D. RUBEN DEL TORO

IBARRA, JUNIO 2018



Ibarra, 04 de junio del 2018

Ph.D. Rubén del Toro

ASESOR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales (ECAA), de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI); en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(f):

Ph.D. Rubén del Toro Deniz

C.C.: 175754447-1



PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El jurado examinador, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la
Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI):

(f):

Ph.D. Rubén del Toro Deniz

C.C.: 175754447-1

.....

Ph.D. César Alonso Zuleta Padilla.

C.C.: 100103754-6

(f):

Mgs. Diego Miguel Puerres Vera

C.C.: 100177898-2



ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Ángel David Quilca Flores, declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 165 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, que manifiesta textualmente: “Se reconoce facultad de los autores y demás titulares de derechos de disponer de sus derechos o autorizar las utilidades de sus obras o prestaciones, a título gratuito u oneroso, según las condiciones que determinen. Esta facultad podrá ejercerse mediante licencias libres, abiertas y otros modelos alternativos de licenciamiento o la renuncia”.

Ibarra, 04 de junio del 2018

(f): 

Ángel David Quilca Flores

Nombres Completos

C.C.: 1003653233



AUTORÍA

Yo, Ángel David Quilca Flores, portador de la cédula de ciudadanía N 1003653233, declaro que la presente investigación es de total responsabilidad del autor y eximo expresamente a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede-Ibarra de posibles reclamos o acciones legales.

(f): 

Ángel David Quilca Flores

Nombres Completos

C.C.:1003653233



DECLARACIÓN y AUTORIZACIÓN

Yo, Ángel David Quilca Flores, con CC: (1003653233), autor del trabajo de grado intitulado: “DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE NITRATO EN SUELO, PLANTA, TUBÉRCULO EN UN CULTIVO DE PAPA (*SOLANUM TUBEROSUM*) PARA EVALUAR LA CONTAMINACIÓN CON NITRATOS”, previo a la obtención del título profesional de “INGENIERO EN CIENCIAS AMBIENTALES Y ECODESARROLLO”, en la Escuela de CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES (ECAA).

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede-Ibarra, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede-Ibarra a difundir a través de sitio web de la Biblioteca de la PUCESI el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de Universidad.

Ibarra, 04 de junio del 2018

(f.): 

Ángel David Quilca Flores

C.C.: 1003653233



DEDICATORIA

Este proyecto de tesis dedico a Dios y a mis papás, a Dios porque ha permanecido conmigo a cada paso que he dado a lo largo de mi vida, estando ahí presente cuidándome y brindándome impulso para no desmayar en ningún momento, a mis papás, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo instante, poniendo su entera confianza en cada reto que se me mostraba en el camino, sin dudar ni un solo instante en mi capacidad.



AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres a mi padrino por todo el apoyo brindado desde el primer día de clases hasta el presente día que culmino mi carrera, a mis hermanos y a mi asesor, Ph.D. Rubén del Toro y a mis colegas de clase.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN DE ASESOR.....	ii
PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	iii
ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS.....	iv
AUDITORÍA.....	v
DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
AGRADECIMIENTO.....	viii
1. RESUMEN Y PALABRAS CLAVE.....	1
2. ABSTRACT.....	2
3. INTRODUCCIÓN.....	3
3.1. Objetivo General:	4
3.2. Objetivos Específicos	4
3.3. Hipótesis	4
3.3.1. Variable independiente:	4
3.3.2. Variable dependiente.....	4
4. ESTADO DEL ARTE.....	5
4.1. Nitratos	5
4.2. Metodologías para la determinación de nitratos.....	6
4.2.1. Predicción de nitratos en sistemas agrícolas sin laboreo y su relación con variables ambientales.....	6
4.2.2. Diagnóstico de NO ₃ en savia para determinar el estado nutricional en papa (<i>Solanum tuberosum L. subsp. andigena</i>)	8

4.2.3. Predicción de los nitratos a cosecha de maíz en suelos de la Región Pampeana.....	11
4.3. Aplicaciones, Procedencia y fabricación del nitrato.	16
4.4. Nitratos en el medio ambiente	16
4.5. Contaminación de suelos agrícolas por nitratos.	18
4.6. Nitratos en plantas	19
4.7. Nitratos y nitritos en los vegetales.....	19
4.8. La papa (<i>Solanum tuberosum</i>).....	20
4.9. Demanda de nitrógeno por las papas	21
4.10. Uso excesivo de fertilizantes en los cultivos	21
4.11. Efectos tóxicos de los nitratos en las papas.	22
4.12. Proceso de eliminación del nitrógeno.....	23
4.12.1. Desnitrificación.....	23
4.12.2. Nitrificación.....	23
4.12.3. Implicancias ambientales de la desnitrificación.	24
4.12.4. Evitar sobre fertilizar	25
4.12.5. Emplear fertilizantes con nitratos cuando las plantas lo requieran	25
4.12.6. Convenir la dosis de abonos nitrogenados	25
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
5.1. Descripción.....	26
5.2. Cartografía de la hacienda	27
5.3. Equipos	28
5.4. Método.....	28
5.4.1. Levantamiento de información fase de pre-campo	31
5.4.2. Fase de campo	31
5.4.3. Fase de post-campo	32

5.5. Instrumentos	33
5.6. Procedimiento.....	33
5.6.1. Análisis de regresión y correlación.....	35
5.6.1.1. Regresión múltiple.....	35
5.6.1.2. Regresión simple	35
5.6.1.3. Regresión Polinomial	36
5.6.1.4. Sumario del análisis.....	36
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
6.1. Resultados que se obtuvo del análisis de las tres variables, determinado por el test nitratos, Spectroquant® Nova 60, de las diferentes parcelas.	37
6.2. Conversión de datos a diferentes unidades de los resultados obtenidos en el test nitrato.....	40
6.2.1. Fórmula para la conversión de los datos obtenidos del test nitrato.	40
6.2.2. Resultados de la conversión de unidades mg/l de NO ₃ -N a mg/l de NO ₃ utilizados para el análisis estadístico descriptivo (mg/l).	41
6.3. Conversión de unidades de concentración NO ₃ mg/l a NO ₃ mg/kg.....	43
6.4. Análisis de datos de las tres variables (suelo, tubérculo, hoja).	46
6.4.1. Análisis de regresión de la concentración (NO ₃) mg/l, tubérculo vs hoja y suelo.....	46
6.4.2. Análisis de regresión simple de la concentración NO ₃ mg/l, tubérculo vs hoja.....	52
6.4.3. Análisis de regresión simple de la concentración NO ₃ mg/l, tubérculo vs suelo.....	58
6.4.4. Análisis de regresión polinomial de la concentración NO ₃ mg/l, tubérculo vs hoja.....	64
6.4.5. Análisis de regresión polinomial de la concentración NO ₃ mg/l, tubérculo vs suelo.....	70

6.4.6. Análisis de regresión múltiple de la concentración NO_3 mg/kg tubérculo vs hoja, suelo.....	76
6.4.7. Análisis de regresión simple de la concentración NO_3 mg/kg tubérculo vs hoja.....	82
6.4.8. Análisis de regresión simple de la concentración NO_3 mg/kg tubérculo vs suelo.....	88
6.4.9. Análisis de regresión polinomial de la concentración NO_3 mg/kg tubérculo vs hoja.....	94
6.4.10. Análisis de regresión polinomial de la concentración NO_3 mg/kg tubérculo vs suelo.....	100
6.5. Discusión	106
6.6. Socialización.....	109
6.6.1. Resultados de las encuestas de socialización	109
7. CONCLUSIONES	114
8. RECOMENDACIONES	115
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	116
10. ANEXOS	123

Índice de tablas

Tabla 1. Niveles de NO_3 en savia de peciolo de papa en diferentes estados fenológicos evaluados con medidores de ion selectivo..	9
Tabla 2. Campañas y ubicación de los ensayos, precipitaciones registradas durante el ciclo de cultivo y dosis de fertilización nitrogenada	13
Tabla 3. Rangos de materia orgánica, nitratos al inicio de la simulación (de 0-33 y 33-150 cm), pH, rendimientos del maíz y fechas de siembra y cosecha de los ensayos, utilizados para la simulación.	13
Tabla 4. Clasificación de los vegetales de acuerdo al contenido de nitrato (mg/kg de masa fresca).	20
Tabla 5. Resultados preliminares de la concentración de nitrato obtenidos del test nitratos de las tres parcelas, mg/l NO_3 - N concentración en hoja, tubérculo y suelo.	37
Tabla 6. Datos convertidos de la concentración NO_3 -N a mg/l de NO_3 de las tres variables, aplicando la fórmula para cada uno de los valores de las tres parcelas.(mg/l).	41
Tabla 7. Conversión de datos de la concentración NO_3 mg/l a NO_3 mg/kg aplicando la fórmula para cada uno de datos obtenidos de las tres variables de las tres parcelas. (mg/kg).	44
Tabla 8. Valores estadísticos estimados de las variables, concentración NO_3 (mg/l) del modelo de regresión múltiple tubérculo vs hoja, suelo.	46
Tabla 9. Análisis de varianza de las variables, concentración NO_3 (mg/l) del modelo de regresión múltiple tubérculo vs hoja, suelo.	47
Tabla 10. Panel de predicciones del modelo de regresión múltiple tubérculo vs hoja, suelo de la concentración NO_3 (mg/l).	47
Tabla 11. Valores estadísticos estimados de las variables, concentración NO_3 (mg/l) del modelo de regresión simple tubérculo vs hoja.	52
Tabla 12. Análisis de varianza de las variables, concentración NO_3 (mg/l) del modelo de regresión simple tubérculo vs hoja.	52
Tabla 13: Panel de predicciones del modelo de regresión simple tubérculo vs hoja de la concentración NO_3 (mg/l).	53
Tabla 14. Valores estadísticos estimados de las variables, concentración NO_3 (mg/l) del modelo de regresión simple tubérculo vs suelo.	58
Tabla 15. Análisis de varianza de las variables, concentración NO_3 (mg/l) del modelo de regresión simple tubérculo vs suelo.	58

Tabla 16. Panel de predicciones del modelo de regresión simple tubérculo vs suelo de la concentración NO_3 (mg/l).	60
Tabla 17. Valores estadísticos estimados de las variables, concentración NO_3 (mg/l) del modelo de regresión polinomial tubérculo vs hoja.	64
Tabla 18. Análisis de varianza de las variables, concentración NO_3 (mg/l) del modelo de regresión polinomial tubérculo vs hoja.	64
Tabla 19. Panel de predicciones del modelo de regresión polinomial tubérculo vs hoja de la concentración NO_3 (mg/l).	66
Tabla 20. Valores estadísticos estimados de las variables, concentración NO_3 (mg/l) del modelo de regresión polinomial tubérculo vs suelo.	70
Tabla 21. Análisis de varianza de la concentración NO_3 (mg/l) de las variables, perteneciente al modelo de regresión polinomial tubérculo vs suelo.	70
Tabla 22. Panel de predicciones del modelo de regresión polinomial tubérculo vs hoja de la concentración NO_3 (mg/l).	72
Tabla 23. Valores estadísticos estimados de las variables, concentración NO_3 (mg/kg) del modelo de regresión múltiple tubérculo vs hoja, suelo.	76
Tabla 24. Análisis de varianza de las variables, concentración NO_3 (mg/kg) del modelo de regresión múltiple tubérculo vs hoja, suelo.	76
Tabla 25. Panel de predicciones del modelo de regresión múltiple tubérculo vs hoja, suelo de la concentración NO_3 (mg/kg).	78
Tabla 26. Valores estadísticos estimados de las variables, concentración NO_3 (mg/kg) del modelo de regresión simple tubérculo vs hoja.	82
Tabla 27. Análisis de varianza de las variables, concentración NO_3 (mg/kg) del modelo de regresión simple vs hoja.	82
Tabla 28. Panel de predicciones del modelo de regresión simple tubérculo vs hoja de la concentración NO_3 (mg/kg).	84
Tabla 29. Valores estadísticos estimados de las variables, concentración NO_3 (mg/kg) del modelo de regresión simple tubérculo vs suelo.	88
Tabla 30. Análisis de varianza de las variables, concentración NO_3 (mg/kg) del modelo de regresión simple vs suelo.	88
Tabla 31. Panel de predicciones del modelo de regresión simple tubérculo vs suelo de la concentración NO_3 (mg/kg).	89

Tabla 32. Valores estadísticos estimados de las variables, concentración NO_3 (mg/kg) del modelo de regresión polinomial tubérculo vs hoja.	94
Tabla 33. Análisis de varianza de la concentración NO_3 (mg/kg) de las variables, perteneciente al modelo de regresión polinomial tubérculo vs hoja.	94
Tabla 34. Panel de predicciones del modelo de regresión polinomial tubérculo vs hoja de la concentración NO_3 (mg/kg).	95
Tabla 35. Valores estadísticos estimados de las variables, concentración NO_3 (mg/kg) del modelo de regresión polinomial tubérculo vs suelo.	100
Tabla 36. Análisis de varianza de las variables, concentración NO_3 (mg/kg) del modelo de regresión polinomial tubérculo vs suelo.	100
Tabla 37. Panel de predicciones del modelo de regresión polinomial tubérculo vs suelo de la concentración NO_3 (mg/kg).	101

Índice de figuras

Figura 1. Relación concentración de N-NO ₃ en los primeros 20 cm de suelo y concentración N-NO ₃ en la concentración 20-40 cm.....	7
Figura 2. Relación entre las concentraciones N-NO ₃ en savia de tallo medida en campo y el rendimiento, Pft (peso fresco total) medido desde etapa de floración a maduración para Capiro (cuadro) y Suprema (rombo) en suelos de alta fertilidad de la Sabana de Bogotá.	11
Figura 3. Nitratos residuales simulados por el modelo vs. nitratos residuales medidos. No se incluyen las dosis altas de fertilización (mayores de 180 kg N ha).	16
Figura 4. Cartografía de la hacienda.	27
Figura 5. Recorrido al azar simple.	31
Figura 6. Gráfico del modelo dependiente = Tubérculo vs variables independientes (hoja y suelo). Modelo de regresión múltiple.....	47
Figura 7. Gráfico observado vs predicho, obtenido en el modelo de regresión múltiple, tubérculo vs hoja, suelo (mg/l).	51
Figura 8. Gráfico residual vs el predicho, obtenido el modelo de regresión múltiple, tubérculo vs hoja, suelo (mg/l).	51
Figura 9. Gráfico del modelo dependiente = Tubérculo vs variable independiente (hoja). Modelo de regresión simple.	53
Figura 10. Gráfico observado vs predicho, obtenido en el modelo de regresión simple, tubérculo vs hoja (mg/l).	56
Figura 11. Gráfico residual vs el predicho, obtenido el modelo de regresión simple, tubérculo vs hoja (mg/l).	57
Figura 12. Gráfico del modelo dependiente = Tubérculo vs variables independientes (suelo). Modelo de regresión simple.	59
Figura 13: Gráfico observado vs predicho, obtenido en el modelo de regresión simple, tubérculo vs suelo (mg/l).	62
Figura 14. Gráfico residual vs el predicho, obtenido el modelo de regresión simple, tubérculo vs hoja (mg/l).	63
Figura 15. Gráfico del modelo dependiente = Tubérculo vs variables independientes (hoja). Modelo polinomial.	65
Figura 16. Gráfico observado vs predicho, obtenido en el modelo de regresión polinomial, tubérculo vs hoja (mg/l).	68

Figura 17. Gráfico residual vs el predicho, obtenido el modelo de regresión polinomial, tubérculo vs hoja (mg/l).	69
Figura 18. Gráfico del modelo dependiente = Tubérculo vs variables independientes (suelo). Modelo de regresión polinomial.	71
Figura 19. Gráfico observado vs predicho, de los datos cuantificados en el modelo de regresión polinomial, tubérculo vs suelo (mg/l).	74
Figura 20. Gráfico residual vs el predicho, de los datos cuantificados en el modelo de regresión polinomial, tubérculo vs suelo (mg/l).	75
Figura 21. Gráfico del modelo dependiente = Tubérculo vs variables independientes (hoja y suelo). Modelo de regresión simple.	77
Figura 22. Gráfico observado vs predicho, obtenido en el modelo de regresión múltiple, tubérculo vs hoja, suelo (mg/kg).	80
Figura 23. Gráfico residual vs el predicho, obtenido el modelo de regresión múltiple, tubérculo vs hoja, suelo (mg/kg).	81
Figura 24. Gráfico del modelo dependiente = Tubérculo vs variables independientes (hoja). Modelo de regresión simple.	83
Figura 25. Gráfico observado vs predicho, obtenido en el modelo de regresión simple, tubérculo vs hoja (mg/kg).	86
Figura 26. Gráfico residual vs el predicho, obtenido el modelo de regresión simple, tubérculo vs hoja (mg/kg).	87
Figura 27. Gráfico del modelo dependiente = Tubérculo vs variables independientes (suelo). Modelo de regresión simple.	89
Figura 28. Gráfico observado vs predicho, obtenido en el modelo de regresión simple, tubérculo vs suelo (mg/kg).	92
Figura 29. Gráfico residual vs el predicho, obtenido el modelo de regresión simple, tubérculo vs suelo (mg/kg).	93
Figura 30. Gráfico del modelo dependiente = Tubérculo vs variables independientes (hoja). Modelo de regresión polinomial.	95
Figura 31. Gráfico observado vs predicho, obtenido en el modelo de regresión polinomial, tubérculo vs hoja (mg/kg).	98
Figura 32. Gráfico residual vs el predicho, obtenido el modelo de regresión polinomial, tubérculo vs hoja (mg/kg).	99

Figura 33. Gráfico del modelo dependiente = Tubérculo vs variables independientes (hoja). Regresión polinomial.	101
Figura 34. Gráfico observado vs predicho, obtenido en el modelo de regresión polinomial, tubérculo vs suelo (mg/kg).	104
Figura 35. Gráfico residual vs el predicho, obtenido el modelo de regresión polinomial, tubérculo vs suelo (mg/kg).	105

Índice de anexos

Anexo 1. Vista de perfil del terreno, zonificación, toma de puntos en el cultivo de papa de la hacienda.	123
Anexo 2. Instrumentos para realizar el muestreo.	124
Anexo. 3. Toma de muestras	125
Anexo 4. Extracción de muestras.	128
Anexo.5. Preparación de muestras.	129
Anexo.6. Medición de muestras en el Spectroquant® nova 60.	130
Anexo. 7. Información de la hacienda	131
Anexo 8. Proceso de socialización, encuesta, listado de personas.	132

1. RESUMEN Y PALABRAS CLAVE.

En el presente proyecto, se realiza el análisis de nitrato en suelo y planta (hojas y tubérculo) en un cultivo de papa, para determinar niveles de referencia de NO_3 , en muestras de suelo y material vegetal (hojas y tubérculo) en su etapa final de tuberización, con el fin de obtener ecuaciones lineales, empleando el software estadístico descriptivo Statgraphics, utilizando modelos de regresión y correlación múltiple simple y polinomial, para realizar predicciones de contenido NO_3 en tubérculo, donde la ecuación muestra cómo se relaciona la variable dependiente “y” (tubérculo) con las variables independientes “x” (hojas, suelo). Esta ecuación permite predecir el contenido de nitrato en tubérculo.

El método que se empleó para la obtención de las muestras de suelo y planta (hojas y tubérculo) se realizó teniendo en cuenta la técnica de muestreo al azar simple tomada del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), posteriormente se efectúa el análisis en el laboratorio de química (PUCESI), macerando el material vegetal para formar una solución utilizando agua destilada, para realizar las mediciones de nitrato empleando, el método Kit para Fotómetro Spectroquant® Nova 60, test NO_3 , Los valores fueron utilizados para calcular la concentración mg/l (NO_3) y mg/kg (NO_3) de los productos empleados en el análisis.

Se obtuvo como resultado distintas ecuaciones, en las dos concentraciones (mg/l), (mg/kg) de NO_3 , para el modelo de regresión múltiple, $\text{Tubérculo} = 41,26 - 0,15 \times \text{HOJA} - 0,041 \times \text{SUELO}$ (mg/l) y $\text{Tubérculo} = 82,51 - 0,153 \times \text{HOJA} - 0,041 \times \text{SUELO}$ (mg/kg), modelo de regresión simple, $\text{Tubérculo} = 40,28 - 0,15 \times \text{HOJA}$ (mg/l) y $\text{Tubérculo} = 80,56 - 0,15 \times \text{HOJA}$ (mg/kg), modelo polinomial, $\text{Tubérculo} = 54,47 - 0,43 \times \text{HOJA} + 0,0010 \times \text{HOJA}^2$ (mg/l) y $\text{Tubérculo} = 108,96 - 0,43 \times \text{HOJA} + 0,00054 \times \text{HOJA}^2$ (mg/kg), esto permite predecir el estado de contenido de nitratos en la papa, solo con realizar mediciones en suelo y planta sin necesidad de un análisis directo al tubérculo. El contenido de nitrato en la variable tubérculo no sobrepasa el valor de 175 mg/kg , cuyo valor es admisible ya que la concentración de nitrato máxima permisible es de 350 mg/kg en tubérculos frescos, según la norma de la CE (Comisión Europea).

PALABRAS CLAVE. Nitrato, Suelo, Hoja, Tubérculo, Concentración (NO_3).

2. ABSTRACT. –

In this project, is developed the nitrate analysis in the soil and the planting material in the potatoes crop in order to determine the reference levels of NO_3 in the soil, leaves and tuber in the final stage of Tuber initiation. This investigation helps to obtain linear equations using the descriptive Statistical Statgraphic software, applying regression models and multiple polynomial correlation to make prediction about the NO_3 substance in the tuber. Where the equation shows how this relation between the “Y” is dependent variable (tuber) with the “X” independent variable (leaves and soil). Additionally, this equation allows to anticipate the nitrate substance in the tuber.

Subsequently, the analysis is carried out in the laboratory, macerating the plant material to form a solution using distilled water, and then making the nitrate measurements using the Kit Method for Photometer Spectroquant® Nova 60, test NO_3 . The NO_3 test values were used to calculate the concentration mg/l (NO_3) and mg/kg (NO_3) of the products used in the analysis.

As a result, different equations were obtained in two concentrations (mg/l), (mg/kg) de NO_3 , for the multiple regression model, $\text{Tuber} = 41,26 - 0,15 \times \text{LEAF} - 0,041 \times \text{SOIL}$ (mg/l) and $\text{Tuber} = 82,51 - 0,153 \times \text{LEAF} - 0,041 \times \text{SOIL}$ (mg/kg), simple regression model, $\text{Tuber} = 40,28 - 0,15 \times \text{LEAF}$ (mg/l) and $\text{Tuber} = 80,56 - 0,15 \times \text{LEAF}$ (mg/kg), polynomial model, $\text{Tuber} = 54,47 - 0,43 \times \text{LEAF} + 0,0010 \times \text{LEAF}^2$ (mg/l) and $\text{Tuber} = 108,96 - 0,43 \times \text{LEAF} + 0,00054 \times \text{LEAF}^2$ (mg/kg), this allows to predict the state of nitrate content in the potato, only with conducting measurements in soil and plant without the need of a direct analysis to the tuber. The nitrate content in the tuber variable does not exceed the value of 175 mg/kg, whereby, this value is admissible since the maximum permissible of nitrate concentration is 350 mg/kg in fresh tubers, according to the EC standard (European Commission).

KEYWORDS. – Nitrate (NO_3), Soil, Leaf, Tubercle, Concentration

3. INTRODUCCIÓN. -

La contaminación por nitratos en productos obtenidos por actividades agrícolas, es un problema que continuamente está siendo objeto de atención por las implicaciones que en la salud del ser humano tiene este compuesto, en este contexto la papa es uno de productos de masivo consumo en la alimentación, es por eso que resulta necesario conocer y controlar el contenido de nitratos en este tubérculo.

En la presente investigación se determinó el contenido de nitrato en suelo, tubérculo, y hojas para conocer el contenido de nitrato en estas tres variables para esto se utilizó el kit para el fotómetro Spectroquant Nova 60, el que sirvió para cuantificar el contenido de nitratos en las muestras obtenidas, con los resultados adquiridos se procedió a correlacionar las variables donde se utilizó el Statgrafics Centurion XVI el objetivo de este programa es el uso de las técnicas de estadística descriptiva más importantes para resumir la información de las variables dependientes e independientes.

Para la investigación, las variables se realizó un análisis químico de nitrato en suelo, tubérculo y hoja, para la determinación del nitrato para ver si el tubérculo posee exceso del nutriente, las muestras de las variables se obtuvieron de la hacienda la Guada perteneciente a la comunidad de Huayrapungo sector ubicado vía a Intag a unos 30 km de Cotacachi, clima templado-frío, altitud para el cultivo es de 2750 a 2950 msnm, tipo de suelo Franco-arcilloso.

Álvarez, (2000) señala que en la actualidad el exceso y la deficiencia de nitratos en el cultivo de siembra de papas, ocasionan complicaciones a la hora de su cosecha, los nitratos, constituyen la principal Fuente de contaminación difusa de las aguas superficiales y subterráneas.

Hoy en día en la agricultura la mitad de los fertilizantes que se utilizan para nutrir el suelo son impregnados por la tierra, la otra mitad restante genera contaminación en el medio ambiente. Uno de esos abonos que beneficia a los cultivos, pero que también puede afectar al ecosistema es el nitrato el control de este en papas resulta una tarea imprescindible, debido al carácter concentrador de este ion por el tubérculo puede ocasionar efectos negativos asociados a la salud de los consumidores (CONtextoganadero, 2015).

Los resultados de este proyecto serán difundidos a los productores de papas, con el fin de mejorar las recomendaciones de fertilización para sus cultivos, complementando con técnicas agrarias y con biofertilizantes que existen en el mercado, orientado hacia una producción ecológica, sustentable, y con beneficios económicos.

3.1.Objetivo General:

Determinar el contenido de nitrato en el suelo, planta, tubérculo, utilizando kit para fotómetro Spectroquant nova 60, tomando muestras de suelo, hojas y tubérculo de diferentes puntos para ser analizadas con el fin de establecer los niveles necesarios en el tubérculo para que no afecte la salud del ser humano.

3.2.Objetivos Específicos:

1. Evaluar la contaminación de nitratos que contiene el cultivo analizando las concentraciones de (NO_3) suelo, planta, tubérculo.
2. Establecer la correlación que existe entre el contenido de nitrato en las diferentes partes por medio de su curva de regresión múltiple para conocer las cantidades de nitratos que contienen las variables a medir.
3. Predecir las concentraciones de nitratos en el tubérculo para regular el proceso de fertilización y posteriormente evaluar las concentraciones finales de nitratos en la planta, suelo, tubérculo.
4. Socializar con docentes de la ECAA y con los productores que extraen el tubérculo maduro de la hacienda para que presten atención y ocupación al uso indebido de fertilizantes.

3.3.Hipótesis

Si se determina el contenido del nitrato en la planta, suelo, tubérculo se puede establecer una correlación entre suelo y planta con respecto al tubérculo y predecir su estado de contaminación.

3.3.1. Variable independiente: Nitrato en la planta y suelo.

3.3.2. Variable dependiente: $y=f(x, z)$. y = tubérculo, x =planta, z =suelo.

4. ESTADO DEL ARTE. –

4.1.Nitratos

Los nitratos son iones que resultan de la unión de tres átomos de oxígeno, uno de nitrógeno y una carga negativa (NO_3), no poseen color ni sabor y están en el medio y ambiente y estos se encuentran distribuidos en el agua, su representación en las aguas superficiales o subterráneas es efecto del ciclo natural del nitrógeno, no obstante, en algunas zonas ha tenido una variación de este ciclo en el sentido de que se ha originado un aumento en la agrupación de nitratos, debido principalmente a un enorme uso de abonos nitrogenados traslado por las aguas de precipitación o irrigación en la actualidad en la Unión Europea el nivel máximo autorizado de nitratos en agua potable para consumo humano es de 50 mg/l, siendo 25 mg/l (Desnitrificación, desmineralización, 2015).

Lavado, (2015) los nitratos que están en el suelo actúan en distintos procesos en los períodos agrícolas, como es notorio pueden ser absorbidos por las raíces, paralizados por la micro flora del suelo o pueden derrochar del sistema suelo planta, uno de los desgastes más significativos de los nitratos es la lixiviación o ablución, ello sucede cuando las lluvias son capaces de transportarlos a una profundidad mayor que la examinada por las raíces, logrando alcanzar las capas freáticas.

Los nitratos son originados de formas naturales, son los que generan del gran aumento en su agrupación en estos años, así los desechos de las industrias forman una Fuente fundamental de nitratos en las aguas, y los contaminadores son mataderos, destilerías, azucareras y productores de levadura.

Palomares, A., (2016) indica que estas emisiones se controlan fácilmente y son muy precisas en la actualidad es muy preocupante la contaminación por nitratos que producen la industria agropecuaria masiva en las zonas donde se ejerce la agricultura se ocupan grandes cantidades de abonos químicos a los que se suman los abonos orgánicos estos tienen una cantidad importante de compuestos que contienen nitrógeno, que en porciones correctas mejoran el desarrollo de las plantaciones y su rendimiento, no obstante cuando están en grandes cantidades altas para que sean impregnados por las plantas, se filtran por el suelo y alcanzan las aguas subterráneas.

Ansorena, (1990) afirma que la afectación agrupada al uso de nitratos por personas y animales genera polémica, ya que han de convertirse en nitritos, que son los tóxicos de dicha transformación la consuman bacterias que están en el tracto gastrointestinal de los mamíferos rumiantes.

Los nitratos son tóxicos, incluso a dosis controladas ya que el riñón las elimina, un problema es que en el organismo principalmente de personas con inconvenientes gástricos o en niños menores de tres meses, el nitrato puede volverse nitrito el cual se cala en los glóbulos rojos de la sangre, corroyendo el hierro de la hemoglobina a metahemoglobina, reduciendo la capacidad de los glóbulos rojos para trasladar oxígeno, también algún cáncer del tracto gastrointestinal son atribuido a los compuestos nitrosos, desarrollados en el organismo por los nitritos, los que provienen de la reducción de los nitratos usados con el agua, por lo que para que un acuífero sirva de suministro a una población (menorca.info, 2016).

4.2. Metodologías para la determinación de nitratos.

4.2.1. Predicción de nitratos en sistemas agrícolas sin laboreo y su relación con variables ambientales.

Mazzilli Sebastián, Sastre Andrés y Terra Gabriel. (2015) han desarrollado un modelo que predice la concentración de nitratos en profundidad en función del contenido en la superficie, para este trabajo fueron utilizados datos provenientes de empresas agropecuarias asociadas al grupo CREA «La Cuchilla» (Uruguay). Los grupos CREA (Consortios Regionales de Experimentación Agropecuaria) son grupos de empresas agropecuarias interesadas en analizar y discutir aspectos relacionados a la agronomía y el agro negocio en su conjunto, para este trabajo se obtuvo información de un total de 274 unidades de manejo entre el año 2009 y 2012.

Cada unidad de manejo debía tener para ingresar a la base de datos: muestreo de $N-NO_3$ a dos profundidades (0-20 y 20-40 cm), registros de precipitaciones diarias en el predio donde se encontraba la unidad de manejo o en algún predio cercano (a menos de 15 km), información completa de manejo de la unidad previo al muestreo, e información de suelos en cada unidad de manejo, Durán, (1987).

Para analizar la relación entre la concentración de N-NO₃ en el horizonte de 0-20 cm con el horizonte de 20-40 cm se realizaron regresiones lineales simples y su significancia se estudió realizando un análisis de varianza de la regresión.

Todos los análisis fueron realizados con el software Infostat 2011/p y para el ajuste de los posibles modelos se maximizó el R² ajustado. No obstante, para cada nivel de N-NO₃ en superficie hay una importante variabilidad en la concentración de N-NO₃ en profundidad, lo que inhabilitaría la utilidad de la regresión para predecir con adecuada precisión la concentración de N-NO₃ en la capa de 20-40 cm a partir del contenido en la capa de 0-20 cm.

La relación entre la concentración de N-NO₃ en superficie (0-20 cm) y en profundidad (20-40 cm) fue significativa ($P < 0,0001$) y presenta una asociación positiva entre las variables ($R^2 = 0,60$).

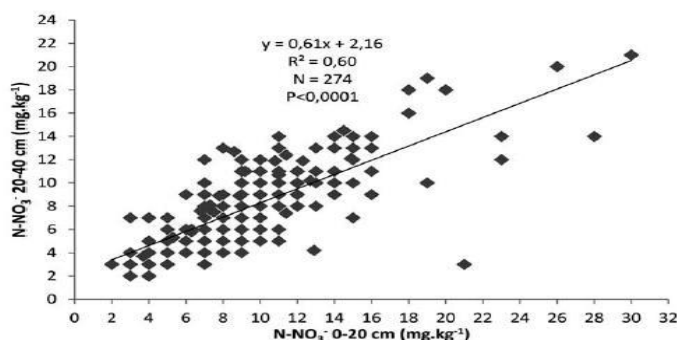


Figura 1. Relación concentración de N-NO₃ en los primeros 20 cm de suelo y concentración N-NO₃ en la concentración 20-40 cm

Fuente: Mazzilli; Sebastián. Sastre, Andrés y Terra, Gabriel. Disponibilidad de nitratos en sistemas agrícolas sin laboreo y su relación con variables ambientales y de manejo.

Álvarez, C. (2001) cuantificó una relación significativa entre la concentración de N-NO₃ en superficie y en profundidad realizando análisis de nitratos en suelo obteniendo el coeficiente de determinación ($R^2 = 0,60$), el ajuste de la ecuación permite estimar de forma adecuada la concentración de N-NO₃ en función de los contenidos en superficie.

4.2.2. Diagnóstico de NO₃ en savia para determinar el estado nutricional en papa (*Solanum tuberosum* L. subsp. *andigena*)

Los nutrientes minerales que más extrae la papa bajo condiciones de los Andes son potasio, (K⁺) y nitrógeno (N) (Gómez y Torres, 2012). Así el diagnóstico vegetal temprano de estos elementos esenciales permite ajustar planes de fertilización con el fin de incrementar producción, reducir costos y disminuir el impacto ambiental (Lefèvre et al., 2012; Kumar et al., 2013).

La savia corresponde a un líquido extraído de tejidos conductores tanto del xilema como del floema de la planta (Cadahía et al., 2008; Gangaiah et al., 2016).

Su uso como herramienta de análisis nutricional es usado para diagnosticar de manera rápida y económica deficiencias o excesos de nutrientes (Errebhi et al., 1998; Aguilera et al., 2013). (Tabla. 1), debido al mayor impacto ambiental y de sostenibilidad que representa las pérdidas de N en el ecosistema (Goffart et al., 2008; Ziadi et al., 2012). Generalmente, el contenido de NO₃ y K⁺ en savia se realiza en tallos de papa en base seca o fresca porque son estructuras más sensibles a cambios en la disponibilidad de N y K del suelo o sustrato (Vitosh et al., 1998; Rogozińska et al., 2005; Moulin et al., 2012).

Adicionalmente, es necesario la calibración de índices por fenología desde etapas tempranas (Brink et al., 2002; Moulin et al., 2012) para relacionarlos con componentes de rendimiento y establecer niveles de suficiencia (Badillo-Tovar et al., 2001; Moreira et al., 2011; Ziadi et al., 2012; Mohr y Tomasiewicz, 2012) con el fin de realizar ajustes tempranos en los programas de fertilización para optimizar la productividad del cultivo (Cadahía et al., 2008; Moulin et al., 2012).

Tabla 1.

Niveles de NO₃ en savia de peciolo de papa en diferentes estados fenológicos evaluados con medidores de ion selectivo.

Etapas	Subespecie	NO₃-N savia (mg l⁻¹)	Referencias
Vegetativa	Tuberosum	1.200-1.400	Hochmuth, 1994
	Tuberosum	1.400-1.450	Errebhi et al., 1998
	Tuberosum	1.250-1.500	Badillo-Tovar, 2001
Tuberización	Tuberosum	1.000-1.400	Hochmuth, 1994
	Tuberosum	1.400-2.000	Moreiro et, 2011
	Tuberosum	1.300-1.350	Errebhi, 1998
	Tuberosum	1.400-2.750	Badillo, 2001
	Tuberosum	1.500-2.000	Cadahia, 2008
Máxima floración	Tuberosum	1.000-1.200	Hochmuth, 1994
	Tuberosum	1.100-1.150	Errebhi et al., 1998
	Tuberosum	500-1.000	Cadahia, 2008
Llenado de tubérculo	Tuberosum	900-1.200	Hochmuth, 1994
	Tuberosum	850-900	Errebhi, 1998
	Tuberosum	900-1.550	Badillo, 2001
Maduración	Tuberosum	600-900	Hochmuth, 1994
	Tuberosum	800-900	Aguilera, 2014
	Tuberosum	500-600	Errebhi et al., 1998
	Tuberosum	600-850	Badillo, 2001

Fuente: Cadahía, C. 2008. La savia como índice de fertilización. Cultivos agroenergéticos, hortícolas, ornamentales y frutales. Mundi-Prensa, Madrid, España.

El objetivo de este estudio fue determinar los niveles de referencia de NO_3^- y K^+ en savia por etapa fenológica y conocer el uso adecuado de esta herramienta de diagnóstico nutricional para N y K en cultivares Capiro y Suprema cultivados en suelos de alta fertilidad en la Sabana de Bogotá.

Se extrajo en campo el jugo celular de los tallos y de los tubérculos en las diferentes etapas fenológicas para cinco plantas por unidad experimental, se tomó una alícuota de extracto de savia de 0,5 ml en tres tallos principales de la quinta a sexta hoja verdadera del ápice y se evaluaron cuatro tubérculos por planta de calidad “primera” con diámetro entre 6-9 cm.

La medición del N-NO_3 en savia se realizó de forma directa en campo entre las 8 y 10 am (Vitosh y Silva, 1996), usando el método de electrodo selectivo de iones, ISE evaluado por Goffart et al. (2008) y Carson et al. (2016) mediante equipos portátiles Horiba LAQUA twin® (Horiba Europe, Leichlingen, Alemania) Ión N-NO_3 .

Los datos reportados fueron valores promedios de tres réplicas con el error estándar de la media.

Los datos de las variables fueron analizados mediante análisis de varianza donde se evaluaron las interacciones de los factores fenología x dosis de fertilizante x cultivares, y para las medias de las variables se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey ($P \leq 0,05$), además, se ajustaron las curvas de regresión utilizando el programa estadístico INFOSTAT versión 2014.

Se presentó una correlación positiva entre el peso seco y fresco de los tubérculos (R^2 0,98 para Capiro y R^2 0,95 para Suprema) y la concentración de NO_3 en savia de tallos, por lo cual, para fines de pronóstico.

Por otro lado, evaluaciones de N-NO_3 en savia de tubérculos no presentó una relación significativa con respecto al Pft (peso fresco total) para ambos cultivares, lo cual muestra que para este estudio no fue el mejor indicador de las condiciones nutricionales.

Para realizar ajustes de la fertilización debido probablemente a que el tubérculo no es sensible a cambios en fertilización porque la parte aérea presenta mayor dinámica metabólica de N en procesos fotosíntesis, respiración y actividad enzimática, posiblemente esto explica la relación directa del N en savia de tallo.

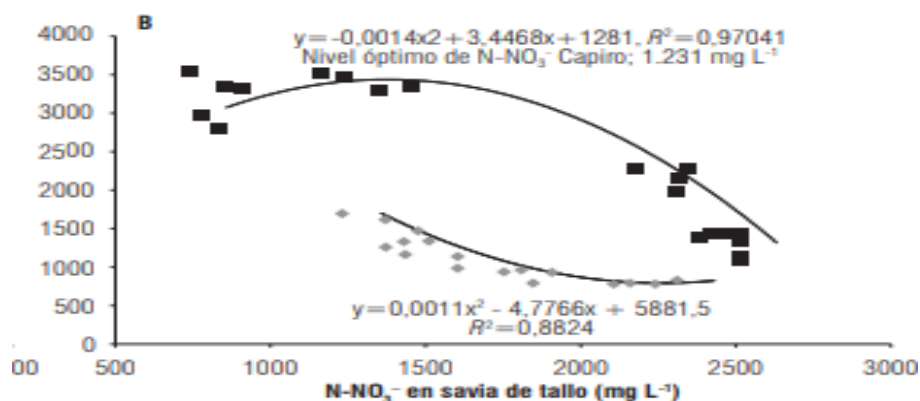


Figura 2. Relación entre las concentraciones N-NO₃ en savia de tallo medida en campo y el rendimiento, Pft (peso fresco total) medido desde etapa de floración a maduración para Capiro (cuadro) y Suprema (rombo) en suelos de alta fertilidad de la Sabana de Bogotá.

Fuente: Gómez, M.I. y P. Torres. 2012. Absorción, extracción y manejo nutricional del cultivo de papa. Rev. Papa (Fedepapa).

Se determinó que el análisis de savia en tallos en los cultivares evaluados es una herramienta de diagnóstico temprano del estatus nutricional y puede usarse como pronóstico para el manejo de la producción con ajustes en la fertilización principalmente para Capiro en suelos de alta fertilidad con niveles de referencia óptimos entre 1.500-1.700 mg L⁻¹ para N.

Esta técnica en campo puede ser utilizada para identificar aplicaciones excesivas de fertilizantes.

4.2.3. Predicción de los nitratos a cosecha de maíz en suelos de la Región Pampeana

Helena Rimski-Korsakov, Rodríguez y Raúl S, Lavado. (2005) mencionan que los nitratos del suelo participan en diferentes procesos a lo largo de los ciclos agrícolas. Como es conocido, pueden ser absorbidos por las raíces, inmovilizados por la microflora del suelo o pueden perderse del sistema suelo - planta. Una de las pérdidas más importantes de nitratos es la lixiviación o lavado.

Luego de la cosecha del cultivo, pueden quedar en el suelo nitratos que no fueron aprovechados por el mismo. Estos nitratos remanentes son llamados nitratos residuales y

también son susceptibles de lixiviarse, especialmente durante el periodo de barbecho que se inicia al término del cultivo de maíz, y se caracteriza por precipitaciones otoñales importantes y baja evapotranspiración.

Las investigaciones sobre temas de suelos y agricultura, así como ambientales, se enfrentan a problemáticas cada vez más complejas y específicas. El uso de herramientas más potentes y precisas para el análisis de las variables y procesos que intervienen en las mismas, pasa a ser fundamental. Precisamente, los modelos predictivos y de simulación, cuyo uso está ampliamente difundido, permiten generar rápidamente análisis a corto o largo plazo, reduciendo la realización de estudios directos que requieren gran cantidad de tiempo y esfuerzo.

Un ejemplo de ellos es el NLEAP, Nitrate Leaching and Economic Analysis Package (Follett et al., 1991). Este modelo fue desarrollado en Estados Unidos con el fin de estimar la lixiviación de nitratos asociada con diferentes prácticas agrícolas. Además, realiza simulaciones de diferentes procesos para llegar a los valores de lixiviación. Algunos de ellos son: la absorción de nitrógeno (N) por los cultivos, las pérdidas por volatilización y los nitratos residuales a cosecha.

En un trabajo local reciente (Rimski-Korsakov et al., 2004), se informó que, en suelos cultivados con maíz, en la Pampa Ondulada, los nitratos residuales se acumularon en los años secos y se perdieron por lixiviación en los periodos postcosecha lluviosos. En base a esta información, el objetivo del presente trabajo fue determinar la aptitud del modelo Nleap para simular los nitratos residuales a cosecha de maíz en siembra directa. Si el modelo logra una buena predicción, se podrán determinar fácilmente las condiciones que llevan a una acumulación de nitratos residuales. De este modo, se podrán implementar alternativas técnicas para minimizar la pérdida de los mismos durante el barbecho otoño-invernal.

Las simulaciones con el modelo Nleap se realizaron en base a datos de seis ensayos de campo, desarrollados en cinco campañas consecutivas de maíz bajo siembra directa y fertilizado con diferentes dosis de N aplicado como urea (Tabla 2).

Tabla 2.

Campañas y ubicación de los ensayos, precipitaciones registradas durante el ciclo de cultivo y dosis de fertilización nitrogenada

Campaña	Sitio	Lluvias (mm)	Dosis de N (kg N ha ⁻¹)
98/99	Salto	714	0, 120, 180
99/00	Salto	389	0, 120, 180
00/01	Alberti	648	110, 160
00/01	Pergamino	935	130, 160
01/02	Alberti	616	0, 70, 140, 250
02/03	Alberti	887	0, 60, 106

Fuente: Helena Rinski-Korsakov, R. y. (2005). *Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.*

En la Tabla 3, se enumeran algunas de las variables requeridas por el modelo y los rangos observados en los diferentes ensayos.

Tabla 3.

Rangos de materia orgánica, nitratos al inicio de la simulación (de 0-33 y 33-150 cm), pH, rendimientos del maíz y fechas de siembra y cosecha de los ensayos, utilizados para la simulación

Variable requerida	Unidades	Rango
Materia orgánica	%	2.5-2.9
N-NO ₃ de 0-33 cm	kg N-NO ₃ ha ⁻¹	17.5 - 45.3
N-NO ₃ de 33-150 cm	kg N-NO ₃ ha ⁻¹	25.8 - 50.6
pH	5.4 - 6.8	

Fuente: Helena Rinski-Korsakov, R. y. (2005). *Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.*

Otras variables, como las climáticas (precipitaciones, días con lluvias, temperatura y evapotranspiración), se ingresaron en el modelo en la forma de dato mensual. La evapotranspiración se calculó utilizando el método de Penman.

En todos los ensayos se contó con los valores de nitratos residuales a cosecha hasta 150 cm de profundidad. Estos fueron correlacionados con los simulados por el modelo.

El rango de nitratos residuales medidos varió entre 26 y 92 kg N ha⁻¹, correspondientes a todas las campañas, sitios y dosis de fertilización analizadas. La correlación entre los valores de nitratos residuales simulados por el modelo y los medidos a campo fue significativa ($p < 0.001$), aunque el ajuste resultó bajo ($R^2 = 0.533$), y la ordenada al origen fue diferente de 0 y la pendiente diferente de 1 ($y = 0.5101 x + 21.049$). La falta de ajuste se debió a que dos de los tratamientos se apartaron considerablemente de la recta 1:1, presentando diferencias mayores a 15 kg ha⁻¹, entre valores de nitratos residuales simulados y observados. Estos dos casos fueron tratamientos con niveles de fertilización más altos, 180 y 250 kg N ha⁻¹. En estos puntos, el modelo sobrestimó el valor de nitratos residuales (38 y 76 kg N ha⁻¹, respectivamente).

Analizando las razones de las fallas registradas, se observó que en ambos tratamientos el modelo subestimó la absorción de N por el cultivo. El modelo calcula la absorción teniendo en cuenta el rendimiento del cultivo y aplicando un coeficiente constante de N absorbido por tonelada de grano producido, igual a 21.3 kg N/t grano.

Sin embargo, los datos de absorción de N en planta entera que se midieron en este estudio, no coinciden con lo propuesto por el modelo, siendo el rango registrado de 14.6 a 24.1 kg N/t grano producido. Cuando las dosis de fertilización fueron bajas o en los testigos (no fertilizados), los valores de absorción de N se encontraron por debajo de los propuestos por el modelo. Contrariamente, cuando las dosis fueron elevadas, los valores de absorción de N se encontraron por encima de los suministrados por el modelo.

Coincidentemente, otros trabajos realizados en la región también mostraron variaciones en el requerimiento de N por tonelada de grano producido (Salas et al., 2002; Steinbach et al., 2004).

Por otro lado, también se evaluó el grado de confiabilidad del modelo en la simulación de las pérdidas por volatilización, ya que posee la opción para estimar este tipo de pérdidas. En nuestro caso, las estimó como inexistentes, lo que provocó que la predicción fuera deficiente ya que mediciones directas de la volatilización en algunos de los ensayos, mostraron que estas pérdidas podían llegar hasta el 27% del fertilizante aplicado (datos no publicados).

La volatilización medida en estos ensayos osciló entre 3 y 21 % del fertilizante aplicado (Rodríguez, 2004; Fontanetto, 2004).

En consecuencia, el modelo subestima la absorción y la volatilización, en las dosis más altas y, por ende, predice valores de nitratos residuales más altos que los medidos. Cuando se descontaron, en los dos tratamientos con alta dosis de fertilización, las cantidades de N subestimadas por el modelo (N absorbido y volatilizado), al valor de los residuales, las diferencias entre simulados y observados se acercaron a cero.

Es decir, en nuestras condiciones el modelo no simula adecuadamente los nitratos residuales a cosecha cuando las dosis de fertilización nitrogenada son muy elevadas.

Precisamente, realizando la simulación con las dosis comunes para la región, la relación mostró un ajuste muy significativo ($p < 0.001$, $R^2 = 0.97$), no difiriendo la ordenada al origen de 0 y la pendiente de la (Figura 3).

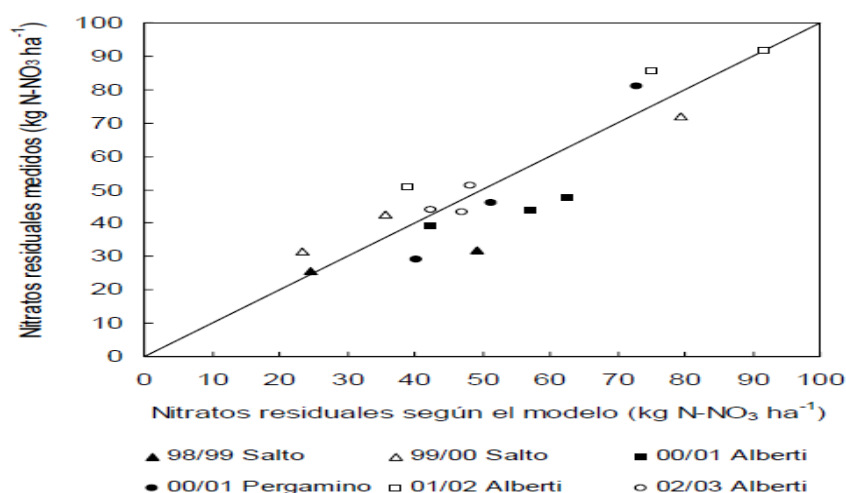


Figura 3. Nitratos residuales simulados por el modelo vs. nitratos residuales medidos. No se incluyen las dosis altas de fertilización (mayores de 180 kg N ha).

Fuente: Helena Rinski-Korsakov, R. y. (2005). *Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.*

El modelo Nleap simuló adecuadamente las situaciones ensayadas, que presentaron grandes variaciones climáticas y de suelos, cuando se utilizaron dosis normales de fertilización nitrogenada. Por este motivo, el modelo es útil como herramienta para aumentar la eficiencia de la fertilización a través del manejo de los nitratos residuales.

4.3. Aplicaciones, Procedencia y fabricación del nitrato.

Los manejos de fertilizantes y como añadidos en la industria alimenticia, alrededor del 90% de los productos cárneos se curan o se amplifica nitrato en forma de salitre, que en el ambiente conforma el ciclo del nitrógeno, el nitrógeno compone el 78% de los gases que constituyen la atmósfera por mineralización del nitrógeno se forma el amoníaco, que al oxidarse se transforma en nitrito por ejercicio de bacterias nitrificantes posteriormente se oxida a nitrato (HEINZE, 1986).

4.4. Nitratos en el medio ambiente

Los nitratos es uno de los combinados químicos que se hallan divulgados en el medio ambiente, las Fuentes naturales productoras de nitratos son los depósitos minerales y la suma empezando por el nitrógeno que se localiza en la atmosfera, tienen también un papel significativo en la intervención del ciclo biológico del nitrógeno pues son sintetizados

gracias a la gestión microbiana, al ser una de las primordiales Fuentes en la naturaleza de nitratos.

Dibut, (1995) comunica que la primordial razón por la cual los fertilizantes que contienen nitrógeno están siendo empleados como abonos, es porque intervienen directamente en la síntesis de proteínas en las plantas principales. Y también informa que el mal uso de los fertilizantes tiene como resultado la contaminación de aguas, suelos y son muchos los informes que exponen, la presencia de niveles elevados de nitratos en los productos agrarios, lo que compone una Fuente importante de fitotoxicidad para el producto.

“En el cultivo de papa, la eficiencia de la aplicación de nitrógeno es poca, dice que el uso incorrecto del abono con nitrógeno llega a producir inconvenientes climáticos y ambientales” (Ciencia e investigación agraria, 2008).

Picone, E., (2003) menciona el inconveniente ambiental más significativo al ciclo del N, es la agrupación de nitratos del subsuelo que, por el licuado de nutrientes pueden concentrarse en la planta o bien ser trasladados hacia los ríos y reservorios en la superficie en estas formas los nitratos también participan de fertilizantes de la vegetación acuática, de esa forma que al agruparse, originan la eutrofización del medio causando que se produzca la difusión de especies como algas verdes que cubren el exterior.

Giletto, (2003) indica que la eutrofización es un gasto de oxígeno y reducción en el entorno acuático, lo que problematiza el aumento de la radiación del sol debajo de la superficie, estos dos anómalos producen una rebaja de la capacidad difuminarse del ambiente y un desgaste en la capacidad para la fotosíntesis del medio acuático.

Kiely, (2001) comunica que esta lixiviación de nitrógeno en nitratos es el recorrido principal por lo que se escapa el nitrógeno de los sistemas agrarios, aunque por las plantas, es absorbido debilitadamente por el suelo, esta queda en la solución del mismo estableciendo un anión crecidamente móvil, que puede trasladarse fácilmente para abajo por el contorno del terreno este anión alcanza a las aguas subyacentes en agrupaciones de nitratos que a veces exceden el importe crítico de 50 mg/l l⁻¹ de agua.

El informe Global Environment Outlook (2000) de las Naciones Unidas de 1999, muestra que “hay una evidencia creciente sobre el hecho de que los enormes conjuntos de nitrógeno

manejados que sobrecargan la acidificación, originando cambios de constitución de especies en ambiente, aumentando el nitrato en agua de suministro, arriba de los niveles admisibles para el gasto humano, en la actualidad consta el consenso entre los científicos al alterar el ciclo del nitrógeno, OIE, World Energy Outlook (2000).

4.5. Contaminación de suelos agrícolas por nitratos.

Costa, (2000) informa que, en terrenos agrarios, hay síntomas de deterioro ocasionado por varios factores, uno de los problemas es la utilización insensata de abonos sintetizados para reponer los nutrientes que sacan de los cultivos cada año, y el uso excesivo de químicos, pesticidas en la mayor producción, para resguardar los cultivos de agresión causado por las plagas.

Smil, (1997) manifiesta que la mayor parte de problemas que están en la hidrósfera se amplía a los suelos o terrenos de uso agrario al contaminarse las aguas, su uso para regar los cultivos termina con la contaminación del terreno ocasionando la salinización y endurecimiento del terreno, rebaja de la acción microbiana, poco drenaje en la superficie menor cantidad de nutrientes por las propiedades del suelo y menor a la absorción distributiva de nutrientes por los cultivos también se produce la acidificación de terrenos agrarios, por la presencia en los productos con nitrógeno, contiguo con los combinados de azufre generados durante combustión y después caen de la atmósfera, al no contrarrestarse esta preferencia mediante la participación de cal.

López, L., (2000) señala que la acidez que se genera en el terreno, hace que los cultivos se despeguen de los mismos elementos perjudiciales, por ejemplo, el aluminio.

Nierenberg, D., (2001) informa que es por ello que el uso insensato de abonos artificiales en la zona agraria que el granjero usa para generar el máximo beneficio de sus cosechas tiene como resultado la presencia de restos dañinos principalmente en los terrenos agrarios y subsiguientemente en los cultivos nutritivos, los que absorben los residuos perjudiciales y al utilizarse como alimento por las personas, afectan progresivamente la salud de los seres vivos.

4.6.Nitratos en plantas

Giletto, (2003) dice que el nitrógeno inorgánico aprovechado por los cultivos a manera de nitratos se halla en la naturaleza en los líquidos celulares, la savia como predecesor de las proteínas, las nuevas plantas habitualmente tienen más nitratos que las plantas más maduras una privación logra provocar una inestabilidad en la absorción de nutrientes y un desarrollo raquíco de la planta, el componente genético tiene mucho predominio en la recolección de nitrato cambiando entre especies y dentro de las mismas, hay que recalcar las significativas diferencias se localizan en el comprendido de nitratos entre diferentes porciones de una planta

Gómez & Rodríguez. (2016), indica que la lechuga en sus hojas externas muestra contenidos altos en un 30-40% nitrato, la luz es un factor principal, puesto que de su intensidad depende la acción fotosintética si ésta es menor lo hace igualmente la alteración de los nitratos impregnados en aminoácidos y del mismo modo las proteínas.

Costa, (2000) menciona la contribución de nitrógeno a las plantas que se ejecuta por medio de abonos minerales principalmente nitratos o fertilizantes que son orgánicos sobretudo estiércol de animales la abundancia de nitratos en la fertilización del suelo contiene muchos problemas agrarios considerablemente estudiados que intervienen en las características de las plantas como son ahuecado de frutos, precocidad floral, menor aguante a heladas entre otras cosas.

4.7.Nitratos y nitritos en los vegetales.

El nitrato es parte integral del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente. Este se forma a partir de fertilizantes, plantas en descomposición, residuos orgánicos, estiércol y otros. Los seres vivos pueden llegar a hacer uso de este nitrógeno a través de un proceso que se inicia con la fijación de este en los suelos, proceso realizado por los vegetales y por algunas bacterias nitrificantes asociadas.

En general los nitratos se acumulan mayoritariamente en las hortalizas, y su acumulación va a depender de diversos factores como la especie, variedad y genotipo. Según la OMS una persona consume normalmente entre 50–150 mg al día de nitrato, por ello es importante conocer la composición de los alimentos y la frecuencia con que deben

consumirse. Según un estudio publicado por expertos de la European Food Safety Authority (EFSA), se debe consumir aproximadamente 400 gramos diarios de una mezcla de frutas y verduras.

Moreno, C. (2015) señala que la cantidad no sobrepasaría el umbral límite de consumo de nitratos que se denomina Ingesta Diaria Admisible (IDA) recomendada por la Organización Mundial de Agricultura y Alimentos (FAO) y la OMS. Lo recomendable sería la ingesta de al menos 1 mmol de nitrato al día para obtener efectos benéficos sobre la salud cardiovascular y evitar posibles efectos adversos. Los vegetales se pueden clasificar de acuerdo a su contenido de nitrato (tabla 4).

Tabla 4.

Clasificación de los vegetales de acuerdo al contenido de nitrato (mg/kg de masa fresca).

Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
< 200	200-500	500-1000	1000-2500	> 5000
Papa	Brócoli	Nabo	Puerro	Apio

Fuente: Moreno, C. (2015). El consumo de nitrato y su potencial efecto benéfico sobre la salud cardiovascular. Rev. chil. Nutr.

4.8. La papa (*Solanum tuberosum*)

De Jong, (2016) menciona que la papa es el tercer producto cultivable para alimento más significativo en el mundo.

Gómez, M.I. y P. Torres (2012) expresa que los nutrientes de la papa en circunstancias andinas son potasio y también nitrógeno, el análisis vegetal de estos elementos fundamentales consiente en ajustar planes de fertilización en los cultivos con el fin de aumentar la elaboración, disminuir costos y el impacto a la naturaleza.

4.9. Demanda de nitrógeno por las papas

Meyer, M., (1998) menciona que la papa es uno de los cultivos sensibles a la deficiencia de nutrientes el nitrógeno, a menudo es el primordial mineral restrictivo de la producción para elaboraciones recomendables de papa se dan reseñas que pueden ser 45 kg N/ha hasta 400 kg N/ha

Porter, G. A. Y Sisson, J. A. (1991), explica que la falta de nitrógeno al inicio de la tuberización puede ser crítico, puede provocar pérdidas del producto.

Larraín, (2003) indica que en la papa el nitrógeno se agrupa generalmente en los bulbos, apreciando que el 80% del nitrógeno recogido retorna ellos mismos, el nitrógeno es un elemento muy complicado de constreñir en cuanto a su dosis, ya que su provisión es afectada por la temperatura del terreno y también la mineralización del nitrógeno es un proceso orgánico generalmente de los suelos con contenido alto de componente orgánico solicitarán menos cantidad de nitrógeno, a pesar de esto la materia orgánica afecta el abasto de nitrógeno, sino que también la utilización del terreno y cultivo.

4.10. Uso excesivo de fertilizantes en los cultivos

Saluzzo, (1999) menciona que la papa se distribuye en una gran diversidad de lugares y ambientes gracias a la variedad de los componentes genéticos, en el cultivo la administración de los nutrientes tiene gran predominio sobre el depósito de componentes secos y por consiguiente sobre la utilidad y la calidad de los bulbos, asimismo como el cultivo de papa progresa significativamente luego del uso de abonos nitrogenados, los fabricantes a menudo aplican grandes cantidades de este tipo de abono.

Torres, (2012) expresa que fertilizar es una de las actividades agrarias más significativas y consiste en la adición correcta de los abonos utilizados durante el cultivo y un buen aporte de fertilización correcto estribará de la producción presentada, por lo que es importante conocer las carestías nutricionales de las plantas para una producción concluyente.

Gómez, M.I. y P. Torres. (2012) indica que en la agricultura el efecto final de la revuelta verde se traslada en la contaminación que se produce en las aguas, a las que, por lo general van las sustancias químicas excedentes de abonos y pesticidas, que es un riesgo para la

salud de las personas y el ambiente, así como los alimentos que consiguieran contener elementos tóxicos.

El problema primordial, es el exceso de químicos como, por ejemplo, en la elaboración de caña se utilizan dos y hasta cinco veces más abonos y cultivos como tomate y papa que absorben algunas aplicaciones de químicos y plaguicidas, estas sustancias llegan a los consumidores en cantidades bajas, a través de alimentos o como restos en la leche y en el agua.

Castellanos, (1996) se refiere que el uso indistinto de los abonos minerales tiene como resultado el deterioro de las características físicas, así como químicas y biológicas de los terrenos, disminución en el contenido de componentes biológicos, también de la producción de productos agrarios con cantidades garrafales de nitratos por las agrupaciones altas de nitrógeno que se aplican en muchas circunstancias.

Meyer, M., (1998) expresa que el nitrógeno puesto a manera de nitrato afirma una mayor reserva en estos cultivos, aunque su eminente solubilidad produce que sea crecidamente vulnerable al traslado del agua que transita a través por el terreno.

Adrover, (2002) señala que los nitratos en el terreno en instantes generan un exceso hídrico, producido por precipitaciones como por el riego desmedido, que provoca una limpieza de estas partículas causando la consecuente contaminación en las aguas debajo del suelo.

4.11. Efectos tóxicos de los nitratos en las papas.

Giletto, (2003) da a conocer el uso impropio de los abonos sintéticos en los métodos agrarios, compromete delicadamente la calidad en los bulbos de papa pues al ser cosechados muestran restos tóxicos y nocivos de nitratos, con una calidad gastronómica baja debido a una contextura aguanosa, lo que no es atractivo para el uso alimenticio.

Contreras, (1997) describe que el excesivo uso de nitrógeno, que compromete la constancia del ciclo de la papa y en resultado de la producción de tubérculos, forma mayor desarrollo foliar desequilibrio del desarrollo vegetativo en deterioro de la tuberización, mayor susceptibilidad a padecimientos, enfermedades, tejidos gustosos con una post, cosecha mala, formación y crecimiento tardío en estos tubérculos, demora de la madurez, mayor

suspiciencia a roturas en el tubérculo de diámetro grande debido a la mínima estabilidad del exterior de la piel mayor delicadeza al incremento secundario, menor cantidad de almidón y de masa seca en el interior del tubérculo, mayor cantidad de azúcares reductoras y también proteína en el interior de los tubérculos, palidez y sombreado de la papa al cocido, disminución del sabor y calidad de estructura.

4.12. Proceso de eliminación del nitrógeno.

4.12.1. Desnitrificación

Bitton, (1994) menciona que la desnitrificación es la transformación biológica del nitrato en forma gaseosa de nitrógeno, y en otros compuestos de óxido nítrico y óxido nitroso, estos son combinados de gas y no son sencillamente accesibles para el desarrollo microbiano; por ello, se liberan regularmente en la atmósfera, el gas de nitrógeno se encuentra alrededor del 70% de los gases que se encuentran en la atmósfera.

Quiroga, A., (2012) dice que la desnitrificación, es baja en los suelos cuando su infiltración está por debajo del 60 % del contenido de retención hídrica, en los suelos Molisoles se ha detectado que el proceso es de insuficiente magnitud con contenidos de agua inferiores al 30 %, acelerándose en gran cantidad al aumentar humedad.

4.12.2. Nitrificación

El proceso de la nitrificación se consigue a través del cual las bacterias nitrificantes convierten el amonio en nitrato, se requieren dos pasos diferentes para que esto ocurra.

Bajo condiciones adecuadas, la nitrificación puede transformar del orden de 10 a 70 kg. de nitrógeno por hectárea. Esto implica que un abonado en forma equilibrada puede transformarse casi totalmente en nitrato en unos pocos días, si la humedad y la temperatura del suelo son favorables para el proceso. En ocasiones, debido a que la nitrificación es bastante más rápida que la mineralización, se emplea el término “mineralización” para indicar el proceso global de conversión del nitrógeno orgánico en nitrógeno mineral (fundamentalmente nitrato y amonio). (Manual de lombricultura, s.f)

La *Nitrosomonas* sp. oxidan el amonio en un producto intermedio, el nitrito.

Las *Nitrobacter* sp. convierten el nitrito en nitrato.

Las bacterias que ayudan como nitrificantes son las bacterias autótrofas, o bacterias que requieren el CO_2 como una fuente esencial de carbono para su desarrollo, las bacterias nitrificantes son organismos sensitivos a las variaciones que se da en el medioambiente, su desarrollo puede ser simplificado por algunos factores medioambientales, entre los factores que se simplifican hay las altas concentraciones de amonio, las temperaturas bajas, un pH que no sea el adecuado de 6,5 u 8,6 y una cantidad demasiada baja de oxígeno disuelto menor 1 mg./l. (Redagricola, 2017).

4.12.3. Implicancias ambientales de la desnitrificación.

El Nitrógeno desnitrificado incorpora una pérdida económica ya que se corren elementos fundamentales que podrían ser evolucionados en su beneficio, también establece un perjuicio ambiental, que no suele ser considerado, cuando el proceso de desnitrificación es truncado (lo más habitual), es decir se independizan en óxidos de nitrógeno (N_2O), se forma un daño ambiental ya que estos compuestos óxidos tienen entre 200 y 300 veces más contenido de paralizar la radiación térmica que el CO_2 y se lo considera un agente que no tiene equilibrio y es perjudicial para la capa de ozono. Procesos de Suelo: Desnitrificación (2016).

Los elementos que perturban la lixiviación de nitratos

- a) Textura del suelo, estos suelos ligeros (arenosos) presentan la mayor lixiviación es muy significativo también considerar el horizonte B del perfil del suelo, cuando se tiene por modelo un horizonte B (argílico), no obstante, la cantidad de arcilla del segundo horizonte puede comprimir la rapidez del paso del agua a través del perfil a un paso casi nulo, lo que reduce la posibilidad de la limpieza de NO_3 .
- b) La apariencia de rastrojo en la superficie, el aspecto de los restos de la siembra en el plano es otro factor importante, pues extiende la cantidad de agua que influye en relación con la que gotea, por lo que acrecienta la probabilidad de lavado
- c) El tipo de trabajo: en estudios realizados en América del Sur, se ha observado que en los suelos bajo siembra directa (cultivo de conservación) se aumenta la proporción de macro poros, esto ocasiona un mayor lavado preferencial, y la lixiviación de NO_3 tiende a desarrollar con relación a condiciones bajo trabajo convencional (INTAGRI S.C, 2017).

4.12.4. Evitar sobrefertilizar

La fertilización es una dificultad a eliminar en la prevención de la lixiviación de nitratos, se trata de un mal gasto de fertilizantes y afecta también en la economía, así como un riesgo hacia el medio ambiente, normalizar el uso de fertilizantes representa maximizar la relación con la calidad y cantidad de fertilizantes, así como preservar el medio ambiente (Smart-fertilizer, 2017).

4.12.5. Emplear fertilizantes con nitratos cuando las plantas lo requieran

Las plantas atraen diferentes nutrientes en diferentes etapas de desarrollo, la aplicación de fertilizantes en el instante que no es de aplicarlo es un error frecuente que se corrige fácilmente con la investigación correcta, fragmentar la dosis y el uso de desiguales concentraciones según la fase de desarrollo aumentarán los beneficios y evitarán el exceso de lixiviación

4.12.6. Convenir la dosis de abonos nitrogenados

El exceso de abono nitrogenados es la principal causa de contagio en los suelos correspondemos reducirlo ajustadamente a los valores necesarios, pues un exceso no mejora el beneficio económico del cultivo, contamina las aguas subterráneas y nos cuesta capital. Tener presente otros aportes de nitrógeno al suelo, como son:

- El que tiene participación por el agua de riego, un agua debe tener 50 ppm de nitratos puede aportar 100 kg de nitrógeno por hectárea y año.
- El nitrógeno librado con la mineralización de abonos orgánicos.
- La concentración de todas las contribuciones, incluidos los abonos químicos u orgánicos, no debe despuntar los siguientes valores:
- Cultivos en hortalizas: 300 kg de nitrógeno por hectárea/año
- Cultivos prolongables: 150 kg de nitrógeno por hectárea/año (Noguera.coop, s.f).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1.Descripción

La investigación que se realizó para la determinación de nitratos en el tubérculo *Solanum tuberosum L.*, se inició tomando una hectárea de la hacienda la Guada ubicada en el cantón Otavalo perteneciente a la parroquia de Quiquinche que se dedica exclusivamente al cultivo de papa, clima templado-frío., altitud para el cultivo: 2750 a 2950 msnm, tipo de suelo Franco-arcilloso.

La salida de campo para la recolección de las muestras se realizó en tres tiempos ya que el cultivo de papa en la hectárea estaba dividido en tres parcelas, cada parcela tenía diferentes fechas de siembra.

En los puntos definidos en las parcelas el tipo y cantidad de muestras será compuesta: esto se refiere a la muestra de suelo obtenida por la extracción de varias muestras simples o submuestras, reunidas en una funda, de donde se retiran de 0,5 a 1 kg de suelo, de hoja aproximadamente 10 gramos y un tubérculo, se recomienda 10 submuestras por parcela de muestreo.

Para la recolección de las submuestras se realizará un muestreo en simple al azar, esta técnica es tomada del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), ya que el cultivo está ubicado en una zona de zanga y esta es la técnica más apropiada para la respectiva toma de las muestras.

Una vez obtenidos los valores se introducirán los datos en el programa Statgraphics Centurion XVI donde la técnica estadística descriptiva, análisis de regresión, simple, múltiple y polinomial nos ayudará a cuantificar los valores obtenidos y facilitará para resumir la información del conjunto de datos.

Para la obtención de los estudios estadísticos los datos obtenidos serán transformados a otras unidades y estos se utilizarán en los modelos de regresión simple múltiple y polinomial para la determinación del contenido del nitrato en la planta, suelo, tubérculo y establecer una correlación teniendo como variable independiente nitrato en la planta y suelo con respecto al tubérculo y predecir su estado de contaminación, las variables dependientes: los resultados de nitrato en la hoja y el suelo.

5.2. Cartografía de la hacienda



Figura 4. Cartografía de la hacienda.

Elaborado por: El autor.

5.3. Equipos

El desarrollo de esta investigación demandó la utilización de varios equipos entre los cuales destacan para la salida de campo un GPS; para la toma de puntos para la elaboración de la cartografía de la hacienda.

(campo)

- Etiquetas para identificar las muestras
- Pala, Palin
- Bolsas plásticas para empacar las muestras, también para meter la etiqueta y evitar daño
- Papel para marcar las muestras.
- Libreta para tomar notas.
- GPS

Ubicación del laboratorio

Laboratorio de química de la Escuela de la ECAA, de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra.

5.4. Método

En el presente proyecto para la obtención de las muestras de suelo y de material vegetal (hojas y suelo), se lo realizó en tres parcelas, el motivo de esto es que cada parcela se encontraba en diferente etapa de desarrollo de cultivo, la primera parcela se encontraba en su etapa de crecimiento de tubérculo, la segunda parcela se encontraba en la etapa de inicio de producción de tubérculos y la tercera parcela en la etapa de crecimiento vegetativo, lo cual en estas dos parcelas para la obtención del material vegetal debíamos esperar que llegue a su etapa de crecimiento de tubérculo para determinar el contenido de nitrato en diferentes objetos de análisis, relacionados con el cultivo de la papa suelo, planta, tubérculo. El método que se empleó para la obtención de las muestras, fue un muestreo al azar recorrido simple para la toma de muestra del suelo, luego tomamos las hojas y tubérculo de la misma planta para realizar los respectivos análisis para la estadística descriptiva de regresión y correlación empleamos el software estadístico Statgraphics Centurion XVI de esta herramienta utilizamos métodos de análisis estadístico descriptivo de regresión y correlación en modelos simple múltiple y polinomial.

El análisis de regresión y correlación involucra el estudio la relación entre dos variables cuantitativas.

En general interesa:

Investigar si existe una asociación entre las variables.

Estudiar la fuerza de la asociación, a través de una medida de asociación denominada coeficiente de correlación.

Estudiar la forma de la relación. Usando los datos, propondremos un modelo para la relación y a partir de ella será posible predecir el valor de una variable a partir de la otra.

Para predicciones estadísticas con el software Statgraphics Centurion XVI se tomarán en cuenta los siguientes parámetros.

Valores estimados

Un estimador es un estadístico cuyos valores depende de una muestra en particular extraída, se utiliza el valor del estimador llamado valor estimado para predecir el valor de un parámetro poblacional de interés

Análisis de varianza

ANOVA evalúan la importancia de uno o más factores al comparar las medias de la variable de respuesta en los diferentes niveles de los factores.

Panel de predicciones del modelo estimado

En el panel de predicciones del modelo estimado encontraremos los valores predichos de la recta de dependencia seleccionada, los errores estándares de las predicciones límites inferiores para las predicciones, límites superiores para las predicciones valor hasta donde puede predecir el error y los residuos que son la diferencias entre los valores de la variable dependiente y los valores que predecimos.

Valores predichos

Como se ha dicho, uno de los objetivos principales de la regresión es realizar predicciones sobre los datos. Statgraphics proporciona una opción que calcula dichas predicciones.

Se genera una nueva ventana que contendrá los valores predichos y su intervalo de confianza para un valor seleccionado por el programa.

Error estándar de Predicciones. El error estándar para n valores predichos.

Límites Inferiores de Predicciones. El límite de Predicción Inferior para cada valor predicho.

Límites Superiores de Predicciones. El límite de Predicción Superior para cada valor predicho.

Residuos: residuos a las diferencias entre los valores de la variable dependiente observados y los valores que predecimos a partir de nuestra recta de regresión.

Gráficos de valores predichos contra el observado y valores residuales contra el predicho

El gráfico Observados versus Predichos muestra los valores observados de Y en el eje vertical y los valores predichos en el eje horizontal.

Si el modelo ajusta bien, los puntos deberían estar dispersos aleatoriamente alrededor de la línea diagonal.

Residuos versus Predichos

Este gráfico es útil para detectar heteroscedasticidad en los datos.

La heteroscedasticidad ocurre cuando la variabilidad en los datos cambia conforme cambia la media, y puede necesitar transformación de los datos antes de ajustar el modelo de regresión.

Ecuación del modelo ajustado

Se utiliza la ecuación de regresión para describir la relación entre la respuesta y los términos en el modelo. La ecuación es una representación algebraica de la línea de regresión.

La finalidad de la obtención de estas ecuaciones es que analizando únicamente el suelo o las hojas de la planta podemos conocer el contenido de nitrato que posee el tubérculo.

La ecuación de una línea de tendencia describe la relación entre las variables.

Esta ecuación especifica el valor de Y, variable dependiente de la gráfica, en función de X, variable independiente de la gráfica. No todos los puntos del gráfico caen en la línea de tendencia, y los nuevos datos que el gráfico cubre pueden no caer en la línea tampoco.

La ecuación de una línea $Y = a \pm b(x)$, donde Y (tubérculo) = a (:Valor estimado del parámetro del modelo) + b (:Valor estimado del parámetro del modelo) X (hoja). Si conoce los valores de x y b, puede calcular cualquier punto de la línea insertando el valor x en esa ecuación.

Ejemplo. $Tubérculo = 40,28 - 0,15 \times hoja$.

5.4.1. Levantamiento de información fase de pre-campo

Se seleccionó la hectárea del cultivo de papa de la hacienda donde se obtendrán las muestras de suelo, hojas de la planta y el tubérculo que este ya completamente desarrollado.

Patrón a seguir para seleccionar los lugares de muestreo recorrido al azar simple.

Taristro (s.f) Menciona que el muestreo simple de n muestras se define como un grupo de muestras seleccionadas al azar de una población de muestras. Es apropiado para poblaciones relativamente pequeñas y homogéneas y el análisis estadístico de los datos es sencillo debido a la característica de aleatoriedad en la localización de las muestras.

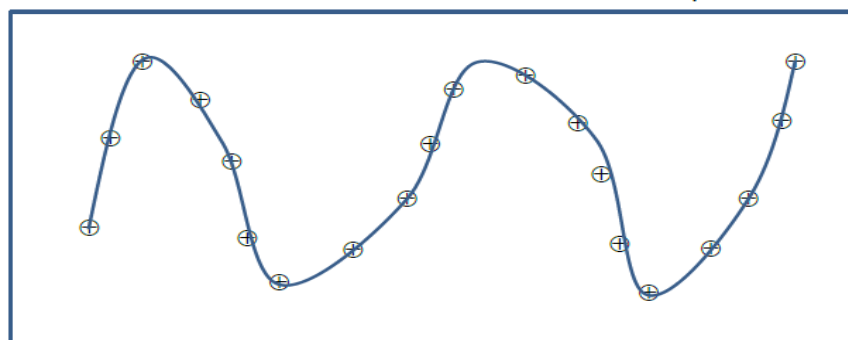


Figura 5. Recorrido al azar simple.

5.4.2. Fase de campo

Para la obtención de las muestras del terreno, realizamos un recorrido al azar simple, luego introducimos la pala unos 15 cm, tomamos las hojas y tubérculo de la misma planta para realizar los respectivos análisis colocándoles en las fundas y posteriormente numerarlas para su identificación.

Todas las muestras tomadas tanto de hojas, suelo y tubérculo llevan un rótulo para su identificación, para complementar esto también se debe tener una hoja registro donde van los datos de cada muestra en ese registro debe de ir consignada la información de la hacienda.

Toma de hojas y tubérculo del mismo lugar que se toma la muestra se suelo.

Método de determinación: Kits test nitratos, Spectroquant® Nova 60.

- Pesar 10 gramos de cada una de las muestras (Suelo, hoja, tubérculo).
- Una vez pesadas todas las muestras trasladarlas, a un vaso de precipitación agregar 20 ml de agua destilada tipo 1 y agitar.
- Con las muestras de hoja y tubérculo colocar en un mortero y poner 20 ml de agua destilada tipo 1, macerar, filtrar y trasladar a un tubo de ensayo.
- Una vez obtenido las muestras filtradas realizar la dilución respectiva para que sean identificadas como agua con nitrato y entonces realizar los análisis con KIT NOVA 60 con los reactivos donde reacciona el nitrato.
- Colocar una 1 microcuchara azul de NO_3 en una cubeta de reacción, adicionar 5 ml del reactivo 2, cerrar con la tapa de rosca.
- Mover vigorosamente el tubo de ensayo durante 1 minuto para disolver la sustancia sólida.
- Agregar 1,5 ml de la muestra con la pipeta, obstruir con la tapa de rosca y agitar intensamente. Esta se calienta.
- Tiempo de reacción: diez minutos.
- Agregar la solución en la celda correspondiente.
- Poner la celda en el compartimiento para cubetas, hacer coincidir la línea de marcado de la cubeta con la marca del patrón de medición en el fotómetro.
- Ubicar la celda en el compartimiento para cubeta, para todas las muestras.

5.4.3. Fase de post-campo

Se empleó con los datos obtenidos en el laboratorio el STATGRAPHICS Centurion XVI que es una potente herramienta de análisis de datos que combina una amplia gama de procedimientos analíticos con extraordinarios gráficos interactivos para proporcionar un

entorno integrado de análisis que puede ser aplicado en cada una de las fases de un proyecto.

Incluye funciones estadísticas avanzadas, capaces de proporcionar rigurosos análisis propios de los profesionales estadísticos más exigentes y experimentados, y al mismo tiempo ofrece una interface muy intuitiva, con funciones de asistencia exclusivas, de tal forma que proporciona la simplicidad suficiente para permitir a un analista inexperto realizar procedimientos complejos, Permite el análisis de una o más muestras. Ajuste y predicción.

5.5.Instrumentos

Statgraphics Centurion XVI.

Modelos de regresión

- simple
- múltiple
- polinomial.

5.6.Procedimiento.

La propuesta metodológica a ser utilizada para la investigación se basó en el método de regresión y correlación del Statgraphics Centurion XVI.

Las herramientas necesarias para el manejo de datos, análisis de los mismos e interpretación de los resultados que se obtienen con el software estadístico Statgraphics, con énfasis en las hipótesis que se están probando con cada técnica y en la manera correcta de redactar las conclusiones.

Manejo del Statgraphics

- Manejo de archivos
- La tabla de datos y gráficos
- Variables

Análisis descriptivo

Respecto al Análisis de la Regresión contempla los procedimientos de regresión lineal simple (lineal, multiplicativa, exponencial y recíproca), regresión lineal múltiple y regresión no lineal. Ofrece, por tanto, los cuadros resultantes de la estimación de los parámetros correspondientes, así como los errores standard, estadísticos coeficientes de correlación, determinación, etc.

Análisis de regresión

Regresión simple, regresión múltiple y regresión polinomial (El modelo, Estimación de parámetros, ANOVA de la regresión, pruebas sobre los parámetros, Prueba sobre el modelo, Comparación de modelos alternativos, selección de variables, Elección del mejor modelo, Prueba de falta de ajuste, el modelo estimado, predicciones, identificación de puntos de influencia y gráficos).

Statgraphics analiza ampliamente el tema de la regresión. Aporta procedimientos para regresión simple lineal, múltiple y polinomial los procedimientos simples a utilizar se implementan en la opción, dependencia de la barra de menú principal.

El modelo regresión simple, múltiple y polinomial resuelve un modelo de regresión con una sola variable independiente, utilizando el ajuste por mínimos cuadrados. se puede representar gráficamente la línea de ajuste y los residuos para todos los modelos.

El sistema, además, genera y representa predicciones para valores dados de X o Y, así como permite guardar en archivos los residuos y las predicciones para posteriores análisis. Con este análisis se pretende conocer si una o varias variables independientes o explicativas aportan algún tipo de información sobre el comportamiento de otra variable dependiente o explicada. Una de las finalidades de este análisis es realizar predicciones para los datos.

En esta práctica se considera el caso en el que se dispone de una única variable independiente (regresión simple, múltiple y polinomial), es decir, hay que expresar una variable independiente en función de una variable dependiente.

La tabla ANOVA de análisis de la varianza aparecen la variabilidad explicada para los diferentes modelos utilizados el p-valor es menor de 0.05 se aceptaría la hipótesis el

coeficiente de correlación y el coeficiente de determinación R^2 es mejor cuando se acerca a 1.

Gráfico del Modelo Ajustado: representa la nube de puntos y la recta de regresión y los límites de confianza de la recta. La aleatoriedad de los puntos indica que el modelo es bueno. Si se obtiene un gráfico con un patrón definido, indica que los residuos están relacionados y, por tanto, el modelo no es adecuado para los datos.

5.6.1. Análisis de regresión y correlación

Los resultados obtenidos en el test nitratos, Spectroquant® Nova 60, de las muestras que se analizaron, los datos se introdujeron en diferentes modelos de regresión simple, múltiple y polinomial y escoger la ecuación más adecuado de los diferentes modelos para las predicciones en las hojas y el suelo con respecto al tubérculo.

5.6.1.1. Regresión múltiple

El proceso de Regresión Múltiple está perfilado para construir un modelo estadístico describiendo el impacto de dos o más factores cuantitativos X sobre una variable dependiente Y .

La presentación de la ecuación general del modelo es:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_K X_K.$$

El valor k es el dígito de las variables independientes.

Este modelo está colocado donde puede ser usado para hacer predicciones, incluyendo límites de confianza y límites de predicción, donde los residuos pueden también ser graficados observando la manera en que estas intervienen.

5.6.1.2. Regresión simple

El funcionamiento del modelo de regresión lineal es con una única variable independiente y otra dependiente en la entrada de datos en la que sólo tendremos que indicar los nombres de las variables dependiente (en el campo Y :) e independiente (en el campo X :)

Análisis de Regresión - Modelo lineal simple $Y = a + b \cdot X$

5.6.1.3. Regresión Polinomial

Está establecido para formar un modelo estadístico que describa el impacto de un solo factor cuantitativo X en una variable dependiente Y , identificar reflexiones influyentes.

Análisis de Regresión, modelo polinomial $Y=a \cdot x^b$

5.6.1.4. Sumario del análisis.

Variables estos datos se obtienen en cual se identifica la variable dependiente del modelo y además conoce la forma general del mismo.

Coefficiente de determinación cuando ya está establecido el modelo y corrido tras los parámetros determinados el propósito fundamental es asignar valores a los coeficientes.

Valores estadísticos entre los datos de salida se incluyen los estadísticos los cuales muestran el procedimiento del modelo, entre los que calcula Statgraphics Centurion XVI encontramos.

R^2 este representa el porcentaje de variabilidad de Y que se ha explicado mediante el modelo ajustado de regresión, oscilando de 0% a 100%.

Error estándar de Estadístico la desviación estándar apreciada de los residuos.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Resultados que se obtuvo del análisis de las tres variables, determinado por el test nitratos, Spectroquant® Nova 60, de las diferentes parcelas.

En el test nitratos, Spectroquant® nova 60, se obtiene los valores de las tres variables de las diferentes parcelas, estos datos son de donde se partirán para realizar las predicciones recalcar que estos resultados no son los definitivos, todo el conjunto de datos se les realizara una conversión de unidades de la concentración mg/l ($\text{NO}_3 - \text{N}$) a mg/l (NO_3) y la conversión de mg/l (NO_3) a mg/kg (NO_3) estos dos resultados serán los definitivos, que se introducirán al software Statgrafics Centurion XVI para realizar el análisis estadístico descriptivo y obtener posteriormente las ecuaciones donde se relaciona la variable dependiente “Y” con la variable independiente “X”, para los diferentes modelos para obtención de las ecuaciones como modelos simples, múltiple y polinomial.

Tabla 5.

Resultados preliminares de la concentración de nitrato obtenidos del test nitratos de las tres parcelas, mg/l $\text{NO}_3 - \text{N}$ concentración en hoja, tubérculo y suelo.

Primer análisis de la concentración de nitrato.			
Suelo, hojas y tubérculo. (mg/l $\text{NO}_3 - \text{N}$)			
Número de muestras analizadas de la primera parcela	Concentración de nitrato en hoja (mg/l $\text{NO}_3 - \text{N}$)	Concentración de nitrato en tubérculo (mg/l $\text{NO}_3 - \text{N}$)	Concentración de nitrato en suelo (mg/l $\text{NO}_3 - \text{N}$)
1	1,6	0,6	2,6
2	1,2	0,5	1,2
2	1,5	0,5	0,8

Continuación de la tabla 5.

4	2	0,8	1,4
5	2,1	0,5	1,7
6	0,5	1,5	1,6
Segundo análisis de la concentración de nitrato.(mg/l NO₃ – N)			
Número de muestras de la segunda parcela	Concentración de nitrato en hoja. (mg/l NO₃ – N)	Concentración de nitrato en tubérculo (mg/l NO₃ – N)	Concentración de nitrato en suelo (mg/l NO₃ – N)
1	1	1,7	0,9
2	0,5	1,7	0,9
3	0,5	1,9	1,5
4	1,4	1,3	1,2
5	1,7	1	0,9
6	1,1	0,6	1,8
7	1,6	0,5	1,2
8	1,5	0,5	0,8
9	2	0,8	1,4
10	2,1	0,5	1,7

Continuación de la tabla 5.

11	0,5	1,5	1,6
Tercer análisis de la concentración de nitrato. (mg/l NO₃ – N)			
Número de muestras de la tercera parcela.	Concentración de nitrato en hoja (mg/l NO₃ – N).	Concentración de nitrato en tubérculo (mg/l NO₃ – N).	Concentración de nitrato en suelo (mg/l NO₃ – N).
1	1,6	0,6	2,6
2	1,5	0,5	1,2
3	1,5	0,5	0,8
4	2	0,8	1,4
5	0,6	1,7	0,9
6	0,5	1,9	1,5
7	1,5	0,5	0,8
8	2	0,5	1,4
9	2	0,5	1,7
10	0,8	1,5	1,6
11	1	1,7	0,9

Elaborado por: El autor.

6.2. Conversión de datos a diferentes unidades de los resultados obtenidos en el test nitrato.

Para la conversión de unidades de los datos del test nitrato nova 60 que se obtuvo en el laboratorio se emplearon diferentes fórmulas para ser aplicadas en los datos preliminares test nitrato, la conversión será de mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$ a mg/l NO_3 y mg/l a mg/kg y los resultados obtenidos serán introducidos en el programa Statgraphics Centurion para realizar las correlaciones.

6.2.1. Fórmula para la conversión de los datos obtenidos del test nitrato.

Para esta conversión se toma en cuenta la relación teórica N/ NO_3 resultado de la concentración del test NO_3 y las cantidades de volúmenes utilizados para las extracciones de las muestras, el volumen de la disolución en agua destilada y el resultado del test nitrato que sirvió para formar la disolución para medir en el Spectroquant®.

Ejemplo:

$$\frac{\text{N}}{\text{NO}_3} (\text{relación teórica}) = \frac{\text{resultado test nitrato}}{\text{Concentración } (\text{NO}_3)}$$

$$\frac{14}{62} = \frac{1,5}{\text{Concentración } (\text{NO}_3)}$$

$$\frac{1,5}{0,22} = 6,8 \text{ Concentración } (\text{NO}_3)$$

$$\frac{100 \text{ ml (disolución extracción en agua destilada)}}{1 \text{ ml (extracciones de líquido muestras)}} \times 6,8 (\text{NO}_3) = 6,80$$

$$\frac{100 \text{ ml (disolución en agua destilada)}}{5 \text{ ml (extracciones de líquido muestras)}} \times 6,8 (\text{Concentración } (\text{NO}_3)) = 136.$$

Este proceso es aplicado para todos los valores de las tres muestras para la hoja, suelo y tubérculo.

6.2.2. Resultados de la conversión de unidades mg/l de NO₃-N a mg/l de NO₃ utilizados para el análisis estadístico descriptivo (mg/l).

Tabla 6.

Datos convertidos de la concentración NO₃-N a mg/l de NO₃ de las tres variables, aplicando la fórmula para cada uno de los valores de las tres parcelas. (mg/l).

Datos de concentraciones de nitrato (mg/l), análisis parcela uno.			
Números de muestras de la primera parcela	Concentración de nitrato en hoja (mg/l).	Concentración de nitrato en tubérculo (mg/l).	Concentración de nitrato en suelo (mg/l).
1	727	55	236
2	545	45	109
3	682	45	73
4	909	73	127
5	955	45	155
6	227	136	145
Datos de concentraciones de nitrato (mg/l) análisis parcela dos.			
Números de muestras de la segunda parcela	Concentración de nitrato en hoja (mg/l).	Concentración de nitrato en tubérculo (mg/l).	Concentración de nitrato en suelo (mg/l).
1	455	155	82
2	227	155	82

Continuación de la tabla 6.

3	227	173	136
4	636	118	109
5	773	91	82
6	500	55	164
7	727	45	109
8	682	45	73
9	909	73	127
10	955	45	155
11	227	136	145
Datos de concentraciones de nitrato (mg/l), análisis parcela tres.			
Números de muestras de la tercera parcela	Concentración de nitrato en hoja (mg/l).	Concentración de nitrato en tubérculo (mg/l).	Concentración de nitrato en suelo (mg/l).
1	727	55	236
2	682	45	109
3	682	45	73
4	909	73	127

Continuación de la tabla 6.

5	273	155	82
6	227	173	136
7	682	45	73
8	909	45	127
9	909	45	155
10	364	136	145
11	455	155	82

Elaborado por: El autor.

6.3. Conversión de unidades de concentración $\text{NO}_3 \text{ mg/l}$ a $\text{NO}_3 \text{ mg/kg}$

Para la conversión de unidades de estos valores se tomaron en cuenta, los resultados de las tres muestras en mg/l , tomando como referencia los pesos de las muestras que se toma en el laboratorio y los volúmenes.

Ejemplo:

$$136 \text{ mg/l} (\text{valor concentración nitrato}) = \frac{m(\text{NO}_3)}{0.020 \text{ l} (\text{Volumen disolucion})}$$

Se despeja de la formula

$$m(\text{NO}_3) = 136 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times 0.020 \text{ l} (\text{volumen disolucion})$$

$$m(\text{NO}_3) = 2,72 \text{ mg}$$

$$\frac{\text{mg}}{\text{Kg}} = \frac{2,72 \text{ mg } m(\text{NO}_3)}{0.010 \text{ Kg cantidad que se peso de las muestras.}}$$

$272 \frac{\text{mg}}{\text{Kg}}$. Este proceso es aplicado para todos los valores de las tres muestras hoja, suelo y tubérculo.

Tabla 7.

Conversión de datos de la concentración NO_3 mg/l a NO_3 mg/kg aplicando la fórmula para cada uno de los datos obtenidos de las tres variables de las tres parcelas. (mg/kg).

Números de muestras de la primera parcela	Concentración de nitrato en hoja (mg/kg).	Concentración de nitrato en tubérculo (mg/kg).	Concentración de nitrato en suelo (mg/kg).
1	1455	109	473
2	1091	91	218
3	1364	91	145
4	1818	145	255
5	1909	91	309
6	455	273	291
Datos de concentraciones de nitrato (mg/kg), análisis parcela dos.			
Números de muestras de la primera parcela	Concentración de nitrato en hoja (mg/kg).	Concentración de nitrato en tubérculo (mg/kg).	Concentración de nitrato en suelo (mg/kg).
1	909	309	164
2	455	309	164
3	455	345	273
4	1273	236	218
5	1545	182	164
6	1000	109	327

Continuación de la tabla 7.

7	1455	91	218
8	1364	91	145
9	1818	145	255
10	1909	91	309
11	455	273	291
Datos de concentraciones de nitrato (mg/kg), análisis parcela tres.			
Números de muestras de la tercera parcela.	Concentración de nitrato en hoja (mg/kg).	Concentración de nitrato en tubérculo (mg/kg).	Concentración de nitrato en suelo (mg/kg).
1	1455	109	473
2	1364	91	218
3	1364	91	145
4	1818	145	255
5	545	309	164
6	455	345	273
7	1364	91	145
8	1818	91	255
9	1818	91	309
10	727	273	291
11	909	309	164

Elaborado por: El autor.

6.4. Análisis de datos de las tres variables (suelo, tubérculo, hoja).

Para el análisis estadístico descriptivo de todos los resultados adjuntos tanto en mg/l y mg/kg para los diferentes modelos utilizados como regresión simple, múltiple y polinomial, se toma en cuenta los siguientes parámetros la variable dependiente las variables independientes, los valores predichos, errores estándares, límites superior e inferiores de los valores predichos, valor del R^2 ajustado en cada uno de los modelos y análisis de varianza, el objetivo de esto es analizar el grado de la relación existente entre variables utilizando modelos matemáticos ya mencionados y representaciones gráficas. Así pues, representar la relación entre dos o más variables desarrollando una ecuación que permitirá estimar una variable en función de la otra.

6.4.1. Análisis de regresión de la concentración (NO_3) mg/l, tubérculo vs hoja y suelo.

Variable dependiente: TUBÉRCULO

Variable Independiente: HOJA Y SUELO

Tabla 8.

Valores estadísticos estimados de las variables, concentración NO_3 (mg/l) del modelo de regresión múltiple tubérculo vs hoja, suelo.

Parámetro	Valores estimados (estructura de la ecuación)	Error Estándar	Error Estadístico	P-Valor
Constante	187,61	20,64	9,08	0,00 **
Hoja	-0,15	0,02	-6,78	0,00**
Suelo	-0,04	0,13	-0,30	0,76 n.s

Elaborado por: El autor.

Tabla 9.

Análisis de varianza de las variables, concentración NO₃ (mg/l) del modelo de regresión múltiple tubérculo vs hoja, suelo.

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	F-Ratio	P-Valor
Modelo	42358,90	2	21179,40	23,91	0,00**
Residuos	22149,00	25	885,95		
Total (Corr.)	64507,90	27			

Elaborado por: El autor.

Coefficientes de correlación

R² o Coeficiente de determinación = 65,66 %

Estadística ajustada R² = 62,91%

Error estándar = 29,76, error absoluto medio = 24,48. ** = significativo, ns = no significativo

La ecuación ajustada al modelo de regresión múltiple.

$$\text{Tubérculo} = 187,61 - 0,15 * \text{hoja} - 0,040 * \text{Suelo}$$

La Fig. 6, permite visualizar la relación entre la variable dependiente (tubérculo) vs dependientes (hoja y suelo). Modelo de regresión múltiple.

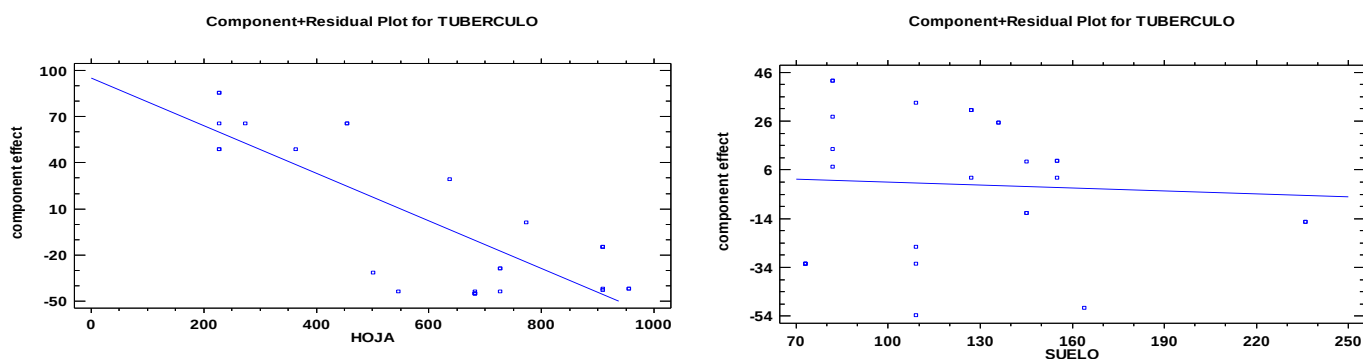


Figura 6. Gráfico del modelo dependiente = Tubérculo vs variables independientes (hoja y suelo). Modelo de regresión múltiple.

Elaborado por: El autor

Tabla 10.

Panel de predicciones del modelo de regresión múltiple tubérculo vs hoja, suelo de la concentración NO₃ (mg/l).

Número total de muestras de las variables.	Concentración de nitrato en tubérculo mg/l	Valores Predichos de la recta de dependencia seleccionada	Errores Estándar de las Predicciones	Límites Inferiores para las Predicciones Valor hasta donde puede predecir el error.	Límites Superiores para las Predicciones Valor hasta donde puede predecir el error	Residuos Diferencias entre el valor dependiente y valores que predecimos
1	55	65,89	33,72	-3,54	135,33	-10,89
2	45	99,10	30,38	36,54	161,67	-54,10
3	45	79,41	31,11	15,33	143,48	-34,41
4	73	42,19	31,02	-21,69	106,07	30,81
5	45	33,96	31,40	-30,70	98,63	11,04
6	136	146,74	31,79	81,25	212,22	-10,74
7	155	114,08	30,90	50,44	177,72	40,92
8	155	149,28	31,79	83,80	214,75	5,73
9	173	147,10	31,66	81,90	212,30	25,90
10	118	85,06	30,36	22,53	147,59	32,94
11	91	65,00	31,10	0,95	129,04	26,00
12	55	103,83	30,95	40,10	167,57	-48,83

Continuación de la tabla 10.

13	45	71,01	30,49	8,22	133,80	-26,01
14	45	79,41	31,11	15,33	143,48	-34,41
15	73	42,19	31,02	-21,69	106,07	30,81
16	45	33,96	31,40	-30,70	98,63	11,04
17	136	146,74	31,79	81,25	212,22	-10,74
18	55	65,89	33,72	-3,54	135,33	-10,89
19	45	77,96	30,41	15,33	140,58	-32,96
20	45	79,41	31,11	15,33	143,48	-34,41
21	73	42,19	31,02	-21,69	106,07	30,81
2	155	142,17	31,54	77,21	207,14	12,83
23	173	147,10	31,66	81,90	212,30	25,90
24	45	79,41	31,11	15,33	143,48	-34,41
25	45	42,19	31,02	-21,69	106,07	2,81
26	45	41,06	31,18	-23,14	105,27	3,94
27	136	125,59	31,03	61,68	189,51	10,41
28	155	114,08	30,90	50,44	177,72	40,92

Elaborado por: El autor.

Resúmenes estadísticos.

Como el valor P en la tabla ANOVA es inferior a 0,05 (tabla 9), existe una relación estadísticamente significativa entre las variables al nivel de confianza del 95,0%.

La estadística R^2 indica que el modelo como corresponde explica el 65,66% de la variabilidad en tubérculo.

La estadística ajustada R^2 , que es más adecuada para comparar modelos con diferentes números de variables independientes, es 62,91%. El error estándar de la estimación muestra que la desviación estándar de los residuos es 29,76. Este valor se puede usar para construir límites de predicción. El error absoluto medio (MAE) de 24,48 es el valor promedio de los residuos.

Para determinar si el modelo se puede simplificar, tenga en cuenta que el valor P más alto en las variables independientes es 0,76 (tabla 8), que pertenece a suelo.

Como el valor P es mayor o igual a 0,05, ese término no es estadísticamente significativo con un nivel de confianza del 95,0% o superior. En consecuencia, debería considerar eliminar suelo del modelo.

Los valores observados contra Predicho. En este gráfico se despliega la respuesta observada Y contra los valores predichos, junto con una línea diagonal

Este modelo nos indica los puntos que están dispersos aleatoriamente alrededor de la línea diagonal, y se concluye que por el coeficiente de determinación de 65 % y forma de dispersión de puntos tiene una correlación moderada.

Fig. 7 valores observados vs predichos.

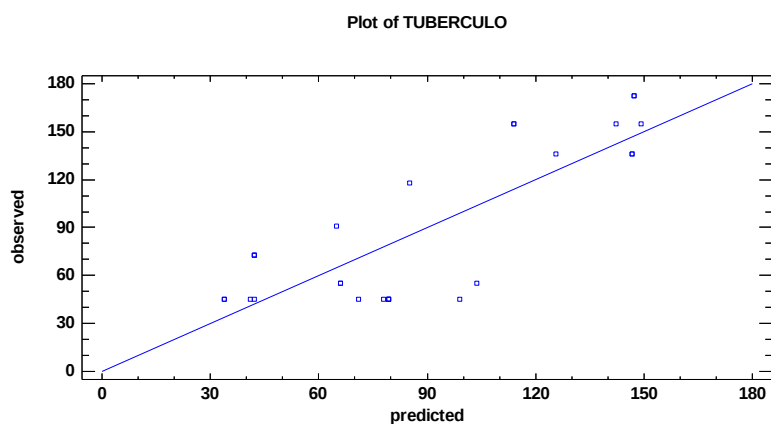


Figura 7. Gráfico observado vs predicho, obtenido en el modelo de regresión múltiple, tubérculo vs hoja, suelo (mg/l).

Elaborado por: El autor.

Residual contra Predicción. Este gráfico despliega los residuales contra los valores predichos, con una línea horizontal en cero.

Este gráfico es útil para detectar heteroscedasticidad en los datos. La nube puntos indica que la variabilidad de los residuos tiene una forma desordenada.

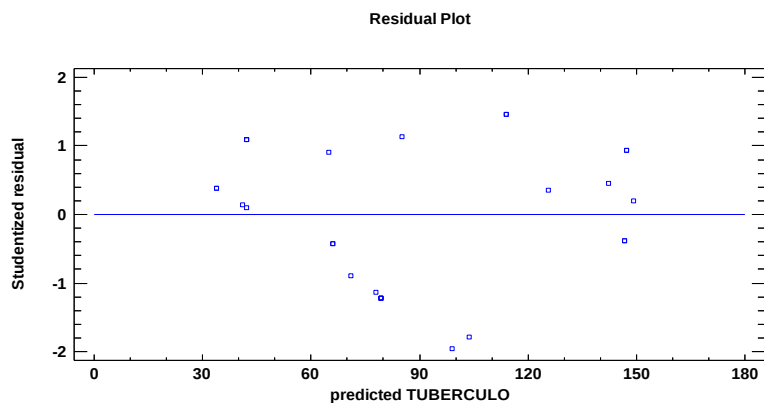


Figura 8. Gráfico residual vs el predicho, obtenido el modelo de regresión múltiple, tubérculo vs hoja, suelo (mg/l).

Elaborado por: El autor.

6.4.2. Análisis de regresión simple de la concentración NO_3 mg/l, tubérculo vs hoja.

Variable dependiente: TUBÉRCULO

Variable independiente: HOJA

Tabla 11.

Valores estadísticos estimados de las variables, concentración NO_3 (mg/l) del modelo de regresión simple tubérculo vs hoja.

Parámetro	Valores estimados (estructura de la ecuación)	Error Estándar	Error Estadístico	P-Valor
Intercepción	183,28	14,64	12,51	0,00 **
Pendiente	-0,15	0,02	-7,03	0,00**

Elaborado por: El autor.

Tabla 12.

Análisis de varianza de las variables, concentración NO_3 (mg/l) del modelo de regresión simple tubérculo vs hoja.

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	F-Ratio	P-Valor
Modelo	42277,50	1	42277,50	49,45	0,00**
Residuos	22230,40	26	855,014		
Total (Corr.)	64507,90	27			

Elaborado por: El autor.

Coeficientes de correlación

R^2 o coeficiente de determinación = 65,53%.

Estadística ajustada $R^2 = 64,21\%$

Error estándar = 29,24

Error absoluto medio = 24,69

** = significativo, ns = no significativo

La ecuación ajustada al modelo de regresión simple tubérculo vs hoja.

$$\text{Tubérculo} = 183,28 - 0,15 * \text{hoja}$$

La Fig. 9, permite visualizar la relación entre la variable dependiente (tubérculo) vs dependientes (hoja).

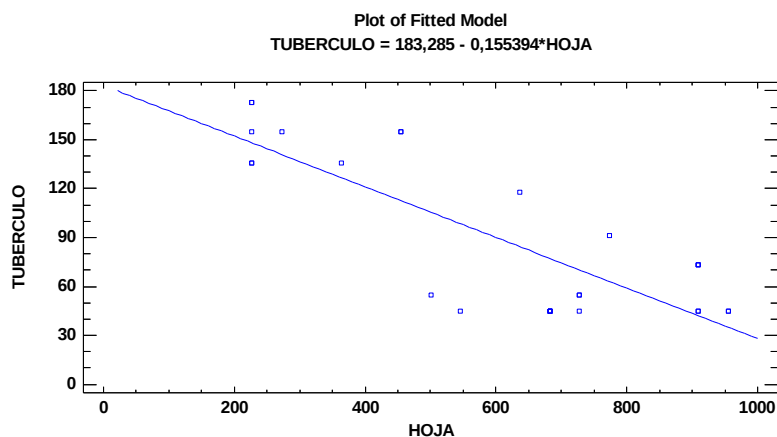


Figura 9. Gráfico del modelo dependiente = Tubérculo vs variable independiente (hoja). Modelo de regresión simple.

Elaborado por: El autor

Tabla 13.

Panel de predicciones del modelo de regresión simple tubérculo vs hoja de la concentración NO_3 (mg/l).

Número total de muestras de las variables	Concentración de nitrato en tubérculo mg/l	Valores Predichos de la recta de dependencia seleccionada	Errores Estándar de las Predicciones	Límites Inferiores para las Predicciones Valor hasta donde puede predecir el error.	Límites Superiores para las Predicciones Valor hasta donde puede predecir el error	Residuos Diferencias entre el valor dependiente y valores que predecimos
1	55	70,31	33,72	8,93	131,70	-15,31
2	45	98,60	30,38	37,35	159,84	-53,60
3	45	77,31	31,11	16,06	138,55	-32,31
4	73	42,03	31,02	-20,59	104,66	30,97
5	45	34,88	31,40	-28,22	97,99	10,12
6	136	148,01	31,79	84,37	211,65	-12,01
7	155	112,58	30,90	50,99	174,17	42,42
8	155	148,01	31,79	84,37	211,65	6,99
9	173	148,01	31,66	84,37	211,65	24,99
10	118	84,45	30,36	23,28	145,63	33,55
11	91	63,17	31,10	1,57	124,76	27,83
12	55	105,59	30,95	44,20	166,97	-50,59

Continuación de la tabla 13.

13	45	70,31	30,49	8,93	131,70	-25,31
14	45	77,31	31,11	16,06	138,55	-32,31
15	73	42,03	31,02	-20,59	104,66	30,97
16	45	34,88	31,40	-28,22	97,99	10,12
17	136	148,01	31,79	84,37	211,65	-12,01
18	55	70,31	33,72	8,93	131,70	-15,31
19	45	77,31	30,41	16,06	138,55	-32,31
20	45	77,31	31,11	16,06	138,55	-32,31
21	73	42,03	31,02	-20,59	104,66	30,97
22	155	140,86	31,54	77,77	203,96	14,14
23	173	148,01	31,66	84,37	211,65	24,99
24	45	77,31	31,11	16,06	138,55	-32,31
25	45	42,03	31,02	-20,59	104,66	2,97
26	45	42,03	31,18	-20,59	104,66	2,97
27	136	126,72	31,03	8,93	131,70	9,28
28	155	112,58	30,90	37,35	159,84	42,42

Elaborado por: El autor.

Resúmenes estadísticos.

Dado que el valor P en la tabla ANOVA es inferior a 0,05 (tabla 12), existe una relación estadísticamente significativa entre tubérculo y hoja con un nivel de confianza del 95,0%.

La estadística R^2 indica que el modelo como corresponde explica el 65,53% de la variabilidad en tubérculo. El coeficiente de correlación es igual a -0,80, lo que indica una relación moderadamente fuerte entre las variables. El error estándar de la estimación muestra que la desviación estándar de los residuos es 29,24. Este valor se puede usar para construir límites de predicción. El error absoluto medio (MAE) de 24,69 es el valor promedio de los residuos.

Los valores observados contra Predicho. Este gráfico despliega la respuesta observada Y contra los valores predichos, junto con una línea diagonal. Este modelo nos indica los puntos que están dispersos aleatoriamente alrededor de la línea diagonal, y se concluye que por el coeficiente de determinación de 65 % y forma de dispersión de puntos tiene una correlación moderada.

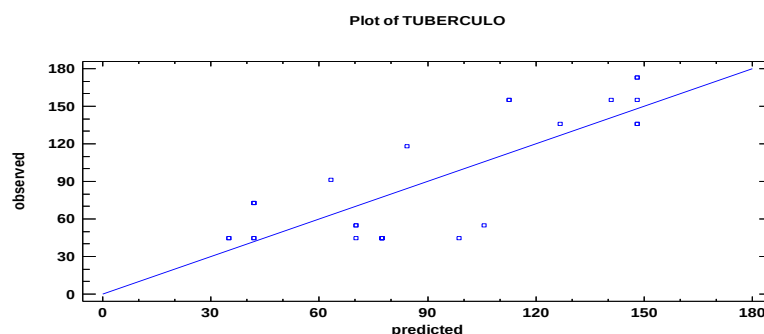


Figura 10. Gráfico observado vs predicho, obtenido en el modelo de regresión simple, tubérculo vs hoja (mg/l).

Elaborado por: El autor.

Residual contra Predicción. Este gráfico despliega los residuales contra los valores predichos, con una línea horizontal en cero. Este gráfico es útil para detectar heteroscedasticidad en los datos. La nube puntos indica que la variabilidad de los residuos tiene una forma desordenada no cambia.

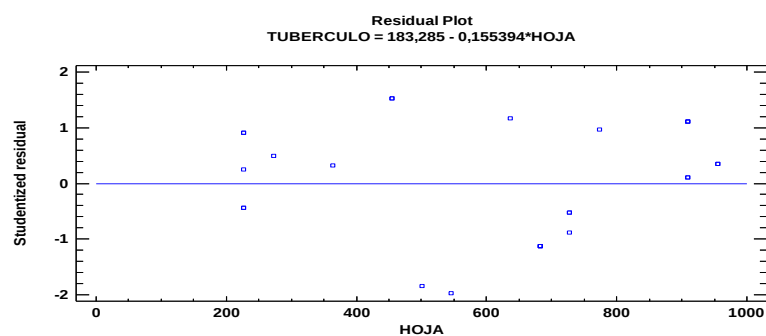


Figura 11. Gráfico residual vs el predicho, obtenido el modelo de regresión simple, tubérculo vs hoja (mg/l).

Elaborado por: El autor.

6.4.3. Análisis de regresión simple de la concentración NO_3 mg/l, tubérculo vs suelo.

Variable dependiente: TUBÉRCULO

Variable independiente: SUELO

Tabla 14.

Valores estadísticos estimados de las variables, concentración NO_3 (mg/l) del modelo de regresión simple tubérculo vs suelo.

Parámetro	Valores estimados (estructura de la ecuación)	Error Estándar	Error Estadístico	P-Valor
Intercepción	109,64	28,35	3,86	0,00n.s
Pendiente	-0,17	0,21	-0,81	0,42 n.s

Elaborado por: El autor.

Tabla 15.

Análisis de varianza de las variables, concentración NO_3 (mg/l) del modelo de regresión simple tubérculo vs suelo.

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	F-Radio	P-Valor
Modelo	1591,11	1	1591,11	0,66	0,42 n.s
Residuos	62916,70	26	2419,87		
Total (Corr.)	64507,90	27			

Elaborado por: El autor.

Coefficientes de correlación

R^2 o Coeficiente de determinación = 2,46 %

Estadística ajustada $R^2 = -1,2,91\%$

Error estándar = 49,19

Error absoluto medio = 42,63

** = significativo, ns= no significativo

Ecuación ajustada al modelo de regresión simple tubérculo vs suelo.

$$\text{Tubérculo} = 109,64 - 0,17 * \text{suelo}$$

La Fig. 12, permite visualizar la relación ente la variable dependiente (tubérculo) vs dependientes (suelo). Modelo de regresión simple.

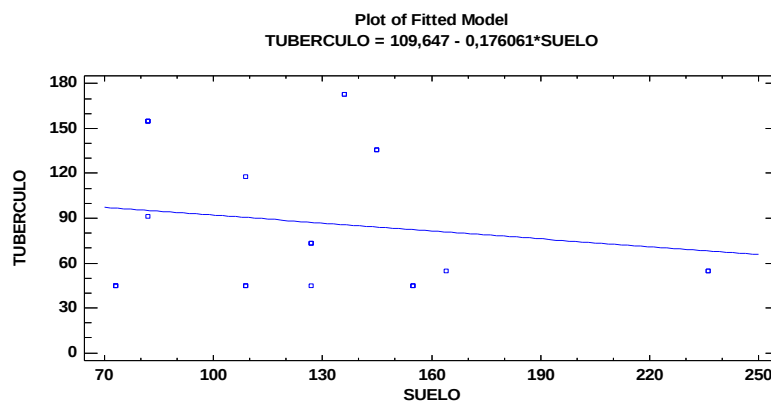


Figura 12. Gráfico del modelo dependiente = Tubérculo vs variables independientes (suelo). Modelo de regresión simple.

Elaborado por: El autor

Tabla 16: Panel de predicciones del modelo de regresión simple tubérculo vs suelo de la concentración NO_3 (mg/l).

Número total de muestras de las variables	Concentración de nitrato en tubérculo mg/l	Valores Predichos de la recta de dependencia seleccionada	Errores Estándar de las Predicciones	Límites Inferiores para las Predicciones Valor hasta donde puede predecir el error.	Límites Superiores para las Predicciones Valor hasta donde puede predecir el error	Residuos Diferencias entre el valor dependiente y valores que predecimos
1	55	68,10	33,72	-46,43	182,63	-13,10
2	45	90,46	30,38	-12,65	193,56	-45,46
3	45	96,79	31,11	-8,54	202,13	-51,79
4	73	87,29	31,02	-15,63	190,21	-14,29
5	45	82,36	31,40	-21,51	186,23	-37,36
6	136	84,12	31,79	-19,24	187,48	51,88
7	155	95,21	30,90	-9,34	199,76	59,79
8	155	95,21	31,79	-9,34	199,76	59,79
9	173	85,70	31,66	-17,36	188,76	87,30
10	118	90,46	30,36	-12,65	193,56	27,54
11	91	95,21	31,10	-9,34	199,76	-4,21
12	55	80,77	30,95	-23,72	185,27	-25,77

Continuación de la tabla 16.

13	45	90,46	30,49	-12,65	193,56	-45,46
14	45	96,79	31,11	-8,54	202,13	-51,79
15	73	87,29	31,02	-15,63	190,21	-14,29
16	45	82,36	31,40	-21,51	186,23	-37,36
17	136	84,12	31,79	-19,24	187,48	51,88
18	55	68,10	33,72	-46,43	182,63	-13,10
19	45	90,46	30,41	-12,65	193,56	-45,46
20	45	96,79	31,11	-8,54	202,13	-51,79
21	73	87,29	31,02	-15,63	190,21	-14,29
22	155	95,21	31,54	-9,34	199,76	59,79
23	173	85,70	31,66	-17,36	188,76	87,30
24	45	96,79	31,11	-8,54	202,13	-51,79
25	45	87,29	31,02	-15,63	190,21	-42,29
26	45	82,36	31,18	-21,51	186,23	-37,36
27	136	84,12	31,03	-19,24	187,48	51,88
28	155	95,21	30,90	-9,34	199,76	59,79

Elaborado por: El autor.

Resúmenes estadísticos

Como el valor P en la tabla ANOVA es mayor o igual a 0,05 (tabla 15) no hay una relación estadísticamente significativa entre tubérculo y suelo con un nivel de confianza del 95,0% o superior.

La estadística R^2 indica que el modelo como corresponde explica el 2,46% de la variabilidad en tubérculo. El coeficiente de correlación es igual a -0,15, lo que indica una relación débil entre las variables. El error estándar de la estimación muestra que la desviación estándar de los residuos es 49,19. Este valor se puede usar para construir límites de predicción. El error absoluto medio (MAE) de 42,63 es el valor promedio de los residuos.

Los valores observados contra Predicho. Este gráfico despliega la respuesta observada Y contra los valores predichos, junto con una línea diagonal.

Este modelo nos indica los puntos que están dispersos aleatoriamente alrededor de la línea diagonal, y se concluye que por el coeficiente de determinación de 2 % y forma de dispersión de puntos tiene una correlación baja.

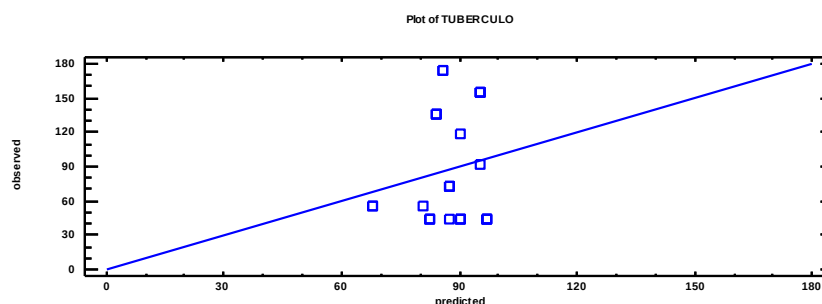


Figura 13. Gráfico observado vs predicho, obtenido en el modelo de regresión simple, tubérculo vs suelo (mg/l).

Elaborado por: El autor.

Residual contra Predicción: Este gráfico despliega los residuales contra los valores predichos, con una línea horizontal en cero. Este gráfico es útil para detectar heteroscedasticidad en los datos. La nube puntos indica que la variabilidad de los residuos tiene una forma desordenada.

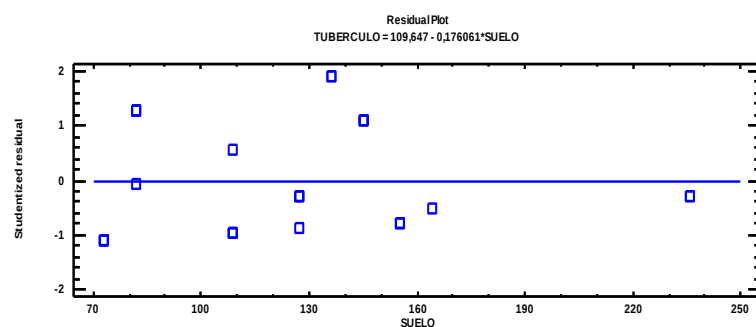


Figura 14. Gráfico residual vs el predicho, obtenido el modelo de regresión simple, tubérculo vs hoja (mg/l).

Elaborado por: El autor.

6.4.4. Análisis de regresión polinomial de la concentración NO_3 mg/l, tubérculo vs hoja.

Variable dependiente: TUBÉRCULO

Variable independiente: HOJA

Tabla 17.

Valores estadísticos estimados de las variables, concentración NO_3 (mg/l) del modelo de regresión polinomial tubérculo vs hoja.

Parámetro	Valores estimados (estructura de la ecuación)	Error Estándar	Error Estadístico	P-Valor
Constante	247,64	28,84	8,58	0,00 **
Hoja	-0,43	0,11	-3,86	0,00**
Hoja ²	0,00	0,00	2,51	0,01**

Elaborado por: El autor.

Tabla 18.

Análisis de varianza de las variables, concentración NO_3 (mg/l) del modelo de regresión polinomial tubérculo vs hoja.

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	F-Ratio	P-Valor
Modelo	46769,60	2	23384,8	32,96	0,00**
Residual	17738,20	25	709,529		
Total (Corr.)	64507,9	27			

Elaborado por: El autor.

Coeficientes de correlación

R^2 o Coeficiente de determinación = 72,50 %

Estadística ajustada R^2 = 70,30

Error estándar = 26,63

Error absoluto medio = 20,94

** = significativo, ns= no significativo

Ecuación ajustada al modelo de polinomial, tubérculo vs hoja.

$$\text{Tubérculo} = 247,64 - 0,43 * \text{hoja} + 0,00024 * \text{hoja}^2$$

La Fig. 15, permite visualizar la relación ente la variable dependiente (tubérculo) vs dependientes (hoja y suelo). Modelo polinomial.

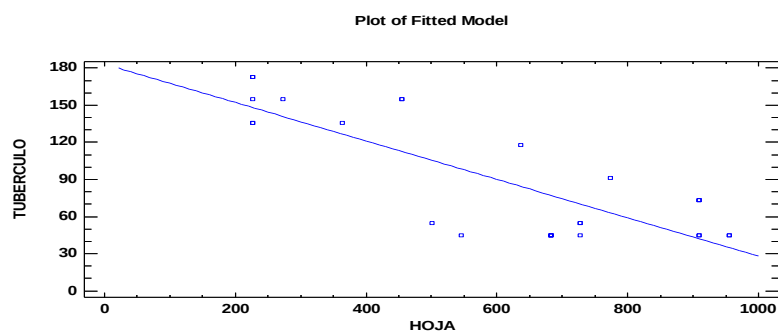


Figura 15. Gráfico del modelo dependiente = Tubérculo vs variables independientes (hoja). Modelo polinomial.

Elaborado por el autor

Tabla 19.

Panel de predicciones del modelo de regresión polinomial tubérculo vs hoja de la concentración NO₃ (mg/l).

Número total de muestras de las variables.	Concentración de nitrato en tubérculo mg/l	Valores Predichos de la recta de dependencia seleccionada	Errores Estándar de las Predicciones	Límites Inferiores para las Predicciones Valor hasta donde puede predecir el error.	Límites Superiores para las Predicciones Valor hasta donde puede predecir el error	Residuos Diferencias entre el valor dependiente y valores que predecimos
1	55	60,44	27,49	3,94	116,93	-5,44
2	45	83,35	27,81	26,18	140,52	-38,35
3	45	64,61	27,61	7,86	121,36	-19,61
4	73	53,52	28,13	-4,30	111,33	19,48
5	45	54,30	29,01	-5,33	113,93	-9,30
6	136	161,79	28,73	102,73	220,84	-25,79
7	155	100,60	27,71	43,64	157,55	54,40
8	155	161,79	28,73	102,73	220,84	-6,79
9	173	161,79	28,73	102,73	220,84	11,21
10	118	69,89	27,72	12,91	126,88	48,11
11	91	57,18	27,40	0,85	113,50	33,82
12	55	91,48	27,78	34,39	148,58	-36,48

Continuación de la tabla 19.

13	45	60,44	27,49	3,94	116,93	-15,44
14	45	64,61	27,61	7,86	121,36	-19,61
15	73	53,52	28,13	-4,30	111,33	19,48
16	45	54,30	29,01	-5,33	113,93	-9,30
17	136	161,79	28,73	102,73	220,84	-25,79
18	55	60,44	27,49	3,94	116,93	-5,44
19	45	64,61	27,61	7,86	121,36	-19,61
20	45	64,61	27,61	7,86	121,36	-19,61
21	73	53,52	28,13	-4,30	111,33	19,48
22	155	147,42	28,08	89,69	205,15	7,58
23	173	161,79	28,73	102,73	220,84	11,21
24	45	64,61	27,61	7,86	121,36	-19,61
25	45	53,52	28,13	-4,30	111,33	-8,52
26	45	53,52	28,13	-4,30	111,33	-8,52
27	136	122,01	27,63	65,21	178,81	13,99
28	155	100,60	27,71	43,64	157,55	54,40

Elaborado por: El autor.

Resúmenes estadísticos.

Dado que el valor P en la tabla ANOVA es inferior a 0,05 (tabla 18), existe una relación estadísticamente significativa entre tubérculo y hoja con un nivel de confianza del 95%.

La estadística R^2 indica que el modelo como corresponde explica el 72,50% de la variabilidad en tubérculo.

La estadística ajustada R^2 , que es más adecuada para comparar modelos con diferentes números de variables independientes, es 70,30%.

El error estándar de la estimación muestra que la desviación estándar de los residuos es 26,63. Este valor se puede usar para construir límites de predicción. El error absoluto medio (MAE) de 20,94 es el valor promedio de los residuos.

Los valores observados contra Predicho. Este gráfico despliega la respuesta observada Y contra los valores predichos, junto con una línea diagonal.

Este modelo nos indica los puntos que están dispersos aleatoriamente alrededor de la línea diagonal, y se concluye que por el coeficiente de determinación de 72 % y forma de dispersión de puntos tiene una correlación alta.

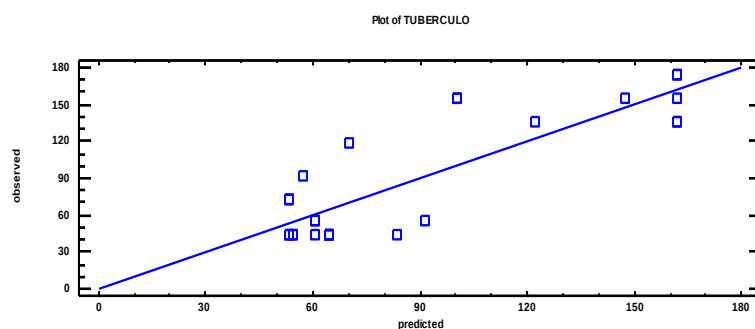


Figura 16: Gráfico observado vs predicho, obtenido en el modelo de regresión polinomial, tubérculo vs hoja (mg/l).

Elaborado por: El autor.

Residual contra Predicción: Este gráfico despliega los residuales contra los valores predichos, con una línea horizontal en cero. Este gráfico es útil para detectar heteroscedasticidad en los datos. La nube puntos indica que la variabilidad de los residuos tiene una forma desordenada.

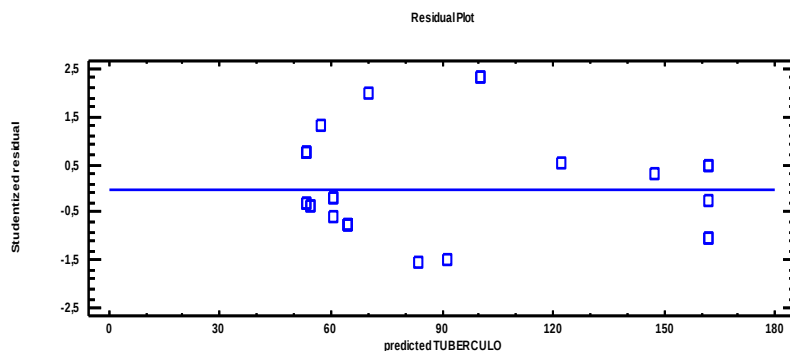


Figura 17: Gráfico residual vs el predicho, obtenido el modelo de regresión polinomial, tubérculo vs hoja (mg/l).

Elaborado por: El autor.

6.4.5. Análisis de regresión polinomial de la concentración NO_3 mg/l, tubérculo vs suelo.

Variable dependiente: TUBÉRCULO,

Variable independiente: SUELO

Tabla 20.

Valores estadísticos estimados de las variables, concentración NO_3 (mg/l) del modelo de regresión polinomial tubérculo vs suelo.

Parámetro	Valores estimados para formar la ecuación	Error Estándar	Error Estadístico	P-Valor
Constante	55,18	74,03	0,74	0,46 n.s
Suelo	0,66	1,08	0,61	0,54 n.s
Suelo ²	-0,0029	0,00	-0,79	0,43 n.s

Elaborado por: El autor.

Tabla 21: *Análisis de varianza de la concentración NO_3 (mg/l) de las variables, perteneciente al modelo de regresión polinomial tubérculo vs suelo..*

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	F-Ratio	P-Valor
Modelo	153,10	2	76,55	0,65	0,53 n.s
Residuos	2943,32	25	117,73		
Total (Corr.)	3096,43				

Elaborado por: El autor.

Coeficientes de correlación

R^2 o Coeficiente de determinación = 4,88 %

Estadística ajustada $R^2 = 0$

Error estándar = 49,54

Error absoluto medio = 42,14

** = significativo

ns= no significativo

Ecuación ajustada al modelo de regresión polinomial, tubérculo vs suelo.

$$\text{Tubérculo} = 55,18 + 0,66 * \text{suelo} - 0,0029 * \text{Suelo}^2$$

La Fig. 18, permite visualizar la relación ente la variable dependiente (tubérculo) vs dependientes (suelo). Modelo de regresión polinomial.

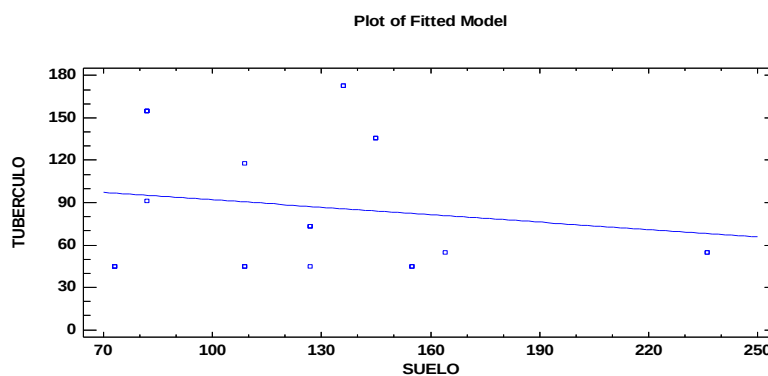


Figura 18. Gráfico del modelo dependiente = Tubérculo vs variables independientes (suelo). Modelo de regresión polinomial.

Elaborado por: El autor.

Tabla 22.

Panel de predicciones del modelo de regresión polinomial tubérculo vs hoja de la concentración NO₃ (mg/l).

Número total de muestras de las variables.	Concentración de nitrato en tubérculo mg/l	Valores Predichos de la recta de dependencia seleccionada.	Errores Estándar de las Predicciones	Límites Inferiores para las Predicciones Valor hasta donde puede predecir el error.	Límites Superiores para las Predicciones Valor hasta donde puede predecir el error.	Residuos Diferencias entre el valor dependiente y valores que predecimos.
1	55	50,33	60,37	-73,77	116,93	4,67
2	45	93,43	50,65	-10,69	140,52	-48,43
3	45	88,49	52,65	-19,73	121,36	-43,49
4	73	93,06	50,94	-11,65	111,33	-20,06
5	45	88,72	51,51	-17,16	113,93	-43,72
6	136	90,80	51,33	-14,71	220,84	45,20
7	155	90,43	51,57	-15,57	157,55	64,57
8	155	90,43	51,57	-15,57	220,84	64,57
9	173	92,17	51,14	-12,95	220,84	80,83
10	118	93,43	50,65	-10,69	126,88	24,57
11	91	90,43	51,57	-15,57	113,50	0,57
12	55	86,35	51,67	-19,86	148,58	-31,35

Continuación de la tabla 22.

13	45	93,43	50,65	-10,69	116,93	-48,43
14	45	88,49	52,65	-19,73	121,36	-43,49
15	73	93,06	50,94	-11,65	111,33	-20,06
16	45	88,72	51,51	-17,16	113,93	-43,72
17	136	90,80	51,33	-14,71	220,84	45,20
18	55	50,33	60,37	-73,77	116,93	4,67
19	45	93,43	50,65	-10,69	121,36	-48,43
20	45	88,49	52,65	-19,73	121,36	-43,49
21	73	93,06	50,94	-11,65	111,33	-20,06
22	155	90,43	51,57	-15,57	205,15	64,57
23	173	92,17	51,14	-12,95	220,84	80,83
24	45	88,49	52,65	-19,73	121,36	-43,49
25	45	93,06	50,94	-11,65	111,33	-48,06
26	45	88,72	51,51	-17,16	111,33	-43,72
27	136	90,80	51,33	178,81	45,20	45,20
28	155	90,43	51,57	157,55	64,57	64,57

Elaborado por: El autor.

Resúmenes estadísticos.

Como el valor P en la tabla ANOVA es mayor o igual a 0,05 (tabla 21), no hay una relación estadísticamente significativa entre tubérculo y suelo con un nivel de confianza del 95% o superior.

La estadística R^2 indica que el modelo según corresponde explica el 4,88% de la variabilidad en tubérculo. El estadístico R^2 ajustado, que es más adecuado para comparar modelos con diferentes números de variables independientes, es 0,0%.

El error estándar de la estimación muestra que la desviación estándar de los residuos es de 49,54. Este valor se puede usar para construir límites de predicción. El error absoluto medio (MAE) de 42,14 es el valor promedio de los residuos.

Valores observados contra Predicho. Este gráfico despliega la respuesta observada Y contra los valores predichos, junto con una línea diagonal.

Este modelo nos indica los puntos que están dispersos aleatoriamente alrededor de la línea diagonal, y se concluye que por el coeficiente de determinación de 4 % y forma de dispersión de puntos tiene una correlación baja.

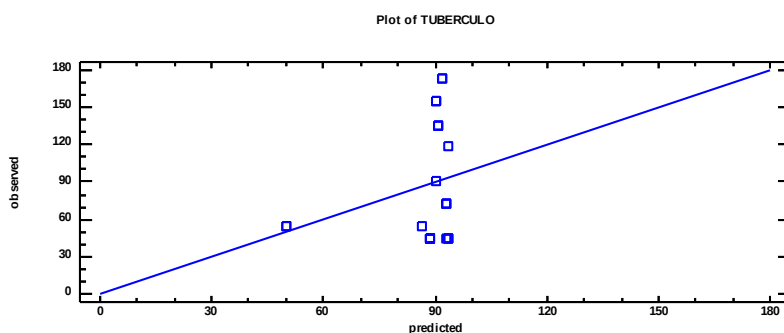


Figura 19. Gráfico observado vs predicho, de los datos cuantificados en el modelo de regresión polinomial, tubérculo vs suelo (mg/l).

Elaborado por: El autor.

Residual contra Predicción: Este gráfico despliega los residuales contra los valores predichos, con una línea horizontal en cero. Este gráfico es útil para detectar heteroscedasticidad en los datos. La nube puntos indica que la variabilidad de los residuos tiene una forma desordenada.

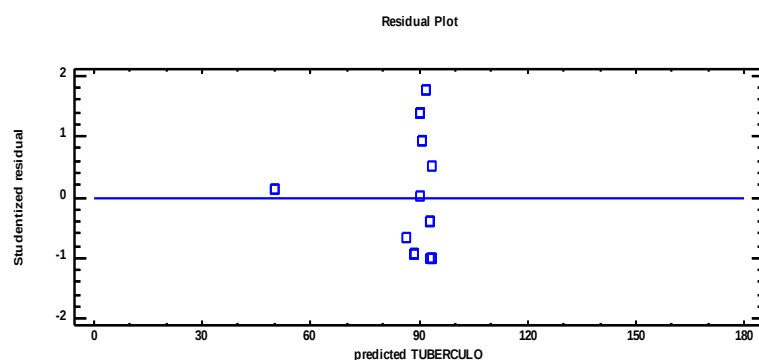


Figura 20. Gráfico residual vs el predicho, de los datos cuantificados en el modelo de regresión polinomial, tubérculo vs suelo (mg/l).

Elaborado por: El autor.

6.4.6. Análisis de regresión múltiple de la concentración NO_3 mg/kg tubérculo vs hoja, suelo.

Variable dependiente: TUBÉRCULO

Variables independientes: HOJAS y SUELO

Tabla 23.

Valores estadísticos estimados de las variables, concentración NO_3 (mg/kg) del modelo de regresión múltiple tubérculo vs hoja, suelo.

Parámetro	Valores estimados (estructura de la ecuación)	Error Estándar	Error Estadístico	P-Valor
Constante	374,79	40,87	9,16	0,00**
Hoja	-0,15	0,022	-6,83	0,00**
Suelo	-0,039	0,13	-0,30	0,76 n.s

Elaborado por: El autor.

Tabla 24.

Análisis de varianza de las variables, concentración NO_3 (mg/kg) del modelo de regresión múltiple tubérculo vs hoja, suelo.

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	F-Ratio	P-Valor
Modelo	168644,00	2	84321,9	24,25	0,00 **
Residuos	86922,10	25	3476,88		
Total (Corr.)	255566,	27			

Elaborado por: El autor.

Coeficientes de correlación

R^2 o Coeficiente de determinación = 65,98 %

Estadística ajustada R^2 63,26%

Error estándar = 58,96

Error absoluto medio = 48,55

** = significativo, ns= no significativo

Ecuación ajustada al modelo de regresión múltiple, tubérculo vs suelo, hoja.

$$\text{Tubérculo} = 374,79 - 0,15 * \text{HOJA} - 0,03 * \text{suelo}$$

La Fig. 21, permite visualizar la relación ente la variable dependiente (tubérculo) vs dependientes (hoja y suelo). Modelo de regresión múltiple.

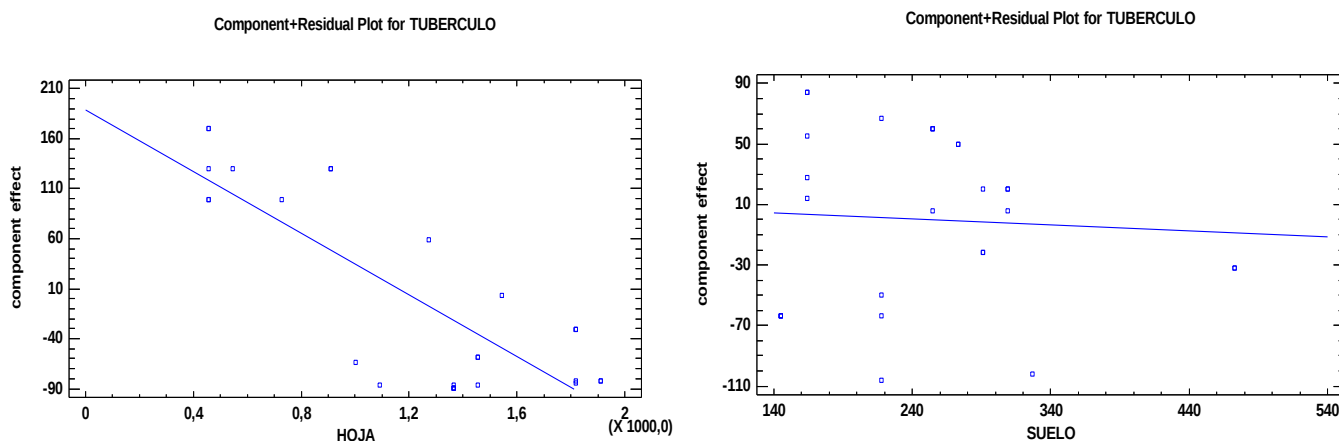


Figura 21. Gráfico del modelo dependiente = Tubérculo vs variables independientes (hoja y suelo). Modelo de regresión simple.

Elaborado por: El autor.

Tabla 25.

Panel de predicciones del modelo de regresión múltiple tubérculo vs hoja, suelo de la concentración NO₃ (mg/kg).

Número total de muestras de las variables.	Concentración de nitrato en tubérculo mg/kg	Valores Predichos de la recta de dependencia seleccionada	Errores Estándar de las Predicciones	Límites Inferiores para las Predicciones Valor hasta donde puede predecir el error.	Límites Superiores para las Predicciones Valor hasta donde puede predecir el error	Residuos Diferencias entre el valor dependiente y valores que predecimos
1	109	131,94	66,79	-5,62	269,50	-22,94
2	91	198,08	60,18	74,14	322,02	-107,08
3	91	158,89	61,65	31,92	285,86	-67,89
4	145	84,59	61,44	-41,95	211,14	60,41
5	91	68,44	62,18	-59,62	196,51	22,56
6	273	293,22	62,99	163,49	422,94	-20,21
7	309	228,26	61,22	102,18	354,33	80,74
8	309	298,22	62,98	168,52	427,92	10,78
9	345	293,92	62,72	164,75	423,10	51,08
10	236	170,04	60,15	46,16	293,91	65,96
11	182	130,25	61,59	3,40	257,09	51,75
12	109	207,81	61,27	81,63	333,99	-98,81

Continuación de la tabla 25.

13	91	141,99	60,39	17,61	266,37	-50,99
14	91	158,89	61,65	31,92	285,86	-67,89
15	145	84,59	61,44	-41,95	211,14	60,41
16	91	68,44	62,18	-59,62	196,51	22,56
17	273	293,22	62,99	163,49	422,94	-20,21
18	109	131,94	66,79	-5,62	269,50	-22,94
19	91	156,01	60,24	31,96	280,07	-65,01
20	91	158,89	61,65	31,92	285,86	-67,89
21	145	84,59	61,44	-41,95	211,14	60,41
22	309	284,35	62,50	155,63	413,07	24,65
23	345	293,92	62,72	164,75	423,10	51,08
24	91	158,89	61,65	31,92	285,86	-67,89
25	91	84,59	61,44	-41,95	211,14	6,41
26	91	82,47	61,75	-44,70	209,63	8,53
27	273	251,30	61,49	124,66	377,94	21,70
28	309	228,26	61,22	102,18	354,33	80,74

Elaborado por: El autor.

Resúmenes estadísticos.

Como el valor P en la tabla en la tabla ANOVA es inferior a 0,05 (tabla 24), existe una relación estadísticamente significativa entre las variables al nivel de confianza del 95,0%.

La estadística R^2 indica que el modelo según corresponde explica el 65,98% de la variabilidad en tubérculo.

La estadística ajustada R^2 , que es más adecuada para comparar modelos con diferentes números de variables independientes, es 63,26%. El error estándar de la estimación muestra que la desviación estándar de los residuos es de 58,96. Este valor se puede usar para construir límites de predicción. El error absoluto medio (MAE) de 48,55 es el valor promedio de los residuos.

Para determinar si el modelo se puede simplificar, tenga en cuenta que el valor P más alto en las variables independientes es 0,76 (tabla 23) que pertenece a suelo. Como el valor P es mayor o igual a 0,05, ese término no es estadísticamente significativo con un nivel de confianza del 95,0% o superior. En consecuencia, debería considerar eliminar suelo del modelo.

Valores observados contra Predicho. Este gráfico despliega la respuesta observada Y contra los valores predichos, junto con una línea diagonal. Este modelo nos indica los puntos que están dispersos aleatoriamente alrededor de la línea diagonal, y se concluye que por el coeficiente de determinación de 65 % y forma de dispersión de puntos tiene una correlación moderada.

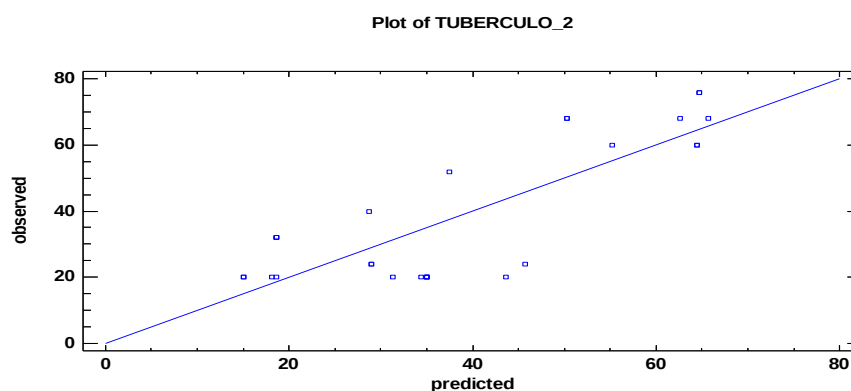


Figura 22. Gráfico observado vs predicho, obtenido en el modelo de regresión múltiple, tubérculo vs hoja, suelo (mg/kg).

Elaborado por: El autor.

Residual contra Predicción: Este gráfico despliega los residuales contra los valores predichos, con una línea horizontal en cero. Este gráfico es útil para detectar heteroscedasticidad en los datos. La nube puntos indica que la variabilidad de los residuos tiene una forma desordenada.

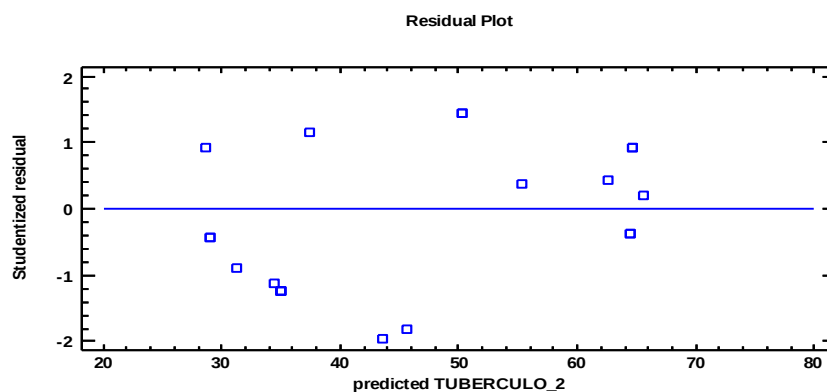


Figura 23. Gráfico residual vs el predicho, obtenido el modelo de regresión múltiple, tubérculo vs hoja, suelo (mg/kg).

Elaborado por: El autor.

6.4.7. Análisis de regresión simple de la concentración NO_3 mg/kg tubérculo vs hoja.

Variable dependiente: TUBÉRCULO

Variable independiente: HOJA

Tabla 26.

Valores estadísticos estimados de las variables, concentración NO_3 (mg/kg) del modelo de regresión simple tubérculo vs hoja.

Parámetro	Valores estimados (estructura de la ecuación)	Error Estándar	Error Estadístico	P-Valor
Intercepción	366,30	29,02	12,62	0,00**
Pendiente	-0,15	0,02	-7,08	0,00**

Elaborado por: El autor.

Tabla 27.

Análisis de varianza de las variables, concentración NO_3 (mg/kg) del modelo de regresión simple vs hoja.

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	F-Ratio	P-Valor
Modelo	168330,00	1	168330,	50,17	0,00**
Residuos	87236,20	26	3355,24		
Total (Corr.)	255566,00	27			

Elaborado por: El autor.

Coeficientes de correlación

R^2 o Coeficiente de determinación = 65,86 %

Estadística ajustada R^2 64,55%

Error estándar = 57,92

Error absoluto medio = 48,95

** = significativo, ns= no significativo

Ecuación ajustada al modelo de regresión simple, tubérculo vs hoja.

$$\text{Tubérculo} = 366,30 - 0,15 * \text{hoja}$$

La Fig. 24, permite visualizar la relación entre la variable dependiente (tubérculo) vs dependientes (hoja). Modelo de regresión simple.

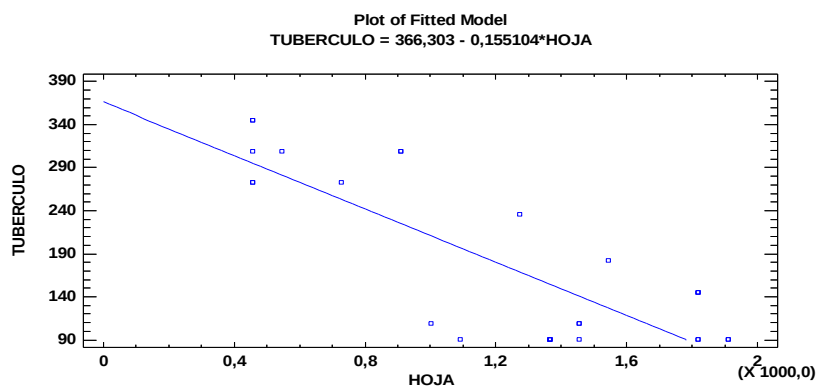


Figura 24. Gráfico del modelo dependiente = Tubérculo vs variables independientes (hoja). Modelo de regresión simple.

Elaborado por: El autor

Tabla 28.

Panel de predicciones del modelo de regresión simple tubérculo vs hoja de la concentración NO₃ (mg/kg).

Número total de muestras de las variables.	Concentración de nitrato en tubérculo mg/kg	Valores Predichos de la recta de dependencia seleccionada	Errores Estándar de las Predicciones	Límites Inferiores para las Predicciones Valor hasta donde puede predecir el error.	Límites Superiores para las Predicciones Valor hasta donde puede predecir el error	Residuos Diferencias entre el valor dependiente y valores que predecimos
1	109	140,63	66,79	19,02	262,23	-31,63
2	91	197,08	60,18	75,76	318,41	-106,08
3	91	154,74	61,65	33,41	276,07	-63,74
4	145	84,32	61,44	-39,73	208,38	60,68
5	91	70,21	62,18	-54,79	195,21	20,79
6	273	295,73	62,99	169,67	421,79	-22,73
7	309	225,31	61,22	103,30	347,33	83,69
8	309	295,73	62,98	169,67	421,79	13,27
9	345	295,73	62,72	169,67	421,79	49,27
10	236	168,86	60,15	47,66	290,05	67,15
11	182	126,67	61,59	4,65	248,68	55,33
12	109	211,20	61,27	89,59	332,80	-102,20

Continuación de la tabla 28.

13	91	140,63	60,39	19,02	262,23	-49,63
14	91	154,74	61,65	33,41	276,07	-63,74
15	145	84,32	61,44	-39,73	208,38	60,68
16	91	70,21	62,18	-54,79	195,21	20,79
17	273	295,73	62,99	169,67	421,79	-22,73
18	109	140,63	66,79	19,02	262,23	-31,63
19	91	154,74	60,24	33,41	276,07	-63,74
20	91	154,74	61,65	33,41	276,07	-63,74
21	145	84,32	61,44	-39,73	208,38	60,68
22	309	281,77	62,50	156,77	406,78	27,23
23	345	295,73	62,72	169,67	421,79	49,27
24	91	154,74	61,65	33,41	276,07	-63,74
25	91	84,32	61,44	-39,73	208,38	6,68
26	91	84,32	61,75	-39,73	208,38	6,68
27	273	253,54	61,49	130,29	376,79	19,46
28	309	225,31	61,22	103,30	347,33	83,69

Elaborado por: El autor.

Resúmenes estadísticos.

Dado que el valor P en la tabla ANOVA es inferior a 0,05 (tabla 27), existe una relación estadísticamente significativa entre tubérculo y hoja con un nivel de confianza del 95,0%.

La estadística R^2 indica que el modelo según corresponde explica el 65,86% de la variabilidad en TUBÉRCULO.

El coeficiente de correlación es igual a -0,81, lo que indica una relación moderadamente fuerte entre las variables.

El error estándar de la estimación muestra que la desviación estándar de los residuos es 57,92. Este valor se puede usar para construir límites de predicción. El error absoluto medio (MAE) de 48,95 es el valor promedio de los residuos.

Los valores observados contra Predicho. Este gráfico despliega la respuesta observada Y contra los valores predichos, junto con una línea diagonal.

Este modelo nos indica los puntos que están dispersos aleatoriamente alrededor de la línea diagonal, y se concluye que por el coeficiente de determinación de 65 % y forma de dispersión de puntos tiene una correlación moderada.

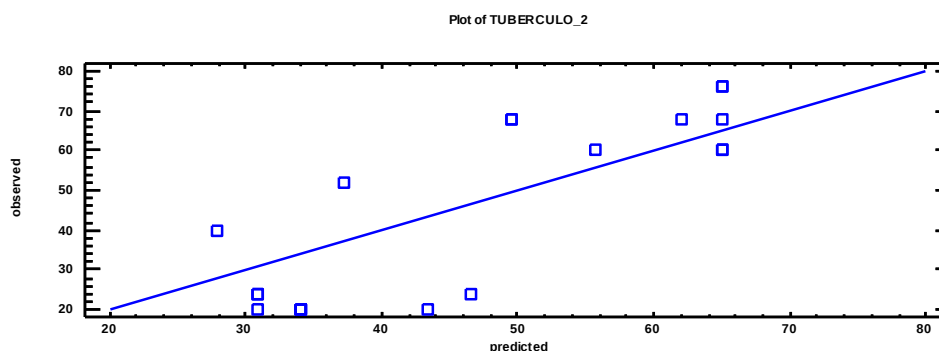
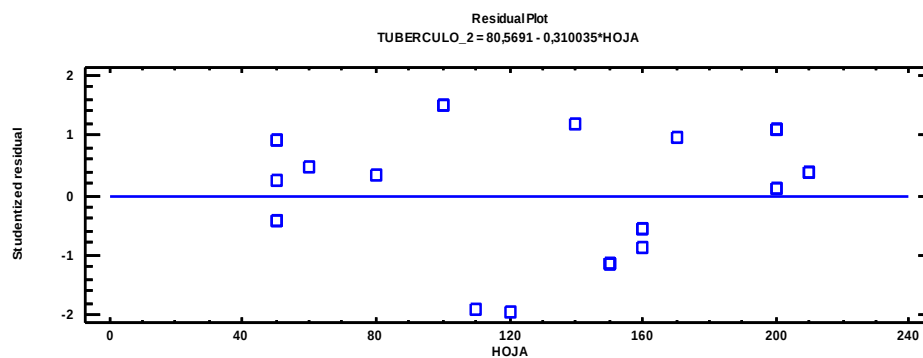


Figura 25. Gráfico observado vs predicho, obtenido en el modelo de regresión simple, tubérculo vs hoja (mg/kg).

Elaborado por: El autor.

Residual contra Predicción: Este gráfico despliega los residuales contra los valores predichos, con una línea horizontal en cero. Este gráfico es útil para detectar heteroscedasticidad en los datos. La nube puntos indica que la variabilidad de los residuos tiene una forma desordenada.



Elaborada por el autor

Figura 26: Gráfico residual vs el predicho, obtenido el modelo de regresión simple, tubérculo vs hoja (mg/kg).

6.4.8. Análisis de regresión simple de la concentración NO_3 mg/kg tubérculo vs suelo.

Variable dependiente: TUBÉRCULO

Variable independiente: SUELO

Tabla 29.

Valores estadísticos estimados de las variables, concentración NO_3 (mg/kg) del modelo de regresión simple tubérculo vs suelo.

Parámetros	Valores estimados (estructura de la ecuación)	Error Estándar	Error Estadístico	P-Valor
Intercepción.	218,39	56,27	3,880	0,0007 n.s
Pendiente	-0,17	0,21	-0,79	0,43 n.s

Elaborado por: El autor.

Tabla 30.

Análisis de varianza de las variables, concentración NO_3 (mg/kg) del modelo de regresión simple vs suelo.

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	F-Radio	P-Valor
Modelo	6126,60	1	6126,60	0,64	0,43 n.s
Residuos	249439,00	26	9593,82		
Total (Corr.)	255566,00	27			

Elaborado por: El autor.

Coeficientes de correlación

R^2 o Coeficiente de determinación = 2,39 %

Estadística ajustada $R^2 = -1,35$

Error estándar = 97,94

Error absoluto medio = 85,11

** = significativo, ns= no significativo

Ecuación ajustada al modelo de regresión simple, tubérculo vs suelo.

$$\text{Tubérculo} = 218,39 - 0,17 * \text{suelo}$$

La Fig. 27, permite visualizar la relación ente la variable dependiente (tubérculo) vs dependientes (suelo). Modelo de regresión simple.

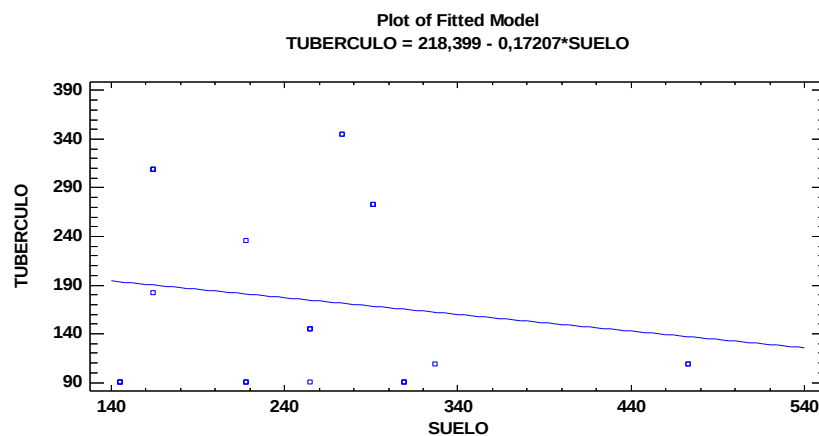


Figura 27. Gráfico del modelo dependiente = Tubérculo vs variables independientes (suelo). Modelo de regresión simple.

Elaborado por el autor.

Tabla 31.

Panel de predicciones del modelo de regresión simple tubérculo vs suelo de la concentración NO₃ (mg/kg).

Número total de muestras de las variables.	Concentración de nitrato en tubérculo mg/kg	Valores Predichos de la recta de dependencia seleccionada	Errores Estándar de las Predicciones	Límites Inferiores para las Predicciones Valor hasta donde puede predecir el error.	Límites Superiores para las Predicciones Valor hasta donde puede predecir el error	Residuos Diferencias entre el valor dependiente y valores que predecimos
1	109	137,01	66,79	-91,04	365,06	-28,01
2	91	180,89	60,18	-24,41	386,18	-89,89
3	91	193,45	61,65	-16,35	403,25	-102,45
4	145	174,52	61,44	-30,41	379,45	-29,52
5	91	165,23	62,18	-41,51	371,97	-74,23
6	273	168,33	62,99	-37,50	374,16	104,67
7	309	190,18	61,22	-17,97	398,33	118,82
8	309	190,18	62,98	-17,97	398,33	118,82
9	345	171,42	62,72	-33,80	376,65	173,58
10	236	180,89	60,15	-24,41	386,18	55,11
11	182	190,18	61,59	-17,97	398,33	-8,18
12	109	162,13	61,27	-45,82	370,08	-53,13
13	91	180,89	60,39	-24,41	386,18	-89,89

Continuación de la tabla 31.

14	91	193,45	61,65	-16,35	403,25	-102,45
15	145	174,52	61,44	-30,41	379,45	-29,52
16	91	165,23	62,18	-41,51	371,97	-74,23
17	273	168,33	62,99	-37,50	374,16	104,67
18	109	137,01	66,79	-91,04	365,06	-28,01
19	91	180,89	60,24	-24,41	386,18	-89,89
20	91	193,45	61,65	-16,35	403,25	-102,45
21	145	174,52	61,44	-30,41	379,45	-29,52
22	309	190,18	62,50	-17,97	398,33	118,82
23	345	171,42	62,72	-33,80	376,65	173,58
24	91	193,45	61,65	-16,35	403,25	-102,45
25	91	174,52	61,44	-30,41	379,45	-83,52
26	91	165,23	61,75	-41,51	371,97	-74,23
27	273	168,33	61,49	-37,50	374,16	104,67
28	309	190,18	61,22	-17,97	398,33	118,82

Elaborado por: El autor.

Resúmenes estadísticos.

Como el valor P en la tabla ANOVA es mayor o igual a 0,05 (tabla 30), no hay una relación estadísticamente significativa entre tubérculo y suelo con un nivel de confianza del 95,0% o superior.

La estadística R^2 indica que el modelo como corresponde explica el 2,39% de la variabilidad en tubérculo.

El coeficiente de correlación es igual a -0,35 lo que indica una relación relativamente débil entre las variables.

El error estándar de la estimación muestra que la desviación estándar de los residuos es de 97,94. Este valor se puede usar para construir límites de predicción. El error absoluto medio (MAE) de 85,11 es el valor promedio de los residuos.

Los valores observados contra Predicho. Este gráfico despliega la respuesta observada Y contra los valores predichos, junto con una línea diagonal.

Este modelo nos indica los puntos que están dispersos aleatoriamente alrededor de la línea diagonal, y se concluye que por el coeficiente de determinación de 2 % y forma de dispersión de puntos tiene una correlación débil.

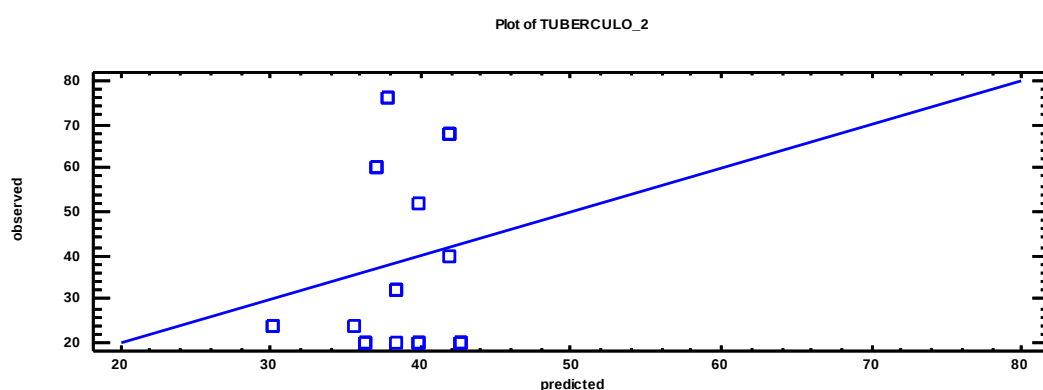


Figura 28. Gráfico observado vs predicho, obtenido en el modelo de regresión simple, tubérculo vs suelo (mg/kg).

Elaborado por: El autor.

Residual contra Predicción: Este gráfico despliega los residuales contra los valores predichos, con una línea horizontal en cero. Este gráfico es útil para detectar heteroscedasticidad en los datos. La nube puntos indica que la variabilidad de los residuos tiene una forma desordenada.

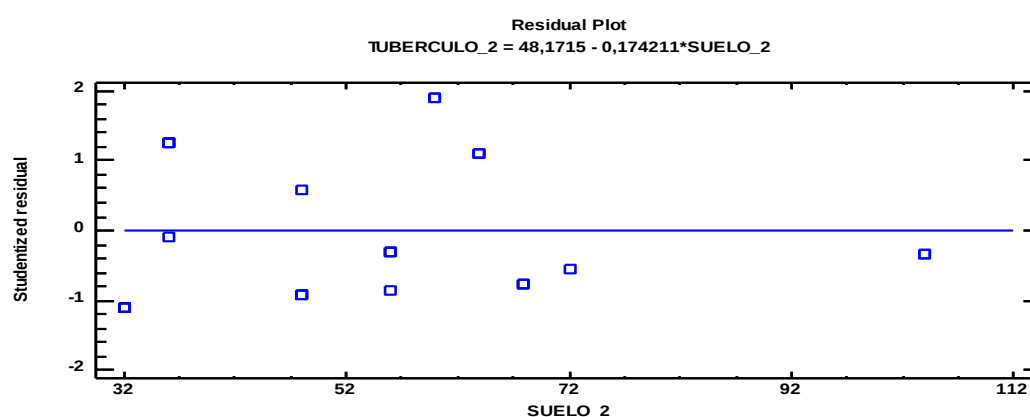


Figura 29. Gráfico residual vs el predicho, obtenido el modelo de regresión simple, tubérculo vs suelo (mg/kg).

Elaborado por: El autor.

6.4.9. Análisis de regresión polinomial de la concentración NO₃ mg/kg tubérculo vs hoja.

Variable dependiente: TUBÉRCULO,

Variable independiente: HOJA

Tabla 32.

Valores estadísticos estimados de las variables, concentración NO₃ (mg/kg) del modelo de regresión polinomial tubérculo vs hoja.

Parámetro	Valores estimados (estructura de la ecuación)	Error Estándar	Error Estadístico	P-Valor
Constante	495,20	57,16	8,66	0,00**
Hoja	-0,43	0,11	-3,89	0,00**
Hoja ²	0,00	0,00	2,54	0,02 n.s

Elaborado por: El autor.

Tabla 33.

Análisis de varianza de la concentración NO₃ (mg/kg) de las variables, perteneciente al modelo de regresión polinomial tubérculo vs hoja.

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	F-Ratio	P-Valor
Modelo	186243,00	2	93121,30	33,58	0,00**
Residuos	69323,20	25	2772,93		
Total (Corr.)	255566,00	27			

Elaborado por: El autor.

Coefficientes de correlación

R^2 o Coeficiente de determinación = 72,87 %

Estadística ajustada R^2 = 70,70

Error estándar. = 52,65

Error absoluto medio = 41,30

** = significativo, ns= no significativo

Ecuación ajustada al modelo de regresión polinomial, tubérculo vs suelo.

$$\text{Tubérculo} = 495,20 - 0,43 * \text{hoja} + 0,0001 * \text{hoja}^2$$

La Fig. 30, permite visualizar la relación entre la variable dependiente (tubérculo) vs dependientes (hoja). Modelo de regresión polinomial.

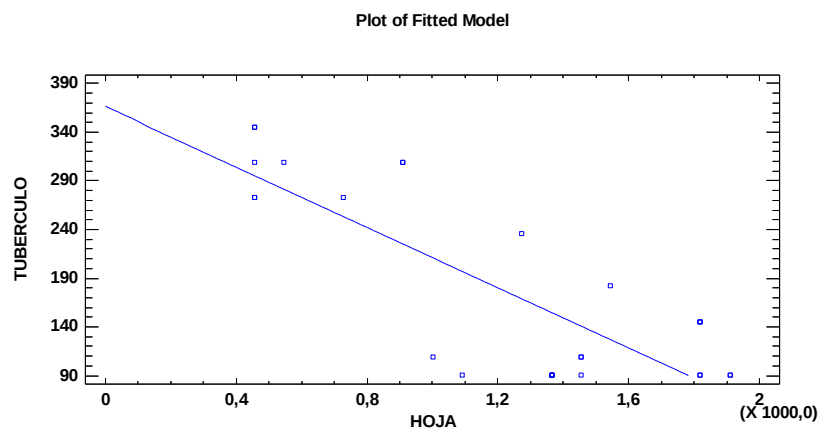


Figura 30. Gráfico del modelo dependiente = Tubérculo vs variables independientes (hoja). Modelo de regresión polinomial.

Elaborado por: El autor

Tabla 34.

Panel de predicciones del modelo de regresión polinomial tubérculo vs hoja de la concentración NO₃ (mg/kg).

Número total de muestras de las variables.	Concentración de nitrato en tubérculo mg/kg	Valores Predichos de la recta de dependencia seleccionada.	Errores Estándar de las Predicciones	Límites Inferiores para las Predicciones Valor hasta donde puede predecir el error.	Límites Superiores para las Predicciones Valor hasta donde puede predecir el error	Residuos Diferencias entre el valor dependiente y valores que predécimos
1	109	120,94	54,34	9,25	232,63	-11,94
2	91	166,59	54,98	53,56	279,61	-75,59
3	91	129,35	54,58	17,16	241,55	-38,35
4	145	107,32	55,61	-6,99	221,62	37,69
5	91	108,89	57,34	-8,97	226,75	-17,89
6	273	323,19	56,79	206,45	439,92	-50,19
7	309	201,42	54,78	88,82	314,01	107,58
8	309	323,19	56,79	206,45	439,92	-14,19
9	345	323,19	56,79	206,45	439,92	21,81
10	236	139,76	54,81	27,11	252,42	96,24
11	182	114,60	54,17	3,25	225,95	67,40
12	109	183,00	54,91	70,12	295,88	-74,00
13	91	120,94	54,34	9,25	232,63	-29,94

Continuación de la tabla 34.

14	91	129,35	54,58	17,16	241,55	-38,35
15	145	107,32	55,61	-6,99	221,62	37,69
16	91	108,89	57,34	-8,97	226,75	-17,89
17	273	323,19	56,79	206,45	439,92	-50,19
18	109	120,94	54,34	9,25	232,63	-11,94
19	91	129,35	54,58	17,16	241,55	-38,35
20	91	129,35	54,58	17,16	241,55	-38,35
21	145	107,32	55,61	-6,99	221,62	37,69
22	309	295,09	55,53	180,94	409,24	13,91
23	345	323,19	56,79	206,45	439,92	21,81
24	91	129,35	54,58	17,16	241,55	-38,35
25	91	107,32	55,61	-6,99	221,62	-16,31
26	91	107,32	55,61	-6,99	221,62	-16,31
27	273	244,25	54,63	131,95	356,55	28,75
28	309	201,42	54,78	88,82	314,01	107,58

Elaborado por: El autor.

Resúmenes estadísticos.

Dado que el valor P en la tabla ANOVA es inferior a 0,05 (tabla 33), existe una relación estadísticamente significativa entre tubérculo y hoja con un nivel de confianza del 95%.

La estadística R^2 indica que el modelo como corresponde explica el 72,87 % de la variabilidad en tubérculo.

La estadística ajustada R^2 , que es más adecuada para comparar modelos con diferentes números de variables independientes, es del 70,70.%.

El error estándar de la estimación muestra que la desviación estándar de los residuos es 52,65 este valor se puede usar para construir límites de predicción. El error absoluto medio (MAE) de 41,30 es el valor promedio de los residuos.

Valores observados contra Predicho. Este gráfico despliega la respuesta observada Y contra los valores predichos, junto con una línea diagonal.

Este modelo nos indica los puntos que están dispersos aleatoriamente alrededor de la línea diagonal, y se concluye que por el coeficiente de determinación de 72 % y forma de dispersión de puntos tiene una correlación alta.

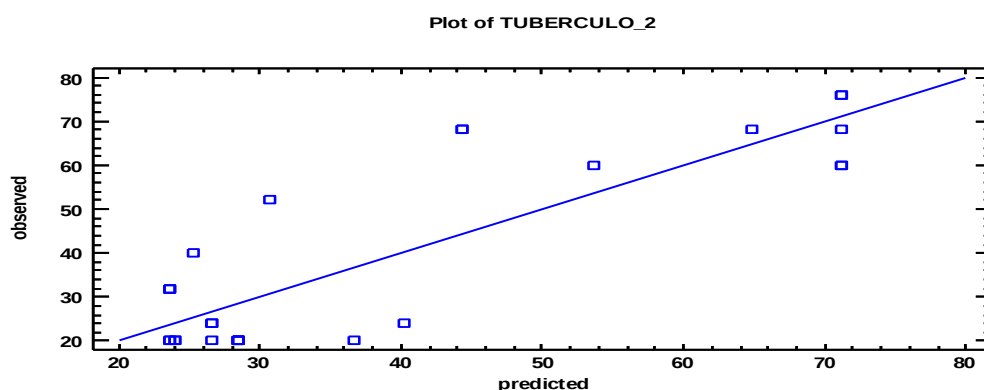


Figura 31. Gráfico observado vs predicho, obtenido en el modelo de regresión polinomial, tubérculo vs hoja (mg/kg).

Elaborado por: El autor.

Residual contra Predicción: Este gráfico despliega los residuales contra los valores predichos, con una línea horizontal en cero. Este gráfico es útil para detectar heteroscedasticidad en los datos. La nube puntos indica que la variabilidad de los residuos tiene una forma desordenada.

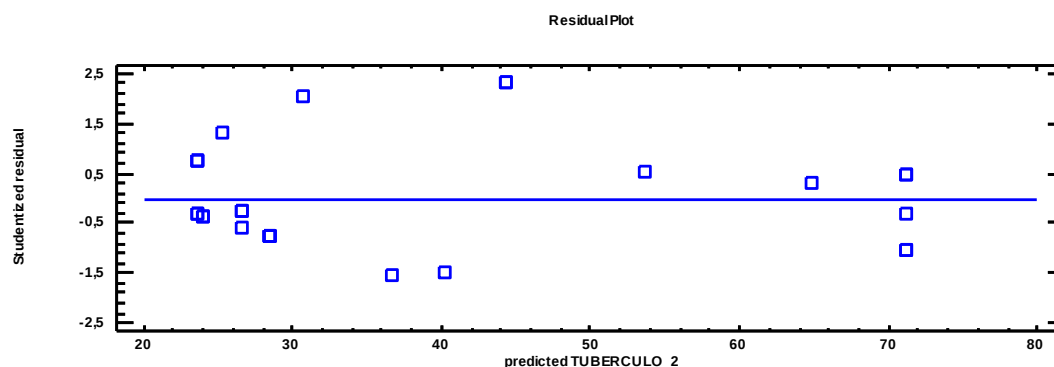


Figura 32. Gráfico residual vs el predicho, obtenido el modelo de regresión polinomial, tubérculo vs hoja (mg/kg).

Elaborado por: El autor.

6.4.10. Análisis de regresión polinomial de la concentración NO_3 mg/kg tubérculo vs suelo.

Variable dependiente: TUBÉRCULO

Variable independiente: SUELO

Tabla 35.

Valores estadísticos estimados de las variables, concentración NO_3 (mg/kg) del modelo de regresión polinomial tubérculo vs suelo.

Parámetro	Valores estimados (estructura de la ecuación)	Error Estándar	Error Estadístico	P-Valor
Constante	107,54	145,62	0,73	0,46 n.s
Suelo	0,68	1,06	0,64	0,52 n.s
Suelo ²	-0,00	0,00	-0,82	0,41 n.s

Elaborado por: El autor.

Tabla 36.

Análisis de varianza de las variables, concentración NO_3 (mg/kg) del modelo de regresión polinomial tubérculo vs suelo.

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado medio	F-Ratio	P-Valor
Modelo	12757,90	2	6378,94	0,66	0,52 n.s
Residuos	242808,00	25	9712,32		
Total (Corr.)	255566,00	27			

Elaborado por: El autor.

Coefficientes de correlación

R^2 o Coeficiente de determinación = 4,99 %

Estadística ajustada $R^2 = 0\%$

Error estándar = 98,57

Error absoluto medio = 83,95

** = significativo, ns= no significativo

Ecuación ajustada al modelo de regresión polinomial, tubérculo vs suelo.

$$\text{Tubérculo} = 107,54 + 0,68 * \text{suelo} - 0,0014 * \text{suelo}^2$$

La Fig. 33, permite visualizar la relación entre la variable dependiente (tubérculo) vs dependientes (hoja y suelo). Regresión polinomial.

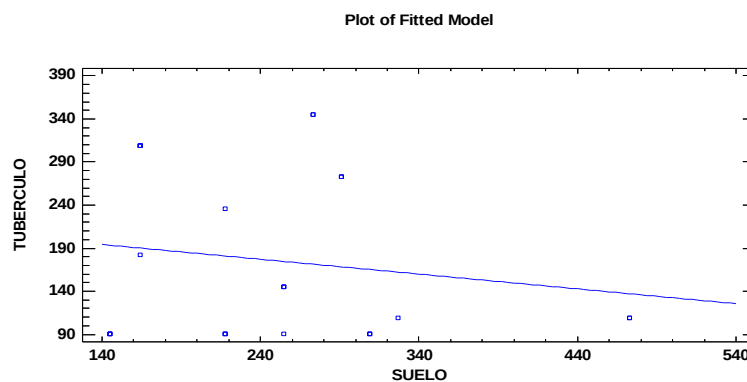


Figura 33. Gráfico del modelo dependiente = Tubérculo vs variables independientes (hoja). Regresión polinomial.

Elaborado por: El autor

Tabla 37.

Panel de predicciones del modelo de regresión polinomial tubérculo vs suelo de la concentración NO₃ (mg/kg).

Número total de muestras de las variables.	Concentración de nitrato en tubérculo mg/l	Valores Predichos de la recta de dependencia seleccionada	Errores Estándar de las Predicciones	Límites Inferiores para las Predicciones Valor hasta donde puede predecir el error.	Límites Superiores para las Predicciones Valor hasta donde puede predecir el error.	Residuos Diferencias entre el valor dependiente y valores que predecimos.
1	109	100,34	120,13	-146,59	347,26	8,66
2	91	187,03	100,76	-20,10	394,15	-96,02
3	91	176,18	104,80	-39,24	391,59	-85,18
4	145	186,46	101,35	-21,86	394,78	-41,46
5	91	178,32	102,43	-32,23	388,86	-87,32
6	273	182,00	102,10	-27,87	391,87	91,00
7	309	180,53	102,56	-30,28	391,33	128,47
8	309	180,53	102,56	-30,28	391,33	128,47
9	345	184,71	101,74	-24,41	393,83	160,29
10	236	187,03	100,76	-20,10	394,15	48,98
11	182	180,53	102,56	-30,28	391,33	1,47
12	109	173,67	102,74	-37,52	384,87	-64,67
13	91	187,03	100,76	-20,10	394,15	-96,02

Continuación de la tabla 37.

14	91	176,18	104,80	-39,24	391,59	-85,18
15	145	186,46	101,35	-21,86	394,78	-41,46
16	91	178,32	102,43	-32,23	388,86	-87,32
17	273	182,00	102,10	-27,87	391,87	91,00
18	109	100,34	120,13	-146,59	347,26	8,66
19	91	187,03	100,76	-20,10	394,15	-96,02
20	91	176,18	104,80	-39,24	391,59	-85,18
21	145	186,46	101,35	-21,86	394,78	-41,46
22	309	180,53	102,56	-30,28	391,33	128,47
23	345	184,71	101,74	-24,41	393,83	160,29
24	91	176,18	104,80	-39,24	391,59	-85,18
25	91	186,46	101,35	-21,86	394,78	-95,46
26	91	178,32	102,43	-32,23	388,86	-87,32
27	273	182,00	102,10	-27,87	391,87	91,00
28	309	180,53	102,56	-30,28	391,33	128,47

Elaborado por: El autor.

Resúmenes estadísticos.

Dado que el valor P en la tabla ANOVA es mayor o igual a 0,05 (tabla 36), no hay una relación estadísticamente significativa entre tubérculo y suelo con un nivel de confianza del 95% o superior.

La estadística R^2 indica que el modelo según corresponde explica el 4,99% de la variabilidad en tubérculo.

El estadístico R^2 ajustado, que es más adecuado para comparar modelos con diferentes números de variables independientes, es 0,0%.

El error estándar de la estimación muestra que la desviación estándar de los residuos es 98,55 este valor se puede usar para construir límites de predicción. El error absoluto medio (MAE) de 83,95 es el valor promedio de los residuos.

Valores observados contra Predicho. Este gráfico despliega la respuesta observada Y contra los valores predichos, junto con una línea diagonal. Este modelo nos indica los puntos que están dispersos aleatoriamente alrededor de la línea diagonal, y se concluye que por el coeficiente de determinación de 4 % y forma de dispersión de puntos tiene una correlación baja.

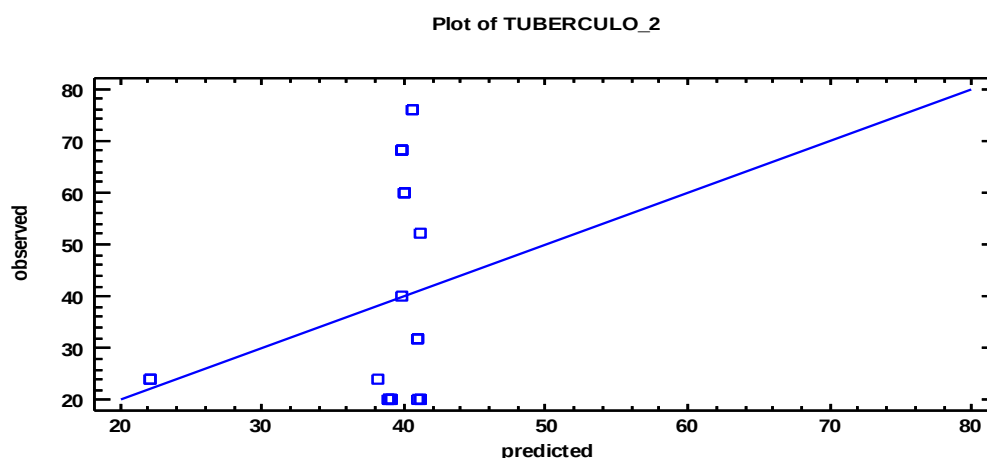


Figura 34. Gráfico observado vs predicho, obtenido en el modelo de regresión polinomial, tubérculo vs suelo (mg/kg).

Elaborado por: El autor.

Residual contra Predicción: Este gráfico despliega los residuales contra los valores predichos, con una línea horizontal en cero. Este gráfico es útil para detectar heteroscedasticidad en los datos. La nube puntos indica que la variabilidad de los residuos tiene una forma desordenada.

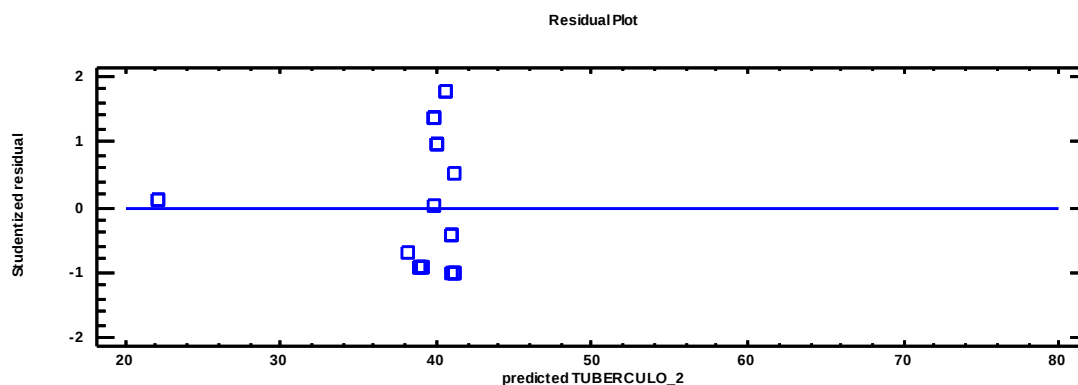


Figura 35. Gráfico residual vs el predicho, obtenido el modelo de regresión polinomial, tubérculo vs suelo (mg/kg).

Elaborado por: El autor.

6.5. Discusión

Álvarez C R., (2001), cuantificó una relación significativa entre la concentración de N-NO₃ en superficie y en profundidad donde el coeficiente de determinación es de ($R^2 = 0,60$), el ajuste de la ecuación no permite estimar de forma adecuada la concentración de N-NO₃ en función de los contenidos en superficie.

La relación entre la concentración de N-NO₃ en superficie (0-20 cm) y en profundidad (20-40 cm) fue significativa ($P < 0,0001$) y presenta una asociación positiva entre las variables ($R^2 = 0,60$), $Y = 0,61 X + 2,16$, los análisis fueron realizados con el software Infostat 2011/p y para el ajuste de los posibles modelos se maximizó el R^2 ajustado.

En el trabajo realizado con el modelo Nleap simuló adecuadamente las situaciones ensayadas, que presentaron grandes variaciones climáticas y de suelos, cuando se utilizaron dosis normales de fertilización nitrogenada. Por este motivo, el modelo es útil como herramienta para aumentar la eficiencia de la fertilización a través del manejo de los nitratos residuales, la relación mostró un ajuste muy significativo ($p < 0.001$, $R^2 = 0.97$).

La medición del N-NO₃ en savia se realizó de forma directa en campo entre las 8 y 10 am (Vitosh y Silva, 1996), usando el método de electrodo selectivo de iones, ISE evaluado por Goffart et al. (2008) y Carson et al. (2016) mediante equipos portátiles Horiba LAQUA twin® (Horiba Europe, Leichlingen, Alemania) Ión N-NO₃. Este presentó una correlación positiva entre el peso seco y fresco de los tubérculos (R^2 0,98 para Capiro y R^2 0,95 para Suprema) y la concentración de NO₃ - en savia de tallos, por lo cual, para fines de pronóstico, las curvas de regresión utilizando el programa estadístico INFOSTAT versión 2014, esta técnica en campo puede ser utilizada para identificar aplicaciones excesivas de fertilizantes.

Estos análisis realizados en diferentes cultivos proporcionan información para realizar predicciones de nitratos, con diferentes ajustes lineales de 60% y 90% que es la relación que poseen las diferentes variables.

De acuerdo a nuestros análisis realizados y con los resultados obtenidos en las diferentes variables para hacer las correlaciones, utilizando los diferentes modelos simples, múltiple y polinomial si se puede establecer una correlación conociendo el contenido del nitrato en

suelo y hojas con respecto al tubérculo y predecir su estado de contaminación utilizando el programa Statgraphics Centurion XVI con sus modelos de regresión simple, múltiple y polinomial, para encontrar la ecuación más adecuada para predecir cuánto nitrato posee el tubérculo únicamente analizando el suelo o la hoja sin tener que sacar el tubérculo. No con todas las ecuaciones obtenidas se pueden realizar las predicciones ya que algunas poseen el R^2 o coeficiente de determinación es bajo y no se aceptan esos valores.

En los resultados obtenidos decimos que la regresión múltiple en las dos unidades analizadas (mg/l) y (mg/kg) se obtiene una variable estadística que el valor del coeficiente de correlación o R^2 es de 65% que es valor moderado para realizar las predicciones del suelo y la hoja con respecto al tubérculo, la ecuación ajustada a este modelo es, tubérculo = $187,61 - 0,15 \cdot \text{hoja} - 0,040 \cdot \text{suelo}$ (mg/l), tubérculo = $374,79 - 0,15 \cdot \text{hoja} - 0,039 \cdot \text{suelo}$ (mg/kg) y con estas ecuaciones podemos implementar a valores nuevos de análisis de suelo y material vegetal como las hojas y conocer el valor de nitrato que posee el tubérculo.

Con respecto a la regresión y correlación que más altos valores se obtienen en el coeficiente de determinación es del modelo polinomial (tubérculo vs hoja), en las dos unidades analizadas (mg/l) y (mg/kg) de acuerdo al modelo ajustado nos da el siguiente valor estadístico R^2 de 72% que es valor aceptable para realizar predicciones, sus ecuaciones son tubérculo = $247,64 - 0,43 \cdot \text{hoja} + 0,0002 \cdot \text{hoja}^2$ (mg/l), tubérculo = $495,20 - 0,43 \cdot \text{hoja} + 0,0001 \cdot \text{hoja}^2$ (mg/kg).

En el modelo restante que se utiliza como variable independiente al suelo tanto en los modelos de regresión polinomial y simple se obtiene valores no tan aceptables para realizar las predicciones

En el caso de la regresión polinomial tubérculo vs suelo (mg/l) y (mg/kg) la estadística R^2 indica que el modelo según corresponde explica el 4% lo cual es un valor muy bajo y no es aceptado para trabajar en las predicciones de suelo con respecto al tubérculo.

En nuestros análisis realizados de las variables de suelo y material vegetal utilizando el kit nitrato en el cultivo de papa, se obtienen valores moderados como el ajuste lineal múltiple que posee el coeficiente de determinación del 60% y en los modelos polinomiales que su coeficiente es del 72% que es valor más aceptado para realizar las predicciones de la hoja

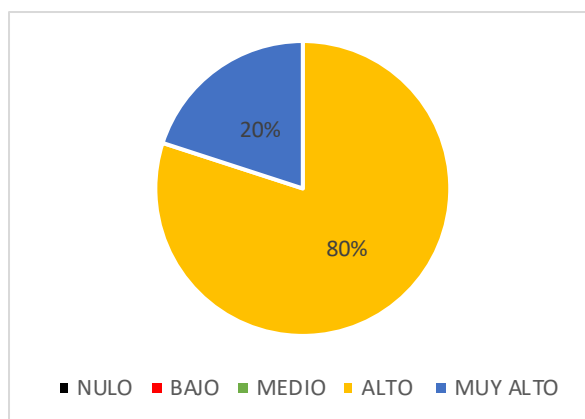
con respecto al tubérculo para ver si viene contaminado o no, por lo tanto, esta es una investigación para predecir este nutriente en cultivos de papas.

El resultado que poseen los valores del tubérculo realizada en los tres muestreos no sobrepasan el valor de 175 mg/kg que es un valor aceptable ya que la concentración de nitrato máxima permisible es de 350 mg/kg de tubérculos frescos, según la norma de la CE (Conformidad Europea).

6.6. Socialización

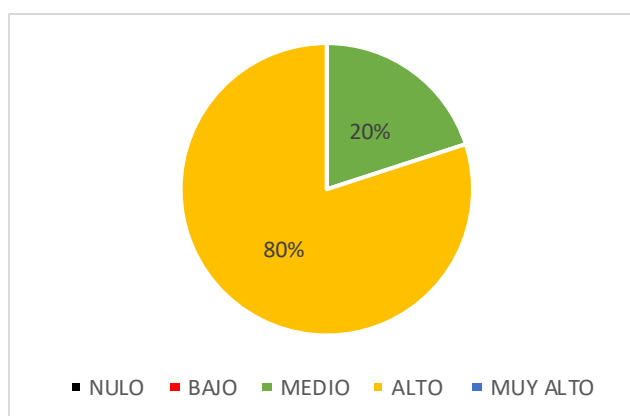
6.6.1. Resultados de las encuestas de socialización.

1. ¿Considera usted que la sala donde se desarrolló este evento brindó las comodidades necesarias?



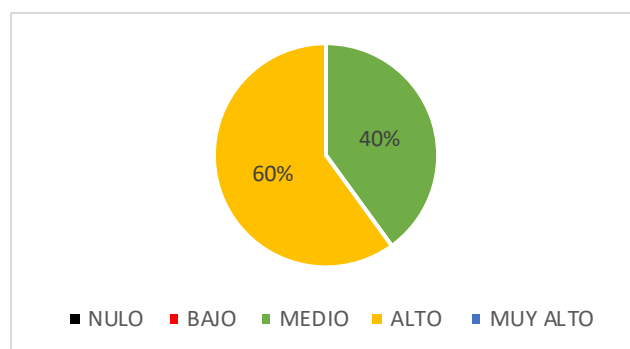
En la exposición realizada en esta pregunta, el 20% de los encuestados respondieron en la escala muy alto y el 80% en cambio respondió en la escala alto.

2. ¿Considera usted que el material audiovisual utilizado en la presentación fue adecuado?



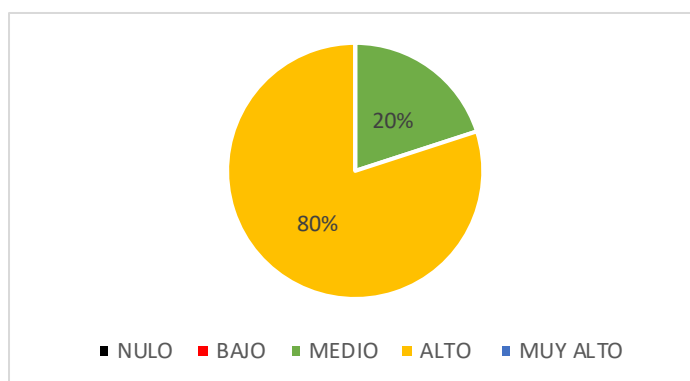
En la exposición realizada en esta pregunta, el 20% de los encuestados respondieron en la escala medio y el 80% en cambio respondió en la escala alto.

3. ¿Considera usted que el expositor mostró dominio del tema?



En la exposición realizada en esta pregunta, el 40% de los encuestados respondieron en la escala medio y el 60% en cambio respondió en la escala alto.

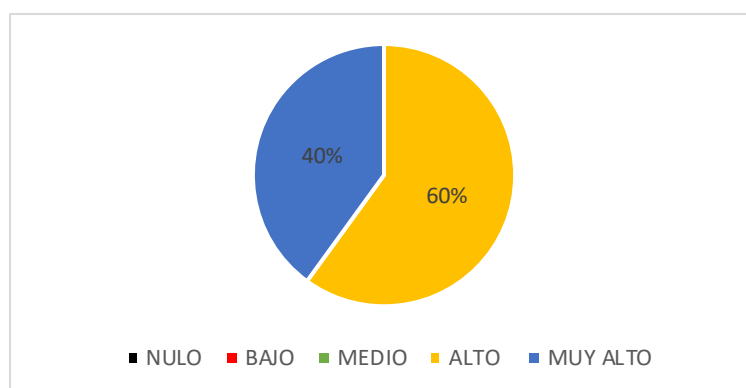
4. ¿Estima usted que el manejo del auditorio por parte del expositor fue adecuado?



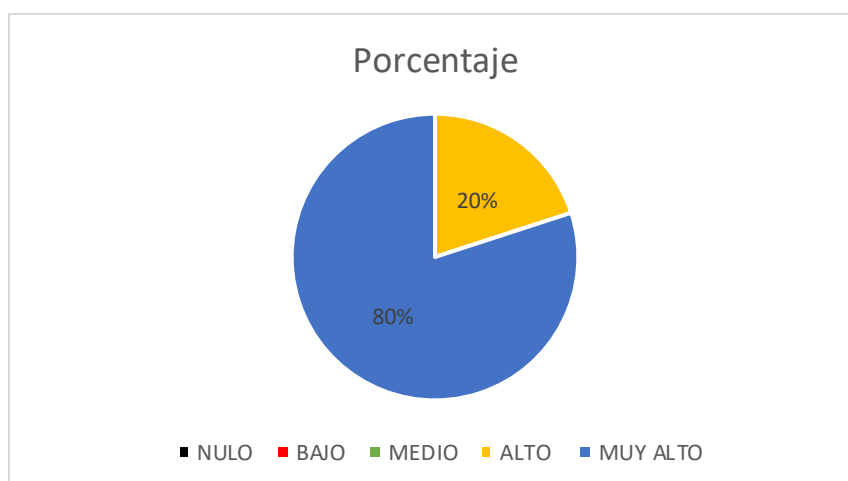
En la exposición realizada en esta pregunta, el 20% de los encuestados respondieron en la escala medio y el 80% en cambio respondió en la escala alto.

5. ¿Considera usted que el expositor demostró facilidad de expresión?

En la exposición realizada en esta pregunta, el 40% de los encuestados respondieron en la escala muy alto y el 60% en cambio respondió en la escala alto.

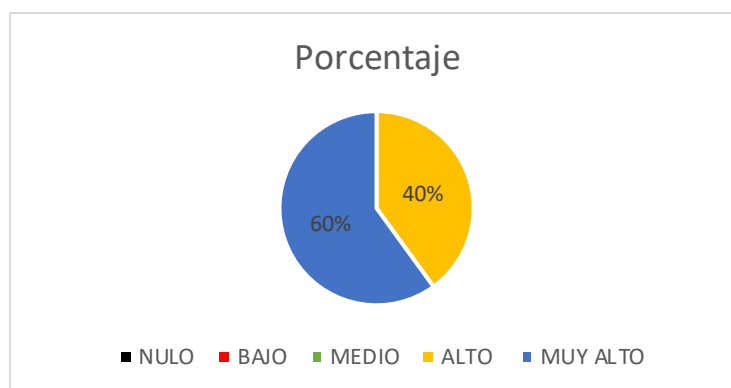


6. ¿Considera usted que el tema investigado posee relevancia para algún actor y/o sector de la sociedad?



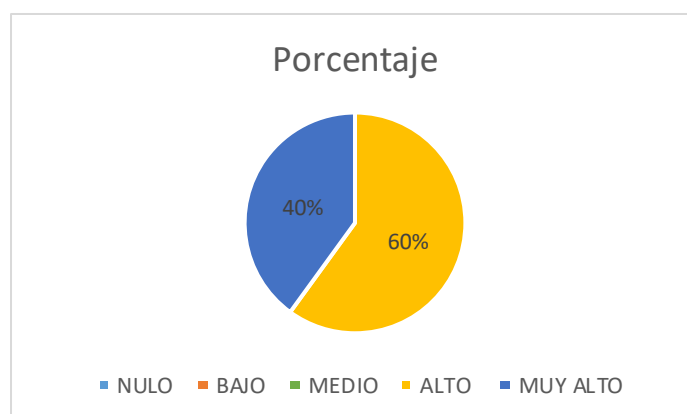
En la exposición realizada en esta pregunta, el 80% de los encuestados respondieron en la escala muy alto y el 20% en cambio respondió en la escala alto.

7. ¿Considera usted que esta investigación posee perspectivas para estudios complementarios o posteriores?



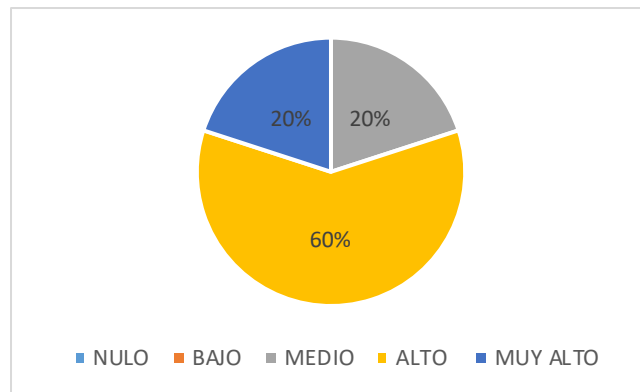
En la exposición realizada en esta pregunta, el 40% de los encuestados respondieron en la escala alto y el 60% en cambio respondió en la escala muy alto.

8. ¿Considera usted que el tema investigado genera actualmente o a futuro un beneficio concreto para alguna organización, empresa pública o privada, comunidad o institución?



En la exposición realizada en esta pregunta, el 40% de los encuestados respondieron en la escala muy alto y el 60% en cambio respondió en la escala alto.

9. ¿En función de los objetivos planteados expuestos en la investigación, considera usted que éstos se cumplieron?



En la exposición realizada en esta pregunta, el 20% de los encuestados respondieron en la escala muy alto, el 60% en cambio respondió en la escala alto y el 20% en la escala medio.

7. CONCLUSIONES

Según los valores arrojados por los tres diferentes modelos, el R^2 nos muestra que las variables explican de un 65 a un 73% la variabilidad del tubérculo, es decir que en un gran porcentaje esas variables determinan el éxito o el fracaso de un direccionamiento estratégico en la predicción. Desde este punto de vista se comprueba que si se cumple la hipótesis sobre la cual se trabajó esta investigación.

De acuerdo a las concentraciones analizadas en el tubérculo, no se presenta contaminación de nitrato al momento de evaluar este nutriente, ya que contiene el valor de 175 mg/kg que es un valor aceptable debido a que la concentración de nitrato máxima permisible es de 350 mg/kg de tubérculos frescos, según la norma de la CE (Conformidad Europea).

La correlación establecida de nitrato en suelo y hojas con respecto al tubérculo por medio de una curva de regresión servirá para observar el comportamiento de las variables independientes con respecto a la variable dependiente.

Con las ecuaciones obtenidas mediante el proceso estadístico de correlación utilizando modelos de simple, múltiple y polinomial, estas servirán para predecir ciertamente el comportamiento del contenido de nitrato en suelo y hojas en relación al contenido de nitrato en el tubérculo, únicamente realizando análisis al suelo y a la hoja sin necesidad de analizar el tubérculo.

Resulta difícil estimar un promedio de ingesta de NO_3 porque ésta depende de la dieta individual, la ingesta total de NO_3 a través de los alimentos para algunos países europeos, oscila normalmente entre 200 mg/persona/día (EFSA, 2008).

8. RECOMENDACIONES

Como recomendación en esta investigación es realizar más tomas de muestras para que el momento de introducir en el programa el valor del R^2 se aproxime al 100% y al trabajar con este valor se obtendrá un valor mínimo en el error estándar por lo tanto se facilitaría con más exactitud las predicciones de concentración de nitratos en papa.

Implementar otra técnica de análisis de nutrientes primarios (N, P y K), como el espectral del infrarrojo cercano (NIR) ya que esta técnica posee un alcance superior, para la predicción del contenido de nutrientes en papa.

Utilizar la herramienta Fotómetro Spectroquant® Nova 60 para realizar el análisis de otros nutrientes en futuros trabajos de investigación.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera, J., P. Motavalli, M. Gonzales y C. Valdivia. 2014. Evaluation of a rapid field-test method for assessing nitrogen status in potato plant tissue in rural communities in the Bolivian Andean highlands. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 45, 347-361. Doi: 10.1080/00103624.2013.857680
- Adrover, M. (2002). Fertilización nitrogenada en el cultivo de la patata y contaminación de aguas subterráneas. Departamento de Biología, Universitat de les Illes Balears.
- Álvarez, (2000). Predictions of available nitrogen content in soil profile depth using available nitrogen concentration in surface layer. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32: 759 – 769.
- Ansorena, J. (1990). Contenido de nitratos en hortalizas. Obtenido de http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_Hort%2FHort_1993_90_11_21.pdf
- Badillo-Tovar T., V., J.Z. Castellanos, P. Sánchez, A. Galvis, E. Álvarez, J.X. Uvalle, D. González y S.A. Enríquez. 2001. Niveles de referencia de nitrógeno en tejido vegetal de papa var. Alpha. *Agrocienc.* nov-dic., 615-623.
- Bitton, (1994). Tecnología apropiada: Agua, *Desnitrificación*. Obtenido de <http://cv.uoc.edu/web/~mcooperacion/Postgrau/Gaia/Ecologic/Ecologica/Agua/Desnitrificacion.html>
- Brink, P., P. Combrink y F. Knight. 2002. Evaluation of petiole nitrate measurement as an aid for N fertilization of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) on sandy soils. *S. Afr. J. Plant Soil* 19, 1-7. Doi: 10.1080/02571862.2002.10634428
- Cadahía, C. (2008). La savia como índice de fertilización. Cultivos agroenergéticos, hortícolas, ornamentales y frutales. Mundi-Prensa, Madrid, España.
- Castellanos. (1996). Efecto a largo plazo de la aplicación de estiércol de ganado lechero sobre el rendimiento de forrajes y las propiedades del suelo en una región árida irrigada de norte de México. *Terra* 14: 151-158.

- Ciencia e investigación agraria. (2008). *Uso de clinoptilolita como un vehículo de fertilizantes nitrogenados en un suelo de la región Pampeana de Argentina*. Obtenido de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-16202008000300007
- CONtextoganadero. (2015). *Sensor alemán puede determinar el nitrato que el suelo requiere*. Obtenido de <http://www.contextoganadero.com/agricultura/sensor-aleman-puede-determinar-el-nitrato-que-el-suelo-requiere>.
- Contreras, A., 1997. Producción de papa semilla agricultores del sur de Chile. Universidad Austral de Chile.
- Costa, 2000. Contaminación de acuíferos superficiales con nitratos. Efecto de las distintas prácticas agrícolas. Taller Internacional sobre Contaminación de suelos y aguas por agroquímicos. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar de Plata. CD).
- De Jong, H. 2016. Impact of the potato on society. Amer. J. Potato Res. 93(5), 415-429. Doi: 10.1007/ s12230-016-9529-1
- Desnitrificación, desmineralización. (2015). Obtenido de http://www.ath.es/wp-content/uploads/2015/09/5_desnitrificacion.pdf
- Dibut, M. &. (1995). *Rizobacterias promotoras de crecimiento de plantas con capacidad para mejorar productividad en papa*. Obtenido de [RizobacteriasPromotorasDeCrecimientoDePlantasConCa-5511986%20\(1\).pdf](#)
- Durán A. 1987. La cartografía de suelos CONEAT y sus posibilidades de utilización. Montevideo: Facultad de Agronomía. 17p.
- EFSA (European Food Safety Authority), 2008. Nitrate in vegetables. Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain. The EFSA Journal, 689, pp: 1-79. Question No EFSA-Q-2006-071.
- Errebhi, M., C. Rosen y D.E Birong. 1998. Calibration of a petiole sap nitrate test for irrigated 'Russet Burbank' potato. Comm Soil Sci. Plant Anal. 29 (1-2), 23-35. Doi: 10.1080/00103629809369926

- Follet RF, Keeney DR y Cruse RM. (Eds.). 1991. Managing Nitrogen for Groundwater Quality and Farm Profitability. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI. 357 p.
- Fontanetto, HM. 2004. ¿Por qué se pierde el nitrógeno en fertilizaciones superficiales? Boletín INTA Informa, Número 290, <http://www.inta.gov.ar/info/intainfo/ant/2004/290.htm>
- GILETTO, (2003). Fertilización nitrogenada de cultivares de papa (*Solanum tuberosum*) en el SudEste Bonaerense. En: Ciencia del Suelo. Revista de la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Vol. 21, N° 2.
- Goffart, J.P., M. Olivier y M. Frankinet. 2008. Potato crop nitrogen status assessment to improve N fertilization management and efficiency: Past–present–future. Potato Res. 51(3-4), 355-383. Doi: 10.1007/s11540-008-9118-x
- Gómez, M.I. y P. Torres. 2012. Absorción, extracción y manejo nutricional del cultivo de papa. Rev. Papa (Fedepapa) 26(1), 20-25.
- Gómez, M., & Rodríguez, L. (2016). Diagnóstico de K⁺ y NO₃ estado nutricional en papa (*Solanum tuberosum* L.subsp. andigena): Determinación en campo de nitratos en savia en papa mediante el método “cardy meter”. *Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11 (1). Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.6132>
- (Heinze, 1986) (s.f). *Nitrato procedencia y aplicaciones* . Obtenido de <http://wgbis.ces.iisc.ernet.in/energy/HC270799/HDL/ENV/envsp/Vol337.htm>
- Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). (1990). Obtenido de <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR25010.pdf>
- INTAGRI S.C. (2017). *Lixiviación de nitratos en agricultura*. Obtenido de <https://www.intagri.com/articulos/suelos/lixiviacion-de-nitratos-en-agricultura>
- Kiely, G. 2001. Ingeniería ambiental, fundamentos entornos tecnológicos y sistemas de gestión. Volumen II. Impreso en impresos y revistas S.A. (IMPRESA).
- Larraín, P. (2003). Plagas de la papa y su manejo. Colección Libros INIA N°9. 110p.

Lavado, (2015). *Predicción de los nitratos a cosecha de maíz en suelos de la Región*.
Obtenido de

https://www.researchgate.net/publication/268276932_Prediccion_de_los_nitratos_a_cosecha_de_maiz_en_suelos_de_la_Region

López, L. 2000. Frutas y verduras, ¿alimentos saludables? Gaceta Universitaria. N° 12, CUBA.

Mäck, G., J. Schjoerring, 2002. Effect of NO₃ supply on metabolism of potato plants (*Solanum tuberosum* L.) with special focus on the tubers. Plant Cell Environ. 25, 999-1009. Doi: 10.1046/j.1365-3040.2002.00892.x

Mazzilli; Sebastián. Sastre, Andrés y Terra, Gabriel. Disponibilidad de nitratos en sistemas agrícolas sin laboreo y su relación con variables ambientales y de manejo. Agrociencia Uruguay [online]. 2015, vol.19, n.1 [citado 2018-04-07], pp.131-139. Disponible en:
<http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482015000100015&lng=es&nrm=iso>. ISSN 1510-0839.

Manual de lombricultura. (s.f). Obtenido de
<http://www.manualdelombricultura.com/index.html>

Menorca.info. (2016). Obtenido de <https://menorca.info/menorca/local/2016/591938/mao-apuesta-por-resolver-litigio-hidrobal-ante-juez.html>

Meyer D. Y Marcum B. (1998). "Potato yield, petiole nitrogen and soil nitrogen response to water and nitrogen", Agronomy Journal, vol. 90, 420-429.

Moreno, C. (2015). El consumo de nitrato y su potencial efecto benéfico sobre la salud cardiovascular. Rev. chil. nutr. [online]. 2015, vol.42, n.2 [citado 2018-04-06], pp.199-205. Disponible en:
<https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S071775182015000200013&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0717-7518. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182015000200013>

- Moreira, M.A., P.C. Rezende, P.R. Cecon y R.F. Araújo. 2011. Seleção de índices para o diagnóstico do estado de nitrogênio de batata-semente básica. Maringá. Acta Scient. Agron. 33(2), 335-340. Doi: 10.4025/actasciagron. v33i2.5724
- Moulin, A.P., Y. Cohen, V. Alchanatis, N. Tremblay y K. Volkmar. 2012. Yield response of potatoes to variable nitrogen management by landform element and in relation to petiole nitrogen - A case study. Can. J. Plant Sci. 92(1), 771-781. Doi: 10.4141/cjps2011-005
- Nierenberg, D. 2001. Fertilidad tóxica. World•watch. P. 40-48
- Noguera.coop. (s.f). *El nitrógeno es uno de los principales contaminantes de las aguas subterráneas*. Obtenido de <http://www.masdenoguera.coop/sites/default/files/nitratos.pdf>
- OIE, World Energy Outlook 2000, París, 2000, página 66.
- Palomares, A. (2016). *Contaminación del agua por nitratos y técnicas para su tratamiento*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/319482044/Contaminacion-Del-Agua-Por-Nitratos-y-Tecnicas-Para-Su-Tratamiento>
- Picone, L. (2003). Evaluación De Nitratos Y Bacterias Coliformes En Pozos De La Cuenca alta del arroyo pantanoso. RIA, 32 (1): 99- 110, INTA, Argentina.
- Porter, G. A. Y Sisson, J. A. 1991. Response Of Russet Burbano And Shepody Potatoes To Nitrogen Fertilizer In Two Cropping Systems, Am. Potato J. Vol. 68, 425-443.
- Procesos de Suelo: Desnitrificación (2016). *fertilizando.com*. Obtenido de <http://www.fertilizando.com/articulos/Procesos%20de%20Suelo%20-%20Desnitrificacion.asp>
- Quiroga, A. (2012). *Manual de fertilidad y evaluacion de suelos*. Obtenido de https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_pt_89_manual_de_fertilidad_1____1_.pdf
- Redagricola, (2017). *Creciendo en todo el mundo, fertirriego por pivotes en papas*. Obtenido de <http://www.redagricola.com/pe/fertirriego-pivotes-papas>

- Rimski-Korsakov H, Rubio G y Lavado RS. 2004. Potential nitrate losses under different agricultural practices in the Pampas Region, Argentina. *Agricultural Water Management* 65: 83-94.
- Rodríguez M. 2004. Fertilización sustentable: Fuentes y formas de aplicación de nitrógeno. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Paraná :504.
- Rogozinska. (2005), Moulin. (2012). The effect of different factors on the content of nitrate in some potato varieties. *Potato Res.* 48, 167-180. Doi: 10.1007/BF02742374
- Salas J, Álvarez R y Álvarez CR. 2002. Aporte de nitrógeno al maíz desde los pools del suelo en la Pampa Ondulada bajo distintos sistemas de labranzas. XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Puerto Madryn: 99.
- Saluzzo. (1999). Nitrogen nutrition of potatocultivars differing in maturity. *J. Agronomy & Crop Science*.183: Pág. 157-165.
- Smart-fertilizer. (2017). *FORMAS PARA REDUCIR LA LIXIVIACIÓN DE NITRATOS*. Obtenido de <http://www.smart-fertilizer.com/es/articles/ways-to-minimize-nitrate-leaching>
- Smil, V. 1997. Abonos nitrogenados: abuso de una cosa buena. *Investigación y Ciencia*. Barcelona: Prensa Científica. Enciclopedia Microsoft® Encarta® 2002.
- Steinbach HS. (2001). Predictions of available nitrogen content in soil profile depth using available nitrogen concentration in surface layer. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32: 759 – 769.
- Torres. (2012). Efecto de la incorporación de residuos orgánicos marcados con N sobre la dinámica de nitrógeno en dos suelos venezolanos. Instituto de Estudios Científicos y Tecnológicos. *Rev. Fac. Agron. (Maracay)* 28: 105-116.
- Taristro. (s.f). Muestreo de suelos. Obtenido de [http://mca.ipni.net/ipniweb/region/mca.nsf/0/E175BE252981B16385257FA9005320C2/\\$FILE/Muestreo%20de%20Suelos_web.pdf](http://mca.ipni.net/ipniweb/region/mca.nsf/0/E175BE252981B16385257FA9005320C2/$FILE/Muestreo%20de%20Suelos_web.pdf)

- Vitosh, M.L. y G.H. Silva. 1996. Factors affecting potato petiole sap nitrate tests. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 27(5-8), 1137-1152.
- Ziadi, N., B. J. Zebbarth, G. Bélanger y A.N. Cambouris, 2012. Soil and plant tests to optimize fertilizer nitrogen management of potatoes. pp. 187-207. En: He, Z., R.P. Larkin y C.W. Honeycutt (eds). *Sustainable potato production: Global case studies*. Springer, The Netherlands. Doi: 10.1007/978-94-007-4104-1_11

10. ANEXOS

Anexo 1. Vista de perfil del terreno, zonificación, toma de puntos en el cultivo de papa de la hacienda.



Vista de perfil del terreno.



Zonificación, toma de puntos en el cultivo de papa de la hacienda.

Elaborado por: El autor.

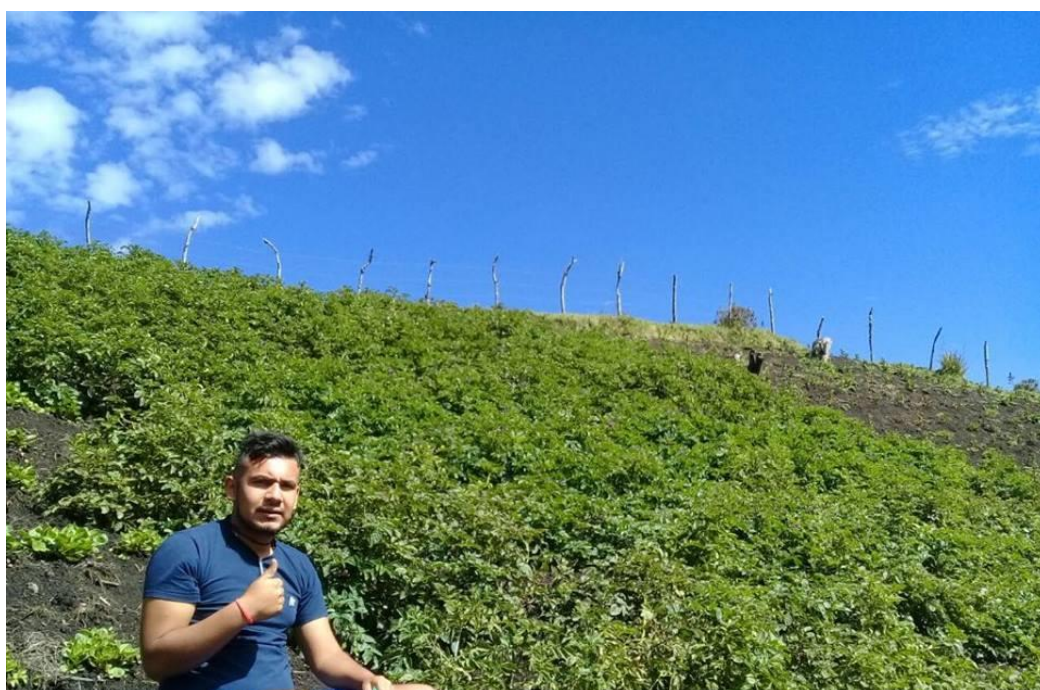
Anexo 2. Instrumentos para realizar el muestreo.



Instrumentos con los que se estrago las muestras, fundas donde se colocaron para ser llevada la laboratio, GPS, para la tomas de cordenadas de los diferentes puntos.

Elaborado por: El autor.

Anexo. 3 Toma de muestras



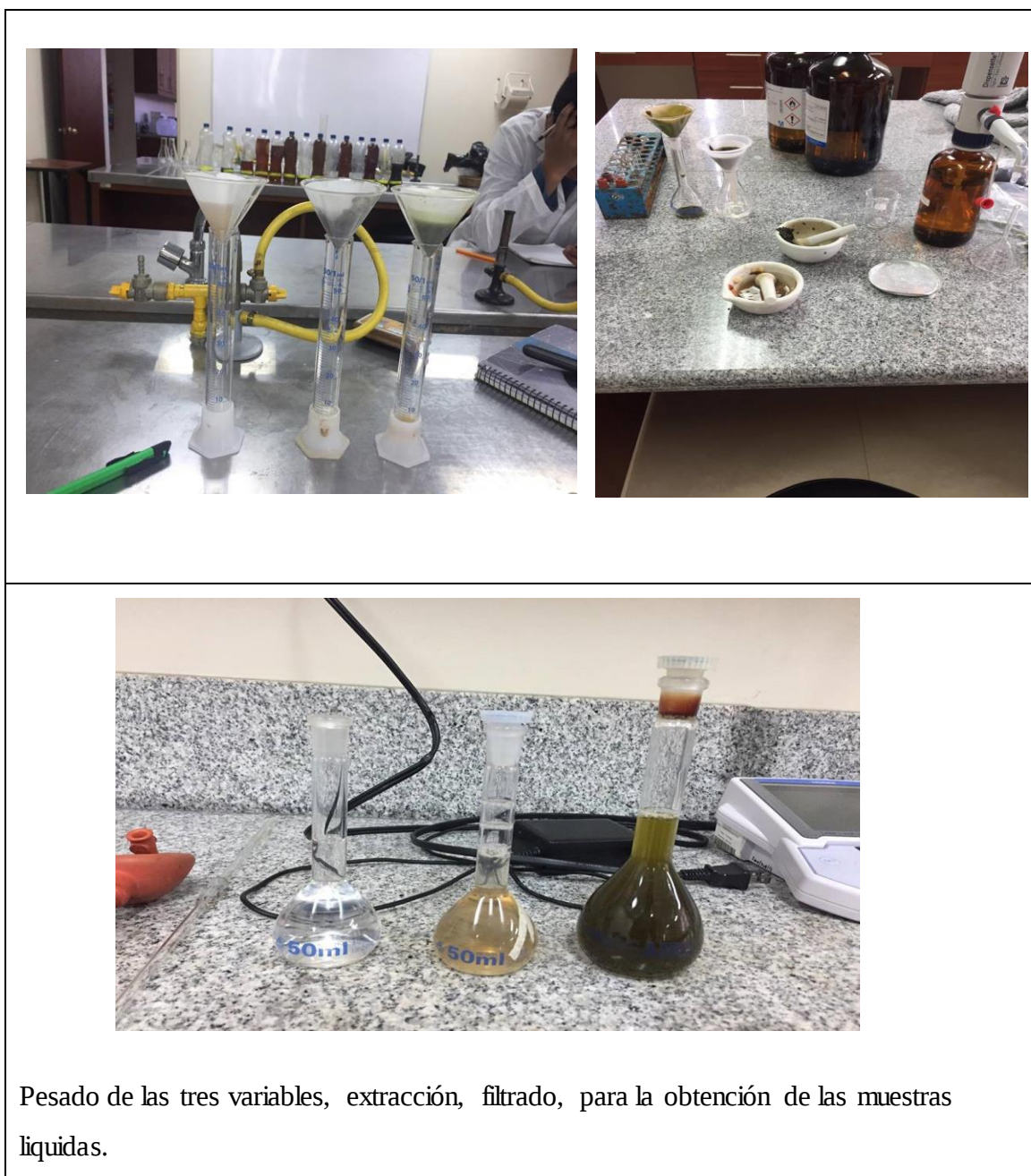




Muestras recolectadas para el análisis en el laboratorio.

Elaborado por: El autor.

Anexo. 4 Extracción de muestras.



Elaborado por: El autor.

Anexo.5 Preparación de muestras.



Disolución de las muestras, con el extracción de hojas, suelo y tubérculo utilizando agua destilada.



Muestras preparadas, posteriormente colocamos en tubos de ensayo.

Elaborado por: El autor.

Anexo.6 Medición de muestras en el Spectroquant® nova 60.



Siguiendo los pasos del test nitrato, colocamos la muestra preparada de la celda para realizar su medición.



Anotación de los datos obtenidos.

Elaborado por: El autor.

Anexo. 7 Información de la hacienda

Información de la toma de muestras de suelo para análisis químico

Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA)

Datos de la Finca Datos del Propietario

Nombre del agricultor	Hector Fabian Ponce Trujillo
Nombre del predio	La Guada
Ubicación/Ciudad	Canton Otavalo Parroquia Quichimche.
Dirección	Huayrapungo
Teléfono	-----

Datos de la toma de muestra

Clase de análisis	Químico (Nitratos)
Fecha de muestreo	① 14/08/2017 ③ 17/12/2017 ② 24/10/2017
Cultivo	Papa
Profundidad del suelo (cms)	Análisis 15 cm.

Elaborado por: El autor.

[illegible]