



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**INSTITUTO DE POSTGRADO**

**MAESTRÍA EN GESTIÓN SUSTENTABLE DE RECURSOS NATURALES**

**EFFECTO DE LA ASOCIACIÓN CON CULTIVOS ALTERNATIVOS EN LA  
PRODUCCIÓN, EFICIENCIA DE LA FERTILIZACIÓN Y CALIDAD DE FRITURA  
DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.), VAR. SÚPER CHOLA, EN EL ÁNGEL, CARCHI,  
ECUADOR**

**Trabajo de Investigación previo a la obtención del Título de Magíster en Gestión  
Sustentable de Recursos Naturales**

**AUTOR:**

**Ing. Jorge Arturo Narváez Franco**

**DIRECTOR:**

**Ing. José Luis Pantoja Guamán, Ph.D.**

**IBARRA - ECUADOR**

**2019**

## **ACEPTACION DEL TUTOR**

En calidad de tutor del trabajo de grado presentado por el Ing. Jorge Arturo Narváez Franco para optar por el título de Magister en Gestión Sustentable de Recursos Naturales, doy fe de que este trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para someterse a presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 28 días del mes de septiembre de 2019

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'José Luis Pantoja', written over a horizontal line.

Ing. José Luis Pantoja Guamán, Ph.D.  
C.I.: 100258756-4

## APROBACION DEL JURADO

EFFECTO DE LA ASOCIACIÓN CON CULTIVOS ALTERNATIVOS EN LA PRODUCCIÓN, EFICIENCIA DE LA FERTILIZACIÓN Y CALIDAD DE FRITURA DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.), VAR. SÚPER CHOLA, EN EL ÁNGEL, CARCHI, ECUADOR.

Por: Ing. Jorge Arturo Narváez Franco

Trabajo de grado aprobado en nombre de la Universidad Técnica del Norte por el siguiente Jurado, a los 28 días del mes de septiembre del 2019.



Ing. José Luis Pantoja Guamán, Ph.D.



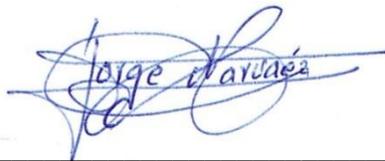
Dra. Patricia Marlene Aguirre Mejía, Ph.D.



Dr. Jesús Aranguren, Ph.D.

## **AUTORÍA**

Yo, Jorge Arturo Narváez Franco, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, todas las referencias bibliográficas y datos que se incluyen en este documento son resultado de mi investigación. Además, declaro que los resultados de esta evaluación no se han presentado como trabajo de grado en ninguna otra institución o programa académico.



---

Ing. Jorge Arturo Narváez Franco  
C.I.: 0400715587



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

### INSTITUTO DE POSTGRADO

#### BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

#### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

#### A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Artículo 114 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el repositorio digital institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	0400715587		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Narváez Franco Jorge Arturo		
<b>DIRECCIÓN:</b>	El Ángel, Espejo, Carchi, Ecuador		
<b>E-MAIL:</b>	janarvaezf@utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	062977248	<b>TELÉFONO MOVIL:</b>	0999143805

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO:</b>	EFFECTO DE LA ASOCIACIÓN CON CULTIVOS ALTERNATIVOS EN LA PRODUCCIÓN, EFICIENCIA DE LA FERTILIZACIÓN Y CALIDAD DE FRITURA DE PAPA ( <i>SOLANUM TUBEROSUM</i> L.), VAR. SÚPER CHOLA, EN EL ÁNGEL, CARCHI, ECUADOR
<b>AUTOR (ES):</b>	Ing. Jorge Arturo Narváez Franco
<b>FECHA: DD/MM/AAAA</b>	28 días del mes de septiembre de 2019

SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
<b>PROGRAMA:</b>	<input type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input checked="" type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA</b>	Magíster en Gestión Sustentable de Recursos Naturales
<b>DIRECTOR DE TESIS:</b>	Ing. José Luis Pantoja, Ph.D.

## 2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de esta autorización se la desarrolló sin violar derechos de autoría de terceros, por lo tanto, la obra es original, y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 28 días del mes de septiembre de 2019

EL AUTOR:




---

Ing. Jorge Arturo Narváez Franco  
C.I.: 040071558-7

## **DEDICATORIA**

Esta tesis es el fruto de mi esfuerzo y la realización de mis sueños, cuya cumbre, al haberla obtenido, me llena de inmensa alegría. El título de Magíster en Gestión Sustentable de Recursos Naturales es un paso más de vida, una etapa de aprendizaje en una de las carreras que engrandecerá mi futuro.

Por eso, este trabajo se lo dedico a Dios, por haberme dado la fuerza y la voluntad necesaria para lograr los objetivos propuestos y superar los desafíos académicos y científicos que acertadamente la Universidad puso ante mí.

También se lo dedico a mi esposa Lorena Puentestar; a mis hijos Nancy, Winston, y Jorge Luis, quienes me dieron apoyo y confianza para lograr este sueño. Un anhelo que se ha hecho realidad, y que es un logro para toda nuestra familia.

¡El éxito es de todos!

Jorge Arturo

## **AGRADECIMIENTO**

Al concluir este trabajo de investigación científica dejo constancia de mis sinceros agradecimientos a dos grandes instituciones como lo son la Universidad Técnica del Norte – UTN y el Instituto de Posgrados. En especial agradezco al personal administrativo y a todos mis compañeros que forman parte de la maestría en Gestión Sustentable de Recursos Naturales – GESUREM III. Extiendo un especial agradecimiento a todos los profesores de los módulos recibidos, en especial a José L. Pantoja, director de tesis, y a Patricia M. Aguirre, como coordinadora del programa y asesora del trabajo de investigación.

Jorge Arturo



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**INSTITUTO DE POSTGRADO**

**CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA  
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, Jorge Arturo Narváez Franco, con cédula de ciudadanía Nro. 040071558-7, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte – UTN, los derechos patrimoniales consagrados en La Ley de propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor del trabajo denominado: **“Efecto de la asociación con cultivos alternativos en la producción, eficiencia de la fertilización y calidad de fritura de papa (*Solanum tuberosum* L.), var. Súper chola, en El Ángel, Carchi, Ecuador”**, que se ha desarrollado para optar por el título de Magíster en Gestión Sustentable de Recursos Naturales en la UTN, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca universitaria.

---

Ing. Jorge Arturo Narváez Franco  
C.I.: 040138514-1

## ÍNDICE GENERAL

ACEPTACION DEL TUTOR.....	ii
APROBACION DEL JURADO .....	iii
AUTORÍA.....	iv
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN.....	v
1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA .....	v
2. CONSTANCIAS .....	vi
DEDICATORIA.....	vii
AGRADECIMIENTO.....	viii
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE .....	ix
RESUMEN.....	xvivi
ABSTRACT .....	xvii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 SÍNTESIS DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.2 OBJETIVOS.....	4
1.2.1 General .....	4
1.2.2 Específicos .....	4
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	5
2.1 REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS Y DE SUELO PARA LA PAPA .....	5
2.2 NUTRIENTES Y ABSORCIÓN POR LAS PLANTAS.....	6
2.3 PÉRDIDAS POR LIXIVIACIÓN Y VOLATILIZACIÓN DE NUTRIENTES .....	7
2.4 FERTILIZANTES QUÍMICOS .....	7
2.5 IMPORTANCIA DE LOS ANÁLISIS DE SUELO .....	8
2.6 REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES EN PAPA .....	8
2.7 MANEJO DEL RIEGO.....	8
2.8 ASOCIACIÓN Y ROTACIÓN DE CULTIVOS.....	9
2.9 CULTIVOS ALTERNATIVOS.....	10
2.8.1 Arveja .....	10
2.8.2 Cebolla.....	10

2.8.3	Haba.....	11
2.8.4	Quinua .....	11
2.10	PRECIO DE LA PAPA EN EL MERCADO LOCAL .....	11
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....		13
3.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	13
3.2	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE EVALUACIÓN.....	13
3.2.1	Ubicación política.....	13
3.2.2	Ubicación geográfica.....	13
3.2.3	Ubicación ecológica .....	13
3.3	MATERIALES.....	13
3.4.	MÉTODOS.....	14
3.4.1	Datos climáticos .....	14
3.4.2	Preparación del sitio experimental .....	15
3.4.3	Análisis inicial del suelo.....	16
3.4.4	Tratamientos.....	18
3.4.5	Diseño experimental y características de la unidad experimental.....	18
2.5.1	Manejo del cultivo.....	18
3.4.6	Variables evaluadas .....	19
3.4.7	Análisis estadístico .....	20
3.4.8	Análisis económico .....	21
3.5	CONSIDERACIONES BIOÉTICAS.....	21
3.5.1	En lo ambiental.....	21
3.5.2	En lo económico .....	21
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		22
4.1	DESARROLLO DEL CULTIVO DE PAPA.....	22
4.2	DESARROLLO DE LOS CULTIVOS ALTERNATIVOS .....	22
4.3	ANÁLISIS FOLIAR .....	23
4.4	ANÁLISIS DE SUELO AL FINAL DE LA EVALUACIÓN.....	23
4.5	PRODUCCIÓN TOTAL.....	24
4.5	PRODUCCIÓN CON CALIDAD INDUSTRIAL.....	25
4.6	ANÁLISIS DE TUBÉRCULO .....	25

4.7	CALIDAD DE FRITURA.....	26
4.8	ANÁLISIS DE CORRELACIONES .....	27
4.9	EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	28
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		30
5.1	CONCLUSIONES.....	30
5.2	RECOMENDACIONES .....	30
BIBLIOGRAFÍA.....		31
ANEXOS.....		36

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Temperatura media y precipitación total mensual durante la ejecución de esta evaluación en El Ángel, Carchi, Ecuador. 2018.....	15
<b>Tabla 2.</b>	Resultados del análisis inicial de suelo previo al establecimiento del ensayo de fertilización de papa. El Ángel, Carchi, Ecuador. Febrero 2018.....	17
<b>Tabla 3.</b>	Análisis de varianza del contenido foliar de nutrientes en el cultivo de papa asociado con cultivos alternativos. El Ángel, Carchi, Ecuador. Jun. de 2018. ....	23
<b>Tabla 4.</b>	Análisis de varianza del análisis del suelo al final del ensayo de producción de papa con cultivos alternativos. El Ángel, Carchi, Ecuador. Sept. de 2018.....	24
<b>Tabla 5.</b>	Análisis de varianza de la producción de papa por categoría, total y con calidad industrial, en asociación con cultivos alternativos. El Ángel, Carchi, Ecuador. Sept. de 2018. ....	25
<b>Tabla 6.</b>	Análisis de varianza del contenido de nutrientes en los tubérculos de papa producida en asociación con cultivos alternativos. El Ángel, Carchi, Ecuador. Sept. de 2018. ....	26
<b>Tabla 7.</b>	Análisis de varianza de la calidad de fritura de papa producida en asociación con cultivos alternativos. El Ángel, Carchi, Ecuador. Sept. de 2018. ....	27
<b>Tabla 8.</b>	Evaluación de la rentabilidad de la asociación de la papa con cultivos alternativos en El Ángel, Carchi, Ecuador. Sept. de 2018. ....	29

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Fig. 1.** Precio promedio mensual (en US\$) de la papa durante el 2018 en el mercado Mayorista de la ciudad de Quito. Fuente: SIPA (2019). ..... 12
- Fig. 2.** Relación entre la producción total de papa con el contenido de N en el tubérculo (izquierda) y con el contenido de N inorgánico en el suelo (derecha) durante la cosecha. El Ángel, Carchi, Ecuador. Sept. de 2018. .... 28

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Cronograma de actividades en campo.....	36
<b>Anexo 2.</b> Esquema del diseño experimental.....	37
<b>Anexo 3.</b> Presupuesto de la evaluación.....	38

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## INSTITUTO DE POSGRADO PROGRAMA DE MAESTRÍA

### **Efecto de la asociación con cultivos alternativos en la producción, eficiencia de la fertilización y calidad de fritura de papa (*Solanum tuberosum* L.), var. Súper chola, en El Ángel, Carchi, Ecuador**

Tutor: Ing. José L. Pantoja Guamán, Ph.D.  
Autor: Ing. Jorge Arturo Narváez Franco  
Año: 2019

#### RESUMEN

La erosión es el proceso degradativo que más afecta al suelo en la región Andina. El arrastre de sedimentos también contamina las fuentes de agua por la acumulación de materia orgánica y nutrientes. La papa (*Solanum tuberosum* L.) es uno de los cultivos más importantes en los Andes, pero su producción y calidad es afectada por la erosión y desbalances nutricionales. La asociación con arveja (*Pisum sativum*), cebolla (*Allium fistulosum*), haba (*Vicia faba*) y quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) podría representar una alternativa ambiental y económica de interés para los productores de papa. El objetivo fue evaluar el efecto de la asociación con cultivos alternativos en la producción, eficiencia de la fertilización y calidad de fritura de papa en El Ángel, Carchi, Ecuador. El estudio se realizó entre Feb. y Sept. de 2018 en un DBCA con cinco tratamientos (arveja, cebolla, haba, quinua y testigo) y tres repeticiones. Las variables evaluadas incluyeron: contenido foliar de nutrientes en la papa, contenido de nutrientes en el suelo y en el tubérculo durante la cosecha, producción total y por categorías de tubérculos, y estimación de la calidad de fritura. Además, se evaluaron posibles correlaciones entre variables. El análisis estadístico se realizó con el programa SAS<sup>9.3</sup>. La asociación de la papa con cultivos alternativos no mostró efectos positivos en ninguna de las variables evaluadas ( $p > 0.10$ ); se esperaba mayor aprovechamiento del N por la fijación biológica en la asociación con arveja y haba, pero esto no ocurrió. Los resultados mostraron que, al no haber suficiente espacio para competir por agua, luminosidad y nutrientes, el follaje de la papa inhibe el desarrollo de los demás cultivos. Al no obtener producción de los cultivos alternativos, no se pudo generar un ingreso económico adicional para el productor. Por último, hubo una relación positiva entre el contenido de N inorgánico en el suelo y la producción de tubérculos ( $R^2 = 0.46$ ), lo que indica que la disponibilidad de N en el suelo es vital para una óptima tuberización.

**Palabras claves:** Asociación de cultivos, Fertilización, Fijación de N, Leguminosa, Nutrición.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

INSTITUTO DE POSGRADO PROGRAMA DE MAESTRÍA

**Effect of the association with alternative crops in the production, fertilizer use efficiency and frying quality of potato (*Solanum tuberosum* L.), var. Súper chola, in El Ángel, Carchi, Ecuador**

Advisor: Ing. José L. Pantoja Guamán, Ph.D.  
Author: Ing. Jorge Arturo Narváez Franco  
Year: 2019

**ABSTRACT**

Erosion is the degradation process that mostly affects the soil in the Andean region. Sediment transport also generates water pollution by the accumulation of organic matter and nutrients. Potato (*Solanum tuberosum* L.) is one of the most important crops in the Andes, but its production and quality is affected by erosion and nutritional imbalances. The association with pea (*Pisum sativum*), onion (*Allium fistulosum*), broad bean (*Vicia faba*) and quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) could represent an environmental and economic alternative of interest for potato producers. The objective was to evaluate the effect of the association with alternative crops in the production, efficiency of fertilization and quality of potato frying in El Ángel, Carchi, Ecuador. The study was conducted between Feb. and Sept. of 2018 in a CRBD with five treatments (pea, onion, broad bean, quinoa and control) and three replicates. The evaluated variables included: foliar content of nutrients in the potato crop, content of nutrients in the soil and in the tuber during harvest, total production of tubers and by categories, and estimation of the frying quality. In addition, possible correlations between variables were evaluated. The statistical analysis was carried out with the SAS<sup>9.3</sup> program. The association of potatoes with alternative crops did not show positive effects in any of the evaluated variables ( $p > 0.10$ ); N was expected to be harnessed by biological fixation in the association with pea and broad bean, but this did not occur. Results showed that, since there is not enough space to compete for water, luminosity and nutrients, the foliage of the potato crop inhibits the development of other crops. Since production of alternative crops was not obtained, no additional economic income for the producer was generated. Finally, there was a positive relationship between the inorganic N content in the soil and production of tubers ( $R^2 = 0.46$ ), which indicates that the availability of N in the soil is vital for optimal tuberization.

**Keywords:** Crop association, Crop nutrition, Fertilization, Legumes, N fixation.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

La erosión del suelo es el proceso que se origina por acción del agua o el viento y que produce pérdida de las capas del suelo, constituyendo un proceso degradativo que afecta la productividad de los cultivos (Barioglio, 2009). La erosión hídrica es más común en terrenos de alta montaña, con pendientes pronunciadas; mientras que la erosión eólica es típica de zonas áridas. Además, la erosión constituye una de las principales causas de contaminación del agua, debido a que el arrastre de sedimentos también resulta en el transporte de nutrientes y materia orgánica (MO) hacia los cuerpos de agua (Lawlor et al., 2007).

Los fertilizantes son productos proveen nutrientes que los cultivos necesitan para producir alimentos a escala comercial (FAO, 2014). Con un buen manejo, los fertilizantes de origen natural o industrial contribuyen a mejorar la fertilidad de los suelos. Sin embargo, su mal manejo resulta en desbalances nutricionales del suelo y pérdida de nutrientes con la consecuente contaminación ambiental. Por ejemplo: 1) aplicaciones excesivas de fuentes de N de tipo amoniacal en suelos secos y alcalinos resulta en producción de amoníaco por volatilización que contamina la atmósfera, 2) aplicaciones excesivas de N y P en forma de  $\text{NO}_3^-$  y fosfatos en suelos con buen drenaje interno y superficial resulta en hipoxia y eutrofización de los cuerpos de agua debido a la lixiviación y escorrentía de nutrientes, y 3) aplicaciones excesivas de N en suelos saturados resultan en procesos de desnitrificación y en la producción de gases nitrogenados ( $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2$ ) que contribuyen al calentamiento global (Anaya-Lang, 2003; Lawlor et al., 2007). El escenario es preocupante con respecto al cuidado ambiental, porque en zonas agrícolas se ha reportado hasta un 60% de incremento en la emisión de gases contaminantes (Medina, 2010).

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es un cultivo fundamental para las comunidades Andinas (Caranqui y Morales, 2009). El Carchi es la provincia de mayor producción de papa en Ecuador (50 a 70% del volumen total) con una productividad media de  $22 \text{ Mg ha}^{-1}$  en cerca de 15000 ha (35% del total del área nacional) (Andrade et al., 2002). Desde mediados del siglo pasado se ha incrementado la aplicación de plaguicidas y fertilizantes por la revolución agrícola a nivel mundial; sin embargo, la poca capacitación técnica de los agricultores ha provocado un uso irracional de estos productos, con la consecuente afectación a la producción y el ambiente. El Carchi es también la provincia que utiliza más plaguicidas y fertilizantes químicos en la producción de papa por unidad de área en nuestro país (Hibon et al., 1984; Yanggen et al., 2003).

Por otro lado, El Carchi también dispone de las condiciones climáticas propicias para la producción de otros cultivos como arveja (*Pisum sativum*), cebolla larga (*Allium fistulosum*), haba (*Vicia faba*) y quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). Hasta hace un par de décadas los agricultores carchenses solían asociar o rotar estos cultivos alternativos con el cultivo de papa, pero esta práctica es poco visible en la actualidad. Esta asociación representaba tres ventajas ambientales y/o productivas: 1) reducción en la erosión del suelo y el consecuente cuidado del ambiente, 2) mejor aprovechamiento y balance nutricional, y 3) un ingreso económico adicional para el agricultor (Yanggen et al., 2003).

Sin embargo, por temas económicos se ve a la papa como un producto de mayor rentabilidad que los alternativos; además, el uso de siembras en asociación genera mayor requerimiento de mano de obra, algo que los agricultores desean evitar. Por tal motivo, predomina el monocultivo en El Carchi; en consecuencia, la carga química (de plaguicidas y fertilizantes) es alta en los sistemas agrícolas de esta provincia (Andrade et al., 2002). Además, el monocultivo tiene serios problemas de erosión del suelo, lo que reduce su fertilidad natural, incrementa la contaminación de las fuentes de agua y conlleva a un incremento de la aplicación de fertilizantes.

Para un buen desarrollo y producción las plantas necesitan el aporte balanceado de nutrientes. Andrade et al. (2002) mencionan que el manejo adecuado del cultivo es el conjunto de prácticas y actividades –oportunas y adecuadas– que se realizan para favorecer la germinación, crecimiento y desarrollo de las plantas. El suelo es la principal fuente de nutrientes de un cultivo como la papa, pero las altas productividades requieren cada vez más de una mayor aplicación de fertilizantes (Caranqui y Morales, 2009), por lo que los problemas de desbalance nutricional y contaminación ambiental también han ido en aumento.

El uso de cultivos alternativos en asociación o rotación permite mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas de los suelos (Morón et al., 1999). Esto es porque son prácticas alternativas que permiten reducir los efectos negativos de la producción intensiva en el medio ambiente. Por ejemplo, la asociación de cultivos resulta en mayor área de suelo cubierta por vegetación –y por lo tanto protegida– ante agentes erosivos como el agua y el viento, lo que conlleva al menor transporte de sedimentos, MO y nutrientes. También hay una mayor eficiencia en el uso y reciclaje de nutrientes, en especial de los aplicados con los fertilizantes, lo que genera un menor desgaste en la fertilidad natural del suelo (Pantoja, 2014). Además, cuando se utilizan leguminosas como la arveja o el haba como parte de estas prácticas, se tiene un aporte adicional de N por la fijación biológica. Por último, la asociación y rotación de cultivos mejora el balance ecológico del agro ecosistema y favorece el desarrollo de

comunidades de plantas y animales, lo que incrementan su biodiversidad (Caranqui y Morales, 2009).

La industria procesadora de papa requiere tubérculos con tamaño uniforme (0.05 – 0.10 m de diámetro), de forma adecuada (redondos u ovalados), bajo contenido de azúcares reductores y mayor cantidad de sólidos totales (Pantoja et al., 2017). Esto último es porque durante la fritura, el aminoácido asparagina reacciona con los azúcares reductores y forma acrilamida; esta se quema a más de 180 °C; por lo tanto, a mayor contenido de asparagina y azúcares reductores, mayor es el riesgo de quemado de las hojuelas de papa, lo que le reduce su calidad y por lo tanto, su valor comercial (Pantoja et al., 2017).

Se ha especulado que la fertilización desbalanceada es una de las causas por las que la papa tiene problemas de calidad durante el procesamiento. Sin embargo, no se ha determinado con exactitud las posibles causas de esta problemática ni se ha dimensionado en términos técnico-científicos la magnitud y efectos de esos desbalances (Pantoja et al., 2017). Las interrogantes son mayores si la papa se cultiva en un sistema de asociación o de rotación con cultivos alternativos. Si estos cultivos ayudan a generar un mejor balance nutricional, se esperaría que la calidad de la papa también mejore.

A pesar de la importancia de los cultivos alternativos en la economía del agricultor y en su efecto restaurador del suelo, no existen evaluaciones que hayan determinado el efecto de estas asociaciones o rotaciones en la producción, eficiencia de la fertilización y calidad de fritura de la papa. Por lo tanto, este trabajo es necesario porque se evaluarán alternativas de asociaciones de cultivos que podrían reducir la erosión y el desgaste natural del suelo, reducir los problemas ambientales generados por el uso desbalanceado de los fertilizantes, mejorar los niveles de producción y calidad del tubérculo de papa. Todo esto permitiría mejorar la economía del agricultor a largo plazo.

## **1.1 SÍNTESIS DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

Las tierras agrícolas se han vuelto menos productivas por la erosión y el desbalance en la fertilización. La degradación del suelo afecta la fertilidad y la producción de cultivos (Morón et al., 1999; Prado, 2016). En El Carchi los productores de papa no realizan asociaciones o rotaciones de cultivos y eso potencializa el desgaste de la fertilidad natural del suelo, la cual reduce la productividad de cultivos como la papa y resulta en mayor demanda de fertilizantes. Además, los agricultores no realizan análisis de suelo para elaborar programas de fertilización

adecuados que, sumado al desconocimiento técnico general con respecto a la aplicación de fertilizantes, resulta en mayor contaminación ambiental. Como resultado se obtiene un sistema productivo desbalanceado en términos nutricionales, con alta carga química, de baja biodiversidad natural y poco sostenible en el tiempo.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 General**

Evaluar el efecto de la asociación con cultivos alternativos en la producción, eficiencia de la fertilización y calidad de fritura de papa en El Ángel, Carchi, Ecuador.

### **1.2.2 Específicos**

- ✓ Determinar el efecto de la asociación con cultivos alternativos en la productividad de papa en El Ángel, Carchi, Ecuador.
- ✓ Determinar el efecto de la asociación con cultivos alternativos en la eficiencia de la fertilización aplicada a la papa en El Ángel, Carchi, Ecuador.
- ✓ Determinar el efecto de la asociación con cultivos alternativos en la calidad de fritura de papa en El Ángel, Carchi, Ecuador.
- ✓ Determinar el efecto de la asociación con cultivos alternativos en la calidad del suelo en El Ángel, Carchi, Ecuador.
- ✓ Hacer un análisis de la relación beneficio costo<sup>-1</sup> con el uso de los cultivos alternativos.

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

Este trabajo tiene un enfoque sustentable porque busca mejorar la productividad de la papa al aprovechar las ventajas de los cultivos alternativos (reducción de la erosión, mejor aprovechamiento de los nutrientes, y fijación biológica de N). Si esto llega a convertirse en una práctica común entre los agricultores, también hay potencial para mejorar su economía porque podría obtener un ingreso adicional al de la papa. Por último, se busca apoyar investigaciones enfocadas en determinar las dosis óptimas de fertilizantes que se recomiendan para los cultivos Andinos al fomentar prácticas como el análisis de suelos y la aplicación de fórmulas balanceadas de fertilización.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS Y DE SUELO PARA LA PAPA

El cultivo de la papa debe realizarse en lugares con buenas características de temperatura, humedad, precipitación, nivel de acidez del suelo (pH 5.5 – 6.5), textura suelta y liviana, retención de humedad, profundidad efectiva (> 0.3 m), baja pendiente, y contenido de MO. Zonas óptimas incluyen aquellas cuya temperatura media anual oscila entre 9 y 11° C, una precipitación media anual de 1300 mm, pH ligeramente ácido (5 a 6) en el suelo y alto contenido de MO (Fueyo, 2007; Torres, 2011).

Midmore (1988) y Hernández et al. (2000) indican que la papa es un cultivo de clima frío, pero que las nuevas variedades se han adaptado también a temperaturas templadas de zonas altas en latitudes tropicales. Cuando se cultiva bajo condiciones templadas o cálidas, se produce alteraciones de la fisiología de la planta, que reduce la tuberización y, por lo tanto, la productividad. Dependiendo de la variedad, la temperatura óptima para el crecimiento de la papa está entre 17 y 20 °C, porque las temperaturas medias mayores a los 20 °C, pueden atrasar la tuberización y la velocidad del llenado. Temperaturas sobre los 30 °C tienden a reducir la acumulación de materia seca; también, en periodos prolongados de altas temperaturas y baja precipitación hay bajo desarrollo del follaje lo cual afecta el crecimiento del tubérculo (Andrade et al., 2002). Las plantas bajo estrés hídrico y térmico tienen menos probabilidad de tuberizar y presentan anomalías en los tubérculos como tamaño pequeño, color de la piel pálido, textura dura y forma irregular. Por eso es necesario aplicar riego cuando no hay suficientes precipitaciones para mitigar el estrés del cultivo. Por lo tanto, un conocimiento claro de la respuesta de la papa a condiciones cálidas proporciona la base necesaria para la elección apropiada del genotipo a cultivar, de los requerimientos de fertilización, y de las prácticas agronómicas que pueden contribuir a obtener la máxima producción.

Con respecto al suelo, la papa requiere suelos profundos con alta fertilidad natural, con buen drenaje interno y superficial, de textura franca y franco arcillosa pero no pegajosa, con buen contenido de nutrientes y MO; el pH puede ser ligeramente ácido, pero no excesivo, y con bajo contenido de salinidad. Adicionalmente, Gómez-Sánchez (2012) indica que los niveles de producción actual en papa (> 50 Mg ha<sup>-1</sup>) no se consiguen sin la aplicación de fertilizantes; y que mal manejo de la fertilización ocasiona pérdidas hasta del 60% del fertilizante edáfico, lo que representa hasta un 35% del costo de la nutrición del cultivo.

## 2.2 NUTRIENTES Y ABSORCIÓN POR LAS PLANTAS

Para la papa se debe preparar el suelo de forma adecuada, tanto en términos físicos como en términos químicos y nutricionales. La papa puede crecer casi en todos los tipos de suelos, salvo en los excesivamente alcalinos y salinos. Los suelos que ofrecen menos resistencia (mayor porosidad) al crecimiento de los tubérculos son los más convenientes, y los suelos francos o de arena con arcilla y abundante MO, con buen drenaje y ventilación, son los mejores. Se considera ideal un pH de 5.2 a 6.4 en el suelo (Jácome, 2012). Los nutrientes principales que debe tener el suelo para la producción de papa son N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Cu, Zn, B y Mo; sin embargo, la mayoría de los productores de papa solo aplican fertilizantes (mezclas físicas o químicas) que contienen N, P y K; lo que resulta en serios desbalances nutricionales (Pantoja et al., 2017). Además, tener nutrientes en el suelo no garantiza una buena producción porque existen factores como: sequía, compactación del suelo, mal drenaje, enfermedades o insectos que limitan la absorción de nutrientes por parte del cultivo.

En términos ambientales, la agricultura aporta elementos que aceleran la degradación ambiental; por lo que conocer la magnitud de las fuentes de contaminación es importante para mejorar la eficiencia del sistema productivo (Cepeda, 2003). La poca eficiencia del uso de fertilizante en la planta se debe a factores que bloquean la absorción de nutrientes como:

**Factores de la planta:** De acuerdo con la especie y/o variedad se presentan distintas capacidades de adaptación a condiciones de suelo muy diversas; esto se debe en especial al desarrollo de sistemas radiculares diferenciados.

**Condiciones climáticas:** Las altas precipitaciones y elevadas temperaturas resultan en alta demanda de nutrientes, pero también en altas pérdidas de nutrientes (por lixiviación y volatilización) para el cultivo.

**Condiciones químicas del suelo:** El pH y la conductividad eléctrica (CE) afectan la presencia de nutrientes en formas disponibles, en especial el P, por lo que condiciones extremas de acidez y alcalinidad, así como la elevada CE resultan en menor absorción de nutrientes.

**Efecto de la localización del fertilizante:** Aplicaciones en banda o por sitio específico –sobre todo incorporadas al suelo– son por lo general mejores que la aplicación al boleó. El sistema se vuelve aún más eficiente si los nutrientes se aplican vía fertirriego.

### 2.3 PÉRDIDAS POR LIXIVIACIÓN Y VOLATILIZACIÓN DE NUTRIENTES

Cuando la dosis de fertilizante nitrogenado aumenta por arriba del límite de capacidad de absorción de la planta, también aumenta las pérdidas de N y genera problemas de contaminación ambiental (volatilización, lixiviación y desnitrificación). Además, la capacidad de un suelo para almacenar nutrientes está relacionada con su capacidad buffer, y esta a su vez depende de la clase textural del suelo; por lo tanto, suelos arcillosos son menos propensos a la pérdida de nutrientes que suelos arenosos (FAO, 2014).

**Lixiviación de nitrato:** El N es el elemento de mayor demanda por los cultivos, pero al ser un elemento móvil en el suelo y sujeto a numerosos cambios químicos, se puede perder del sistema suelo-planta con cierta facilidad, en especial mediante el proceso de lixiviación (Lawlor et al., 2007). Además, en sistemas agrícolas el método de preparación del suelo previo a la siembra resulta en diferencias considerables en el grado de lixiviación de  $\text{NO}_3^-$  en el suelo por su condición de molécula móvil. De acuerdo con Thompson (2002), hay diferencias considerables en la cantidad y velocidad en la cual se lixivia el  $\text{NO}_3^-$  dependiendo del tipo de labranza. Morón et al. (1999) reportaron que la labranza cero, al no presentar horizontes compactos –de tipo pie de arado– genera una mejor estructura y porosidad del suelo, e incluso la formación de grietas profundas que facilitan la lixiviación. El N lixiviado es fuente de contaminación de las fuentes de agua subterránea, un problema que se agrava en las zonas agrícolas con altas precipitaciones o alta demanda de riego.

**Volatilización del amoníaco y óxido nitroso:** Es de conocimiento general que las fuentes de fertilización de tipo amoniacal resultan en pérdidas de N en forma de  $\text{NH}_3$ , en especial cuando el fertilizante se aplica a un suelo seco y con pH alcalino (Keller y Mengel, 1986). Adicionalmente, bajo condiciones de saturación, el N inorgánico del suelo puede convertirse en formas gaseosas mediante el proceso de desnitrificación, en especial  $\text{N}_2\text{O}$ , las cuales se eliminan luego a la atmósfera y son causantes del efecto invernadero (Durand et al., 2011), principal factor del cambio climático.

### 2.4 FERTILIZANTES QUÍMICOS

Los tres elementos minerales de mayor demanda por los cultivos son N, P y K (Rosales, 2016), pero deben aplicarse aportando las dosis necesarias y con la frecuencia adecuada. En el mercado existen fertilizantes simples, mezclas físicas y químicas, y fertilizantes de lenta liberación y liberación controlada para proporcionar estos nutrientes (Navarro-García y Navarro-García,

2014). La eficiencia en la absorción de nutrientes depende de la calidad de la fuente; pero el agricultor decide la fuente a aplicar principalmente con base en el precio. Por lo general, los cultivos muestran respuestas favorables a la aplicación de fertilizantes químicos y orgánicos, pero orgánicos suelen tener menos nutrientes disponibles, con menor impacto en el ambiente por la lenta liberación de nutrientes, y además mejoran las características físicas, químicas y biológicas del suelo (Trinidad-Santos, 1987). Por su bajo precio y facilidad para su aplicación se prefieren fuentes químicas; aunque la aplicación desbalanceada de estas puede resultar en disminución de la productividad.

## **2.5 IMPORTANCIA DE LOS ANÁLISIS DE SUELO**

Los análisis de suelo son una herramienta para estimar la disponibilidad de nutrientes útiles para el cultivo, conocer el grado de alcalinidad o acidez, la MO existente, sales y la textura del suelo. Estos factores son importantes para elaborar un programa de fertilización adecuado. En este sentido, hay poca capacitación técnica del agricultor y de los profesionales agrícolas en la preparación adecuada de fórmulas de fertilización. Una herramienta determinante para evaluar la fertilidad del suelo y mejorar los balances nutricionales para procesos productivos es el análisis del suelo (Cosmo Agro, 2013); sin embargo, es una herramienta poco utilizada por los agricultores de la región Andina.

## **2.6 REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES EN PAPA**

Para suplir los requerimientos nutricionales de la papa se necesita aplicar fertilizantes que por lo general son mezclas físicas o químicas que aportan nutrientes al suelo (Fonseca, 2014). Además, por la alta demanda de nutrientes, en la provincia de El Carchi la fertilización se realiza en dos etapas: en el retape 60% de fertilizante y reabone o aporque el 40% restante. La aplicación de fertilizante se realiza normalmente bajo una relación 0.8-1.0:1.0 abono-semilla (0.8-1.0 sacos de 50 kg de abono por 1 saco de semilla). Las dosis más utilizadas suelen incluir aplicaciones de 200-80-340 kg ha<sup>-1</sup> de N, P y K, respectivamente.

## **2.7 MANEJO DEL RIEGO**

Cada cultivo necesita de cierto volumen de agua o requerimiento hídrico durante su desarrollo. En agricultura, el exceso de agua puede resultar en desbalances nutricionales que afectan la

productividad, por ejemplo, por las pérdidas por lixiviación de N y la falta de O<sub>2</sub> en el sistema radicular. Por eso, el suministro de agua en forma oportuna y las cantidades adecuadas ayuda al crecimiento óptimo del cultivo. Por lo tanto, en el manejo del riego se busca mantener una humedad estable y óptima, conocida como capacidad de campo, y se trata de evitar que el suelo se seque hasta un punto donde el cultivo sufre daños irreversibles (conocido como punto de marchitez permanente), o que se mantenga en condiciones de saturación (Cadena, 2014).

En la zona de El Ángel, Carchi, la papa necesita entre 600 a 700 mm de agua distribuidos en todo su ciclo vegetativo (unos 180 días), con un incremento en las etapas de floración y tuberización (Andrade et al., 2002). En la región Sierra de Ecuador, varios lugares tienen volúmenes de lluvia que cubren este requerimiento; sin embargo, hay ciertas etapas (en especial entre Jun. y Oct.), en las que se debe recurrir al riego para satisfacer el requerimiento del cultivo. Este riego por lo general se lo aplica por gravedad o por aspersión, y no es muy eficiente si se lo compara con riegos más tecnificados como el riego por goteo. Sin embargo, el riego por goteo es muy costoso para los productores de papa. Por eso, y para que la aplicación de riego por gravedad y por aspersión sea efectiva, se debe determinar de forma técnica la lámina de riego; la cual varía según el estado fenológico del cultivo y también por las propiedades del suelo, en especial la textura (Cadena, 2014).

## **2.8 ASOCIACIÓN Y ROTACIÓN DE CULTIVOS**

Hay ventajas de la asociación y rotación de cultivos en relación con la producción agrícola y el cuidado del ambiente. Esto es porque la interacción de cultivos favorece el equilibrio biológico y el balance nutrimental del agro ecosistema (Gutiérrez, 2004). Hablar de asociación y rotación de cultivos es referirse a dos prácticas fundamentales de la agricultura y que tienen como base la conservación del suelo y su fertilidad; esto indica que se debe combinar y asociar los cultivos de una forma correcta, porque las plantas responden con un mejor desarrollo y productividad al buen manejo de este tipo de prácticas.

En lo referente a la rotación, se alternan plantas de diferentes familias con necesidades nutricionales diferentes, pero debe ser en el mismo lugar y con diferente ciclo. Con ello se logra un mayor equilibrio biológico y mejor balance nutrimental. Esto resulta en menor erosión del suelo, reducción en la incidencia de plagas y enfermedades, y un sistema productivo más sustentable. Sin embargo, estas prácticas también generan desventajas como: aumento en la competencia por los recursos (agua, suelo y nutrientes) y el espacio, maximizándose la humedad

relativa en el sistema y el potencial para la presencia de daños fúngicos (Arteaga-Ramírez et al., 2010). En consecuencia, existen diversos cultivos de cereales y leguminosas de uso común que se pueden utilizar en asociaciones y rotaciones, con la ventaja de que las leguminosas aportan N al sistema y reducen el requerimiento de fertilizantes; pero se deben considerar factores negativos de la asociación o rotación previo su establecimiento.

## **2.9 CULTIVOS ALTERNATIVOS**

### **2.8.1 Arveja**

Es una leguminosa considerada como hortaliza o legumbre, de tipo herbácea, de hábito rastrero o trepador, que se desarrolla en climas templados y templados fríos; con un alto contenido de proteína (6% en verde y 24% en seco); se consume en forma fresca, enlatada y como grano (FNC, 2010). Además, fija N atmosférico por acción de la bacteria *Rhizobium* sp., y es una buena opción dentro de un plan de rotación de cultivos. Este cultivo es importante en términos económicos y productivos para el agricultor y para la dieta de las personas por su alto contenido nutricional; ayuda a mejorar la fertilidad del suelo por la fijación de N. Sin embargo, su asociación con la papa ha disminuido por las dificultades que ocasiona en el manejo del cultivo, en especial de la mecanización.

### **2.8.2 Cebolla**

A diferencia de otras plantas del género *Allium*, la cebolla larga no produce bulbo; en El Carchi se cultiva la var. Junca, que se caracteriza por su grosor mediano a delgado, macollo fuerte, y tiene un sabor apetecido en el mercado. También se cultiva en menor escala la var. Manguana (o imperial), que produce gajos más gruesos, macolla menos y resiste más a las enfermedades, sequías y encharcamiento (Lemus, 2015). Las variedades de la cebolla de rama más conocidas y usadas por los agricultores a nivel nacional son: vernilera, manguana o imperial y chava (Villalobos, 2002). Al sembrar cebolla en asociación con la papa se produce sinergismo al reducir la incidencia de plagas e incrementar la absorción de nutrientes. Como desventaja destacan que algunas plantas prefieren mantener su distancia o ser sembradas solas, para poder crecer mejor, y existe mayor requerimiento de mano de obra.

### **2.8.3 Haba**

Es una leguminosa con importantes aportes de N fijado de forma biológica (Perea, 2015). Suele sembrarse sola, pero también en asociación con papa, maíz (*Zea mays* L.), quinua y melloco (*Ullucus tuberosus*); es un componente determinante para la dieta humana en la región Andina, quienes la consumen en forma tierna o seca; contiene proteína en el 9% cuando es tierna y 23% cuando está seca. El haba también tiene la utilidad como abono verde al cultivarse en forma asociada, intercalada en el cultivo y en rotación con otros cultivos, porque permite proteger el suelo de la erosión hídrica. El haba fija N mediante *Rhizobium leguminosarum* que toma el N de la atmósfera para convertirlo en N disponible para la planta. Mientras que la planta provee a la bacteria de componentes orgánicos obtenidos en la fotosíntesis. Estas bacterias se encuentran en el suelo y se activan al sembrar leguminosas. Cuando las bacterias reciben señales de que hay leguminosas en el suelo, se acercan y entran a las raíces (simbiosis). Sin embargo, la rotación de papa con haba no suele ser recomendable, porque los dos cultivos poseen enfermedades comunes (por ejemplo, rhizoctonia y fusarium) (Yanggen et al., 2003). Por eso se recomienda realizar la siembra de cereales y a continuación el haba.

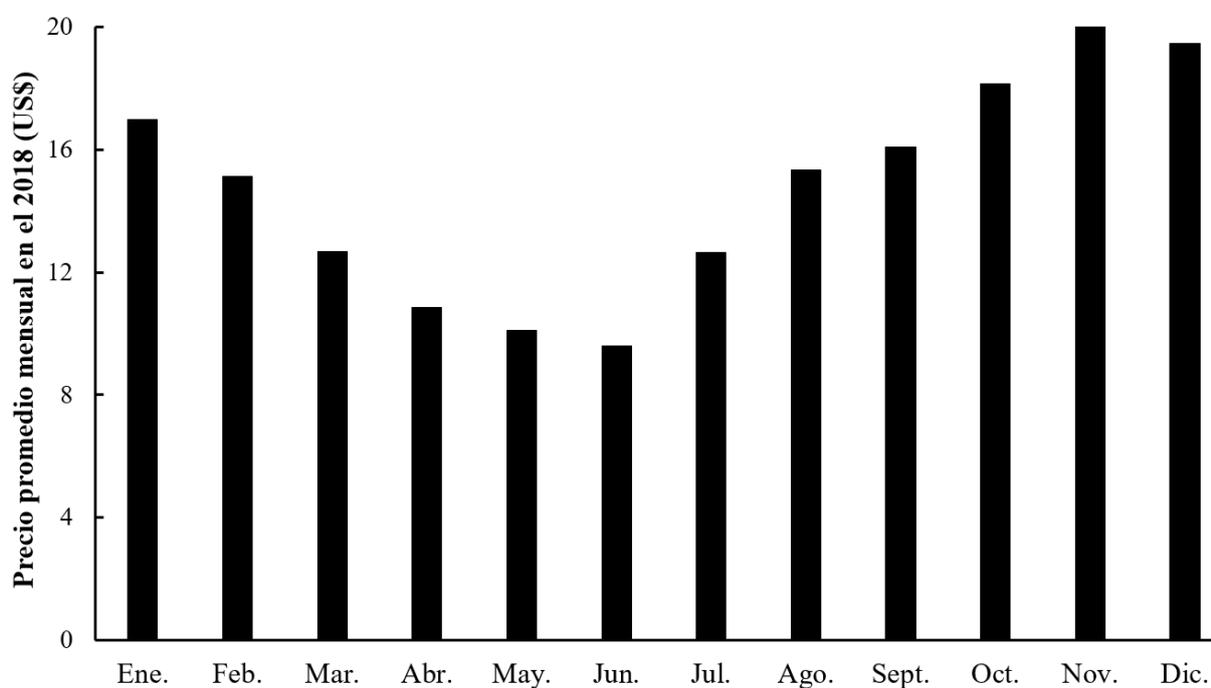
### **2.8.4 Quinua**

Se ha cultivado en la zona Andina por su valor nutritivo desde el periodo incaico, y en los últimos años ha sido considerada como un cultivo secundario, no solo por sus escasos cultivos sino por su bajo consumo (Jacobsen, 2002). Llega a crecer hasta 3500 msnm con temperatura media de 12 °C (Basantes-Morales et al., 2019). En la actualidad se utiliza para la asociación y rotación de cultivos porque permite mantener la fertilidad del suelo y mejora el reciclaje de nutrientes; por tanto, es muy utilizada en los sistemas papeiros. Además, la interrelación de estos cultivos puede servir para refugiar para microorganismos benéficos (Martín, 1977). La quinua suele sembrarse intercalada con otros cultivos como la papa para aprovechar fertilizantes residuales en ciertas áreas del sistema productivo; sin embargo, la quinua crece más rápido que la papa, por lo que sí existe una siembra asociada, la papa suele tener problemas de exceso de sombra (Bazile et al., 2014).

## **2.10 PRECIO DE LA PAPA EN EL MERCADO LOCAL**

En Ecuador no existe un precio fijo para la papa. Por lo general, el precio en los mercados locales y pequeños es menor al precio de venta en los mercados mayoristas de Quito y

Guayaquil. Es así por ejemplo que en Quito se suelen alcanzar precios de hasta US\$ 700 Mg<sup>-1</sup> en el Distrito Metropolitano de Quito (SIPA, 2019). Al no existir un precio fijo, el valor de venta suele ser bastante volátil y poco predecible, y es así como de mes a mes hay variaciones de precio que superan el 20% (Fig. 1); y estas variaciones no son homogéneas año a año. Esto genera incertidumbre para el agricultor y para la cadena de comercialización de la papa. En los meses con sobreoferta el precio de venta es incluso menor a US\$ 200 Mg<sup>-1</sup>, lo cual no cubre el costo de producción (que oscila entre US\$ 250 – 280). En los mercados locales, incluso se llega a pagar menos de US\$ 100 Mg<sup>-1</sup> (SIPA, 2019). Ante esta incertidumbre, los cultivos alternativos pueden ser una fuente adicional de ingresos para el agricultor, y de esta manera afrontar en mejores condiciones los bajos precios de mercado en épocas de alta oferta de papa.



**Fig. 1.** Precio promedio mensual (en US\$) de la papa durante el 2018 en el mercado Mayorista de la ciudad de Quito. Fuente: SIPA (2019).

## CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Esta fue una *investigación de campo* en la que se probó los efectos de cultivos alternativos en la eficiencia del uso de fertilizantes, la producción y la calidad de fritura en papa.

### 3.2 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE EVALUACIÓN

#### 3.2.1 Ubicación política

Provincia: Carchi  
Cantón: Espejo  
Parroquia: 27 de Septiembre  
Sector: San José de Chabayan

#### 3.2.2 Ubicación geográfica

Latitud Norte: 00°38'0.5"  
Longitud Oeste: 77°56'30"

#### 3.2.3 Ubicación ecológica

Altitud: 3120 msnm.  
Pendiente: 2%.  
Temperatura media: 11.8°C.  
Precipitación anual: 750 - 1250 mm.  
Humedad relativa: 70 - 80%.  
Región: Sierra.  
Zona ecológica: Bosque húmedo montano bajo (GAD Municipal de Espejo, 2015).

### 3.3 MATERIALES

**Variedad de papa:** Súper chola

**Fertilizantes:** Urea, muriato de K, sulfato de Mg y mezclas físicas con nutrientes N-P-K.

**Productos para el control de bacterias:** Acialamidas, Agua oxigenada, Ácido oxolínico, Benzimidazoles, Cuprimicina, Ditiocarbamatos, Fosetil Al, Iprodione, Kasugamicina, Oxadixil, Oxicloruro de Cu, Sulfato de Cu puro y pentahidratado, Tebuconazole, Vinclosoin, Violeta de genciana.

**Productos para el control de hongos:** Azoxystrobin propamocarb, Benalaxyl, Captan, Carbosulfan Cu Hidroxisulfato, Carbosulfan triabendasol, Carboxin, Cimoxanil iprodione, Ciproconazol, Dimethomorph, Epoxiconazole, Folped, Fluoazinam, Futriafol, Korzo, Mancoceb, Mandipropamida, Metalaxyl, Myclobutanil, Pirimethanil, Propiconazol, Propineb, Ximoxanil.

**Productos para el control de insectos:** Abamectina, Acefatos, Acetamirid, Alfacipermetrina, Beta-cipermetrina, Carbosulfan cipermetrina, Clorpirifos, Deltametrin, Dimethoatho, Emamectin benzoate, Fipronil, Imidacloprid, Lamda-cialothrin, Metomil, Pemetrin, Permetrina, Profenofos, Rabendiamide, Spinosad, Therratocum, Teflubenzuron, Thiachloprid, Thiodicarb, Tiamethoxan.

**Otros productos:** Reguladores de pH del agua y coadyuvantes.

La aplicación de ingredientes activos para el control fitosanitario se realizó mezclando varios productos para tener un mayor espectro de control (Liñan, 2015). En la papa se realizan entre 12 y 15 aplicaciones fitosanitarias en el ciclo del cultivo, dependiendo de la incidencia o ataque de plagas (Andrade et al., 2002), pero un adecuado manejo y control puede reducir las aplicaciones a solo 6 (Oyarzún, 2002).

### **3.4. MÉTODOS**

#### **3.4.1 Datos climáticos**

Para determinar la temperatura se utilizó los datos de la estación meteorológica de la parroquia La Libertad, a 2 km del lote en el que se estableció el experimento. Estos equipos fueron instalados por el gobierno ecuatoriano (INAHMI, 2014; AGSO y MAGAP, 2017). En cambio, la precipitación se midió con un pluviómetro colocado en el sitio experimental y recolectando los datos después de cada evento pluvial.

En esta investigación, la temperatura promedio fue de 11.4 °C, con una mínima de 6.6 °C y una máxima de 16.2 °C (Tabla 1). La temperatura máxima se presentó en Abr. y la mínima en Jul. y Ago. Con base en estos resultados, se puede identificar que en la zona donde se realizó la

investigación, la temperatura fue óptima para el crecimiento del cultivo y la tuberización del producto.

Con respecto a la precipitación, esta fue alta en los meses de Feb., Mar. y Abr., pero disminuyó el resto del ciclo, por lo que se procedió a la aplicación de riegos por aspersión para mantener una buena humedad en el suelo y cubrir el requerimiento hídrico del cultivo, algo necesario para la papa y los cultivos alternativos (Tabla 1). Cuando existen lluvias prolongadas o aplicaciones excesivas de riego, también hay potencial para el desarrollo de enfermedades, en especial de tipo fúngico, debido al incremento en la humedad ambiental (Arteaga-Ramírez et al., 2010). Por eso se deben tomar ciertas medidas de control de enfermedades antes y después de los eventos lluviosos, en especial mediante aplicación de productos fitosanitarios.

**Tabla 1.** Temperatura media y precipitación total mensual durante la ejecución de esta evaluación en El Ángel, Carchi, Ecuador. 2018.

Mes	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Temperatura media	Precipitación
	----- °C -----			Mm
Febrero	16.4	6.6	11.5	98
Marzo	16.5	6.9	11.7	105
Abril	16.7	7.1	11.9	129
Mayo	16.7	7.0	11.8	80
Junio	15.9	6.3	11.1	50
Julio	15.5	6.1	10.8	30
Agosto	15.6	6.0	10.8	14
Septiembre	16.6	6.5	11.5	40
Promedio o Total	16.2	6.6	11.4	546

### 3.4.2 Preparación del sitio experimental

La evaluación se desarrolló bajo condiciones a campo abierto en una finca representativa en lo que se refiere a condiciones técnicas de manejo del cultivo y bajo un cronograma de trabajo planificado (Anexo 1). En el cultivo de la papa juega un papel importante la adecuada y oportuna preparación del suelo. Para terrenos en descanso (potrero viejo o barbecho) es importante incorporar en el suelo la materia verde existente para su descomposición (Montalvo, 1984), puesto que este material verde no descompuesto puede actuar fijando nutrientes de los fertilizantes. El tipo de preparación de suelo depende de la rotación de cultivos que se manejen en la finca (Mendoza, 1992).

La preparación del suelo tiene un propósito preparar *la cama de siembra* bajo condiciones físicas adecuadas (suelo suelto y sin terrones grandes) para la elaboración de surcos, el tapado

de semilla y la emergencia de las plántulas. La preparación del suelo inició 15 días después de la cosecha del cultivo anterior que fue trigo (*Triticum aestivum*), donde se procedió a realizar dos pases de arado de discos. Se dejó en descanso el suelo por 15 días más y se realizó dos pases de rastra. Luego se realizó la surcada el día previo a la siembra.

En la deshierba y el aporque se trató de que el suelo esté suelto de tal modo que facilite el movimiento de nutrientes, el control mecánico de malezas y la formación del camellón. Una buena formación de la cama facilita también la cosecha.

### **3.4.3 Análisis inicial del suelo**

Luego de preparar el sitio experimental (labranza), pero antes de la siembra se realizó un muestreo del suelo (a 0.2 m de profundidad) de toda el área experimental; se recolectó al azar 20 submuestras que se mezclaron para obtener una muestra homogénea y 1 kg de esa mezcla se utilizó para análisis.

En el laboratorio las muestras se secaron a 60 °C con circulación continua de aire por al menos 48 h hasta obtener una muestra fácil de moler y se tamizó en un tamiz de 2 mm para eliminar rocas, impurezas y raíces. Los análisis incluyeron la evaluación de la textura del suelo mediante el método del hidrómetro (Bouyoucos, 1962; Medina et al., 2007). El pH se evaluó con el potenciómetro utilizando una relación 1:2 suelo: agua y esa preparación también se utilizó para determinar la CE, la MO se evaluó mediante pérdida por ignición. El N inorgánico se evaluó mediante dilución con CaCl<sub>2</sub>. El P se determinó por colorimetría luego de extraerlo con el método Olsen; mientras que el K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, y Zn se obtuvieron mediante extracción ácida, el S, B, Na y Cl<sup>-</sup> se obtuvieron mediante extracción en agua; estos se analizaron con el equipo de Absorción Atómica (Carrera, 2008).

La MO y la textura inicial del suelo fueron las recomendadas para el cultivo de papa (Gómez-Sánchez, 2012) (Tabla 2). El pH fue ligeramente ácido, lo que puede limitar la asimilación de nutrientes, en especial P (Gómez-Sánchez, 2012). Sin embargo, en la zona de estudio los agricultores realizan correcciones de pH con la aplicación de cal agrícola (carbonato de calcio) solo cuando la acidez es < 5.0. En esos casos, la aplicación de cal tiene tres objetivos: 1) disminuir la acidez del suelo, 2) mejorar la disponibilidad de nutrientes, en especial el P, y 3) mejorar la saturación de bases y la biodisponibilidad de Ca. La dosis de aplicación es dependiente del grado de acidez del suelo y del contenido de MO, pero las aplicaciones más comunes son de 250-1000 kg ha<sup>-1</sup>.

Con respecto a los macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg y S), el N, Ca y S se encontraron en niveles bajos y los demás estaban en los rangos óptimos. La baja disponibilidad de N se debió a que al cultivo previo se le aplicó  $< 100 \text{ kg N ha}^{-1}$ , lo cual sumado a las altas precipitaciones de Ene. pudo resultar en lixiviación de N inorgánico (como  $\text{NO}_3^-$ ). Con respecto al Ca, su baja disponibilidad es un reflejo de la condición ácida del suelo (Donald y Kass, 1982). En cambio, la mayor parte del S es fijado por los microorganismos descomponedores en suelos ricos en MO (Barrera et al., 2004), y es un nutriente que no forma parte de la mayoría de las mezclas físicas de fertilizantes, por lo que su aplicación edáfica suele ser deficiente. Rimache (2007) indica que la fertilización edáfica de macronutrientes es vital para el desarrollo radicular y la tuberización de la papa.

**Tabla 2.** Resultados del análisis inicial de suelo previo al establecimiento del ensayo de fertilización de papa. El Ángel, Carchi, Ecuador. Febrero 2018.

Ítem	Unidad	Resultado	Rango óptimo <sup>†</sup>
Materia orgánica	%	5.6	2 – 6
Textura	--	LAAr	AL - LAAr
pH (KCl)	--	5.4	5.6 - 6.2
N	mg kg <sup>-1</sup>	7.0	30 – 50
P	mg kg <sup>-1</sup>	34.2	30 – 60
K	mg kg <sup>-1</sup>	232.0	200 – 340
Ca	mg kg <sup>-1</sup>	324.0	600 – 1800
Mg	mg kg <sup>-1</sup>	92.0	75 – 180
S	mg kg <sup>-1</sup>	4.0	10 – 15
Fe	mg kg <sup>-1</sup>	210.0	20 – 50
Mn	mg kg <sup>-1</sup>	57.0	6 – 30
Cu	mg kg <sup>-1</sup>	2.7	1 – 4
Zn	mg kg <sup>-1</sup>	6.1	1 – 6
B	mg kg <sup>-1</sup>	0.4	0.1 - 0.6
Na	mg kg <sup>-1</sup>	6.0	< 140
Cl-	mg kg <sup>-1</sup>	34.0	< 100
Sales totales	mg kg <sup>-1</sup>	117.0	< 2000
Conductividad eléctrica	mS/cm	0.1	0.3 – 0.6

<sup>†</sup> Fuente: Volke-Haller et al. (1998).

Con respecto a los micronutrientes (Fe, Mn, Cu, Zn y B), estos se encontraron en niveles óptimos y altos, un reflejo de la condición ácida del suelo (Baquero-Pañuela et al., 2018). Además, debido a que los cultivos tienen bajos requerimientos de estos nutrientes, solo se aplican vía foliar cuando se observan posibles deficiencias nutricionales. Para reducir

problemas de arpillamiento de la planta y mejorar el llenado del tubérculo, en la provincia de El Carchi es una práctica común aplicar 3 – 5 kg Zn ha<sup>-1</sup> en forma de sulfato de Zn, y 2 – 3 kg B ha<sup>-1</sup> como ácido bórico o como borax (Herrera et al., 1992; Pumisacho y Sherwood, 2002). Estas aplicaciones suelen ir acompañadas de 2- 5 kg K ha<sup>-1</sup> que ayuda al engrose del tubérculo. La salinidad (contenido de sales y CE) fue baja, un reflejo de la condición ácido de los suelos típicos del páramo Andino (Gliessman, 1998) y de que el agua de riego utilizada en este sistema productivo es de buena calidad.

#### **3.4.4 Tratamientos**

Esta investigación tuvo cinco tratamientos que incluyeron el testigo o control (solo papa) y las asociaciones de papa con: arveja, cebolla, haba y quinua. Para la papa se eligió la var. Súper Chola, al ser esta la más apreciada por el mercado local. La variedad de arveja fue la Quantum, la de cebolla fue Junca; la de haba fue Semi-verde y la de quinua fue Tunkahuan.

#### **3.4.5 Diseño experimental y características de la unidad experimental**

Para la distribución de los tratamientos en el campo se utilizó un diseño experimental de tipo bloques completos al azar (DBCA) con tres repeticiones (Anexo 2). Cada unidad experimental (parcela) estuvo compuesta por 10 surcos de 10 m de largo y separados 1.0 m entre sí (100 m<sup>2</sup>). Se tuvo 15 parcelas en total (1500 m<sup>2</sup>). Además, se incluyó un borde de sembrado solo con papa para un mejor manejo del error experimental y para evitar efectos adversos de cultivos cercanos, lo que dio como resultado un área total de ensayo de 2500 m<sup>2</sup>.

#### **2.5.1 Manejo del cultivo**

El manejo del cultivo incluyó las siguientes prácticas culturales.

- ✓ La desinfección de semilla se realizó por inmersión en un tanque con la aplicación de los productos para el control de hongos e insectos.
- ✓ Preparación del suelo (arado y rastra) con maquinaria agrícola.
- ✓ Surcada con espaciamiento 1 m entre surcos.
- ✓ Se desinfectó el suelo con bomba de mochila para eliminar hongos, bacterias, insectos y algunos microorganismos patogénicos para los cultivos.

- ✓ Siembra con una planta por golpe a un espacio de 0.35 m entre plantas.
- ✓ Se cubrió las semillas de forma manual con el azadón.
- ✓ La primera fertilización se la realizó a los 21 días después de la siembra durante el retape (con azadón), colocando el fertilizante formulado y dosificado sobre el surco de siembra con base en un análisis de suelo.
- ✓ Durante el retape se aprovechó para sembrar los cultivos alternativos en las parcelas asignadas, en hilera y a 10 – 15 cm de la línea de siembra de la papa. Cada cultivo se sembró con base en criterios técnicos.
- ✓ A los 45 días después de la siembra se realizó la paleada o deshierba con el azadón.
- ✓ La segunda aplicación del fertilizante se realizó a los 80 días después de la siembra, coincidiendo con el aporque final o alzada de tierra con el azadón.
- ✓ La aplicación de riego se realizó por aspersión mediante cañones, y la frecuencia se determinó con base en estado de humedad del suelo.
- ✓ Las aplicaciones de plaguicidas y fertilizantes foliares se realizaron conforme el requerimiento del cultivo y con bomba de mochila.
- ✓ Las labores culturales requeridas por los cultivos alternativos se realizaron de forma simultánea a los requeridos por la papa.

### 3.4.6 Variables evaluadas

**Contenido de nutrientes en el follaje:** Esta variable se evaluó una vez desarrollada la papa (no en los cultivos alternativos), luego del aporque final y al inicio de la floración. Esto se hizo para determinar el contenido de nutrientes en el follaje debido al efecto de los cultivos alternativos. Para ello se seleccionó de forma aleatoria 10 plantas de los cuatro surcos centrales de cada parcela, y en cada planta se muestreó la primera una hoja madura del tercio medio de la planta. Las hojas recolectadas se juntaron y colocaron en bolsas de papel y se enviaron a análisis. En el laboratorio las muestras se secaron a 65 °C por 48 h con circulación permanente de aire y luego se molieron a un tamaño de partícula menor a 2 mm. Una submuestra se sometió a digestión ácida con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> para determinar la concentración de N con el método Micro Kjeldahl, mientras que una digestión húmeda con HNO<sub>3</sub> y HClO<sub>4</sub> se utilizó para determinar la concentración de P, K, Ca, Mg, S, Na, Fe, Mn, Cu, Zn y B (Maldonado, 2011).

**Contenido de nutrientes en el suelo al final del ciclo del cultivo:** Para este análisis se utilizó una muestra compuesta y representativa de suelo (8 submuestras: 4 del surco de siembra y 4 del

espacio entre surcos a 0.20 m de profundidad). La metodología en el laboratorio fue la misma que para el análisis inicial.

**Producción total de tubérculos:** Para ello se cosecharon los cuatro surcos centrales de cada parcela. El producto cosechado se clasificó en tres categorías (gruesa, pareja y delgada) y se pesó cada una de ellas (Torres, 2012).

**Producción de tubérculos con calidad industrial:** Los requisitos para que la papa sea de calidad industrial son: tamaño de 0.05 - 0.10 m de diámetro, uniformidad en forma y tamaño de los tubérculos, poca profundidad de ojos, ausencia del corazón hueco, alto contenido de materia seca (MS) o sólidos totales (mayor peso gravimétrico) y bajo contenido de azúcares reductores (Naranjo, 2002). Luego de hacer la clasificación del producto cosechado, se seleccionaron los tubérculos que cumplían con las características físicas (tamaño y forma) requeridos por la industria y se pesó el producto de cada parcela.

**Estimación de la calidad de fritura:** Las pruebas para determinar el contenido de azúcares reductores y el contenido de MS de forma indirecta (hojuelas quemadas) se realizaron en 5 kg de tubérculo con calidad industrial de cada parcela y con base en protocolos propios de la industria de procesamiento de papa (Mendoza, 1992). Las hojuelas que resultaron de este proceso se clasificaron con base en el daño (quemado) resultante del proceso de fritura en excelentes, buenas y malas (Qing et al., 2006).

**Contenido de nutrientes en el tubérculo:** Este análisis permitió determinar la cantidad de nutrientes extraídos con la proporción cosechable (tubérculo) de la papa. La metodología utilizada en el laboratorio fue la misma descrita para el análisis foliar.

### **3.4.7 Análisis estadístico**

Con los resultados se realizaron análisis de varianza (ANDEVA) para todas las variables evaluadas. Para eso se utilizó el PROC MIXED procedimiento del programa estadístico SAS<sup>9.3</sup> (SAS Institute, 2009). En estos análisis, los tratamientos se consideraron como factores fijos, mientras que las repeticiones se consideraron aleatorias. Para identificar diferencias entre los tratamientos se utilizó la opción DIFF del PROC MIXED procedimiento; las cuales se consideraron significativas cuando  $p \leq 0.10$ , con la herramienta “*Diferencia Mínima Significativa – DMS*”.

Para fortalecer el análisis, también se evaluó las posibles relaciones entre el nivel de producción con el contenido de N en el tubérculo de papa y con el contenido de N inorgánico en el suelo ( $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$ ) durante la cosecha. Para ello se utilizó el procedimiento PROC CORR de SAS<sup>9.3</sup>, donde los coeficientes de correlación de Pearson  $\geq |0.70|$  y con  $p \leq 0.10$  se consideraron significativos (Hinsinger y Jailard, 1993).

### **3.4.8 Análisis económico**

En cada tratamiento se calculó la relación beneficio costo<sup>-1</sup> para determinar la rentabilidad del sistema. El precio referencial para comercializar el producto obtenido de esta evaluación fue de US\$ 350 Mg<sup>-1</sup> (SIPA, 2019); mientras que el costo base de establecimiento y manejo del cultivo desde la preparación del suelo hasta su comercialización fue de US\$ 6500 ha<sup>-1</sup>. El beneficio se obtuvo a partir del precio de venta del producto y el costo resultó de la inversión realizada durante la evaluación (Anexo 3). Para los tratamientos de asociación de cultivos se incluyó el costo de la semilla y la mano de obra utilizada para el establecimiento de dichos cultivos.

## **3.5 CONSIDERACIONES BIOÉTICAS**

### **3.5.1 En lo ambiental**

En esta investigación no se incluyó la utilización de productos de uso agrícola no registrados, ni que atenten contra las condiciones ambientales y ecológicas por encima de los límites permisibles.

### **3.5.2 En lo económico**

La inversión para esta evaluación la cubrió el estudiante. Con la venta del producto cosechable se estimó el impacto económico (ingresos) para el agricultor.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 DESARROLLO DEL CULTIVO DE PAPA

Los primeros brotes de papa emergieron 21 días después de la siembra, que coincidió con el retape y la primera fertilización. Aproximadamente 15 días después se observaron brotes gruesos y hojas grandes y uniformes. Ahí se presentó la primera incidencia de hongos e insectos, que afectó de forma leve a un 5% del cultivo, pero se controló con las aplicaciones fitosanitarias.

Las principales plagas y enfermedades identificadas fueron: tizón tardío (*Phytophthora infestans*), tizón temprano (*Alternaria solani*), barrenador (*Diatraea saccharalis*), trips y pulgones. Una vez realizado este control se observó una mejoría y un buen desarrollo del cultivo, en condición sano y vigoroso durante el ciclo vegetativo. En etapas más adultas, sobre todo luego de la floración e inicio de la tuberización, se realizaron aplicaciones fitosanitarias de tipo preventivo para el control de hongos (en especial tizón tardío), del gusano blanco de la papa (*Premnotrypes vorax* Hustache) y la polilla guatemalteca (*Tecia solanivora*). Todos los controles fitosanitarios se aplicaron dependiendo de las condiciones climáticas para evitar la propagación de plagas y maximizar la efectividad de los productos aplicados.

Se realizaron aplicaciones de riego por aspersión en los meses de sequía y Para obtener una humedad adecuada, sobre todo durante la tuberización, se realizaron riegos por aspersión entre May. y Sept. La cosecha y selección del producto cosechado se realizó de forma manual, y la venta fue inmediata, por lo que no se requirió almacenamiento.

### 4.2 DESARROLLO DE LOS CULTIVOS ALTERNATIVOS

En esta investigación se observó que los cultivos asociados no llegaron a un desarrollo óptimo de estado adulto y productivo. Esto se debió a que la papa fue agresiva en términos de competencia por espacio, disminuyendo la disponibilidad de agua, luminosidad y nutrientes para los cultivos alternativos, por lo que estos fueron cubiertos por el follaje de la papa. Esto resultó en dos consecuencias no esperadas para esta investigación: 1) no se consiguió producción a partir de los cultivos alternativos, y 2) no se observaron diferencias en cuanto al beneficio nutricional de asociar el cultivo, en especial con las leguminosas (ver más adelante).

### 4.3 ANÁLISIS FOLIAR

Estos resultados no mostraron efectos significativos de ninguno de los tratamientos y en ninguno de los nutrientes evaluados ( $p > 0.10$ ) (Tabla 3). Con respecto a los macronutrientes, el N, P, Mg y S se encontraron dentro de los rangos óptimos, lo que sugiere que el plan de fertilización fue adecuado para estos nutrientes. Sin embargo, el K estuvo por debajo del nivel óptimo, algo que puede ser consecuencia de su baja disponibilidad en el suelo y la lixiviación por las altas precipitaciones y aplicación de riego; mientras que el Ca se encontró por encima del rango óptimo, lo que sugiere que –a pesar de la acidez del suelo– fue disponible para el cultivo y que las aplicaciones de productos foliares pudieron contribuir a su asimilación. Resalta el nivel ligeramente alto de Na, algo no deseable para el cultivo, y que pudo resultar de trazas de sal en los fertilizantes edáficos y de la aplicación de productos foliares elaborados a base de Na (Fernández et al., 2015).

Con respecto a los micronutrientes (Fe, Mn, Cu, Zn y B), estos se encontraron dentro de los rangos óptimos, lo que indica que la fertilización y el aporte del suelo fueron adecuados para el cultivo durante la ejecución de esta investigación.

**Tabla 3.** Análisis de varianza del contenido foliar de nutrientes en el cultivo de papa asociado con cultivos alternativos. El Ángel, Carchi, Ecuador. Jun. de 2018.

Cultivo alternativo <sup>†</sup>	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B
	----- % -----						----- ppm -----					
Arveja	4.9	0.29	3.3	2.1	0.63	0.34	0.11	135	247	7.9	87	29
Cebolla	4.9	0.31	3.5	2.0	0.68	0.34	0.11	142	223	7.2	78	31
Haba	4.8	0.29	3.4	2.0	0.60	0.35	0.12	176	251	7.2	91	31
Quinua	4.8	0.29	3.4	2.1	0.65	0.34	0.12	141	260	7.3	68	29
Testigo	5.1	0.31	3.6	1.9	0.59	0.37	0.12	150	196	8.3	62	32
PROMEDIO	4.9	0.30	3.5	2.0	0.63	0.35	0.12	149	236	7.6	77	30
Rango óptimo <sup>‡</sup>	4.0- 6.0	0.25- 0.50	4.0- 7.0	0.8- 1.5	0.5- 1.0	0.30- 0.50	0.02- 0.10	70- 150	50- 300	6- 20	40- 150	25- 50

<sup>†</sup> Los cultivos alternativos no generaron diferencias para ningún nutriente evaluado en el análisis foliar ( $p > 0.10$ ).

<sup>‡</sup> Rangos considerados como óptimos para el cultivo de papa. Fuente: Hiller (1995).

### 4.4 ANÁLISIS DE SUELO AL FINAL DE LA EVALUACIÓN

Estos resultados tampoco presentaron diferencias significativas para para ninguno de los tratamientos ni en ninguna de las variables de suelo evaluadas ( $p > 0.10$ ) (Tabla 4), lo que significa que los nutrientes residuales generados en un ciclo de cultivo de papa no fueron

suficientes para incidir en un cambio de los parámetros del análisis (Thompson, 2002). Además, no se observan diferencias considerables con respecto al análisis inicial del suelo. Por último, al no tener un buen desarrollo, los cultivos alternativos no generaron cambios notorios en la fertilidad del suelo y no incidieron en las variables evaluadas (Campaña-Cuz, 2003; Muñoz et al., 2016). Se esperaba que la arveja y el haba, al ser leguminosas, incidieran en la concentración de N inorgánico producto de su fijación biológica y que afectaran la disponibilidad de K por su alta demanda de este nutriente (López, 1992), pero esto no se observó. De acuerdo con Agamuthu y Broughton (1985), las leguminosas pueden aportar hasta 150 kg N ha<sup>-1</sup> al sistema productivo, y reducir la pérdida por lixiviación de hasta 60 kg N ha<sup>-1</sup>; sin embargo, en este estudio no se vieron esos resultados porque los cultivos asociados no tuvieron un óptimo desarrollo.

**Tabla 4.** Análisis de varianza del análisis del suelo al final del ensayo de producción de papa con cultivos alternativos. El Ángel, Carchi, Ecuador. Sept. de 2018.

Variable evaluada <sup>†</sup>	Unidad	Cultivo alternativo <sup>†</sup>					
		Arveja	Cebolla	Haba	Quinoa	Testigo	PROMEDIO
MO	%	8.1	8.0	8.1	8.4	8.0	8.1
pH (KCl)	--	5.4	5.2	5.3	5.4	5.2	5.3
N inorgánico	mg kg <sup>-1</sup>	9.4	8.1	9.4	11.9	8.0	9.4
P	mg kg <sup>-1</sup>	25	25	25	24	25	25
K	mg kg <sup>-1</sup>	329	225	297	291	232	275
Ca	mg kg <sup>-1</sup>	405	422	382	407	399	403
Mg	mg kg <sup>-1</sup>	101	102	88	100	103	99
S	mg kg <sup>-1</sup>	14	26	17	16	24	13
Fe	mg kg <sup>-1</sup>	189	173	150	193	185	178
Mn	mg kg <sup>-1</sup>	51	49	49	48	47	49
Cu	mg kg <sup>-1</sup>	2.6	2.8	2.7	2.9	2.8	2.8
Zn	mg kg <sup>-1</sup>	7.5	7.9	6.4	7.2	6.3	7.1
B	mg kg <sup>-1</sup>	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2
Na	mg kg <sup>-1</sup>	17	18	19	13	15	17
Cl-	mg kg <sup>-1</sup>	129	198	142	101	115	137
Sales totales	mg kg <sup>-1</sup>	357	483	363	289	327	364
CE	mS cm <sup>-1</sup>	0.4	0.6	0.4	0.4	0.4	0.4

<sup>†</sup> Los cultivos alternativos no generaron diferencias para ningún componente del análisis de suelo ( $p > 0.10$ ).

#### 4.5 PRODUCCIÓN TOTAL

Al igual que con las variables anteriores, la producción de papa (por categoría y total) no fue afectada por la asociación con cultivos alternativos ( $p > 0.10$ ) (Tabla 5). Se esperaba que la asociación con leguminosas (arveja y haba) resultara en mayor productividad por el aporte

biológico de la fijación de N, pero esto no ocurrió y la producción fue similar entre todos los tratamientos. Para Westermann (2005), para lograr efectos positivos en la fijación de N atmosférico y la consecuente mejora en la productividad, las leguminosas deben tener un óptimo desarrollo y apropiada nodulación para la formación de inóculos de *Rhizobium* sp.; caso contrario, la leguminosa puede convertirse en competidor del cultivo principal.

#### 4.5 PRODUCCIÓN CON CALIDAD INDUSTRIAL

Al no haber diferencias en la producción neta de papa, tampoco se encontró diferencias en la producción de tubérculos con calidad industrial ( $p > 0.10$ ) (Tabla 5). De acuerdo con Gutiérrez (2004) y Perea (2015), la asociación y rotación de cultivos son prácticas encaminadas a conservar la calidad y salud del suelo y mejorar el reciclaje de nutrientes, pero sus resultados son más tangibles en el largo plazo; por lo que es poco probable identificar mejoras en la fertilidad del suelo y en la productividad en periodos cortos (por ejemplo, en un solo ciclo de cultivo). Adicionalmente, es necesario evaluar que los cultivos que se asocian tengan diferentes tipos de patógenos; caso contrario se generan inóculos que incrementan riesgos fitosanitarios.

**Tabla 5.** Análisis de varianza de la producción de papa por categoría, total y con calidad industrial, en asociación con cultivos alternativos. El Ángel, Carchi, Ecuador. Sept. de 2018.

Cultivo alternativo <sup>†</sup>	Gruesa	Pareja	Delgada	Total	Calidad industrial
	----- Mg ha <sup>-1</sup> -----				
Arveja	32.5	17.0	4.6	54.1	37.9
Cebolla	35.3	15.5	2.1	52.9	39.1
Haba	37.6	15.1	4.3	56.9	40.6
Quinoa	38.9	14.6	3.1	56.7	41.4
Testigo	34.6	18.1	2.1	54.8	40.3
PROMEDIO	35.8	16.0	3.2	55.1	39.9

<sup>†</sup> Los cultivos alternativos no generaron diferencias para ningún componente de la cosecha ( $p > 0.10$ ).

#### 4.6 ANÁLISIS DE TUBÉRCULO

A pesar de que existen ciertas diferencias numéricas en el contenido de los nutrientes de los tubérculos, estas no son significativas y no dependen de la asociación de la papa con cultivos alternativos ( $p > 0.10$ ) (Tabla 6). Sin embargo, destaca que la asociación con arveja y haba resultó en mayor absorción (al menos de forma matemática) de N en el tubérculo; aunque no se

distinguen otros patrones diferenciales de absorción nutricional. La asociación de cultivos que incluyen leguminosas, por lo tanto, tiene potencial para mejorar la eficiencia en el uso del N y aprovecharlo mejor en la formación de tubérculos, lo que podría resultar en mayor acumulación de MS, y eso es algo deseable para el agricultor y la industria, porque a mayor contenido de MS la papa tiene menor riesgo de quemarse durante la fritura (Pantoja et al., 2017), generando menores pérdidas económicas. Sin embargo, los resultados de esta investigación son hipotéticos y no son concluyentes, y más bien indican un aprovechamiento homogéneo de los nutrientes proporcionados con la fertilización en el sitio experimental.

**Tabla 6.** Análisis de varianza del contenido de nutrientes en los tubérculos de papa producida en asociación con cultivos alternativos. El Ángel, Carchi, Ecuador. Sept. de 2018.

Cultivo alternativo <sup>†</sup>	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B
	----- % -----						----- mg kg <sup>-1</sup> -----					
Arveja	1.49	0.08	1.68	0.01	0.09	0.07	0.06	43	14	4.6	24	17
Cebolla	1.20	0.07	1.78	0.02	0.09	0.09	0.07	55	24	2.8	30	18
Haba	1.47	0.08	1.77	0.01	0.08	0.09	0.07	90	21	3.7	50	20
Quinoa	1.29	0.08	1.68	0.01	0.07	0.08	0.07	39	17	2.8	25	15
Testigo	1.06	0.07	1.76	0.02	0.07	0.08	0.07	39	17	1.8	26	19
PROMEDIO	1.36	0.08	1.73	0.01	0.08	0.08	0.07	57	19	3.5	32	18

<sup>†</sup> Los cultivos alternativos no generaron diferencias significativas para ningún nutriente evaluado en el análisis de tubérculos ( $p > 0.10$ ).

#### 4.7 CALIDAD DE FRITURA

Aunque no se presentaron diferencias estadísticas debido a la asociación de cultivos con respecto a la calidad de fritura de la papa ( $p > 0.10$ ) (Tabla 7), numéricamente el tratamiento con haba obtuvo el mayor porcentaje de calidad excelente. Esto pudo resultar del alto contenido de N presente en el tubérculo (ver variable anterior). En frituras de buena calidad las hojuelas tienen color amarillo-dorado uniforme y de consistencia crocante, mientras que en frituras de baja calidad se observan tonalidades desde blanco a anaranjado y de consistencia elástica. Además, las papas óptimas para fritura presentan una gravedad específica  $> 1080 \text{ g L}^{-1}$  (Córdova, s.f.). En cambio, Mendoza (1992) indica que la mejor calidad de fritura (en hojuelas, papa bastón, o papa frita a la francesa) se obtiene cuando los contenidos de MS  $> 20\%$  y de azúcares reductores  $< 1.5 \text{ mg g}^{-1}$  de peso fresco.

**Tabla 7.** Análisis de varianza de la calidad de fritura de papa producida en asociación con cultivos alternativos. El Ángel, Carchi, Ecuador. Sept. de 2018.

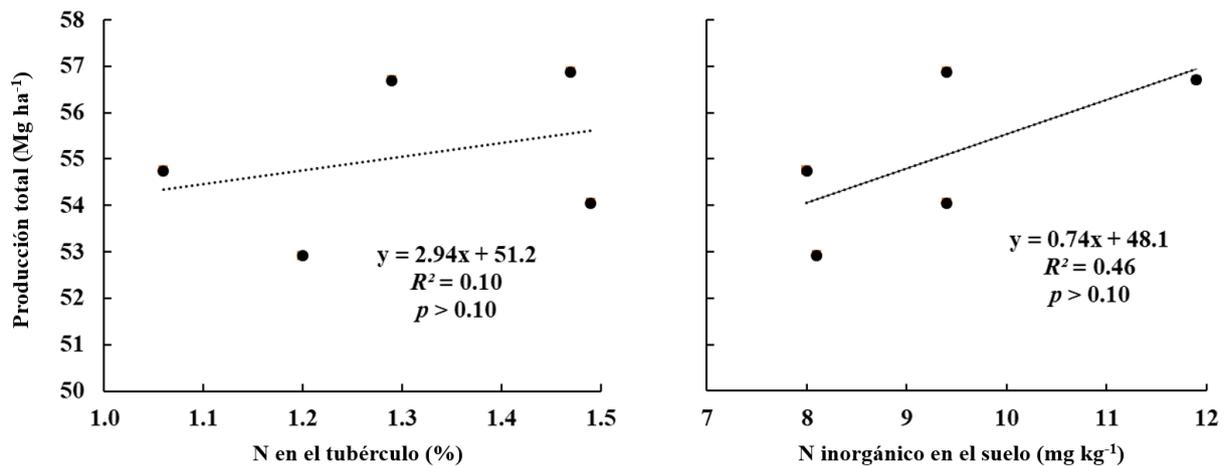
Cultivo alternativo <sup>†</sup>	Excelente	Regular	Malo
	----- % -----		
Arveja	85.7	11.1	3.2
Quinoa	89.7	8.6	1.7
Haba	90.8	8.5	0.8
Cebolla	87.9	11.7	0.4
Testigo	90.0	9.2	0.8
PROMEDIO	88.8	9.8	1.4

<sup>†</sup> Los cultivos alternativos no generaron diferencias la calidad de fritura ( $p > 0.10$ ).

#### 4.8 ANÁLISIS DE CORRELACIONES

Los resultados muestran que no hay relación entre el contenido de N en los tubérculos y la producción total de papa ( $p > 0.10$ ;  $R^2 = 0.10$ ) (Fig. 2, izquierda). Sin embargo –y aunque no es significativa– hay una mejor relación entre el N inorgánico (disponible) del suelo y la producción ( $p > 0.10$ ;  $R^2 = 0.46$ ) (Fig. 2, derecha). Esto significa que el contenido de N inorgánico en el suelo es un factor más determinante que el contenido de N en el tubérculo en lo que respecta a la productividad del cultivo. Sin embargo, en Ecuador es difícil conocer la disponibilidad de N en el suelo debido a que la mayoría de los laboratorios solo miden el N total (que en su mayor proporción corresponde al N que forma parte de la MO) (Carrera, 2008), o solo el N en forma de  $\text{NH}_4^+$ , cuya proporción es menor a la de  $\text{NO}_3^-$  (la otra forma de N asimilable) en suelos con buen drenaje (Tasistro, s.f.), y por lo tanto se subestima el aporte de N proveniente del suelo.

Conocer este tipo de relaciones es positivo para el agricultor y para los técnicos agrícolas de todos los sistemas productivos. Esto es porque si el suelo tiene más N disponible, el potencial productivo aumenta. Por lo tanto, en suelos con baja disponibilidad de N, el agricultor tiene que poner más fertilizante y distribuirlo (dosis y frecuencias) de forma técnica. Para la industria de procesamiento es importante que la papa se desarrolle en suelo con alta fertilidad natural, por lo tanto, conocer que el suelo tiene buena disponibilidad de N puede ayudarle a producir papa de buena calidad. Por último, conocer la disponibilidad de N en el suelo permite hacer mejores planes de fertilización, evitando aplicaciones excesivas que pueden resultar en lavado de  $\text{NO}_3^-$  o volatilización de formas gaseosas de N, las cuales contaminan el agua y el aire (Lawlor et al., 2007).



**Fig. 2.** Relación entre la producción total de papa con el contenido de N en el tubérculo (izquierda) y con el contenido de N inorgánico en el suelo (derecha) durante la cosecha. El Ángel, Carchi, Ecuador. Sept. de 2018.

#### 4.9 EVALUACIÓN ECONÓMICA

Aunque el precio de comercialización varía en función de la oferta y la demanda de papa en los mercados mayoristas y minoristas a nivel nacional, para este análisis se utilizaron costos de producción y precios de venta que maneja un agricultor promedio (SIPA, 2019). La mejor relación beneficio costo<sup>-1</sup> debido a la asociación de papa con cultivos alternativos se presentó al utilizar quinua, dónde por cada US\$ 1.00 invertido el agricultor recibe US\$ 3.00 brutos, es decir US\$ 2.00 netos de ganancia. Esto significa una utilidad neta aproximada de US\$ 13200 ha<sup>-1</sup> (Tabla 8). En cambio, la menor relación beneficio costo<sup>-1</sup> se presentó al utilizar cebolla, dónde por cada US\$ 1.00 invertido el agricultor recibe US\$ 2.74 brutos, es decir US\$ 1.74 netos de ganancia. Esto significa una utilidad neta aproximada de US\$ 11800 ha<sup>-1</sup>.

Cabe destacar que el costo de la semilla y del establecimiento de la quinua fue el más barato de esta evaluación, mientras que el de la cebolla fue el más caro. Eso origina las diferencias descritas en este apartado. Sin embargo, se debe mencionar que las diferencias identificadas son numéricas mas no estadísticas. Para un análisis más técnico se necesita mayor representatividad en tiempo y espacio de estudios como el que aquí se condujo. Flores-Agreda (2012) indica que también es necesario entender los sistemas formal e informal de comercialización de papa dentro del territorio ecuatoriano, debido a que existe alta influencia de la intermediación, y que este escenario mercantil afecta de forma directa e inmediata a la economía del agricultor.

**Tabla 8.** Evaluación de la rentabilidad de la asociación de la papa con cultivos alternativos en El Ángel, Carchi, Ecuador. Sept. de 2018.

Cultivo alternativo	Productividad de la papa	Costo de producción <sup>†</sup>	Ingreso bruto <sup>‡</sup>	Utilidad neta	Beneficio costo <sup>-1</sup>
	t ha <sup>-1</sup>	-----	US\$ ha <sup>-1</sup>	-----	
Arveja	54.1	6710	18935	12225	2.82
Cebolla	52.9	6760	18515	11755	2.74
Haba	56.9	6740	19915	13175	2.95
Quinua	56.7	6600	19845	13245	3.00
Testigo	54.8	6500	19180	12680	2.95

<sup>†</sup> Para los cultivos alternativos este costo incluye el valor de la semilla y la mano de obra utilizada para la siembra. Las demás actividades de manejo (por ejemplo, aporques y aplicaciones fitosanitarias) se realizaron de forma simultánea con la papa.

<sup>‡</sup> El precio promedio de venta de la papa fue de US\$ 350 Mg<sup>-1</sup>.

## **CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 CONCLUSIONES**

- ✓ La asociación con cultivos alternativos no produjo diferencias en la productividad de la papa. Esto se debió a que la papa inhibió el desarrollo de estos cultivos cuando el follaje cubrió el área de cultivo y por lo tanto aprovechó el espacio, agua, luminosidad y nutrientes que requerían los cultivos alternativos.
- ✓ Los análisis foliares y del tubérculo cosechado mostraron que la papa tuvo una asimilación homogénea de nutrientes en todo el ensayo; por lo tanto, los cultivos alternativos no generaron una mayor eficiencia en la utilización de los fertilizantes.
- ✓ La calidad de fritura de la papa no fue afectada por la asociación de la papa con cultivos alternativos, por lo que no se determinó beneficios para el agricultor o la industria en este aspecto.
- ✓ Los análisis de suelo indican que los cultivos alternativos tampoco mejoraron las propiedades y la fertilidad del suelo en el corto plazo que duró este ensayo. Sin embargo, se obtuvo una relación positiva entre el contenido de N inorgánico (disponible) en el suelo con el nivel de producción de tubérculos.
- ✓ Aunque solo de forma numérica y no estadística, la quinua generó la mejor utilidad neta y la cebolla la peor en este ensayo.

### **5.2 RECOMENDACIONES**

- ✓ Se debe ampliar el ancho del surco para generar mayor espacio que permita un mejor desarrollo de los cultivos alternativos.
- ✓ La siembra de los cultivos alternativos debe ser simultánea a la siembra de la papa y no 21 días después (durante el retape) para reducir la competencia entre cultivos durante las primeras etapas de desarrollo.
- ✓ En estudios similares a este, incorporar variables entomológicas y fitopatológicas, porque la presencia de los cultivos alternativos puede alternar la biodiversidad del agroecosistema.

## BIBLIOGRAFÍA

- Asociación de Ganadero Sierra y Oriente – AGSO y Ministerio de Agricultura, Acuacultura y Pesca – MAGAP. 2017. La política agropecuaria ecuatoriana: Hacia el desarrollo territorial rural sustentable 2015-2025. Quito, Ecuador. 332 p.
- Agamuthu, P., and W.J. Broughton. 1985. Nutrient cycling within the developing oil palm-legume ecosystem. *Agri. Ecosystem and Environ.* 13:111–123.
- Andrade, H., O. Bastidas, y S. Sherwood. 2002. La papa en Ecuador. pp. 21–32. *En: M. Pumisacho y S. Sherwood (eds.); El cultivo de papa en Ecuador.* Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias – INIAP y Centro Internacional de la Papa – CIP. Quito, Ecuador.
- Anaya-Lang, A. 2003. *Ecología Química.* Editorial Plaza y Valdés. México. 146 p.
- Arteaga-Ramírez, R., A. Aguirre-Rodríguez, D.M. Sangerman-Jarquín, M.A. Vázquez-Peña, L.A. Ibáñez-Castillo, y T.M. Hernández-Mendoza. 2010. Presión de vapor actual observada y estimada en observatorios sinópticos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.* 1(1):77–87.
- Baquero-Pañuela, J.E., M. Yacomelo, y J.O. Orduz-Rodriguez. 2018. Efecto del yeso sobre las características químicas de un oxisol de la Orinoquia colombiana cultivado con lima ácida Tahití. *Rev. Temas Agrarios.* 23(2):154–163.
- Barioglio, C.F. 2006. *Diccionario de las ciencias agropecuarias.* Editorial Brujas. Buenos Aires, Argentina. 495 p.
- Barrera, V.H., C.E. Andrade, y A.V. López. 2004. Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos Andinos: Alternativos y usos sostenibles en el Ecuador. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias – INIAP y Centro Internacional de la Papa – CIP. Quito, Ecuador. 136 p.
- Basantes-Morales, E.R., M.M. Alconada, and J.L. Pantoja. 2019. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) production in the Andean region: Challenges and potentials. *J. of Exp. Agri. Int.* 36(6):1–18.
- Bazile, D., D. Bertero, and C. Nieto. 2014. Estado del arte de la quinua en el mundo 2013. Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO. Santiago, Chile. 733 p.
- Bouyoucos, G. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agron. J.* 54(5):464–465.
- Cadena, V.H. 2014. *Hablemos de riego.* Consorcio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador – COMGOPE. Quito, Ecuador. 40 p.
- Campaña-Cruz, D.F. 2003. Evaluación de tres cepas de *Rhizobium etli* bajo condiciones de campo y de ocho soportes de la bacteria para la producción de inoculantes en dos variedades de fréjol (*Phaseolus vulgaris*). Tesis Ing. Agronómica. Universidad Central, Facultad de Ciencias Agrícolas. Quito, Ecuador. 117 p.
- Caranqui, F., y E. Morales. 2009. Conocimiento local en el cultivo de la papa. Fundación PROIMPA. Cochabamba, Bolivia. 267 p.
- Carrera, G. 2008. Avances de los resultados de la estandarización metodológica en la red de laboratorios de análisis de suelos del Ecuador. XI Congreso Ecuatoriano de las Ciencias

- del Suelo. 29-31 de Oct. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias – INAIIP. Quito, Ecuador. 6 p.
- Cepeda, S.M., y Gallegos, Mario 2003. La papa: El fruto de la tierra. Editorial Trillas. Madrid, España. 45 p.
- Córdova, F. s.f. Fertilización de papa destinada a la fritura: Nutrición funcional. Empresas FERTIANDINO S.A. y DELCORP S.A. Quito, Ecuador. 29 p.
- CosmoAgro. 2013. Análisis de suelos (en línea). Disponible en: <http://www.cosmoagro.com/site/blog/la-importancia-de-los-analisis-de-suelos/> (Consultado 18 Junio de 2018). Bogota, Colombia.
- Donald, C., y L. Kass. 1982. Fertilidad de los suelos. Editorial EUNED. Universidad Estatal a Distancia – UED. San José. Costa Rica. 83 p.
- Durand, D., L. Breuer, P.J. Johnes, G. Billen, A. Butturini, G. Pinay, H. Van Grinsven, J. Garnier, M. Rivett, D.S. Reay, C. Curtis, J. Siemens, S. Maberly, O. Kaste, C. Humborg, R. Loeb, J. De Klein, J. Hejzlar, N. Skoulikidis, P. Kortelainen, A. Lepisto, and R. Wright. 2011. Nitrogen processes in aquatic ecosystems. Chapter 7<sup>th</sup>. pp. 126–146. *In*: The European Nitrogen Assessment; M.A. Sutton, C.M. Howard, J. Willem Erisman, G. Billen, A. Bleeker, P. Grennfelt, H. Van Grinsven, and B. Grizzetti (eds). Published by Cambridge University Press.
- Federacion Nacional de Cafeteros de Colombia – FNC. 2010. El cultivo de la habichuela. 3<sup>ra</sup> Ed. Editorial Litoncecoa. Cali Colombia. 40 p.
- Fernández, V., T. Sotiropoulos, y P. Brown. 2015. Fertilización foliar: Principios científicos y práctica de campo. International Fertilizer Industry Association – IFA. París, Francia. 158 p.
- Flores-Agreda, R. 2012. Principales resultados preliminares del estudio de demanda de semilla de papa de calidad en Ecuador. Proyecto de fortalecimiento de la innovación agrícola pro-pobre para la seguridad alimentaria en la región Andina – ISSANDES. Centro Internacional de la Papa – CIP y Empresa OFIAGLOR Cia. Ltda. Quito, Ecuador. 36 p.
- Fonseca, C. 2014. Catálogo de variedades de papa nativa. Centro Internacional de la Papa – CIP. Lima, Perú. 6 p.
- Fueyo, M.A. 2007. Cultivo de la patata: Produccion convencional, integrada y ecologica. Ediciones MADU S.A. Granda, España. 48 p.
- Gliessman, S. 1998. Agroecología: Procesos ecologicos en agricultura sostenible. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza – CATIE. Turrialba, Costa Rica. 131 p.
- Gobierno Autónomo Descentralizado y Municipal del Cantón Espejo – GADM. 2015. Plan de desarrollo y ordenamiento territorial – PDOT. El Ángel, Carchi. 279 p.
- Gómez-Sánchez, M.I. 2012. Absorción, extracción y manejo nutricional del cultivo. Federación Colombiana de Productores de Papa – FEDEPAPA. Rev. Tec. Papa. 26:20–25.
- Gutiérrez, M. 2004. Manual de agricultura alternativa. Editorial Alberto Palomino Torres. Bogotá, Colombia. 82 p.
- Herrera, C.A., L.F. Fierro, y J.D. Moreno. 1992. Manejo integrado del cultivo de la papa: Manual tecnico. Coporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – CORPOICA. Bogotá, Colombia. 104 p.

- Hernández, S., C. Dias, O. Rubio, y F. Flores. 2000. La industria de papa en Mexico: Un diagnóstico de la situación actual. Centro Internacional de la Papa – CIP, Departamento de Ciencias Sociales. Lima, Perú. 57 p.
- Hibon, A., M. Vivar, y H. Andrade. 1984. Manual del cultivo de la papa. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias – INIAP. Quito, Ecuador. 64 p.
- Hiller, L.K. 1995. Foliar fertilization bumps potato yields in northwest: Rate and timing of application, plus host of other considerations, are critical in applying foliar fertilizers to potatoes. *Fluid Journal*. 3 p.
- Hinsinger, P., y B. Jailard. 1993. Root-induced release of interlayer potassium and vermiculitization of phlogopite as related to potassium depletion in the rhizosphere of ryegrass. *J. Soil Sci.* 44:525–534.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología – INAMHI. 2014. Anuario meteorológico. Dirección ejecutiva del INAMHI. Quito, Ecuador. 17 p.
- Jacobsen, S.E. 2002. Cultivo de granos andinos en el Ecuador. Ediciones Abaya-Yala. Quito, Ecuador. 48 p.
- Keller, G.D., y D.B. Mengel. 1986. Ammonia volatilization from nitrogen fertilizers surface applied to no-till corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50(4):1060–1063.
- Jácome, A. 2012. Año internacional de la papa (en línea). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – FAO. Disponible en: <http://www.fao.org/potato-2008/es/lapapa/cultivo.html> (Consultado 20 de Mayo de 2018) . Quito, Ecuador.
- Lemus, Y. 2015. Temas de ciencia y tecnología: Mejoramiento genético de la cebolla. Bogotá, Colombia. 49 p.
- Lawlor, P.A., M.J. Helmers, J.L. Barker, S.W. Melvin, and D.W. Lemke. 2007. Nitrogen application rate effect on nitrate-nitrogen concentration and loss in subsurface drainage for a corn-soybean rotation. *ASABE*. 51:83–94.
- Liñan, C. 2015. VADEMECUN de productos fitosanitarios y nutricionales. 31<sup>ra</sup> Ed. Municipio de Almansa. Madrid, España. 391 p.
- López, E. 1992. Caracterización y selección de cepas de *Rhizobium leguminosarum* biovar *viceae* en el cultivo de arveja (*Pisum sativum*). Tesis Ing. Agronómica. Universidad Central, Facultad de Ciencias Agrícolas. Quito, Ecuador. 109 p.
- Maldonado, F. 2011. Determinación de proteínas por el método Kjeldahl (en línea). Disponible en: <http://www.grupo-selecta.com/notasdeaplicaciones/analisis-alimentarios-y-de-aguas-nutritional-and-water-analysis/determinacion-de-proteinas-por-el-metodo-de-kjeldahl-kjeldahl-method-for-protein-determination/> (consultado el 15 de Agosto de 2018). Quito, Ecuador.
- Martin, A. 1977. Introduction to soil microbiology. 2<sup>da</sup> Ed. Wiley Johns and Sons. Kansas, US. 487 p.
- Medina, H., J. García, y D. Núñez. 2007. Método del hidrómetro: Base teórica para su empleo en la determinación de la distribución del tamaño de partículas de suelo. *Revista de Ciencias Técnicas Agropecuarias*. La Habana, Cuba. 16(3):19–24.
- Medina, M. 2010. Estudio prospectivo de la situación agrícola en la región Andina. Instituto Colombiano Agropecuario – ICA. Bogotá, Colombia. 48 p.

- Mendoza, J. 1992. Manual técnico del manejo integrado del cultivo de la papa. Coporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – CORPOICA. Bogotá, Colombia. 57 p.
- Midmore, D. 1988. Fisiología de la planta de la papa bajo condiciones de clima cálido: Guía de investigación. Centro de Investigación de la Papa – CIP. Lima, Perú 3 p.
- Montalvo, A. 1984. Cultivo y mejoramiento de la papa. Instituto Interamericano de Corporacion para la Agricultura – IICA. San José, Costa Rica. 706 p.
- Morón, A., D. Martino, y J. Sawchik (eds.). 1999. Manejo y fertilidad de suelos. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas – INIA. Montevideo, Uruguay. 179 p.
- Muñoz, V., J. Álvarez-Rodríguez, y E. Asedegbega-Nieto. 2016. Gestion y conservacion de aguas y suelos. Editorial UNED. Universidad Nacional de Educacion a Distancia – UNED. Madrid, España. 518 p.
- Navarro-García, G., y S. Navarro-García. 2014. Fertilizantes: Quimica y acción. Editorial Mundiprensa. Murcia, España. 241 p.
- Naranjo, L. 2002. Inventario de tecnologías e información para el cultivo de papa en el Ecuador (en línea). Centro Internacional de la Papa – CIP. Disponible en: <https://cipotato.org/papaenecuador/cosecha-y-poscosecha/almacenamiento/> (Consultado el 15 de Junio de 2018). Quito, Ecuador.
- Organización de las Naciones Unidad para la Agricultura y la Alimentación – FAO. 2014. Los fertilizantes y su uso. Roma, Italia. 87 p.
- Oyarzún, P. 2002. Manejo integrado de plagas y enfermedades en el cultivo de la papa. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias – INIAP y Centro Internacional de la Papa – CIP. Quito, Ecuador. 85 p.
- Pantoja, J.L., B.R. Montero, X. Cuesta, y J.E. Chafuel. 2017. Producción y calidad de fritura de papa (*Solanum tuberosum* L.), var. INIAP - Libertad, con dos fuentes de fósforo y dos de potasio en Cusubamba, Cayambe, Ecuador. pp. 131–132. *En: Memorias del VII Congreso Ecuatoriano de la Papa*. Tulcán, Ecuador.
- Pantoja, J.L. 2014. Curvas de respuesta de los cultivos para determinar la dosis óptima de fertilización. Décimo Cuarto Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo: El suelo y la matriz productiva. Univ. Luis Vargas Torres. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales. 5 – 7 Nov. Esmeraldas, Ecuador. 8 p.
- Perea, F. 2015. Guía de cultivo de habas. Junta de Andalucía. Madrid, España. 12 p.
- Prado, W. 2016. Erosión e infertilidad del suelo (en línea). Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/t2351s/T2351S06.htm> (Consultado el 13 de Junio de 2018). Quito, Ecuador.
- Pumisacho, M., y S. Sherwood (eds.). 2002. El cultivo de la papa en Ecuador. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias – INIAP y Centro Internacional de la Papa – CIP. Quito, Ecuador. 229 p.
- Qing Li, X., M. Scalon, L. Qiang, and W.K. Coleman. 2006. Processing and value addition. pp. 523–547. *In: J. Copal and P. Khurana (eds.). Handbook of potato: Production, improvement, and postharvest management*. Food Products Press. New York, USA.
- Rimache, M. 2007. Cultivo de la papa. Empresa Individual de Responsabilidad Limitada – Macro EIRL. Lima, Perú. 89 p.

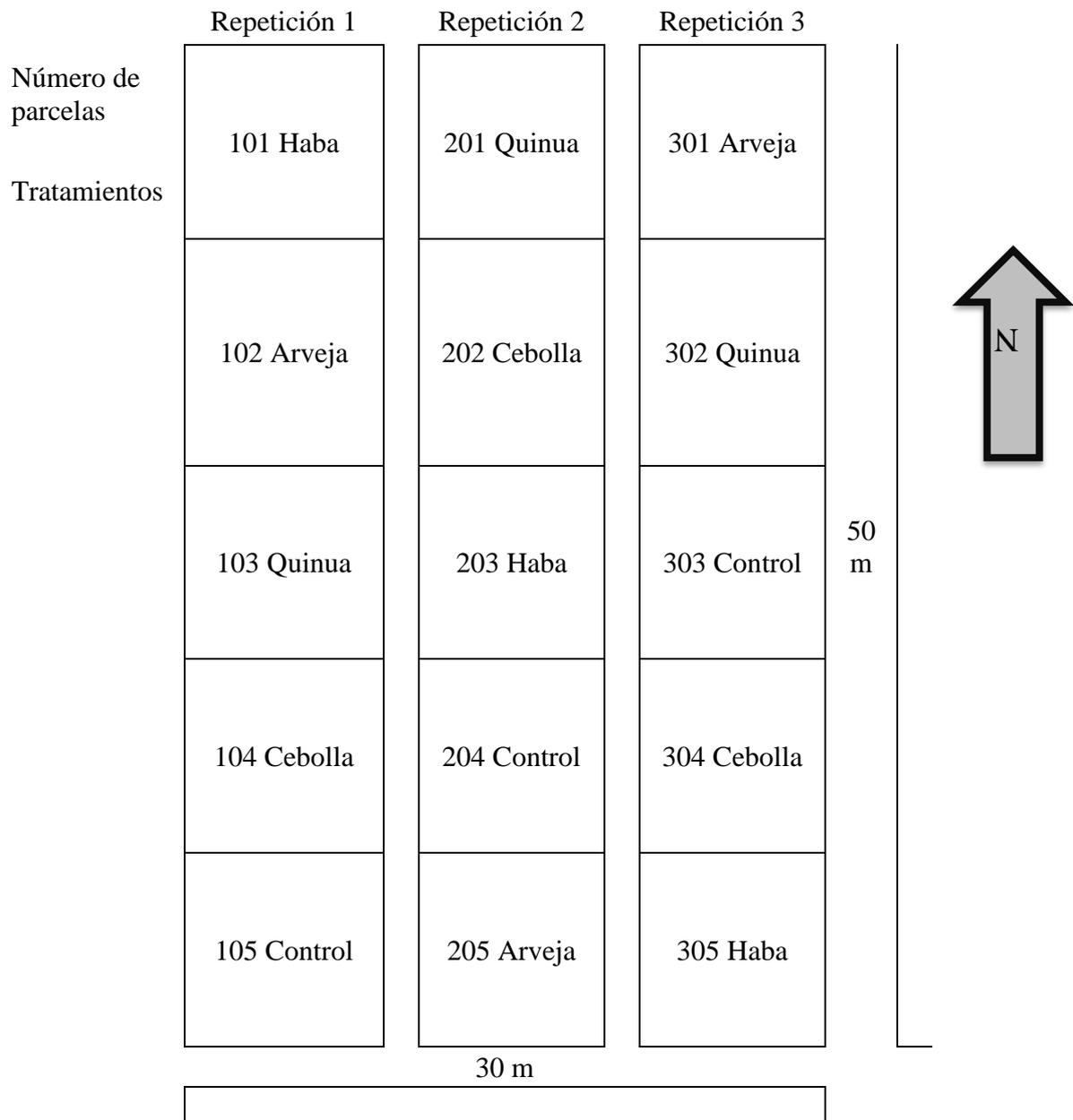
- Rosales, J. 2016. Vadequímica (en línea) Disponible en: <https://www.vadequimica.com/blog/2015/06/la-importancia-de-los-fertilizantes-quimicos/> (Consultado el 20 de Mayo de 2018). Quito, Ecuador.
- SAS Institute. 2009. SAS. System for Windows Release 9.3.1. SAS Inst., Cary, NC.
- Sistema de Información Pública Agropecuaria – SIPA. 2019. Precios de mercados, bodegas, camales y ferias (en línea). Disponible en: <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/precios-mayoristas> (Consultado el 15 de Julio de 2019). Quito, Ecuador.
- Tasistro, A. s.f. Aspectos básicos del manejo del nitrógeno. International Plant Nutrition Institute – IPNI. Oficina para Méjico y América Central. 120 p.
- Thompson, L.M. 2002. Los suelos y su fertilidad. 4<sup>ta</sup> Ed. Editorial REVERTE S.A. Bogota, Colombia. 203 p.
- Torres, L. 2011. Cultivo de la papa en el Ecuador. Centro Internacional de la Papa – CIP (en línea). Disponible en: <https://cipotato.org/region-quito/informacion/inventario-de-tecnologias/manejo-de-fertilizacion-en-el-cultivo-de-papa> (Consultado el 15 de Junio de 2018). Quito, Ecuador.
- Torres, V. 2012. Nueva variedad de papa para la industria de hojuelas. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 3(5):1053– 058.
- Trinidad-Santos, A. 1987. Cuadernos de edafología: El uso de abonos orgánicos en la producción agrícola. Colegio de Postgraduados. Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Texcoco, México. 38 p.
- Villalobos, G. 2002. Diagnóstico del mercado agrícola y agroindustrial. Editorial Génesis. Bogotá, Colombia. 56 p.
- Volke-Haller, V., J.D. Etchevers, A. Sanjuan-Ramírez, y T. Silva-Palomino. 1998. Modelo de balance nutrimental para la generación de recomendaciones de fertilización para cultivos. Revista Terra Latinoamericana. 16(1):79–91.
- Westermann, D.T. 2005. Nutritional requirements of potatoes. Am. J. of Potato Res. 82:301–307.
- Yanggen, D., C. Crisman, y P. Espinosa. 2003. Los plaguicidas: Impactos en producción, salud y medio ambiente en Cachi. Centro Internacioal de la Papa – CIP e Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias – INIAP. Quito, Ecuador. 199 p.

## ANEXOS

**Anexo 1.** Cronograma de actividades en campo.

Actividades	Feb.				Mar.				Abr.				May.				Jun.				Jul.				Ago.				Sept.				Oct.			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Recolección de muestras para análisis de suelos	x																																			
Preparación del suelo		x																																		
Trazado de diseño experimental			x																																	
Siembra				x																																
Primera aplicación de fertilizante y retape							x																													
Control fitosanitario							x			x				x				x				x				x										
Riego dependerá del tiempo								x																												
Deshierba											x																									
Segunda aplicación de fertilizantes														x																						
Aporque															x																					
Riego																			x			x				x				x						
Cosecha																																				x
Muestras de suelo de los tratamientos después de la cosecha																																				x

**Anexo 2.** Esquema del diseño experimental.



### Anexo 3. Presupuesto de la evaluación.

#### Análisis de laboratorio.

Ítem	Cantidad	Costo unitario (US\$)	Costo total (US\$)
Análisis de suelos	16	63.00	1008.00
Análisis foliares	15	72.00	1080.00
Análisis del tubérculo	15	72.00	1080.00
Subtotal			3168.00
IVA (12%)			380.16
Total (US\$)			3548.16

#### Preparación del suelo (por ha).

Cantidad	Actividad	Costo unitario (US\$)	Costo total (US\$)
2	Arada	35.00	70.00
2	Rastrado	30.00	60.00
1	Surcada	25.00	25.00
Subtotal (US\$)			155.00

$155 / 4 = \$38.75 = 2500 \text{ m}^2$ .

#### Siembra.

Cantidad	Producto	Costo unitario (US\$)	Costo total (US\$)
9	Semilla	30.00	270.00
2	Fertilizantes	35.00	70.00
1	Tanque de desinfección	30.00	30.00
1 peón	Siembra	15.00	15.00
1 peón	Fertilizante	15.00	15.00
1 peón	Tape	15.00	15.00
Total (US\$)			415.00

#### Retape.

Cantidad	Actividad	Costo unitario (US\$)	Costo total (US\$)
1 peón	Fertilizante	15.00	15.00
1 peón	Retape	15.00	15.00
2	Fertilizante	35.00	70.00
Total (US\$)			100.00

#### Aplicaciones fitosanitarias.

Cantidad	Actividad	Costo unitario (US\$)	Costo total (US\$)
66 L	Desinfección	35.00	35.00
1	Peón	15.00	15.00
Subtotal (US\$)			50.00
TOTAL (US\$) (US\$ 50 x 6 controles)			300.00

Aporque.

Cantidad	Actividad	Costo unitario (US\$)	Costo total (US\$)
2	Peones	15.00	30.00
2	Fertilizante	35.00	70.00
Total (US\$)			100.00

Riegos.

Cantidad	Actividad	Costo unitario (US\$)	Costo total (US\$)
1	Peón	15.00	15.00
1	Bomba	30.00	30.00
Subtotal (US\$)			45.00
Total (US\$) (US\$ 35 x 6 riegos)			270.00

Cosecha.

Cantidad	Actividad	Costo unitario (US\$)	Costo total (US\$)
8	Peones	15.00	120.00
300	Sacos	0.25	75.00
1.5	Transporte	200.00	300.00
1	Balanza digital	150.00	150.00
Total (US\$)			645.00

Gastos totales.

Actividad	Costo (US\$)
Análisis de laboratorio	3548.16
Preparación del suelo	38.75
Siembra	660.00
Retape	100.00
Aplicaciones fitosanitarias	300.00
Aporque	100.00
Riegos	270.00
Cosecha	645.00
Subtotal (US\$)	5661.91
Imprevistos (15%)	849.29
Total (US\$)	6511.20