



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL
Sede Santo Domingo

DIRECCIÓN GENERAL DE POSGRADOS
MAESTRÍA EN NUTRICIÓN VEGETAL

IDENTIFICACIÓN DE LAS PRIORIDADES DE FERTILIZACIÓN EN PAPA
(*Solanum tuberosum* L.), VARIEDAD SUPERCHOLA, EN ANDISOLES DE LA
SIERRA NORTE ECUATORIANA

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el
Grado de Magíster en Nutrición Vegetal

Autor:

FABIÁN ANDRÉS ARROYO TERÁN

Director de Tesis:

Ph.D. MANUEL DANILO CARRILLO ZENTENO

Co-Director de Tesis:

Ph.D. SORAYA PATRICIA ALVARADO OCHOA

Santo Domingo – Ecuador

MAYO, 2015

TEMA DE TESIS: IDENTIFICACIÓN DE LAS PRIORIDADES DE FERTILIZACIÓN EN PAPA (*Solanum tuberosum* L.), VARIEDAD SUPERCHOLA, EN ANDISOLES DE LA SIERRA NORTE ECUATORIANA.

Ph.D. Manuel Danilo Carrillo Zenteno
DIRECTOR DE TESIS

APROBADO

Dra. Luz María Martínez Buñay
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ph.D. Edison Gastón Silva Cifuentes
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

M.Sc. Norman Aurelio Soria Idrovo
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Santo Domingo, de mayo de 2015.

CERTIFICACIÓN DEL ESTUDIANTE DE AUTORÍA DEL TRABAJO

Yo, Fabián Andrés Arroyo Terán, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido presentado para ningún grado o calificación profesional.

Además; y, que de acuerdo a la Ley de propiedad intelectual, el presente Trabajo de Investigación pertenecen todos los derechos a la Universidad Tecnológica Equinoccial, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Fabián Andrés Arroyo Terán

C.I. 100245555-6

INFORME DE APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO

En mi calidad de Director del Trabajo de Grado presentado por el señor Fabián Andrés Arroyo Terán, previo a la obtención del Grado de Magíster en Nutrición Vegetal, considero que dicho Trabajo reúne los requisitos y disposiciones emitidas por la Universidad Tecnológica Equinoccial por medio de la Dirección General de Posgrado para ser sometido a la evaluación por parte del Tribunal examinador que se designe.

En la Ciudad de Santo Domingo, a los días del mes de mayo de 2015

Ph.D. Manuel Danilo Carrillo Zenteno

C.I. 0102294378

Agradecimiento

A Dios por darme la capacidad, la fuerza, las personas y los momentos para culminar este nuevo proyecto.

A mi familia por ser el soporte y apoyo en todo momento.

Al INIAP, de manera especial a la Dra. Soraya Alvarado, Ing. Franklin Valverde, Ing. Cristhian Torres, Ing. Rafael Parra, Ing. José Lucero, Ing. Rodrigo Vélez, Antonio Bravo, Sra. Marina, Jefferson Tonato y todo el personal del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas de la Estación Santa Catalina, por su ayuda y amistad en todas las fases de esta investigación.

A la UTE, de manera especial al Dr. Manuel Carrillo, Dr. Edison Silva, Dra. Luz María Martínez, Ing. Olguita Pérez y todo el grupo docente y administrativo del campus Santo Domingo por los conocimientos impartidos y el seguimiento constante a las mejoras de este trabajo.

A los compañeros y amigos de Maestría, de manera especial a Manuelito, Marconi, Miguel Ángel, Juan, Marlene, Camila y José Luis con quienes compartimos buenos momentos y su amistad perdura por siempre.

A los propietarios de los lotes Don José Ulcuango, Don Pedro Canacuan, Don Alfonso Mafla y sus familias, quienes facilitaron el trabajo en campo.

Al IPNI, de manera especial al Dr. Raúl Jaramillo por sus sugerencias y apoyo permanente.

Al SENESCYT, INIAP, INAMHI, IEE y sus representantes que gestionaron todas las herramientas técnicas y económicas para la consecución de esta investigación.

A MORERAECUADOR S.A. y de manera especial a Paolo y Karina por cubrir mis horas de ausencia para la culminación de este trabajo.

A todos los hombres y mujeres que vinieron y que vendrán con sus palabras de aliento a impulsarme a ser mejor y seguir adelante en cada momento de mi vida.

Dedicatoria

A Dios por su infinita misericordia y por
incluirme siempre en sus proyectos.

A la memoria de mi padre Luis Fabián,
que 11 años después no deja de interceder por mí.

A mi madre Nancy Leonor por ser el ejemplo
de trabajo y ternura cada día.

A mis hermanos Edwin Salomón y Nancy Gabriela
por su preocupación y ayuda constante,
a mi cuñado Kleber, y a mi sobrina Carolina por sus locuras únicas.

Al resto de mi familia, por su apoyo incondicional.

A mis amigas y amigos por ser parte de lo que soy.

ÍNDICE GENERAL

PORTADA	i
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL	ii
CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA	iii
APROBACIÓN DEL DIRECTOR	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
RESUMEN	xvii
SUMMARY	xviii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Problemática	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Alcance	3
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1. Objetivo General:	4
1.4.2. Objetivos Específicos:	4
1.5 Hipótesis	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1 Antecedentes.....	5
2.1.1. Fertilización	5
2.1.2. Manejo de Nutrientes por Sitio Específico.....	6
2.2 Fundamentaciones	7
2.2.1. El cultivo de papa	7
2.2.2. Suelos Andisoles	7
2.2.3. Elementos nutricionales.....	9
2.2.4. Variedades de papa cultivadas en Ecuador.....	12
2.2.5. Fertilización	13
2.2.6. Manejo de Nutrientes por Sitio Específico.....	14
2.2.7. Calidad e Industria.....	15
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17

3.1	Sitio de estudio	17
3.1.1.	Características climáticas	17
3.1.2.	Características edáficas.....	18
3.2	Técnicas, procedimientos, instrumentos y recursos	20
3.3	Factores, tratamientos, diseño experimental y variables de estudio.....	20
3.3.1.	Factores en estudio	20
3.3.2.	Tratamientos	21
3.3.3.	Diseño experimental	21
3.3.4.	Variables de estudio.....	23
3.4.	Manejo del experimento	28
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
4.1	Localidad 1: Cuaspud, Tulcán.....	32
4.1.1.	Variables fenológicas	32
4.1.2.	Variables de productividad y calidad	34
4.1.3.	Variables fisiológicas y de nutrición	36
4.1.4.	Eficiencias	45
4.2	Localidad 2: Canchaguano, Montufar.....	49
4.2.1.	Variables fenológicas	49
4.2.2.	Variables de productividad y calidad	51
4.2.3.	Variables fisiológicas y de nutrición	54
4.2.4.	Eficiencias	64
4.3	Localidad 3: La Libertad, Espejo.....	67
4.3.1.	Variables fenológicas	67
4.3.2.	Variables de productividad y calidad	69
4.3.3.	Variables fisiológicas y de nutrición	72
4.3.4.	Eficiencias	84
4.4	Análisis Combinado: Cuaspud, Canchaguano y La Libertad, Carchi.....	87
4.4.1.	Variables fenológicas	87
4.4.2.	Variables de productividad y calidad	88
4.4.3.	Variables fisiológicas y de nutrición	89
4.5	Comprobación de hipótesis	92
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	93
5.1	Conclusiones.....	93

5.2	Recomendaciones	94
6.	BIBLIOGRAFÍA	95
ANEXOS	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Estaciones meteorológicas del INAMHI cercanas a las localidades de estudio, Carchi	17
Tabla 3.2. Características agroclimáticas cercanas a las localidades de estudio, Carchi	17
Tabla 3.3. Taxonomía de suelos de los lotes en estudio, Carchi	18
Tabla 3.4. Características de pH, MO y físicas del suelo de cero a 15 cm realizado en pre siembra, Carchi.....	19
Tabla 3.5. Tratamientos y dosis de nutrientes que se usaron en las tres localidades de la provincia del Carchi	21
Tabla 3.6. Esquema del análisis de varianza del diseño de Bloques Completos al Azar en cada localidad	22
Tabla 3.7. Esquema del análisis de varianza del análisis combinado utilizado entre localidades	22
Tabla 3.8. Escala de valoración para hojuelas de papa, PNRT-INIAP	26
Tabla 4.1. Días a la madurez fisiológica del cultivo de papa, afectados por la omisión de nutrientes, en la localidad Cuaspud, Carchi	32
Tabla 4.2. Coeficientes de correlación entre el rendimiento total y las variables altura de planta medida a diferentes etapas y rendimiento de materia seca del follaje en la localidad Cuaspud, Carchi.....	35
Tabla 4.3. Coeficientes de correlación entre el porcentaje de materia seca del tubérculo, gravedad específica del tubérculo y porcentaje de hojuelas buenas en la localidad Cuaspud, Carchi	36
Tabla 4.4. Coeficientes de correlación entre clorofila y rendimiento para las diferentes etapas del cultivo en la localidad Cuaspud, Carchi	37
Tabla 4.5. Concentración de macro y micro elementos en el tubérculo de papa, afectados por la omisión de nutrientes, en la localidad Cuaspud, Carchi.....	39
Tabla 4.6. Eficiencia fisiológica por elemento, según la omisión de nutrientes en la localidad Cuaspud, Carchi	47
Tabla 4.7. Eficiencia agronómica por elemento, según la omisión de nutrientes en la localidad Cuaspud, Carchi.....	48
Tabla 4.8. Eficiencia de recuperación por elemento, según la omisión de nutrientes en la localidad Cuaspud, Carchi.....	49
Tabla 4.9. Días a la madurez fisiológica del cultivo de papa, afectados por la omisión de nutrientes, en la localidad Canchaguano, Carchi.....	50
Tabla 4.10. Coeficientes de correlación entre el rendimiento total y las variables altura de planta medida a diferentes etapas y rendimiento de materia seca del follaje en la localidad Canchaguano, Carchi	52
Tabla 4.11. Porcentaje de materia seca del tubérculo, afectado por la omisión de nutrientes, en la localidad Canchaguano, Carchi	53
Tabla 4.12. Coeficientes de correlación entre clorofila y rendimiento para las diferentes etapas del cultivo en la localidad Canchaguano, Carchi	55

Tabla 4.13. Concentración de macro y micro elementos en el tubérculo de papa, afectados por la omisión de nutrientes, en la localidad Canchaguano, Carchi.....	56
Tabla 4.14. Coeficientes de correlación entre la absorción total por elemento con el rendimiento total, porcentaje de materia seca del tubérculo e índice de clorofila medido en diferentes etapas del ciclo de cultivo en la localidad Canchaguano, Carchi	63
Tabla 4.15. Eficiencia fisiológica por elemento, según la omisión de nutrientes, en la localidad Canchaguano, Carchi	65
Tabla 4.16. Eficiencia agronómica por elemento, según la omisión de nutrientes, en la localidad Canchaguano, Carchi	66
Tabla 4.17. Eficiencia de recuperación por elemento, según la omisión de nutrientes, en la localidad Canchaguano, Carchi	67
Tabla 4.18. Días a la madurez fisiológica y altura de planta (cm) a la floración, afectados por la omisión de nutrientes, en la localidad La Libertad, Carchi	68
Tabla 4.19. Coeficientes de correlación entre el rendimiento total y altura de planta a diferentes etapas fenológicas y rendimiento de materia seca del follaje, en la localidad La Libertad, Carchi	70
Tabla 4.20. Gravedad específica del tubérculo, afectada por la omisión de nutrientes, en la localidad La Libertad, Carchi	71
Tabla 4.21. Coeficientes de correlación entre el porcentaje de materia seca del tubérculo, gravedad específica del tubérculo y porcentaje de hojuelas buenas en la localidad La Libertad, Carchi.....	72
Tabla 4.22. Coeficientes de correlación entre clorofila, color y rendimiento en cuatro diferentes etapas del cultivo en la localidad La Libertad, Carchi.....	73
Tabla 4.23. Concentración de macro y micro elementos en el tubérculo de papa, afectados por la omisión de nutrientes, en la localidad La Libertad, Carchi.....	75
Tabla 4.24. Coeficientes de correlación entre la absorción foliar por elemento, con rendimiento total, gravedad específica del tubérculo e índice de clorofila medido a diferentes etapas del cultivo, en la localidad La Libertad, Carchi.....	83
Tabla 4.25. Eficiencia fisiológica por elemento, según la omisión de nutrientes, en la localidad La Libertad, Carchi	85
Tabla 4.26. Eficiencia agronómica por elemento, según la omisión de nutrientes, en la localidad La Libertad, Carchi	86
Tabla 4.27. Eficiencia de recuperación por elemento, según la omisión de nutrientes, en la localidad La Libertad, Carchi	87
Tabla 4.28. Efecto de las localidades sobre los días a la floración, madurez fisiológica y altura de planta a la floración, Carchi.....	88
Tabla 4.29. Efecto de las localidades sobre el rendimiento total y por categoría de papa, Carchi	88
Tabla 4.30. Efecto de localidades sobre el porcentaje de materia seca y gravedad específica del tubérculo, Carchi	89
Tabla 4.31. Efecto de localidades sobre el índice de clorofila en diferentes etapas del cultivo, Carchi	90

Tabla 4.32. Efecto de localidades sobre la concentración de nutrientes en el tubérculo, Carchi	91
Tabla 4.33. Absorción total de macro nutrientes y boro para localidades, Carchi	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1. Altura de planta por etapa (medio aporque, aporque, floración, engrose y madurez fisiológica), afectada por la omisión de nutrientes más representativos, en la localidad Cuaspud, Carchi.	33
Figura 4.2. Rendimiento total y por categoría de papa, afectados por la omisión de nutrientes, en la localidad Cuaspud, Carchi.	35
Figura 4.3. Contenido de clorofila, afectado por la omisión de nutrientes, en cada etapa del cultivo en la localidad Cuaspud, Carchi.	37
Figura 4.4. Absorción de nitrógeno por órgano, afectada por la omisión de nutrientes, en la localidad Cuaspud, Carchi.	40
Figura 4.5. Absorción de fósforo por órgano, afectada por la omisión de nutrientes, en la localidad Cuaspud, Carchi.	41
Figura 4.6. Absorción de potasio por órgano, afectada por la omisión de nutrientes, en la localidad Cuaspud, Carchi.	42
Figura 4.7. Absorción de calcio por órgano, afectada por la omisión de nutrientes, en la localidad Cuaspud, Carchi.	43
Figura 4.8. Absorción de magnesio por órgano, afectada por la omisión de nutrientes, en la localidad Cuaspud, Carchi.	44
Figura 4.9. Absorción de boro por órgano, afectada por la omisión de nutrientes, en la localidad Cuaspud, Carchi.	45
Figura 4.10. Altura de planta por etapa (medio aporque, aporque, floración, engrose y madurez fisiológica), afectada por la omisión de nutrientes más representativos, en la localidad Canchaguano, Carchi.	50
Figura 4.11. Rendimiento total y por categoría de papa, afectados por la omisión de nutrientes, en la localidad Canchaguano, Carchi.	52
Figura 4.12. Contenido de clorofila, afectado por la omisión de nutrientes, en cada etapa del cultivo en la localidad Canchaguano, Carchi.	54
Figura 4.13. Absorción de nitrógeno por órgano, afectada por la omisión de nutrientes, en la localidad Canchaguano, Carchi.	57
Figura 4.14. Absorción de fósforo por órgano, afectada por la omisión de nutrientes, en la localidad Canchaguano, Carchi.	58
Figura 4.15. Absorción de potasio por órgano, afectada por la omisión de nutrientes, en la localidad Canchaguano, Carchi.	59
Figura 4.16. Absorción de calcio por órgano, afectada por la omisión de nutrientes, en la localidad Canchaguano, Carchi.	60
Figura 4.17. Absorción de magnesio por órgano, afectada por la omisión de nutrientes, en la localidad Canchaguano, Carchi.	61
Figura 4.18. Absorción de azufre por órgano, afectada por la omisión de nutrientes, en la localidad Canchaguano, Carchi.	62
Figura 4.19. Absorción de boro por órgano, afectada por la omisión de nutrientes, en la localidad Canchaguano, Carchi.	63

Figura 4.20. Altura de planta por etapa (medio aporque, aporque, floración, engrose y madurez fisiológica), afectada por la omisión de nutrientes más representativos, en la localidad La Libertad, Carchi.	68
Figura 4.21. Rendimiento de papa por categoría y total, afectados por la omisión de nutrientes, en la localidad La Libertad, Carchi.....	70
Figura 4.22. Contenido de clorofila, afectado por la omisión de nutrientes, en cada etapa del cultivo en la localidad La Libertad, Carchi.	73
Figura 4.23. Absorción de nitrógeno por órgano, afectada por la omisión de nutrientes, en la localidad La Libertad, Carchi.	77
Figura 4.24. Absorción de fósforo por órgano, afectada por la omisión de nutrientes, en la localidad La Libertad, Carchi.	78
Figura 4.25. Absorción de potasio por órgano, afectada por la omisión de nutrientes, en la localidad La Libertad, Carchi.	79
Figura 4.26. Absorción de calcio por órgano, afectada por la omisión de nutrientes, en la localidad La Libertad, Carchi.	80
Figura 4.27. Absorción de magnesio por órgano, afectada por la omisión de nutrientes, en la localidad La Libertad, Carchi.	81
Figura 4.28. Absorción de azufre por órgano, afectada por la omisión de nutrientes, en la localidad La Libertad, Carchi.	82
Figura 4.29. Absorción de boro por órgano, afectada por la omisión de nutrientes, en la localidad La Libertad, Carchi.	83

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Variedades de papa sembradas por zona de cultivo en Ecuador (INIAP).	100
Anexo 2. Recomendaciones de fertilización para papa, INIAP.	101
Anexo 3. Extracción total de nutrientes por el cultivo de papa para diferentes niveles de producción en Ecuador.	102
Anexo 4. Número de tubérculos y momento de la prueba de evaluación post cosecha recomendada por el CIP.	103
Anexo 5. Distribución de tratamientos y repeticiones en campo para cada una de las localidades establecidas en Cuaspud, Canchaguano y La Libertad, Carchi.	104
Anexo 6. Análisis de suelos iniciales de los tres lotes estudiados en la provincia del Carchi.	105
Anexo 7. Descripción fotográfica del estudio, Carchi.	108
Anexo 8. ADEVAS de las variables fenológicas de la localidad Cuaspud, Tulcán, Carchi.	111
Anexo 9. ADEVAS del rendimiento total y por categorías en la localidad Cuaspud, Carchi.	111
Anexo 10. ADEVAS de las variables de calidad industrial en la localidad Cuaspud, Carchi.	111
Anexo 11. ADEVAS y separación de medias del índice de clorofila medido en diferentes etapas del cultivo en la localidad Cuaspud, Carchi.	111
Anexo 12. ADEVAS de la concentración de nutrientes en el tubérculo en la localidad Cuaspud, Carchi.	112
Anexo 13. ADEVAS de la absorción total de macro nutrientes y boro en la localidad Cuaspud, Carchi.	113
Anexo 14. ADEVAS de los macro nutrientes y boro absorbidos por el follaje en la localidad Cuaspud, Carchi.	113
Anexo 15. ADEVAS de los macro nutrientes y boro absorbidos por la raíz en la localidad Cuaspud, Carchi.	113
Anexo 16. ADEVAS de los macro nutrientes y boro absorbidos por el tubérculo en la localidad Cuaspud, Carchi.	113
Anexo 17. ADEVAS de las variables fenológicas de la localidad Canchaguano, Montufar, Carchi.	114
Anexo 18. ADEVAS de las variables rendimiento total y por categorías en la localidad Canchaguano, Carchi.	114
Anexo 19. ADEVAS de las variables de calidad industrial en la localidad Canchaguano, Carchi.	114
Anexo 20. ADEVAS y separación de medias del índice de clorofila medido en diferentes etapas del cultivo en la localidad Canchaguano, Carchi.	115
Anexo 21. ADEVAS de la concentración de nutrientes en el tubérculo en la localidad Canchaguano, Carchi.	115
Anexo 22. ADEVAS de la absorción total de macro nutrientes y boro en la localidad Canchaguano, Carchi.	116

Anexo 23. ADEVAS de los macro nutrientes y boro absorbidos por el follaje en la localidad Canchaguano, Carchi.....	116
Anexo 24. ADEVAS de los macro nutrientes y boro absorbidos por la raíz en la localidad Canchaguano, Carchi.....	116
Anexo 25. ADEVAS de los macro nutrientes y boro absorbidos por el tubérculo en la localidad Canchaguano, Carchi.	117
Anexo 26. ADEVAS de las variables fenológicas de la localidad La Libertad, Carchi. ..	117
Anexo 27. Muestreo al azar de la octava hoja de una planta de cada tratamiento a los dds en la localidad La Libertad, Carchi.	117
Anexo 28. ADEVAS de las variables rendimiento total y por categorías en la localidad La Libertad, Carchi.	118
Anexo 29. ADEVAS de las variables de calidad industrial en la localidad La Libertad, Carchi.	118
Anexo 30. ADEVAS y separación de medias del índice de clorofila medido en diferentes etapas del cultivo en la localidad La Libertad, Carchi.	118
Anexo 31. ADEVAS de la concentración de nutrientes en el tubérculo en la localidad La Libertad, Carchi.	119
Anexo 32. ADEVAS de la absorción total de macro nutrientes y boro en la localidad La Libertad, Carchi.	120
Anexo 33. ADEVAS de los macro nutrientes y boro absorbidos por el follaje en la localidad La Libertad, Carchi.	120
Anexo 34. ADEVAS de los macro nutrientes y boro absorbidos por la raíz en la localidad La Libertad, Carchi.	120
Anexo 35. ADEVAS y separación de medias de los macro nutrientes y boro absorbidos por el tubérculo en la localidad La Libertad, Carchi.	120
Anexo 36. ADEVAS de las variables fenológicas del análisis combinado, Carchi.	121
Anexo 37. ADEVAS de las variables rendimiento total y por categoría del análisis combinado, Carchi.	121
Anexo 38. ADEVAS de las variables de calidad industrial del análisis combinado, Carchi	121
Anexo 39. ADEVAS y separación de medias del índice de clorofila medido en diferentes etapas del cultivo. Análisis combinado, Carchi.	122
Anexo 40. ADEVAS del análisis combinado de la concentración de nutrientes en el tubérculo, Carchi.	122
Anexo 41. ADEVAS del análisis combinado de la absorción total de macro nutrientes y boro, Carchi.	123

Identificación de las prioridades de fertilización en papa (*Solanum tuberosum* L.), variedad Superchola, en Andisoles de la Sierra Norte ecuatoriana

Autor: Fabián Andrés Arroyo Terán

Director: Ph.D. Manuel Danilo Carrillo Zenteno

Fecha: mayo, 2015

RESUMEN

La papa en Ecuador es uno de los principales cultivos de la sierra, siendo la provincia del Carchi la de mayor producción nacional (28%); sin embargo, la falta de tecnología hacen que el rubro fertilizantes sea el 35% del costo de producción y que el Ecuador en general se ubique con los rendimientos más bajos de la región (10 a 15 t ha⁻¹). Los objetivos del estudio fueron determinar los nutrientes prioritarios en el cultivo y su efecto sobre el desarrollo, rendimiento, y calidad de los tubérculos; adicionalmente, conocer la absorción total de los nutrientes y la eficiencia de fertilización. Para el efecto se utilizaron parcelas de omisión de nutrientes como parte de la metodología denominada Manejo de Nutrientes por Sitio Específico (MNSE). La variedad de papa estudiada fue la Superchola en suelos de la provincia de Carchi, pertenecientes a tres localidades (Cuaspud, Canchaguano y La libertad). Se evaluaron diez tratamientos (siete con parcelas de omisión de nutrientes para N, P, K, Ca, Mg, S y B, un tratamiento completo, uno con la fertilización del agricultor y un testigo absoluto) con tres repeticiones, utilizando un diseño de bloques completos al azar y un análisis combinado entre localidades. Las variables evaluadas fueron porcentaje de emergencia, número de tallos por planta, días a la floración y madurez fisiológica, altura de planta, rendimiento, materia seca y gravedad específica del tubérculo, porcentaje de hojuelas buenas, índice de clorofila, contenido de nutrientes en el tubérculo, absorción de nutrientes por órgano y total, y las eficiencias del uso de los nutrientes. Los resultados mostraron el mayor rendimiento de tubérculo asociado con la localidad La Libertad, superando en más de 8.8 t ha⁻¹ con respecto a las otras localidades. Los nutrientes que limitan mayormente el rendimiento y la eficiencia agronómica fueron el N y P en las tres localidades. Sin embargo, en cada localidad se observó especificidades con respecto al orden de importancia del resto de nutrientes evaluados. El efecto de la omisión de los nutrientes sobre la absorción total de mismos fue básicamente consecuencia de las diferencias en materia seca observadas y no por la concentración de los nutrientes en cada órgano. Las pruebas de fritura y los análisis de gravedad específica y materia seca de tubérculo permiten inferir que no hay un efecto significativo de la omisión de nutrientes sobre la calidad industrial de los tubérculos.

Descriptores: Papa, *Solanum tuberosum*, Fertilización, Manejo de nutrientes, Omisión de nutrientes.

Identifying fertilization priorities in potato (*Solanum tuberosum* L.), Superchola variety in the North Ecuadorian Sierra Andisols

Author: Andrés Arroyo

Advisor: *Ph.D.* Manuel Carrillo

Date: May, 2015

SUMMARY

The potato in Ecuador is one of the main crops in the highlands, being the province of Carchi the largest national producer (28%); however, the cost of fertilizers represents 35% of the cost of potato production due to lack of technology. Besides, Ecuador has the lowest yield potato in the region (10-15 ton per hectare). The main objective of this study was to determine the most limiting nutrients for potato and its effects on crop growth, yield, and tuber quality. Additionally, it was expected to learn about total nutrient uptake and fertilizer use efficiency. To do that, nutrient omission plots were established under the methodology called Site Specific Nutrient Management. The potato variety used was Superchola in soils from three sites of Carchi (Cuaspud, Canchaguano y La Libertad). Ten treatments were evaluated (seven of them without N, P, K, Ca, Mg, S y B; respectively, one with all the nutrients, one with the farmer fertilization rate and source, and an absolute control) with three repetitions, under a completely randomized block design and a combined analysis among sites. The evaluated variables were emergency, number of stems per plant, days to flowering and physiologic maturity, plant height, yield, tuber dry matter and specific gravity, percentage of good chips, chlorophyll index, tuber nutrients content, total and by organ nutrient uptake, and nutrient use efficiency. The results showed that the best yield was associated with the site "La Libertad"; 8.8 t per hectare greater than the others. The most limiting nutrients were N and P in all the evaluated sites in terms of yield and agronomic efficiency. Nevertheless, every site showed specificity in terms of the rest of nutrients evaluated. The effect of nutrients omission observed on the total nutrient uptake was the result of dry matter differences, instead of the nutrient content by organ. Industrial quality of tuber characterized by frying tests, specific gravity and tuber dry matter showed no significant effect of the nutrients omission.

Key words: potato, *Solanum tuberosum*, fertilization, nutrient management, nutrient omission.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Problemática

En el Ecuador, los cultivos de papa se encuentran principalmente en la Región Sierra, las provincias más representativas por su área de cultivo son Chimborazo, Cotopaxi y Carchi, que suman el 62 % de la superficie total, siendo Carchi la provincia de mayor producción, sobre todo en los cantones nor-orientales, con un aporte del 28 % del total nacional y considerándose además el principal cultivo en dicha provincia con 4459 ha sembradas (28 %) de las 15941 ha con cultivos transitorios (INEC, 2012); sin embargo, a nivel nacional no se le ha dado la importancia debida sobre varios temas como tecnificación, fertilización y mercado.

El Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), en 1994 encontró más de 400 diferentes tipos de semillas de papa; sin embargo, en el Ecuador comúnmente se siembran solo 30 cultivares, de los cuales las variedades INIAP-Gabriela y Superchola representan más de la mitad del área sembrada (Andrade, Bastidas & Sherwood, 2002; Devaux, Ordinola, Hibon & Flores, 2010), sin ser necesariamente las variedades de mayor rendimiento o resistencia a plagas y enfermedades.

Revisando las estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) puede verse que en el 2013 los países con mayor producción por área (Nueva Zelandia, Estados Unidos de América y Bélgica) bordean las 50 t ha⁻¹ bajo condiciones muy favorables de clima, suelos, variedades y mecanización; mientras que en la zona andina, Venezuela y Colombia bordean las 20 t ha⁻¹, quedando Bolivia y Ecuador con los rendimientos más bajos, entre 5 a 10 t ha⁻¹ (FAOSTAT, 2015); sin embargo, el INIAP en sus estudios reporta un rendimiento promedio de 14 t ha⁻¹ (Andrade et al., 2002).

Los costos de producción varían desde 2000 US\$ ha⁻¹ en Tungurahua (sin tecnificación) hasta 4000 US\$ ha⁻¹ en el Carchi (con mediana tecnificación), siendo los principales rubros fertilizantes (35 %) y mano de obra (24 %). El costo unitario de producción en Ecuador alcanza los 0.12 US\$ kg⁻¹ (5.5 US\$ qq⁻¹), muy similar al de Idaho, la región de mayor producción de papa en EE.UU. (Devaux et al., 2010).

La fertilización de la papa en el país es una práctica muy variada en cuanto a dosis, fuentes y épocas de aplicación; en algunas zonas como la provincia del Carchi, se usan altas

cantidades de fertilizantes químicos. En papa, la absorción total de P es inferior a la de N y K; sin embargo, debido al alto grado de fijación del suelo, las cantidades de fertilizantes fosforados utilizados son mayores. Los papicultores del país utilizan un promedio de 30000 t de fertilizante cada año (Andrade et al., 2002; Oyarzún et al., 2002). La falta de trabajos relacionados al uso de nutrientes en la producción de papa es un problema inminente, como referencia se puede mencionar el V Congreso Ecuatoriano de la Papa, realizado en Riobamba en el 2013, donde solo cinco, de sesenta y cuatro conferencias estuvieron relacionadas con suelos y fertilizantes.

1.2 Justificación

La papa, clasificada por la FAO como uno de los cuatro cultivos más importantes del mundo junto con el trigo, maíz y arroz, es una de las principales fuentes de trabajo e ingresos en la región rural andina y el Ecuador no escapa de esta realidad. Cada año se tiene el 2 % de crecimiento en producción y el 4.7 % de crecimiento en rendimiento y aún queda mucho por mejorar. A partir del año 2008, en que las Naciones Unidas declaró Año Internacional de la Papa, el país le dio prioridad a este cultivo, en el marco de la soberanía alimentaria y los programas de lucha contra la pobreza (Devaux et al., 2010).

La falta de estudios actualizados relacionados con la nutrición del cultivo de papa y la fertilidad de los suelos bajo los cuales se cultiva en el país y sobre todo en la provincia de Carchi, incentiva a iniciar con la validación de la metodología denominada Manejo de Nutrientes por Sitio Específico (MNSE), cuya primera etapa se enfoca en el estudio de omisión de nutrientes. Para el efecto se selecciona tres localidades de importancia agrícola en la Provincia de Carchi, a fin de conocer el potencial de rendimiento de la variedad Superchola y contrastar con el rendimiento obtenido de cada nutriente limitado para conocer la prioridad nutricional y ajustar las recomendaciones de fertilización; en la búsqueda de eficiencia y rentabilidad de los tratamientos con calidad a cosecha.

La papa en Ecuador representa un 7.4 % del Producto Interno Bruto (PIB) agrícola y en el año 2000 se reportó 88000 productores de los cuales el 61 % tenían menos de 3 ha. El cultivo de papa ocupa directa e indirectamente el 5.2 % de la Población Económicamente Activa (PEA) y ocupa 5.5 millones de jornales año⁻¹ (115 jornales ha⁻¹ año⁻¹) (Devaux et al., 2010; OFIAGRO, 2008).

El contar con un estudio preliminar en las zonas de mayor producción papera de la sierra norte ecuatoriana, otorga una meta inicial de rendimiento alcanzable a ser afinada con futuras investigaciones, pero además ajusta las recomendaciones de fertilización basadas en análisis de suelos, buscando mayor eficiencia agronómica y económica.

La disponibilidad de esta herramienta tecnológica de producción para investigadores, docentes, técnicos, facilitadores, estudiantes y principalmente productores de papa de cada zona estudiada, otorga una ventaja competitiva frente a otras provincias e incluso el vecino país de Colombia al incentivar el incremento de rendimiento o la reducción de costos de producción.

1.3 Alcance

La investigación se realizó en los cantones Tulcán, Montufar y Espejo de la provincia de Carchi, entre octubre de 2013 y abril de 2014, en tres lotes ubicados dentro de las zonas productivas de cada cantón y cercanos a las estaciones agroclimáticas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). Esta investigación se realizó dentro del marco del Proyecto PIC-13-IEE-002 titulado "Incidencia del cambio climático y nutrición de cultivos de arroz, maíz duro y papa, con modelos de predicción de cosechas de maíz duro mediante métodos espaciales y espectrales (Maíz Duro)" financiado por la Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT), co-ejecutado por el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), el Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) y el INAMHI.

Los resultados de la presente investigación identifican los nutrientes limitantes para el cultivo de papa bajo las condiciones edafo-climáticas de las localidades estudiadas; sobre los cuales se pueden plantear nuevas investigaciones, pero también son de utilidad para empresas comercializadoras de fertilizantes, técnicos agrícolas y productores en general, que buscan el incremento en rendimiento así como al uso eficiente de recursos en las zonas de influencia.

1.4 Objetivos

1.4.1. Objetivo General:

Identificar las prioridades de la nutrición del cultivo de papa y los efectos de su omisión sobre el desarrollo fenológico, rendimiento y calidad de tubérculos en Andisoles de la Sierra Norte ecuatoriana.

1.4.2. Objetivos Específicos:

Determinar los nutrientes prioritarios del cultivo de papa y su efecto sobre el desarrollo de la planta y el rendimiento de tubérculos en Andisoles de la Sierra Norte ecuatoriana.

Conocer la absorción total y la variación en las eficiencias de fertilización, mediante la técnica de omisión de nutrientes en el cultivo de papa, variedad Superchola, en Andisoles de la Sierra Norte ecuatoriana.

Identificar los efectos de la omisión de nutrientes sobre aspectos relacionados con la calidad física y de fritura de los tubérculos de papa.

1.5 Hipótesis

Ho= Ningún nutriente limita la producción y la calidad de la papa.

Ha= Al menos uno de los nutrientes en estudio limita la producción y la calidad de la papa.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Antecedentes

2.1.1. Fertilización

Valverde & Alvarado (2009), en su documento basado en experiencias del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas (DMSA) de la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP, detallan que se han realizado algunos experimentos de calibración y correlación en campo, destacando la relación entre el rendimiento de papa y el contenido de P en el suelo (extraído con solución Olsen modificada), para determinar que el nivel crítico de P para papa en Andisoles ecuatorianos es de 42 mg kg^{-1} , cuatro veces más alto que el nivel crítico general para estos suelos, considerando además que aún aplicaciones altas de P, no satisfacen la capacidad de fijación de estos suelos y el efecto residual es bajo. Con este detalle y otros estudios se proponen recomendaciones de fertilización con base en los análisis químicos de suelos para nitrógeno (50 a 200 kg ha^{-1} de N) con una dosis óptima económica (DOE) de 140 kg ha^{-1} y una dosis fisiológica (DOF) de 160 kg ha^{-1} ; para fósforo (100 a 400 kg ha^{-1} de P_2O_5) con una DOE de 240 kg ha^{-1} y una DOF de 325 kg ha^{-1} , para potasio (30 a 150 kg ha^{-1} de K_2O) sin encontrarse respuesta significativa del rendimiento a niveles de fertilización potásica, y para azufre (0 a 30 kg ha^{-1} de S) con alta respuesta a los niveles de aplicación, obteniendo el máximo rendimiento al aplicar 30 kg ha^{-1} de S.

Mite, Medina & Espinosa (2009), buscaron determinar la mejor enmienda y la dosis de aplicación para controlar la acidez de suelos volcánicos cultivados con piña, además evaluar las mismas en el crecimiento radical y el rendimiento de piña e identificar los cambios químicos del suelo. Para lograr este objetivo trabajaron una fase en laboratorio e invernadero con una prueba de incubación para evaluar el efecto de calcita (CaCO_3), magnesita (MgCO_3), dolomita ($\text{CaCO}_3 \text{ MgCO}_3$) y yeso (CaSO_4) y otra fase en campo con la aplicación de enmiendas y fertilización completa en todas las parcelas. Los resultados indican que en la primera fase no hubo cambios significativos en pH después de los 30 días, pero sí un incremento de carga negativa (CIC) en la superficie de los coloides que estaría relacionado con la precipitación de la mayoría del Al lograda a pH alrededor de 5.5 con las dosis bajas de las enmiendas (1.5 t ha^{-1}), lo que en campo trajo como consecuencia el crecimiento

favorable de raíces y el incremento en el rendimiento del cultivo, sin sobrepasar las dosis de enmienda ya que predisponen a la planta a infecciones de *Phytophthora sp.*

2.1.2. Manejo de Nutrientes por Sitio Específico

Espinosa & García (2009), presentan los datos de un estudio realizado en Colombia en tres sitios (Espinal, Bugalagrande y Montenegro) con diferente potencial de rendimiento de maíz, donde se calculó con los datos climáticos de la NASA el rendimiento potencial y en campo se identificó el rendimiento alcanzable con el tratamiento completo, el rendimiento de parcelas de omisión de N, P y K y el rendimiento del agricultor, donde se observa que la localidad más afectada por condiciones climáticas simuladas obtiene un rendimiento potencial y alcanzable (tratamiento completo en campo) muy por debajo de las otras localidades. Sin embargo, los rendimientos del tratamiento completo del año 2007 para las tres localidades, definen las metas de rendimiento para el siguiente ciclo de cultivo y junto con ella la magnitud del requerimiento de nutrientes para llegar a esas metas. Además presentan otra investigación complementaria realizada en Colombia en 16 sitios de diferente potencial de rendimiento (García, 2009) donde se encontró que el efecto del fraccionamiento de N en el rendimiento fue estadísticamente significativo en todos los sitios, demostrando que los fraccionamientos triples superaron a los fraccionamientos dobles y que los primeros tienen un mejor efecto en la Eficiencia Agronómica del N, alcanzando valores de 33 kg de grano kg^{-1} de N aplicado, que es un nivel aceptable de recuperación de N.

Aldeán (2009), en su tesis realizada en manejo de nutrientes por sitio específico en el cultivo de maíz, encontró que el tratamiento con fertilización balanceada tuvo mejores características agronómicas y de rendimiento que el testigo y que la prioridad de fertilización para las dos zonas evaluadas (Santo Domingo y Patricia Pilar, Ecuador) fue $\text{N} > \text{P} > \text{Mg} > \text{K} > \text{S}$, así también que con el plan de fertilización completo se mejoró la cantidad de N, P, K, S y Mg aprovechado por la planta.

Alvarado, Jaramillo, Valverde & Parra (2011), en su estudio llevado a cabo en la provincia de Bolívar, Ecuador, detectaron como limitante principal al N y como secundario al P. Los rendimientos potenciales de maíz en la provincia de Bolívar están desde bajos ($< 4 \text{ t ha}^{-1}$) hasta moderadamente altos ($> 6 \text{ t ha}^{-1}$), adicionalmente en la localidad de bajo potencial, aún con dosis de N que superen los 100 kg ha^{-1} , no se podrá alcanzar rendimientos mayores a

4.3 t ha⁻¹ puesto que está limitada por el clima y otros factores, así también para garantizar la eficiencia de la utilización y alcanzar altos rendimientos del cultivo deben realizarse tres fraccionamientos del N (a la siembra, V4=30 a 35dds y V8-V9=65 a 70dds).

2.2 Fundamentaciones

2.2.1. El cultivo de papa

La papa (*Solanum tuberosum* L.), es el tercer cultivo más consumido del mundo, luego del arroz y el trigo. Este cultivo es muy importante en términos de seguridad alimentaria, por ser rico en energía, nutritivo, puede cultivarse en cualquier área, barato para comprar y listo para cocinar sin tratamientos costosos (CIP, 2015).

Según FAOSTAT (2015), a nivel mundial los países con mayor área cosechada del cultivo son: China (5.6 millones de ha), Federación de Rusia (2 millones de ha), India (1.9 millones de ha) y Ucrania (1.4 millones de ha). En América Latina, Perú con 317 mil ha, es el país con mayor extensión, mientras que Paraguay es el menor con 237 ha; Ecuador tiene 47302 ha.

Los países con mayor producción de papa por área son Nueva Zelandia (46.7 t ha⁻¹), Estados Unidos de América (46.6 t ha⁻¹), Bélgica (46.1 t ha⁻¹), Países Bajos (43.7 t ha⁻¹) y Francia (43.4 t ha⁻¹). En América Latina, Argentina alcanza los mayores rendimientos (28.8 t ha⁻¹), seguida por Brasil (27.8 t ha⁻¹) y Chile (23.4 t ha⁻¹). En la zona andina, Colombia obtiene la mayor producción (18.6 t ha⁻¹), seguido de Venezuela (17.7 t ha⁻¹) y Perú (14.4 t ha⁻¹), los rendimientos más bajos se observan en Ecuador y Bolivia (7.3 y 5.8 t ha⁻¹); respectivamente (FAOSTAT, 2015).

2.2.2. Suelos Andisoles

Los Andisoles (Soil Taxonomy USDA) o Andosoles (WRB, FAO), considerados antes de los noventas como parte de los Inceptisoles (USDA), ocupan una pequeña porción del área cultivada a nivel mundial (0.8 % a 1 % del suelo arable del mundo); sin embargo, por sus características generalmente favorables para la producción de alimentos tienen una gran importancia en la producción agrícola y frecuentemente se encuentran en zonas de alta densidad poblacional (Espinosa & Jaramillo, 2010).

Según la revisión realizada por Espinosa & Jaramillo (2010) del International Plant Nutrition Institute (IPNI), estos suelos se caracterizan por tener perfiles profundos de color negro, contenido de materia orgánica (MO) en promedio del 8 % que puede aumentar hasta 30 %; suelo poroso, friable, que puede tornarse pastoso cuando se frota (tixotropía); capas visibles de ceniza en el perfil del suelo; la capacidad de intercambio catiónica (CIC) es altamente variable y es dependiente del pH. En general la CIC aumenta con el pH mientras que la capacidad de intercambio de aniones disminuye concomitantemente; en general, los Andisoles de pH mayor a cinco normalmente están dominados por alófanos (material amorfo compuesto de esferas de tres a cinco nm de diámetro), mientras que suelos de pH menor a cinco están dominados por la imogolita (material amorfo formado por fibras de diez a treinta nm de diámetro); los materiales amorfos y el complejo humus aluminio tienen una gran afinidad por los iones del P. La característica de elevada fijación de P (mayores al 85 %) es una condición para la clasificación como Andisol y la densidad aparente debe ser menor a 0.9 t m^{-3} (que es la mitad o menos del valor de Entisoles e Inceptisoles de Costa Rica) (Alvarado & Forsythe, 2005; citados por Espinosa & Jaramillo, 2010, p.2). En general presentan excelentes condiciones de trabajo y de exploración de raíces.

En Ecuador, alrededor del 80 % de los suelos cultivados con papa son de origen volcánico (Andisoles), localizados en zonas frías donde se retarda la descomposición de la MO y por lo tanto se acumula a través de los años, generalmente con buen drenaje por su textura y topografía, así como también una alta capacidad de retención de humedad. Como características químicas, aproximadamente el 50 % de los suelos tiene bajos contenidos de N, a pesar de su alta MO, el 80 % tiene bajos contenidos de P y el 70 % niveles altos de K, Ca y Mg. El azufre (S) es considerado limitante en la producción de papa y respecto a los micronutrientes existen deficiencias comunes de Zn, Mn y B. La mayoría de suelos en las zonas paperas tiene valores de pH entre ácidos y ligeramente ácidos (<6.4) (Oyarzún et al., 2002). La papa y la piña tienen cierta capacidad de tolerar pH relativamente ácido; sin embargo, existen respuestas evidentes al uso de enmiendas en estos cultivos donde se observan claramente los incrementos en la CIC y la mejora en rendimientos, como demuestra el estudio realizado en piña por Mite et al. en el año 2009 (Espinosa & Jaramillo, 2010).

2.2.3. Elementos nutricionales

Nitrógeno

El N es considerado como uno de los elementos más importantes en la nutrición de las plantas, las necesidades de este por parte de las plantas es muy elevado, es utilizado para la formación de aminoácidos esenciales que forman parte de las proteínas, así como para formar enzimas o complejos enzimáticos, también forma parte de las auxinas y colabora con la formación de clorofila, que aumenta la actividad fotosintética y por tanto el desarrollo. Puede provenir de materiales orgánicos, fertilizantes sintéticos y del aire, tiene alta movilidad y puede perderse por lixiviación y volatilización. Las formas más útiles de N asimilable son en forma nítrica (NO_3^-) y amoniacal (NH_4^+) (Carretero, Doussinague & Villena, 2006).

La disponibilidad del N en suelos volcánicos jóvenes es muy baja por la inmovilidad y protección al ataque microbiano que tiene la MO de los Andisoles, esto hace que las tasas de mineralización sean sumamente bajas y que en términos generales hay posibilidad de respuesta a la aplicación de fertilizantes nitrogenados (Espinosa & Jaramillo, 2010).

El N en el cultivo de papa permite la formación y translocación del almidón desde las hojas a los tubérculos. La deficiencia limita el desarrollo, causa enanismo, hojas cloróticas pudiendo degenerar a bordes púrpuras y caída prematura. Por el contrario, la sobre fertilización produce vástagos grandes, verdes oscuros de apariencia saludable pero de escasas raíces y tubérculos pequeños. Las fuentes fertilizantes más recomendadas para N en el cultivo de papa son Sulfato de amonio (21 % N) para suelos con pH básico, la cianamida cálcica (22 % N) para suelos ácidos; el nitrato de amonio (33 % N) y la urea (46 % N) (Valverde & Alvarado, 2009).

Fósforo

El P forma parte de los fosfolípidos de las membranas celulares y de los ácidos nucleicos, su acción fundamental está en la función clorofílica y la actividad fotosintética, forma parte de gran cantidad de enzimas que realizan funciones esenciales para el desarrollo e interviene en la formación, transporte y almacenamiento de energía. Las plantas lo absorben

principalmente en forma de iones ortofosfatos primario y secundario (H_2PO_4^- y HPO_4^{2-}) que están presentes en la solución del suelo (Carretero et al., 2006).

En suelos volcánicos este es el elemento que comúnmente limita en mayor medida la capacidad productiva, aun cuando los requerimientos del cultivo son relativamente bajos (hasta 100 kg ha^{-1} de P_2O_5); esto se debe a que la matriz amorfa que forma este tipo de suelos puede fijar el ión fosfato y esto resulta en una gran capacidad neta de fijación que frecuentemente puede superar valores del 90 %. Estudios de fijación han demostrado que los suelos del norte del Ecuador, fijan más P que aquellos de las zonas central y sur. La mayor eficiencia del P proveniente del fertilizante fue de 11 % para el nivel de 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 , mientras que para un nivel de 450 kg ha^{-1} de P_2O_5 , la eficiencia fue 4 % (Oyarzún et al., 2002; Espinosa & Jaramillo, 2010).

El P en el cultivo de papa es muy importante durante el periodo inicial de desarrollo y la tuberización. Interviene en la síntesis de hidratos de carbono y favorece a la maduración oportuna de los tubérculos. La deficiencia de este nutriente impide que los tubérculos lleguen a su madurez fisiológica. Las fuentes fertilizantes más recomendadas de P para el cultivo de papa son Fosfato diamónico (DAP) (18-46-0) y fosfato monoamónico (MAP) (10-30-10) (Valverde & Alvarado, 2009).

Potasio

El K que las plantas toman del suelo en forma de iones (K^+), es el encargado de mantener la permeabilidad de las membranas celulares, aumentar la concentración de los jugos celulares con lo que se obtiene una mayor resistencia a las bajas temperaturas, activar múltiples reacciones enzimáticas, poner en marcha la absorción de nitratos y estimular la formación de proteínas, reducir la velocidad de transpiración mediante la apertura y cierre de los estomas con lo que previene los golpes de calor y por lo tanto la desecación, dar resistencia contra enfermedades y formar parte de la formación de azúcares de reserva (Carretero et al., 2006).

En suelos volcánicos jóvenes, el K puede estar presente en cantidades medias a altas, en Ecuador la mayoría de estos suelos en la sierra se caracterizan por tener contenidos altos; sin embargo, las reservas pueden ser rápidamente agotadas como se comprueba con la alta respuesta a su aplicación (Espinosa & Jaramillo, 2010).

El K en el cultivo de papa mejora las propiedades culinarias de los tubérculos ya que desempeña un papel fundamental en la translocación de azúcares y almidón; además incide directamente en la producción y tamaño de los tubérculos. Los síntomas de deficiencia se pueden observar con hojas superiores pequeñas, arrugadas y de color verde intenso, necrosis en el ápice, márgenes y clorosis intervenal de las hojas viejas. Incide en la producción ya que durante el periodo de floración, no llegan a engrosar los tubérculos. Con respecto a K no se ha encontrado respuesta significativa del rendimiento del cultivo de papa a niveles de fertilización (Valverde & Alvarado, 2009).

Calcio

El Ca, absorbido por las plantas en forma de ion (Ca^{2+}), forma parte de las membranas celulares y favorece la absorción selectiva de nutrientes, activa los complejos enzimáticos capaces de acumular energía y neutraliza la acidez de los jugos celulares (Carretero et al., 2006).

Este elemento abunda en la mayoría de los suelos y las plantas raramente muestran su deficiencia en condiciones naturales (Valverde & Alvarado, 2009); sin embargo, debido a que la mayoría de los suelos deficientes en Ca son ácidos, un buen programa de encalado puede agregar Ca en una forma muy eficiente, tanto la calcita como la dolomita son fuentes excelentes (PPI, PPIC & FAR, 1988).

Magnesio

Las plantas son capaces de absorber el Mg como ión (Mg^{2+}), este elemento es el núcleo de la molécula de clorofila, de ahí que la deficiencia se vea rápidamente en forma de clorosis en las plantas, también forma parte de una multitud de pigmentos, como son los carotenos o las xantofilas y es también responsable del movimiento del P en la planta, lo que favorece la acumulación de energía (Carretero et al., 2006).

Aun cuando la mayoría de los suelos contienen suficiente Mg como para soportar el crecimiento de las plantas, las deficiencias de este elemento ocurren con mayor frecuencia en suelos arenosos y suelos ácidos desarrollados bajo alta pluviosidad. El desequilibrio entre Ca y Mg en el suelo acentúa la deficiencia de Mg y cuando la relación Ca:Mg se hace muy alta, las plantas absorben menos Mg (PPI et al., 1988).

En Andisoles, dependiendo del historial de manejo de fertilizantes y de la situación climática de cada localidad, pueden presentarse deficiencias nutricionales, en algunos casos de forma natural y en otros inducidas por el manejo, siendo las más frecuentes las deficiencias de B y S (Espinosa & Jaramillo, 2010).

Azufre

El S que se absorbe fundamentalmente por las plantas en forma de sulfato (SO_4^{2-}), forma parte de una multitud de complejos enzimáticos que regulan el buen desarrollo de las plantas, contribuye con el proceso de formación de la clorofila y está presente en varios compuestos orgánicos de la planta. La principal fuente de S natural es la MO, que provee más del 95 % del S encontrado en el suelo, pero debe ser oxidada o hidrolizada por microorganismos para poder ser absorbida. En las zonas paperas del país, alrededor del 70 % de los suelos son deficientes en S por ello la probabilidad de respuesta del cultivo es alta. Los síntomas de deficiencia se caracterizan por presentar un color verde pálido en las hojas jóvenes, contrario a los síntomas de deficiencia de N, y cuando la deficiencia es severa la sintomatología se generaliza en toda la planta. Según investigaciones en campos de agricultores la respuesta del rendimiento del cultivo de papa a niveles de S fue cuadrática, alcanzando un máximo rendimiento con 30 kg ha^{-1} (Oyarzún et al., 2002; Valverde & Alvarado, 2009).

Boro

Según Carretero et al. (2006), el boro permite el transporte y absorción de los azúcares formados por la planta, interviene en la formación de sustancias pécticas y la lignina, y en la absorción de agua. Se absorbe del suelo en forma de borato y perborato fundamentalmente.

Los síntomas de deficiencia se caracterizan por el oscurecimiento y engrose de las hojas, también por la muerte de meristemos de vástagos y raíces. De manera general se traduce en muerte de meristemos y aborto de flores (Valverde & Alvarado, 2009).

2.2.4. Variedades de papa cultivadas en Ecuador

Las variedades producidas en el país dependen de cada zona; sin embargo, pueden ser clasificadas en dos grupos: nativas y mejoradas. La zona norte es la menos influenciada por variedades mejoradas ecuatorianas, pues siempre ha existido preferencia por las variedades

colombianas. La variedad Superchola ha mantenido su demanda por sus características de color de piel rosada crema y pulpa amarilla, muy preferida para el mercado fresco, INIAP-Fripapa no ha conseguido una amplia aceptación, y en los últimos años la variedad Diacol-Capiro ha sido promovida por una empresa procesadora de papa (Cuesta, Andrade, Bastidas, Quevedo & Sherwood, 2002; Devaux et al., 2010). Mayores detalles sobre las variedades sembradas por zonas se encuentran en el Anexo 1.

Cuesta et al. (2002), menciona que Superchola fue creada aproximadamente en el año 1984 mediante la cruce [(Curipamba negra x *Solanum demissum*) x clon resistente con comida amarilla x chola seleccionada] por el Sr. Germán Bastidas de la provincia del Carchi. Esta variedad pertenece a la Subespecie andígena. Su producción está recomendada para la zona norte y centro del Ecuador en altitudes comprendidas entre los 2800 y 3600 m.s.n.m. Su follaje se caracteriza por ser frondoso, de rápido desarrollo, con tallos robustos y fuertes, además de hojas medianas que cubren bien el terreno. Los tubérculos que produce son medianos de forma elíptica a ovalada de piel rosada y lisa, con crema alrededor de los ojos, pulpa amarilla pálida sin pigmentación y ojos superficiales. Se considera una variedad semitardía ya que su ciclo de maduración a 3000 m de altitud se completa en 180 días con un potencial de rendimiento de 30 t ha⁻¹. Es susceptible a la lancha (*Phytophthora infestans*), medianamente resistente a la roya (*Puccinia pittieriana*) y tolerante al nematodo del quiste de la papa (*Globodera pallida*). Los usos más comunes son en fresco (sopas y puré), y para procesamiento (papas fritas en forma de hojuelas o chips, y a la francesa).

2.2.5. Fertilización

El INIAP mantiene dos tablas de recomendación de fertilización, tanto para papa comercial como para papa semilla (Anexo 2), que han sido ajustadas con base en estudios de correlación y calibración para N, P y S, ya que para K no se encontraron respuestas significativas en el rendimiento del cultivo a los niveles de fertilización evaluados (Valverde & Alvarado, 2009). La recomendación de fertilización para papa comercial está entre: 50 a 200 kg ha⁻¹ de N, 100 a 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 30 a 150 kg ha⁻¹ de K₂O, y 0 a 30 kg ha⁻¹ de S de acuerdo al análisis del suelo. Sin embargo, Oyarzún et al. (2002), muestran la extracción del cultivo en suelos ecuatorianos para diferentes rendimientos; se observa la marcada diferencia del P debido al alto grado de fijación en este tipo de suelos, donde se necesita solamente 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅, para obtener el más alto rendimiento de 50 t ha⁻¹ (Anexo 3).

La época y forma de aplicación recomendada para el P, K y S es todo al momento de la siembra, al fondo del surco en chorro continuo, mientras que para el N, se sugiere en aplicaciones fraccionadas, una a la siembra y otra a los 45 a 60 días después de la siembra (dds), coincidiendo con el medio aporque. En suelos arenosos o franco arenosos con alto potencial de pérdida de K por lixiviación, se recomienda también fraccionar la aplicación de K a la siembra y medio aporque (Valverde & Alvarado, 2009; Oyarzún et al., 2002).

Los complementos foliares a la fertilización edáfica son recomendables para corregir deficiencias de micronutrientes, o para recuperar plantas afectadas por condiciones bióticas y abióticas adversas. Existen reportes de incrementos de 5 t ha⁻¹ al rendimiento de papa por aportes de abonos foliares. La respuesta favorable se atribuye principalmente a que los suelos tienen contenidos bajos y medios de S, Zn y Mn (Oyarzún et al., 2002).

2.2.6. Manejo de Nutrientes por Sitio Específico

Según Dobermann & Fairhurst (2000) y Espinosa & García (2009), el manejo de nutrientes por sitio específico (MNSE) es una metodología cuyo objetivo es entregar nutrientes a la planta en la dosis óptima y en el momento adecuado. Esta forma de manejo permite ajustar el uso de fertilizantes para lograr los más altos rendimientos de manera eficiente, aportando efectivamente el déficit que ocurre entre la necesidad total de nutrientes y el aporte proveniente de las fuentes nativas del suelo. El MNSE se enfoca en el desarrollo de un programa que toma en cuenta los siguientes aspectos:

- El suplemento de nutrientes nativos del suelo en cada sitio (específico por sitio).
- La variabilidad temporal del contenido de N en la planta durante un ciclo específico (específico por época).
- Cambios a mediano plazo en el suplemento de P y K del suelo basándose en el balance acumulado de nutrientes.

Para la implementación de un programa de MNSE se necesita seguir los siguientes pasos:

a) Determinación de rendimiento potencial y rendimiento alcanzable

La determinación del rendimiento potencial asumiendo condiciones ideales para un cultivo se logra utilizando modelos de simulación. Para alcanzar en campo esta meta, se debe tener

un aporte óptimo de agua, nutrientes y asegurar la completa protección al ataque de plagas y enfermedades, invasión de malezas y cualquier otro factor que pueda afectar el crecimiento, lo cual sumado a una excelente genética y condiciones climáticas completamente favorables, es difícil conseguir en campo; sin embargo, la determinación de este rendimiento en un sitio específico es un excelente marco de referencia para identificar la magnitud de las brechas de rendimiento (Espinosa & García, 2009).

El rendimiento alcanzable se logra conduciendo una investigación en campo, eliminando todos los factores limitantes con la ayuda de la tecnología disponible en el sitio, o por recolección de datos del rendimiento obtenido en lotes de productores con muy buen manejo. Esta información es imprescindible para desarrollar la recomendación de fertilización del siguiente ciclo ya que es la que establece la demanda real de nutrientes y el análisis de suelos no permite este tipo de cálculos. La meta del MNSE es lograr que los productores reduzcan la brecha de su rendimiento actual y logren acercarse al rendimiento alcanzable en sus sitios (Espinosa & García, 2009).

b) Aporte de nutrientes provenientes del suelo

El aporte nativo del suelo se obtiene del uso de parcelas de omisión, las cuales determinan el aporte de los nutrientes nativos del suelo por su acumulación en el cultivo sin fertilizar con el nutriente de interés, pero que se ha suplementado con el resto de elementos y se ha removido otras limitaciones que puedan reducir el rendimiento (Dobermann & Fairhurst, 2000; Espinosa & García, 2009).

c) Determinación de las dosis de nutrientes para suplir el déficit entre la necesidad del cultivo y el suelo nativo

La dosis a aplicar de un determinado nutriente depende de la diferencia entre la necesidad total del mismo para obtener la meta de rendimiento y el aporte del suelo determinado con la parcela de omisión (Espinosa & García, 2009).

2.2.7. Calidad e Industria

El Centro Internacional de la Papa (CIP) propone la evaluación de calidad post cosecha para ver el potencial en diversos usos, desde el consumo fresco hasta el procesamiento, dentro de

los cuales destacan: el contenido de materia seca, la gravedad específica y el comportamiento como hojuela frita, entre otros (Anexo 4). Sugiere el uso de tubérculos sanos cosechados y en vista de que los factores medioambientales, el manejo y la interacción genotipo x ambiente tienen influencia post cosecha, recomienda el uso de tubérculos cosechados en ambientes contrastantes, principalmente marcados por altitud o época de cultivo (CIP, 2010).

Para la evaluación de sólidos de los tubérculos, el CIP recomienda evaluar el contenido de materia seca preferiblemente dentro de las 24 horas de producida la cosecha, sin necesidad de pelarlos. La gravedad específica también puede usarse para evaluar indirectamente el contenido de materia seca y se puede optar por el método peso en aire/peso en agua (más preciso) o el del hidrómetro. Los dos datos (porcentaje de materia seca y gravedad específica) están altamente correlacionados y son dos alternativas de estimar el contenido de sólidos de los tubérculos. Ambas variables dan una indicación de la calidad de procesamiento y cocción, siendo en general aceptable un contenido de materia seca de más del 20 % y una gravedad específica de 1.080 o mayor, los cuales corresponden a un contenido de sólidos de más o menos 18 % que tiene relación con tubérculos que producen un buen rendimiento de hojuelas fritas con menor absorción de aceite y mejor textura (CIP, 2010).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Sitio de estudio

Las parcelas de estudio estuvieron localizadas dentro de un perímetro de cinco km de las estaciones meteorológicas del INAMHI, iniciando el 14 de octubre de 2013 hasta el 17 de abril de 2014; en la Tabla 3.1 se resumen los datos de las mismas.

Tabla 3.1. Estaciones meteorológicas del INAMHI cercanas a las localidades de estudio, Carchi

	Estaciones Meteorológicas		
	Huaca	Montufar	Espejo
Cantón	Huaca	Montufar	Espejo
Parroquia	Huaca	San Gabriel	El Ángel
Elevación (msnm)	2837	2860	3000
Fecha instalación	22-ago-2008	01-nov-1965	01-ene-1962
Latitud	00°37'03''N	00°36'15''N	00°37'35''N
Longitud	77°45'03''O	77°49'10''O	77°56'38''O
Código INAMHI	M1199	M0103	M0102
	Localidades de estudio		
	Tulcán (L1) ^α	Montufar (L2)	Espejo (L3)
Parroquia	Santa Martha de Cuba	San Gabriel	La Libertad
Elevación (msnm)	3069	2837	3180
Latitud	0°39'98''N	0°32'46''N	0°38'75''
Longitud	77°45'01''O	77°48'00''O	77°56'44''
Localidad	Cuaspud	Canchaguano	La Libertad

^α Factor localidades del experimento.

3.1.1. Características climáticas

Las características agroclimáticas en las estaciones cercanas a los sitios de estudio se detallan en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Características agroclimáticas cercanas a las localidades de estudio, Carchi

CARACTERÍSTICAS	ESTACIONES		
	Huaca	San Gabriel	El Ángel
Precipitación anual (mm)	633.3	806.6	584.7
Temperatura máxima (°C)	15.9	17.1	14.8
Temperatura mínima (°C)	7.1	7.6	6.5
Temperatura media anual (°C)	11.5	12.3	10.6
Humedad relativa (%)	75.0	74.3	77.0
Heliofanía media mensual (h)	119.9	124.4	no disponible

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). 2013.

3.1.2. Características edáficas

La Tabla 3.3 muestra un resumen de las características edáficas de cada localidad en estudio.

Tabla 3.3. Taxonomía de suelos de los lotes en estudio, Carchi

	LOCALIDADES		
	Cuaspud	Canchaguano	La Libertad
Orden	Inseptisoles	Mollisoles	Inseptisoles
Suborden	Andepts	Ustolls	Andepts
Gran grupo	Distrandepts y/o Criandepts	Durustolls	Hidrandepts
Material de origen	Ceniza reciente suave y permeable	Proyecciones volcánicas: ceniza antigua, dura y cementada (cangahua)	Ceniza reciente suave y permeable y/o antiguas
Clima, zonas de humedad y temperatura	Húmedo a muy húmedo Muy frío, Frío Templado, Cálido	Seco Templado	Húmedo a muy húmedo Muy frío, Frío Templado, Cálido
Fisiografía y relieve	Relieves planos a montañosos de la sierra alta, vertientes y estribaciones andinas	Relieves ondulados a colinados de las vertientes y partes bajas norte y centro	Relieves planos a montañosos de la sierra alta y estribaciones andinas
Características de suelo	Alofánicos; limosos a franco limosos; profundos; ricos en materia orgánica; desaturados en bases; pH ácidos. Retención de humedad 20-100%; fertilidad media. Muy negros a negros (frío), amarillos en profundidad (templados, cálidos)	Duripan (cangahua) a menos de 1 m. de profundidad; pardos; arcillo arenosos; pH neutro a ligeramente alcalino con CO ₃ Ca	Alofánicos; limosos a franco limosos; profundos; ricos en materia orgánica; desaturados en bases; pH ácidos. Retención de humedad >100%; negros en zonas frías y pardos amarillos en templadas o cálidas; lixiviadas; esponjosos; baja fertilidad.

Fuente: SECS (1986) Mapa general de suelos del Ecuador, Mejía (1997) Mapa general de clasificación por capacidad-fertilidad de suelos del Ecuador y MAGAP (2012) Mapa de suelos (variable taxonomía) de la provincia del Carchi.

A continuación se presenta en la Tabla 3.4 la caracterización física de los suelos de los lotes de estudio previo a la siembra.

Tabla 3.4. Características de pH, MO y físicas del suelo de cero a 15 cm realizado en pre siembra, Carchi

	LOCALIDADES		
	Cuaspud	Canchaguano	La Libertad
pH	5.6	5.7	5.1
Materia Orgánica (%)	13.8	4.3	5.6
Clase textural	Franco a Franco arenoso	Franco	Franco arcilloso
Capacidad de campo (g H ₂ O 100g ⁻¹ suelo seco)	58.2	30.7	38.0
Punto de marchitez permanente (g H ₂ O 100g ⁻¹ suelo seco)	32.8	21.5	21.7
Capacidad de intercambio catiónico (meq 100g ⁻¹ suelo)	9.3	9.4	11.0
Fósforo en agua (P-H ₂ O mg kg ⁻¹)	13.3	25.4	23.9
Densidad aparente (g cm ⁻³)	0.7	1.2	1.1
Análisis de retención de fósforo (%)	78.4	37.5	44.3
Conductividad hidráulica saturada en suelo no disturbado	Muy rápida	Muy rápida	Moderada
Humedad gravimétrica (g cm ⁻³)	70.7	40.8	46.0
Compactación 0-5cm (N cm ⁻²)	206.0	150.0	247.5
Profundidad efectiva (m)	>1	>1	>1
Pendiente (grados)	28.0	14.0	6.0
Color (muestra húmeda)	7.5 YR 3/1 gris muy oscuro	10 YR 4/3 marrón	7.5 YR 3/1 gris muy oscuro

3.2 Técnicas, procedimientos, instrumentos y recursos

Las variables analizadas están basadas en la Guía para Colaboradores Internacionales de procedimientos para pruebas de evaluación estándar de clones avanzados de papa (CIP, 2010); la Guía para el Manejo y Toma de Datos de Ensayos de Mejoramiento de Papa del Programa Nacional de Raíces y Tubérculos (Cuesta, 2008); el libro El Cultivo de la Papa en Ecuador (Pumisacho & Sherwood, 2002) y la experiencia del DMSA de la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP, Quito, donde se realizaron todos los análisis del presente estudio de acuerdo a la metodología vigente en el laboratorio.

3.3 Factores, tratamientos, diseño experimental y variables de estudio

3.3.1. Factores en estudio

A continuación se presenta el detalle de los dos factores en estudio:

1. Factor A (Localidades)
 - a) L1: cantón Tulcán, parroquia Santa Martha de Cuba, sector Cuaspud.
 - b) L2: cantón Montufar, parroquia San Gabriel, sector Canchaguano.
 - c) L3: cantón Espejo, parroquia La Libertad, sector La Libertad.

2. Factor B (Fertilización)
 - a) F1: aporte óptimo + (N, P, K, Ca, Mg, S, B)
 - b) F2: sin nitrógeno -N y + (P, K, Ca, Mg, S, B)
 - c) F3: sin fósforo -P y + (N, K, Ca, Mg, S, B)
 - d) F4: sin potasio -K y + (N, P, Ca, Mg, S, B)
 - e) F5: sin calcio -Ca y + (N, P, K, Mg, S, B)
 - f) F6: sin magnesio -Mg y + (N, P, K, Ca, S, B)
 - g) F7: sin azufre -S y + (N, P, K, Ca, Mg, B)
 - h) F8: sin boro -B y + (N, P, K, Ca, Mg, S)
 - i) F9: testigo absoluto (sin aplicación)
 - j) F10: aplicación agricultor +(N, P, K)

3.3.2. Tratamientos

En cada localidad se evaluaron diez tratamientos; siete de ellos con parcelas de omisión de los nutrientes de mayor importancia para el cultivo de papa, un tratamiento completo para evaluar el potencial de cada zona, un comparativo con la fertilización del agricultor y un testigo absoluto para identificar el aporte nativo de nutrientes del suelo (Tabla 3.5).

Tabla 3.5. Tratamientos y dosis de nutrientes que se usaron en las tres localidades de la provincia del Carchi

Trt	Descripción	Dosis de nutrientes [§] (kg ha ⁻¹)						
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	B
1	Completo + (N, P, K, Ca, Mg, S, B)	170 ^β	350	228.8	60	80	30	2.5
2	-N, + (P, K, Ca, Mg, S, B)	0	350	228.8	60	80	30	2.5
3	-P, + (N, K, Ca, Mg, S, B)	170	0	228.8	60	80	30	2.5
4	-K, + (N, P, Ca, Mg, S, B)	170	350	0	60	80	30	2.5
5	-Ca, + (N, P, K, Mg, S, B)	170	350	228.8	0	80	30	2.5
6	-Mg, + (N, P, K, Ca, S, B)	170	350	228.8	60	0	30	2.5
7	-S, + (N, P, K, Ca, Mg, B)	170	350	228.8	60	80	0	2.5
8	-B, + (N, P, K, Ca, Mg, S)	170	350	228.8	60	80	30	0
9	Testigo Absoluto (sin aplicación)	0	0	0	0	0	0	0
10	Agricultor +(N, P, K)	165	435	187.5	0	0	0	0

[§] Fuentes de nutrientes utilizadas: Fosfato Monopotásico, Nitrato de Calcio, Sulfato de Amonio, Magnesil, Urea, Solubor, Mainstain Calcio, Sulfato de Magnesio, Muriato de Potasio, Sulfato de Potasio, Nitrato de Amonio, 11-52-0, 8-20-20, 10-30-10 y 18-46-0.

^β Solamente en la localidad Cuaspud se complementó con una fertilización nitrogenada adicional, llegando a 190 kg ha⁻¹ de N.

3.3.3. Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con diez tratamientos y tres repeticiones para la disposición en campo y el análisis estadístico de los datos colectados en cada localidad, con un total de 30 unidades experimentales; la significancia estadística de los promedios de tratamientos, se analizaron usando la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para todas las variables en estudio; además, se realizó un análisis combinado con la información de las tres localidades. Los ADEVAS correspondientes a estos diseños se presentan en la Tabla 3.6 y Tabla 3.7. Los análisis estadísticos se realizaron con la ayuda del software InfoStat® desarrollado por la Universidad Nacional de Córdoba (FCA-UNC), Argentina, versión estudiantil y el Software SAS/STAT® para algunas pruebas iniciales de datos.

Tabla 3.6. Esquema del análisis de varianza del diseño de Bloques Completos al Azar en cada localidad

Fuentes de Variación	Grados de Libertad
Total	29
Tratamientos	9
Repeticiones (bloques)	2
Error experimental	18

Tabla 3.7. Esquema del análisis de varianza del análisis combinado utilizado entre localidades

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	
	Fórmulas	Valores
Total	$lrt-1$	89
Localidades (L)	$l-1$	2
Repeticiones dentro de localidades	$l(r-1)$	6
Tratamientos (T)	$t-1$	9
L x T	$(l-1)(t-1)$	18
Error experimental	$l(r-1)(t-1)$	54

Características de las parcelas

Número de unidades experimentales:	30
Forma:	Cuadrada
Área Total de la parcela:	36 m² (6 m x 6 m)
Longitud del surco:	6 m
Distancia entre surcos:	1.2 m
Número de surcos	5
Área neta de la parcela:	19.44m² (5.4 m x 3.6 m). Al eliminar una planta de cada extremo y un surco de cada lado.
Longitud del surco:	5.4 m
Distancia entre surcos:	1.2 m
Número de surcos útiles:	3
Número de plantas útiles:	54 plantas
Área total por localidad:	1152 m²
Densidad:	27778 pl ha⁻¹

Cada repetición estuvo separada por un camino de 1.2 m, para facilitar el acceso y las labores del experimento (Anexo 5).

3.3.4. Variables de estudio

Se registraron diferentes tipos de variables: fenológicas, productividad, calidad, nutrición y absorción.

a) Variables fenológicas:

- **Porcentaje de emergencia**

A los 40 días después de la siembra (dds) se contó el número de plantas emergidas del suelo en la parcela neta, cuyo valor se expresó en porcentaje respecto al total de tubérculos sembrados.

- **Número de tallos por planta**

Antes de realizar el medio aporque, se tomaron 10 plantas al azar de la parcela neta y se contó el número de tallos principales por planta (los que salen del suelo), reportando el número promedio.

- **Días a la floración**

Se contó el número de días transcurridos desde la siembra hasta que el 50 % de las plantas de cada parcela neta presentó flores abiertas. Se registró en dds.

- **Días a la madurez fisiológica**

Se contaron los días transcurridos desde la siembra hasta que el 50 % de plantas de la parcela neta presentó un follaje de color amarillo. Se registró en dds.

- **Altura de planta a la floración**

A la floración (90 a 95 dds), se midió la altura en centímetros desde el suelo hasta la punta de la hoja más alta, en 10 plantas tomadas al azar, de la parcela neta. Como datos complementarios también se tomó la altura al medio aporque (55 a 60 dds), aporque (70 a 75 dds), engrose (105 dds en Canchaguano, 126 dds en La Libertad y 129 dds en Cuaspud) y madurez fisiológica (128 dds en Canchaguano, 147 dds en La Libertad y 151 dds en Cuaspud).

- **Grados día desarrollo**

Con la ayuda de los datos registrados en las estaciones meteorológicas del INAMHI, se tomaron las temperaturas mínimas ($T^{\circ} \text{min}$) y máximas ($T^{\circ} \text{max}$) de cada día, durante el periodo de cultivo, comprendido entre los meses octubre/2013 a abril/2014, las cuales se documentaron, calcularon y acumularon como grados día desarrollo (GDD por growing degree days en inglés) según la fórmula propuesta por Villordon, Clark, Ferrin & LaBonte (2009), para relacionar con las características típicas de desarrollo y cambios fenológicos de la planta hasta llegar a cosecha. Considerando además las temperaturas cardinales de 2°C como temperatura base ($T^{\circ}b$) y 29°C como temperatura techo ($T^{\circ}t$) del cultivo de acuerdo a resultados experimentales de Ruiz (2014).

$$GDD = \Sigma(T^{\circ}\text{med} - T^{\circ}b)$$

Por lo tanto:

$$GDD = \Sigma\left(\frac{T^{\circ}\text{max} + T^{\circ}\text{min}}{2} - T^{\circ}b\right)$$

Si $T^{\circ}\text{max} > T^{\circ}t$

$$GDD = \Sigma\left(\frac{T^{\circ}t + T^{\circ}\text{min}}{2} - T^{\circ}b\right)$$

Si $T^{\circ}\text{min} < 0$; entonces $GDD=0$

Donde:

$T^{\circ}\text{max}$ = Temperatura diaria máxima

$T^{\circ}\text{min}$ = Temperatura diaria mínima

$T^{\circ}t$ = Temperatura techo del cultivo

$T^{\circ}b$ = Temperatura base del cultivo

b) Variables de productividad y calidad:

- **Rendimiento por categoría y total**

Se realizó la cosecha de la parcela neta de cada tratamiento y posteriormente se separaron los tubérculos cosechados en cuatro categorías: Primera o gruesa (>121 g), Segunda o redoja (71 a 120 g), Tercera o redojilla (51 a 70 g) y Cuarta o cuchi (31 a 50 g, o menos); el peso se registró por categoría y tratamiento (kg categoría^{-1}), para finalmente sumar el resultado de todas las categorías y reportar el rendimiento total en t ha^{-1} .

- **Materia seca del tubérculo**

Se tomaron tres plantas al azar dentro de cada parcela neta a la madurez fisiológica (50 % de plantas amarillentas) las cuales fueron separadas en tubérculos y resto de la planta (follaje y raíz). Se lavaron y pesaron las muestras en fresco para luego ser secadas hasta peso constante en la estufa a 80°C por 72 horas. Con los datos de peso fresco y seco se obtuvo el porcentaje de materia seca (MS) con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Materia seca} = \frac{\text{Peso seco}}{\text{Peso fresco}} \times 100$$

- **Gravedad específica del tubérculo**

Para la localidad Canchaguano, que fue la primera en ser cosechada se calculó con el método de peso en aire/peso en agua, pesando una cantidad de papas de tamaño comercial en una canasta colgada al aire y luego pesando esa misma canasta sumergida en agua destilada en un vaso de precipitación, registrando como peso en agua, para finalmente calcular la gravedad específica con la siguiente fórmula:

$$\text{Gravedad específica} = \frac{\text{Peso en aire}}{\text{Peso en aire} - \text{Peso en agua}}$$

Para las otras dos localidades se determinó con el método del hidrómetro. Primero se calibró el hidrómetro según el manual del fabricante, luego se encoró la balanza con el peso de la canasta de metal y se preparó un tanque de agua limpia a temperatura de 16 °C. Se pesó en la canasta exactamente 3629 g de tubérculos comerciales bien lavados y en perfectas condiciones (excepto uno con el que se completó la medida), luego se sumergió en el agua conectado el hidrómetro sobre el cual se leyó directamente la gravedad específica de cada tratamiento.

- **Porcentaje de hojuelas con calidad industrial**

Dentro de los siguientes diez días de cosecha se tomaron cinco tubérculos de la segunda categoría de cada unidad experimental que fueron lavados, pelados y cortados en hojuelas para posteriormente ser seleccionados como hojuelas buenas y uniformes que se lavaron y escurrieron antes de freírse en aceite vegetal a una temperatura de 176 a 180 °C por aproximadamente tres minutos o hasta cuando dejó de burbujear del aceite. Las hojuelas

fritas, escurridas y frías se clasificaron según la escala de color de 1 a 5 adaptada de la cartilla de colores de la Snack Food Association de EEUU por el PNRT-Papa, del INIAP (Cuesta, 2008) que se presenta en la Tabla 3.8, pesando al final las hojuelas de cada categoría y finalmente expresando el porcentaje de hojuelas buenas del total obtenido. Para el análisis se sumó las categorías (1, 2 y 3) que son aceptadas por la industria.

Tabla 3.8. Escala de valoración para hojuelas de papa, PNRT-INIAP

Escala	Criterio de Evaluación
1	Hojuelas sin ninguna mancha o pardeamiento.
2	Hojuelas con ligero pardeamiento marrón claro.
3	Hojuelas con ligero pardeamiento marrón claro y con pocas manchas de color marrón oscuro con diámetro menor o igual a 0.5 cm.
4	Hojuelas pardas con varias manchas marrón oscuro periféricas o centrales de diámetro mayor a 0.5 cm y menor a 1.8 cm.
5	Hojuelas pardas con manchas marrón oscuro intenso periféricas o centrales de diámetro igual o mayor de 1.8 cm.

c) Variables fisiológicas y de nutrición:

▪ **Índice de clorofila y color**

Se utilizó el medidor de clorofila CCM-200 para medir el Índice de Contenido de Clorofila (CCI por sus siglas en inglés) y al mismo tiempo se observó el color (valoración de 1 a 4) con la tabla de comparación de colores de la hoja (Leaf Color Chart) desarrollada por el Instituto Internacional de Investigaciones en Arroz (IRRI). Las lecturas se tomaron de las hojas ubicadas en el tercio medio de cinco plantas al azar en la parcela neta en diferentes etapas fenológicas del cultivo: medio aporque (55 a 60 dds), aporque (70 a 75 dds), floración (91 dds en Canchaguano, 93 dds en Cuaspud y 106 dds en La Libertad) y engrose (105 dds en Canchaguano, 107 dds en Cuaspud y 126 dds en La Libertad).

▪ **Concentración de nutrientes en el tubérculo**

Para todos los elementos se utilizaron los métodos vigentes en el laboratorio del DMSA de la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP. La concentración de macro y micro nutrientes excepto el N, se determinó mediante espectroscopía de emisión óptica (ICP) después de una digestión vía húmeda con ácido nítrico-perclórico (Malavolta, Vitti & De Oliveira, 1997; Tabatabai & Bremmer, 1970; Zasoski, & Burau, 1977). En el caso del N se

determinó por el método semi-micro Kjendahl (Bremmer, 1965). Expresados en dag kg⁻¹ los macro nutrientes y en mg kg⁻¹ los micronutrientes.

- **Absorción de nutrientes**

Con los resultados obtenidos de MS y concentración de nutrientes tanto del tubérculo como del resto de la planta (follaje y raíz), se calculó la absorción de nutrientes los cuales se expresan en kg ha⁻¹ para macro nutrientes y en g ha⁻¹ para el boro. Para la absorción total se sumó la absorción del follaje, raíz y tubérculos.

d) Eficiencias:

- **Eficiencia fisiológica (EF)**

Se evaluó esta variable, teniendo en cuenta el rendimiento adicional que se puede producir por cada kg de N, P, K, Ca, Mg, S y B absorbido.

$$EF_n = \frac{RG_{+n} - RG_{0n}}{UN_{+n} - UN_{0n}}$$

Donde:

RG_{+n} = Rendimiento con aplicación del nutriente (kg ha⁻¹).

RG_{0n} = Rendimiento sin aplicación del nutriente (kg ha⁻¹).

UN = Total del nutriente absorbido (kg ha⁻¹) en los dos tratamientos.

- **Eficiencia agronómica (EA)**

Este parámetro fue registrado, con la relación entre el rendimiento adicional que se puede producir por cada kg de N, P, K, Ca, Mg, S y B aplicado.

$$EA_n = \frac{RG_{+n} - RG_{0n}}{FN}$$

Donde:

RG_{+n} = Rendimiento con aplicación del nutriente (kg ha⁻¹).

RG_{0n} = Rendimiento sin aplicación del nutriente (kg ha⁻¹).

FN = Cantidad de nutriente aplicado (kg ha⁻¹).

▪ **Eficiencia de recuperación (ER)**

Se registró esta variable, analizando cuanto de N, P, K, Ca, Mg, S y B aplicado, fue recuperado y absorbido por el cultivo.

$$ER_n = \frac{UN_{+n} - UN_{0n}}{FN}$$

Donde:

UN_{+n} = Total de nutriente absorbido medido en la biomasa sobre la superficie en la madurez fisiológica (kg ha^{-1}) en los lotes que reciben FN.

RG_{0n} = Total de nutriente absorbido sin adición del nutriente (kg ha^{-1}).

FN = Cantidad de nutriente aplicado (kg ha^{-1}).

3.4. Manejo del experimento

A pesar de haber sembrado de acuerdo a los meses lluviosos más comunes en la sierra norte ecuatoriana (octubre a abril), se tuvo una alta variación de clima con un marcado verano, sobre todo en la localidad Canchaguano, cantón Montufar. En ninguna de las localidades fue posible realizar riegos complementarios ya que no cuentan con canales de regadío cercanos. En el Anexo 7 se encuentra una descripción fotográfica del estudio.

En la localidad La Libertad, se registraron fotografías de los efectos de la omisión de nutrientes sobre el desarrollo y por consiguiente área foliar de las hojas de papa a los 109 dds, donde se demuestra claramente la respuesta. (Anexo 27).

Identificación de sectores y toma de muestras

Las áreas de estudio se ubicaron cerca de las estaciones agroclimáticas del INAMHI y fueron exploradas mediante análisis de suelos, cuyas muestras se tomaron tres meses antes en potreros de al menos dos años de establecidos, buscando identificar a los nutrientes nativos del suelo.

Análisis de suelo inicial

Se delimitó las tres repeticiones sobre los potreros identificados en cada localidad, para facilitar la toma de muestras de suelo de 0 a 15 cm y de 15 a 30 cm, por cada repetición, e identificar las características químicas (macro y micronutrientes) y las características físicas

(densidad aparente, compactación, profundidad efectiva, humedad gravimétrica, color y pendiente del terreno) de cada lote, previo el establecimiento definitivo del estudio (Anexo 6 y Tabla 3.4).

Preparación del suelo

Se aplicó un herbicida sistémico (glifosato) antes de la mecanización de los suelos para facilitar el paso de un arado de disco sobre la hierba seca y posteriormente una rastra de tiro hasta mullir el suelo y dejarlo listo para la siembra. Los surcos se realizaron con tractor dos días antes de la siembra en los lotes de Canchaguano y La Libertad, mientras que en Cuaspud se realizó melgas (surcos realizados con el corte y volteo manual del potrero), quince días antes de la siembra ya que fue un cultivo en ladera y no fue posible mecanizar.

Delimitación del área de estudio

Sobre el terreno listo para la siembra, se delimitaron las parcelas con los diez tratamientos y tres repeticiones programadas en cada localidad, separando correctamente con estacas y piolas para identificar las unidades experimentales de acuerdo al sorteo realizado previamente.

Fertilización

Se realizaron tres fraccionamientos para reducir las pérdidas por lixiviación y volatilización del nitrógeno, a la siembra, a la deshierba (40dds) y al medio aporque (60 dds); solo en Cuaspud se realizó una tercera fertilización con el aporque a los 73 dds, mientras que el resto de nutrientes se aplicaron en su totalidad a la siembra. Antes de la siembra se colocaron los fertilizantes al fondo del surco a chorro continuo, separando los productos granulados de los polvos finos (solubor y fosfato monopotásico) para una distribución más homogénea, así también se aplicó independientemente el calcio líquido disuelto en agua (mainstay calcio). Luego de todas las aplicaciones se cubrió con una capa delgada de suelo para colocar la semilla. La fertilización del agricultor se realizó en dos aplicaciones, colocando el 50 % del fertilizante en banda lateral previo al retape y la fracción restante con la deshierba.

Siembra

La siembra se realizó el 14, 15 y 16 de octubre de 2013 en las localidades Cuaspud, Chanchaguano y La Libertad, respectivamente, con la humedad suficiente en el suelo para favorecer el desarrollo de los brotes y su emergencia. Se utilizó semilla registrada del INIAP, de la variedad Superchola, colocando un tubérculo de 60 a 80g por golpe al fondo del surco. Para ubicar correctamente la distancia se utilizó una piola de 6m de largo, marcada a 0.30m.

Retape

Se realizó a los 24 dds para lograr el oportuno control de malezas y permitir la aireación del suelo. Esta labor se realizó manualmente con azadones de uso común para este cultivo en la provincia del Carchi.

Deshierba, medio aporque y aporque

La deshierba fue realizada entre los 40 y 45 dds por tratarse de una variedad semitardía y la alta presencia de malezas en los lotes, el medio aporque se realizó quince días después y el aporque de igual manera. La localidad Chanchaguano tuvo un desarrollo más acelerado por lo que se completó las labores dos semanas antes. Estas labores también se realizaron con azadones y sirvieron para dejar camellones bien formados, cubrir los estolones en forma adecuada que favorezcan la tuberización, controlar malezas, proporcionar sostén a la planta y facilitar la cosecha.

Control fitosanitario

Los controles con fungicidas e insecticidas fueron realizados de manera sistemática (para garantizar la respuesta de los tratamientos) cada ocho a quince días de acuerdo a la presión del clima y la rotación por su modo y mecanismo de acción, verificando previamente que dentro de sus componentes no se encuentren elementos nutritivos que puedan afectar los resultados del estudio. Adicionalmente se colocaron trampas para gusano blanco, luego de la siembra para reducir la población de adultos se efectuaron recolecciones semanales y se realizó una aplicación en drench con insecticida al retape.

Cosecha

Se realizó con la ayuda de azadones, junto con la recolección y clasificación manual de tubérculos. Previamente se cosecharon tres plantas de cada parcela neta en madurez fisiológica para los análisis de laboratorio, mientras que el resto de plantas fueron cosechadas a la marchitez como se acostumbra en la zona. Las fechas de cosecha fueron el 13 de marzo del 2014 en Canchaguano, a los 149 dds, donde se adelantó por la sequía y falta de disponibilidad de agua para riego; el 15 de abril del 2014 en La Libertad, a los 181 dds y el 17 de abril del 2014 en Cuaspud, a los 185 días dds.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Localidad 1: Cuaspud, Tulcán.

4.1.1. Variables fenológicas

Porcentaje de emergencia, número de tallos por planta y días a la floración

Estas variables no presentan diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Anexo 8). La germinación fue muy buena debido al uso de semilla registrada del INIAP, el promedio de tallos por planta fue de 5 tallos planta⁻¹ y los días promedio a floración para esta localidad fueron 83 dds.

Días a la madurez fisiológica

En el Anexo 8 se presentan las diferencias estadísticas altamente significativas por efecto de la omisión de nutrientes. En la Tabla 4.1 se observa que el ciclo se acorta principalmente para el testigo absoluto y el tratamiento de omisión de nitrógeno, mismos que llegan a la madurez fisiológica 11 y 20 días antes, respectivamente, comparados con la fertilización completa que llega a los 160 dds.

Tabla 4.1. Días a la madurez fisiológica del cultivo de papa, afectados por la omisión de nutrientes, en la localidad Cuaspud, Carchi

Variable	Tratamientos										Promedio
	FC [§]	-N	-P	-K	-Ca	-Mg	-S	-B	TA	FA	
Días a la madurez	159.7 a	139.7 d	156.0 ab	154.0 abc	152.0 bc	159.3 a	152.7 bc	154.7 ab	148.7 c	157.0 ab	153.4

[§]FC= fertilización completa, -N= sin nitrógeno, -P= sin fósforo, -K= sin potasio, -Ca= sin calcio, -Mg= sin magnesio, -S= sin azufre, -B= sin boro, TA= testigo absoluto, FA= fertilización agricultor. Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey p=0.05).

Altura de planta a la floración

La variable altura a la floración no presenta diferencias estadísticas significativas (Anexo 8); sin embargo, en la Figura 4.1 se muestra que a lo largo del ciclo de cultivo, las mayores diferencias se presentan entre los tratamientos sin nitrógeno y testigo absoluto (plantas más pequeñas) y la fertilización completa y del agricultor (plantas más altas).

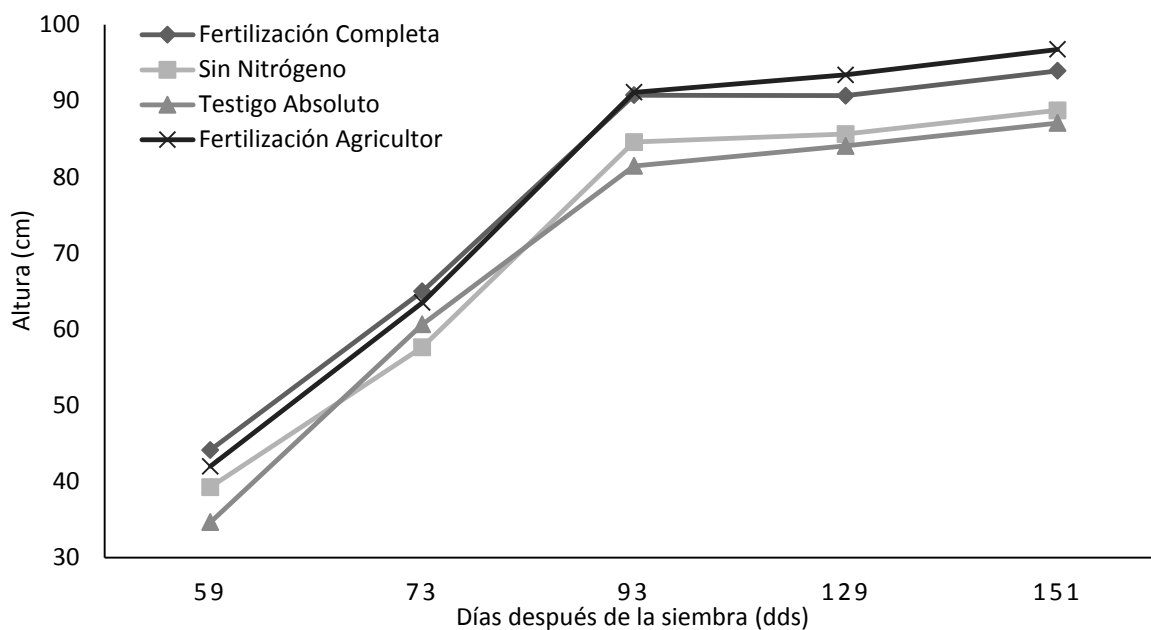


Figura 4.1. Altura de planta por etapa (medio aporque, aporque, floración, engrose y madurez fisiológica), afectada por la omisión de nutrientes más representativos, en la localidad Cuaspud, Carchi.

Grados día desarrollo (GDD)

La acumulación de grados día desarrollo en esta localidad presenta la misma tendencia estadística a los días después de la siembra identificados en cada etapa evaluada, describiendo a continuación los promedios para todos los tratamientos. Floración 83 dds con una acumulación de 931.1 GDD; madurez fisiológica 153 dds con 1721.2 GDD y cosecha 185 dds con 2065.1 GDD. Los valores de GDD obtenidos en la investigación resultaron superiores a los conseguidos por Ruiz (2014) quien determinó un valor de 1297 GDD a la madurez fisiológica, trabajando con las variedades de papa Atlantic y Alpha, sembradas bajo las condiciones del Valle del Fuerte Sinaloa en México.

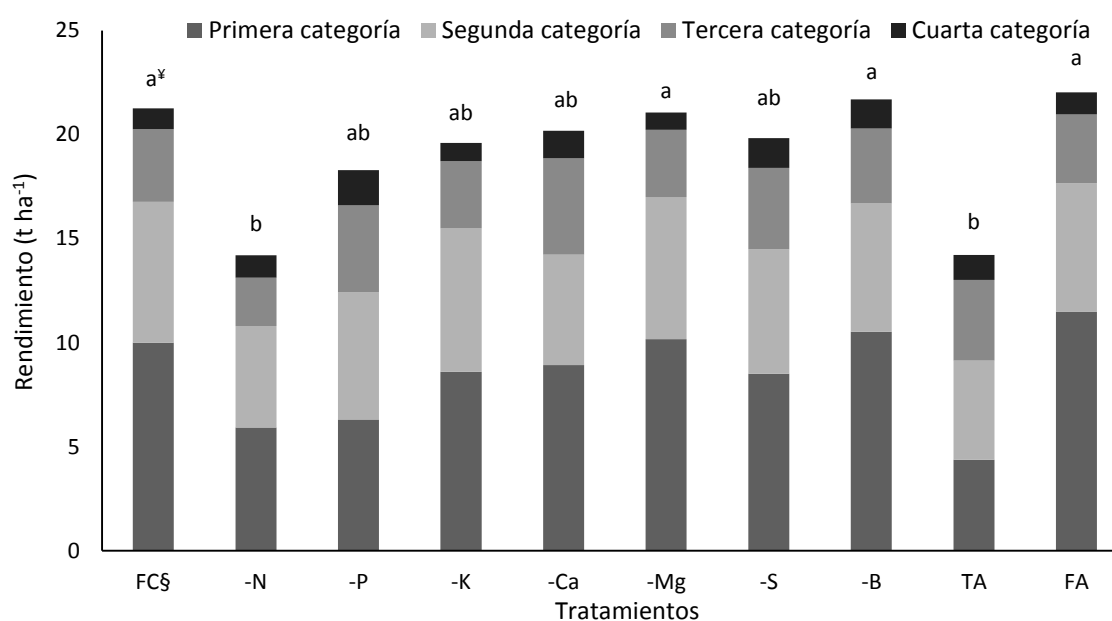
4.1.2. Variables de productividad y calidad

Rendimiento por categoría y total

El rendimiento por categorías no presenta diferencias estadísticas significativas por la omisión de nutrientes en ninguna de las cuatro clasificaciones (Anexo 9); sin embargo, resaltan los tratamientos con fertilización completa, omisión de Mg, omisión de B y fertilización del agricultor, que muestran los rendimientos más altos en las dos primeras categorías de cosecha (Figura 4.2).

El rendimiento total por el contrario muestra diferencias altamente significativas (Anexo 9), siendo los tratamientos anteriormente mencionados (FC, -Mg, -B y FA) los mejores, con rendimientos que superan en promedio con 7.3 t ha^{-1} a los tratamientos más bajos que son omisión de nitrógeno y testigo absoluto, confirmando además que las reservas nativas de los elementos Mg y B en el suelo son altas y suficientes para la nutrición del cultivo de papa.

En la Figura 4.2 se observa que para la localidad Cuaspud, la prioridad de fertilización por efecto de la omisión de nutrientes sobre el rendimiento, sigue el orden de $N > P \approx K \approx S \approx Ca > Mg \approx B$. Estos resultados concuerdan en parte con los obtenidos por el IPNI (2012), en el noroeste de China, donde luego de cinco años de investigación determinaron que los principales nutrientes limitantes para el cultivo de papa, según el rendimiento obtenido con parcelas de omisión son $-N (22.2 \text{ t ha}^{-1}) \approx -P (22.4 \text{ t ha}^{-1}) > -K (31.5 \text{ t ha}^{-1})$.



§FC= fertilización completa, -N= sin nitrógeno, -P= sin fósforo, -K= sin potasio, -Ca= sin calcio, -Mg= sin magnesio, -S= sin azufre, -B= sin boro, TA= testigo absoluto, FA= fertilización agricultor. §Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos para el rendimiento total (Tukey $p=0.05$).

Figura 4.2. Rendimiento total y por categoría de papa, afectados por la omisión de nutrientes, en la localidad Cuaspud, Carchi.

En la Tabla 4.2 se presentan las correlaciones representativas respecto al rendimiento, destacando que la altura de planta muestra una buena asociación en las etapas finales del cultivo y así también con el rendimiento de materia seca del follaje a la madurez fisiológica.

Tabla 4.2. Coeficientes de correlación entre el rendimiento total y las variables altura de planta medida a diferentes etapas y rendimiento de materia seca del follaje en la localidad Cuaspud, Carchi

Variabes	Rendimiento
Altura al medio aporque (59 dds)	$r^{\S} = 0.60$ ns
Altura al aporque (73 dds)	$r = 0.42$ ns
Altura a la floración (93 dds)	$r = 0.51$ ns
Altura al engrose (129 dds)	$r = 0.85$ **
Altura a la madurez fisiológica (151 dds)	$r = 0.86$ **
Materia seca del follaje (170 dds)	$r = 0.85$ **

§ r = Coeficiente de correlación lineal de Pearson ($p=0.05$), ns= no significativo, *= significativo, **= altamente significativo.

Materia seca del tubérculo, gravedad específica del tubérculo y porcentaje de hojuelas con calidad industrial

Estas variables no presentaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Anexo 10). En este estudio se obtuvo un promedio de materia seca de 22 % y un valor de gravedad específica de 1.090, sin ser afectado por los tratamientos de omisión, coincidiendo con lo expresado por el CIP (2010), quienes destacan que un contenido de materia seca en el tubérculo de más del 20 % y un valor de gravedad específica de 1.080 o superior, corresponden a un contenido de sólidos de aproximadamente 18 % con el cual los tubérculos que se ajustan a este criterio se consideran aptos para la mayoría de propósitos de procesamiento; por otro lado Cuesta (2008), documenta que un material apto para hojuelas fritas debe tener un máximo del 13 % al 14 % de hojuelas quemadas (escalas 4 y 5), concordando con los resultados de esta investigación cuyas pruebas de fritura estuvieron sobre el 90 % de hojuelas buenas (escalas 1 a 3).

Las correlaciones presentadas en la Tabla 4.3 indican que no hubieron relaciones entre las variables de calidad industrial evaluadas; contrario a lo mencionado por CIP (2010), quienes indican haber encontrado una estrecha correlación entre el porcentaje de materia seca del tubérculo con la gravedad específica.

Tabla 4.3. Coeficientes de correlación entre el porcentaje de materia seca del tubérculo, gravedad específica del tubérculo y porcentaje de hojuelas buenas en la localidad Cuaspud, Carchi

	% Materia seca	Gravedad Específica	% Hojuelas buenas
% Materia Seca			
Gravedad específica	0.63 [§] ns		
% Hojuelas buenas	-0.38 ns	-0.36 ns	

[§]r= Coeficiente de correlación lineal de Pearson (p=0.05), ns= no significativo, *= significativo, **= altamente significativo.

4.1.3. Variables fisiológicas y de nutrición

Índice de clorofila y color

El índice de clorofila presenta diferencias estadísticas altamente significativas por efecto de la omisión de nutrientes, para todas las etapas, excepto al medio aporque (Anexo 11). La tendencia de las mediciones por tratamiento en cuatro diferentes etapas del cultivo se presentan en la Figura 4.3, donde se observa que el tratamiento completo tiene los más altos

valores desde la primera medición, suponiendo un probable consumo de lujo de N. Por su parte los tratamientos testigo absoluto y omisión de N se encuentran en la última categoría de la separación de medias en todas las etapas (Anexo 11), presentando los valores más bajos de contenido de clorofila. El tratamiento del agricultor que tuvo un alto rendimiento y calidad de tubérculos, muestra que la concentración de clorofila a lo largo del ciclo fue estable y en un rango intermedio a bajo.

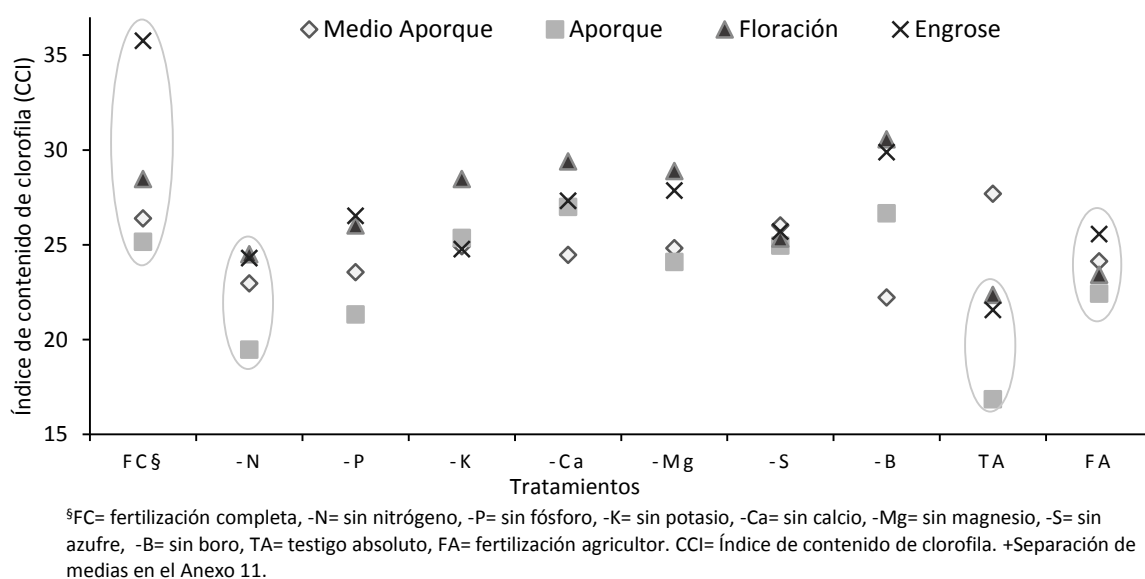


Figura 4.3. Contenido de clorofila, afectado por la omisión de nutrientes, en cada etapa del cultivo en la localidad Cuaspud, Carchi.

En la Tabla 4.4 se observa una asociación positiva altamente significativa entre el índice de clorofila al aporque y significativa al engrose con el rendimiento, no así para el resto de etapas del cultivo, indicando que a mayor contenido de clorofila a estas etapas, mayor será el rendimiento a conseguirse.

Tabla 4.4. Coeficientes de correlación entre clorofila y rendimiento para las diferentes etapas del cultivo en la localidad Cuaspud, Carchi

Correlaciones	Medio aporque (59 dds)	Aporque (73 dds)	Floración (93 dds)	Engrose (107 dds)
Clorofila vs Rendimiento	-0.29 [§] ns	0.82 **	0.56 ns	0.65 *

[§]r= Coeficiente de correlación lineal de Pearson (p=0.05), ns= no significativo, *= significativo, **= altamente significativo.

Concentración de nutrientes en el tubérculo

La concentración de nutrientes en el tubérculo presenta diferencias estadísticas significativas, por la omisión de nutrientes, para N, Ca, Mg, B, Cu, Fe y Mn (Anexo 12).

Los resultados presentados en la Tabla 4.5 muestran que la omisión de N, reduce la concentración de Ca, Zn, Fe y Mn en el tubérculo, elementos esenciales para el desarrollo del cultivo y también buscados a nivel de alimentos fortificados para el consumo humano. La omisión de Ca por su parte reduce P, K, Zn y Cu en el tubérculo. S y B son los únicos elementos que su omisión está directamente relacionada con su baja concentración, es decir que su aplicación no afecta significativamente a otros elementos, pero sí reduce su concentración en el tubérculo. Con la fertilización completa se logra mayor acumulación de B, Fe y Mn, beneficiando al enriquecimiento del tubérculo con oligoelementos esenciales para el cuerpo humano.

Tabla 4.5. Concentración de macro y micro elementos en el tubérculo de papa, afectados por la omisión de nutrientes, en la localidad Cuaspud, Carchi

Tratamientos	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn	Cu	Fe	Mn
	dag kg ⁻¹						mg kg ⁻¹				
FC [§]	1.67 ab	0.19	1.91	0.07 ab	0.14 ab	0.09	6.00 a	9.80	4.37 ab	29.10 a	8.97 a
-N	1.31 b	0.22	2.10	0.05 b	0.13 ab	0.11	5.47 ab	8.53	4.37 ab	22.63 c	6.10 c
-P	1.58 ab	0.19	2.06	0.06 ab	0.13 ab	0.11	5.73 ab	8.87	5.03 ab	24.57 abc	6.50 bc
-K	1.71 ab	0.19	1.99	0.07 ab	0.14 a	0.10	4.90 ab	10.07	4.27 ab	28.17 ab	8.23 ab
-Ca	1.55 ab	0.17	1.89	0.08 a	0.14 ab	0.09	4.87 ab	8.27	3.87 b	24.90 abc	7.37 abc
-Mg	1.62 ab	0.20	2.04	0.08 a	0.14 ab	0.09	4.60 b	9.37	4.93 ab	24.47 abc	7.80 abc
-S	1.75 a	0.20	2.09	0.07 ab	0.14 ab	0.07	5.17 ab	10.67	5.47 a	24.73 abc	7.17 bc
-B	1.59 ab	0.19	2.03	0.07 ab	0.13 ab	0.08	4.57 b	9.40	5.27 ab	24.00 bc	7.43 abc
TA	1.34 b	0.21	2.10	0.07 ab	0.13 ab	0.09	5.13 ab	8.50	5.03 ab	24.50 abc	6.73 bc
FA	1.49 ab	0.21	1.96	0.06 ab	0.12 b	0.09	4.40 b	8.90	4.03 ab	25.77 abc	6.83 bc
Promedio	1.56	0.20	2.02	0.07	0.13	0.09	5.08	9.24	4.66	25.28	7.31

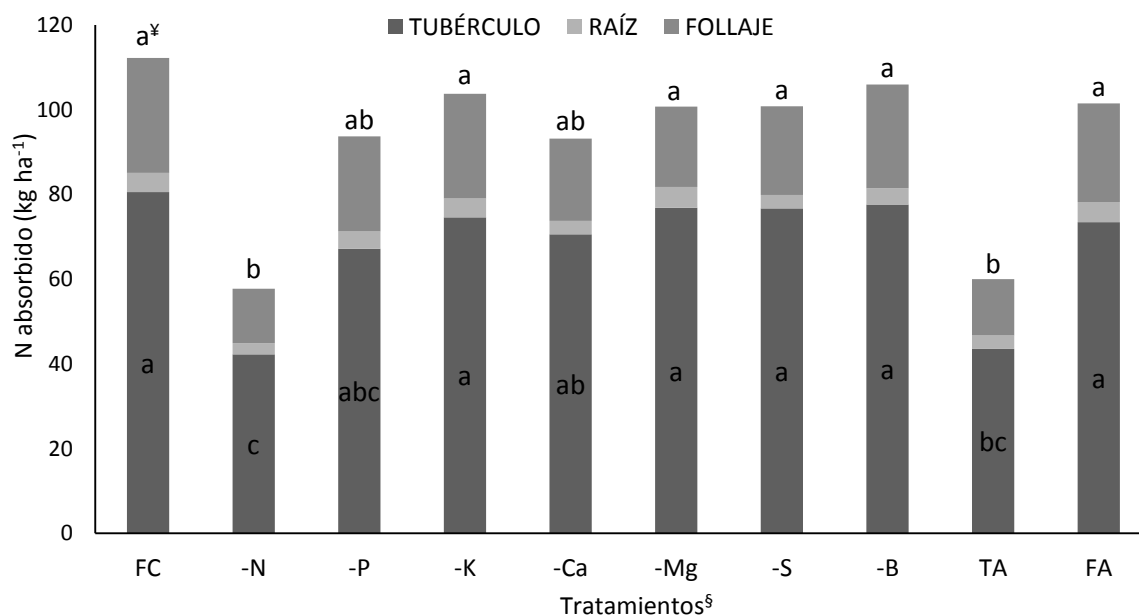
[§]FC= fertilización completa, -N= sin nitrógeno, -P= sin fósforo, -K= sin potasio, -Ca= sin calcio, -Mg= sin magnesio, -S= sin azufre, -B= sin boro, TA= testigo absoluto, FA= fertilización agricultor. Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey p=0.05).

Absorción de nutrientes

La absorción total de nutrientes presenta diferencias estadísticas significativas provocadas por la omisión de nutrientes, para todos los elementos excepto S (Anexo 13).

La absorción de nitrógeno total y tubérculo presentan diferencias estadísticas significativas (Anexo 13 y Anexo 16). Como se indica en la Figura 4.4, la absorción total de nitrógeno es afectada por su omisión en la fertilización; siendo los tratamientos testigo absoluto y omisión de N los que presentaron los valores más bajos de absorción y están superados por el tratamiento más alto (fertilización completa) con aproximadamente 54 kg ha⁻¹ de N absorbido. Las absorciones registradas en esta investigación están acorde a los 110 kg ha⁻¹ reportados por Cabalceta et al. (2005), en la Finca Irazú (Costa Rica), para una producción de 36 t ha⁻¹ y a los 116 kg ha⁻¹ y 92 kg ha⁻¹ obtenidos en Brasil por Fernandes et al. (2011) con materiales de alta y baja producción, respectivamente.

Las tendencias observadas, son debidas principalmente a las absorciones estadísticamente significativas encontradas en el tubérculo, marcada principalmente por la mayor producción de materia seca registrada en este órgano, antes que la concentración de N.

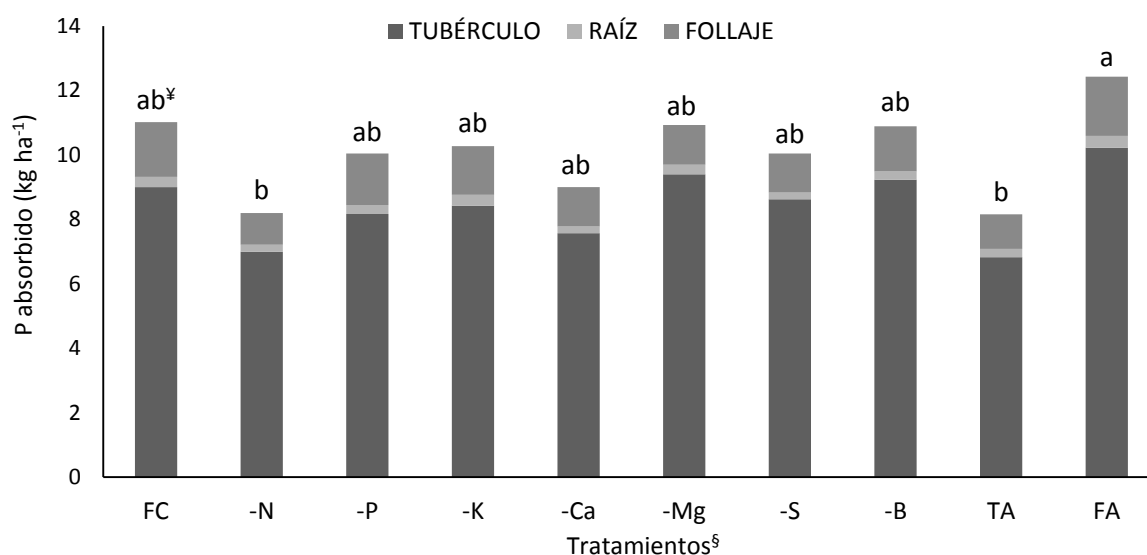


¶ Letras diferentes, en cada órgano, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey p=0.05). Letras sobre las barras corresponden a la absorción total. §FC= fertilización completa, -N= sin nitrógeno, -P= sin fósforo, -K= sin potasio, -Ca= sin calcio, -Mg= sin magnesio, -S= sin azufre, -B= sin boro, TA= testigo absoluto, FA= fertilización agricultor.

Figura 4.4. Absorción de nitrógeno por órgano, afectada por la omisión de nutrientes, en la localidad Cuaspud, Carchi.

En la absorción total de fósforo los tratamientos con omisión de N y testigo absoluto mostraron la menor absorción del elemento, presentando una diferencia de 4.2 kg ha^{-1} respecto al tratamiento con fertilización del agricultor (Figura 4.5).

La absorción total de P registrado en el tratamiento FA, corresponde a los valores de 14 y 15 kg ha^{-1} encontrados por Fernandes et al. (2011) para un material de baja producción y Cabalceta et al. (2005), para un rendimiento de 36 t ha^{-1} . Sin embargo, es menor a los 18 kg ha^{-1} indicado por Fernandes et al. (2011) conseguidos con los materiales Mondial y Asterix considerados de alto rendimiento.

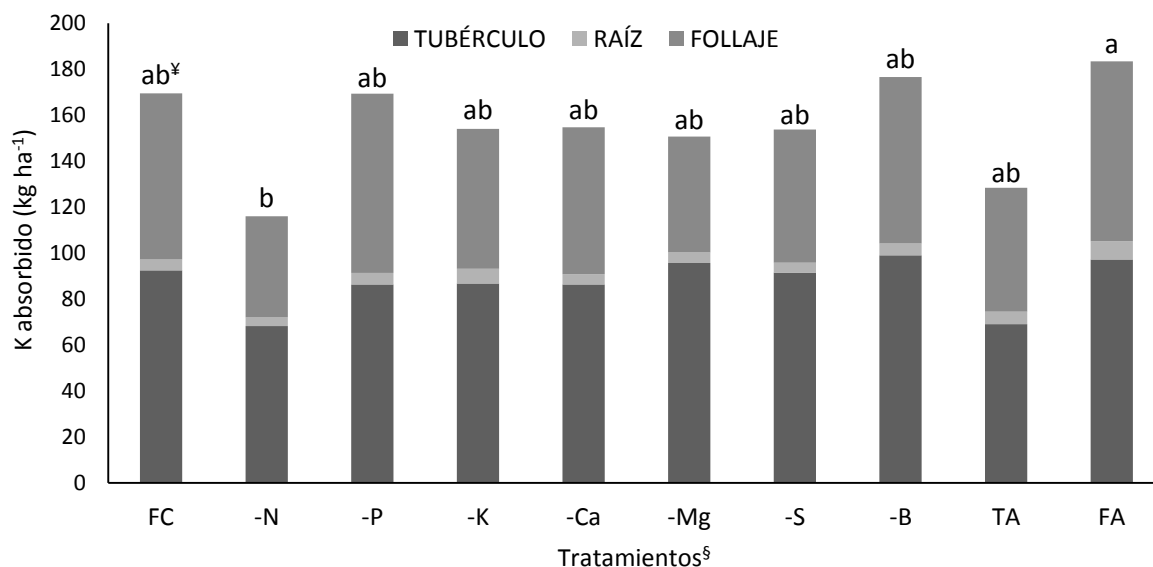


¶Letras diferentes sobre las barras corresponden a la absorción total e indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey $p=0.05$). §FC= fertilización completa, -N= sin nitrógeno, -P= sin fósforo, -K= sin potasio, -Ca= sin calcio, -Mg= sin magnesio, -S= sin azufre, -B= sin boro, TA= testigo absoluto, FA= fertilización agricultor.

Figura 4.5. Absorción de fósforo por órgano, afectada por la omisión de nutrientes, en la localidad Cuaspud, Carchi.

Para el potasio se observa que la omisión de N afecta significativamente a su absorción, encontrando una diferencia de 67.3 kg ha^{-1} en este tratamiento, respecto al de fertilización del agricultor, donde se observó un valor de 183.4 kg ha^{-1} (Figura 4.6). Esta mayor absorción es similar a la reportada por Fernandes et al. (2011) para materiales de baja producción y superior a los 166 kg ha^{-1} indicada por Cabalceta et al. (2005) para un rendimiento de 36 t ha^{-1} . Para materiales de alto rendimiento Fernandes et al. (2011) encontró una absorción de 243 kg ha^{-1} de K que fueron superiores a los encontrados en esta investigación.

En esta figura se observa que este elemento presenta una importante absorción a nivel del follaje, que garantiza la reposición de casi un 50 % del elemento al suelo.

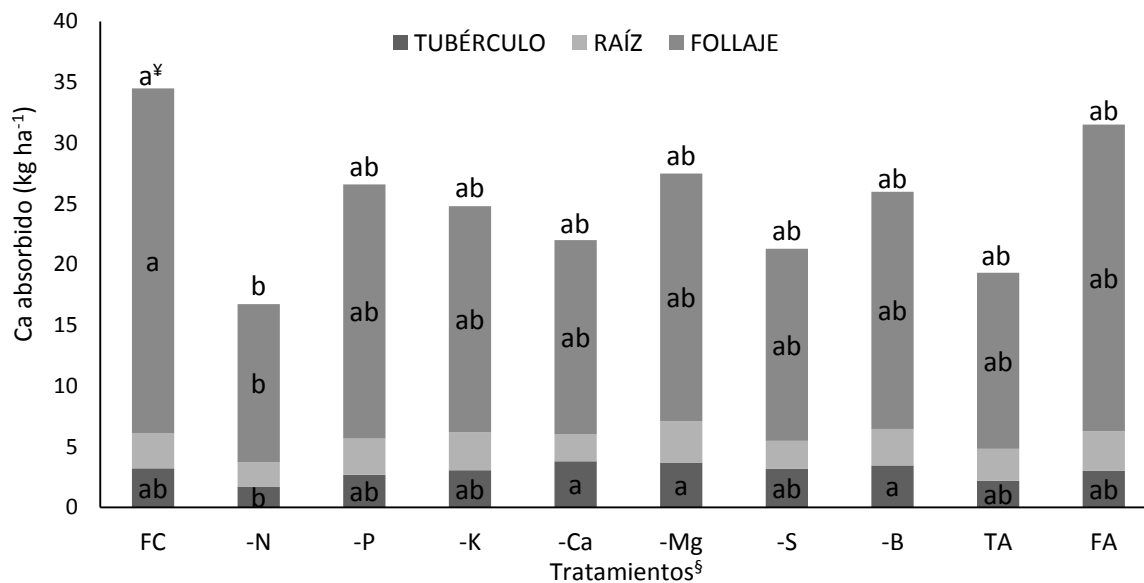


*Letras diferentes sobre las barras corresponden a la absorción total e indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey $p=0.05$). [§]FC= fertilización completa, -N= sin nitrógeno, -P= sin fósforo, -K= sin potasio, -Ca= sin calcio, -Mg= sin magnesio, -S= sin azufre, -B= sin boro, TA= testigo absoluto, FA= fertilización agricultor.

Figura 4.6. Absorción de potasio por órgano, afectada por la omisión de nutrientes, en la localidad Cuaspuñ, Carchi.

La absorción de calcio presenta diferencias estadísticas a nivel total, follaje y tubérculo, provocadas por la omisión de nutrientes (Anexo 13, Anexo 14 y Anexo 16). En la Figura 4.7 se observa que la omisión de nitrógeno provocó la menor absorción total de Ca, cuyo valor fue estadísticamente diferente al de fertilización completa, con diferencia de 17.8 kg ha^{-1} de Ca. Además, la absorción de Ca en el follaje fue elevada debido a la alta concentración de Ca, que superó a la registrada en el tubérculo; a pesar de que este último órgano presentó el mayor peso de biomasa, resultado que garantiza una mayor reposición de Ca al suelo, que otros elementos.

La mayor absorción total registrada en esta investigación resultó similar a los 35 kg ha^{-1} de Ca registrada por Fernandes et al. (2011) para materiales de baja producción y mayor a los 12 kg ha^{-1} de Ca, para un rendimiento de 36 t ha^{-1} , observados en Costa Rica por Cabalceta et al. (2005).

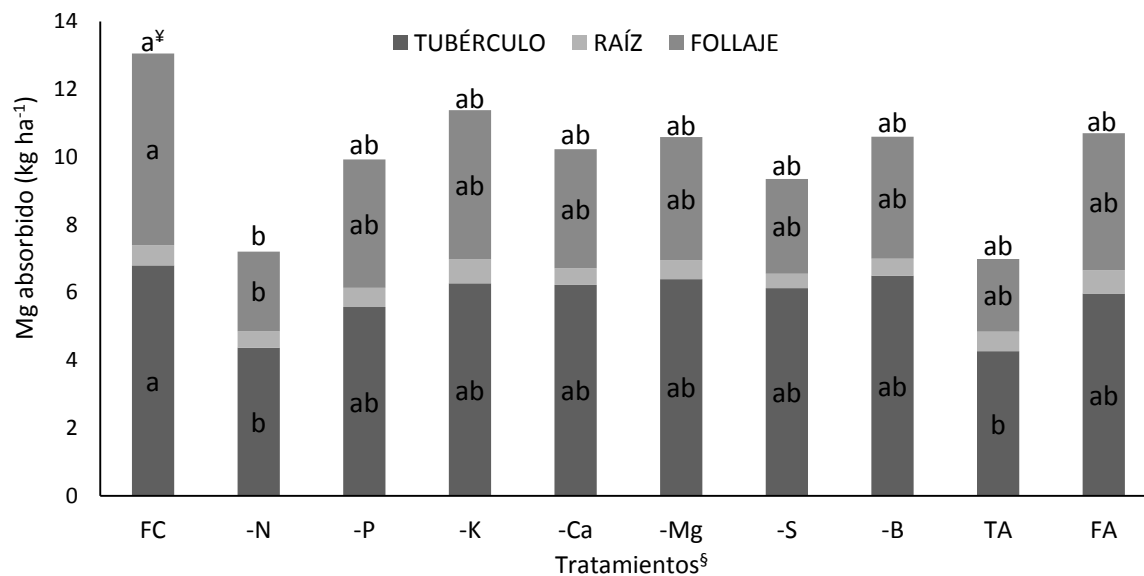


¶Letras diferentes, en cada órgano, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey $p=0.05$). Letras sobre las barras corresponden a la absorción total. §FC= fertilización completa, -N= sin nitrógeno, -P= sin fósforo, -K= sin potasio, -Ca= sin calcio, -Mg= sin magnesio, -S= sin azufre, -B= sin boro, TA= testigo absoluto, FA= fertilización agricultor.

Figura 4.7. Absorción de calcio por órgano, afectada por la omisión de nutrientes, en la localidad Cuaspud, Carchi.

La absorción de Mg total, en el follaje y tubérculo, presentan diferencias estadísticas significativas (Anexo 13, Anexo 14 y Anexo 16), encontrando que el tratamiento de fertilización completa es estadísticamente superior en 6 kg ha^{-1} respecto al de omisión de N (Figura 4.8). Las absorciones del Mg en el follaje y el tubérculo presentan similitud y son reflejadas en la absorción total.

La mayor absorción de Mg encontrada en esta investigación corresponde a 13 kg ha^{-1} , igual a los reportados por Fernandes et al. (2011) para materiales de alto rendimiento y superiores a los considerados por este autor como de bajo rendimiento. Para un rendimiento de 36 t ha^{-1} de papa. En Costa Rica Cabalceta et al. (2005) menciona una extracción de 10 t ha^{-1} , menor a la máxima registrada en el estudio.



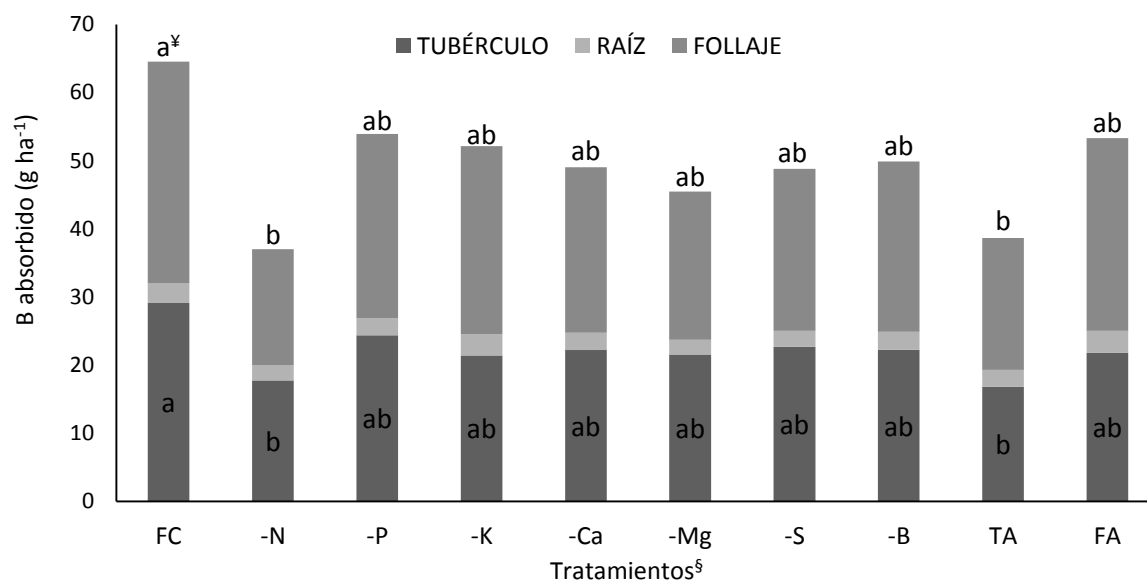
¶Letras diferentes, en cada órgano, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey $p=0.05$). Letras sobre las barras corresponden a la absorción total. §FC= fertilización completa, -N= sin nitrógeno, -P= sin fósforo, -K= sin potasio, -Ca= sin calcio, -Mg= sin magnesio, -S= sin azufre, -B= sin boro, TA= testigo absoluto, FA= fertilización agricultor.

Figura 4.8. Absorción de magnesio por órgano, afectada por la omisión de nutrientes, en la localidad Cuaspud, Carchi.

La absorción de azufre no presenta diferencias estadísticas significativas para ningún órgano ni para la absorción total (Anexo 13, Anexo 14, Anexo 15 y Anexo 16).

En cuanto a la absorción de boro se encontró diferencias estadísticas significativas para la absorción total y tubérculo (Anexo 13 y Anexo 16). La omisión de N provoca las menores absorciones de B, similares a las encontradas en el testigo absoluto, valores que son inferiores estadísticamente a los observados en el tratamiento de fertilización completa que les supera en más de 25 g ha^{-1} (Figura 4.9). La máxima absorción registrada en este trabajo se encuentra intermedio entre los 50 g ha^{-1} y 71 g ha^{-1} de B, reportados en Brasil por Fernandes et al. (2011) para materiales genéticos de bajo y alto rendimiento, respectivamente; sin embargo, supera a los 42 g ha^{-1} enunciados por Cabalceta et al. (2005) para una producción de 36 t ha^{-1} de papa.

La limitada absorción de B en los tratamientos menos N y testigo absoluto, corresponden a la baja producción de materia seca; en tanto que para el tratamiento de fertilización completa se debe a la elevada concentración registrada en los tejidos. Los contenidos registrados en estos dos órganos son similares y representativos en todos los tratamientos, indicando que al menos la mitad del elemento absorbido será devuelto al suelo para próximas siembras.



Letras diferentes, en cada órgano, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey $p=0.05$). Letras sobre las barras corresponden a la absorción total. ⁹FC= fertilización completa, -N= sin nitrógeno, -P= sin fósforo, -K= sin potasio, -Ca= sin calcio, -Mg= sin magnesio, -S= sin azufre, -B= sin boro, TA= testigo absoluto, FA= fertilización agricultor.

Figura 4.9. Absorción de boro por órgano, afectada por la omisión de nutrientes, en la localidad Cuaspud, Carchi.

4.1.4. Eficiencias

Eficiencia fisiológica (EF)

La Tabla 4.6 presenta los datos de eficiencia fisiológica para cada elemento de acuerdo al tratamiento estudiado. El análisis presentado a continuación está basado en el aumento o reducción de acuerdo a la eficiencia fisiológica obtenida con el tratamiento con fertilización completa al aplicar todos los nutrientes.

La eficiencia fisiológica del N se ve afectada mayormente por la omisión de P y K, provocando una reducción de más de 12 kg de papa kg^{-1} de N absorbido (9 %). Por otro lado se observa que la omisión de Ca y Mg, elevan la EFN en más de 29 kg kg^{-1} N, que corresponde a un 23 %. En este estudio la máxima eficiencia conseguida fue de 168.5 kg kg^{-1} N, valor similar al mínimo obtenido por Giletto et al. (2007) en Argentina con la variedad Gem Russet y la dosis más alta de N y mucho menor al reportado por este mismo autor con la variedad Russet Burbank y con la fertilización más baja.

Para el caso del nitrógeno se observa que el testigo absoluto es el tratamiento que más afecta a su eficiencia fisiológica con una reducción de 134 $\text{kg de papa kg}^{-1}$ N absorbido, mientras

que la omisión de Ca incrementa su eficiencia en $38 \text{ kg kg}^{-1} \text{ N}$. La omisión de S no tiene efecto sobre la eficiencia fisiológica del nitrógeno (EFN).

Para el fósforo, se observa que la omisión Ca reduce mayormente su eficiencia fisiológica en $4771 \text{ kg kg}^{-1} \text{ P}$ que corresponde al 159.1 %; por el contrario la omisión de S provoca incrementos en la EFP mayores a 1000 %, esto probablemente se debería al aporte nativo de este elemento producto de la descomposición de la materia orgánica, que no afectaría a la eficiencia del P. Sin embargo, según los resultados del análisis de suelos, indican una baja disponibilidad inicial de S en el suelo, que contrapone a lo anteriormente indicado.

La eficiencia fisiológica del potasio se incrementa con la omisión de Ca con $593 \text{ kg kg}^{-1} \text{ K}$ que corresponde al 543.8 %; en tanto que la omisión de S reduce en $1075 \text{ kg kg}^{-1} \text{ K}$ (985 %) la EFK.

La eficiencia fisiológica de calcio, disminuye por la omisión de P en $489 \text{ kg kg}^{-1} \text{ Ca}$ que corresponde a 542.6 %; por el contrario la omisión de N eleva la EFCa en $1012.4 \text{ kg kg}^{-1} \text{ Ca}$ que corresponden a más de 1000 % en la EFCa.

La eficiencia fisiológica del magnesio se reduce por la omisión de K en $1917 \text{ kg kg}^{-1} \text{ Mg}$ (> 1000 %), y es favorecida su eficiencia con la omisión B con más de 10000 %; estos resultados sugieren que la absorción del Mg en estos suelos son más eficientes cuando van acompañados de K y omitido el uso de B.

Para el azufre, la eficiencia fisiológica se ve disminuida en $8302.9 \text{ kg kg}^{-1} \text{ S}$, cuando se omite la fertilización nitrogenada que corresponde a más de 1000 %. Diferente a este efecto se observa con la omisión de B que eleva la eficiencia en 490.6 kg kg^{-1} equivalente a 66.4 %.

El boro es el único elemento que muestra una eficiencia fisiológica negativa respecto al tratamiento de fertilización completa, indicativo de que algún elemento dentro de la fórmula está interfiriendo en su eficiencia y en este caso resulta ser el Ca, que con su omisión eleva su eficiencia.

Tabla 4.6. Eficiencia fisiológica por elemento, según la omisión de nutrientes en la localidad Cuaspud, Carchi

Tratamientos	EFICIENCIA FISIOLÓGICA						
	N	P	K	Ca	Mg	S	B [¥]
	kg rendimiento adicional kg ⁻¹ nutriente absorbido						
FC [§]	130.2	2998.9	109.1	90.1	87.6	738.4	-30.4
-N		2213.2	142.5	1121.5	2005.2	-9041.3	586.6
-P	115.4		-81.5	-398.8	4065.3	-691.2	-838.7
-K	117.5	5744.8		-206.4	-1878.7	-118.0	-936.0
-Ca	168.5	-1772.5	702.4		2606.7	345.0	1851.2
-Mg	160.1	3089.4	-443.8	166.7		775.5	150.0
-S	130.5	48348.3	-965.7	473.2	1021.7		1787.2
-B	156.5	3948.9	94.5	400.8	15299.1	1229.0	
TA	-3.9	2241.9	211.2	2187.6	1890.8	-48557.0	673.4
FA	178.8	1522.3	81.9	194.9	11358.4	915.4	79.9

[§]FC= fertilización completa, -N= sin nitrógeno, -P= sin fósforo, -K= sin potasio, -Ca= sin calcio, -Mg= sin magnesio, -S= sin azufre, -B= sin boro, TA= testigo absoluto, FA= fertilización agricultor. [¥]Expresado en kg rendimiento adicional g⁻¹ nutriente absorbido.

Eficiencia agronómica (EA)

Como se presenta en Tabla 4.7, en esta localidad destaca la omisión de boro para todas las eficiencias agronómicas estudiadas por nutriente, ya que es el único elemento que su omisión incrementa la eficiencia de nutriente aplicado. Para el caso del nitrógeno el boro incrementa en 2.4 kg de papa kg⁻¹ de N aplicado, en fósforo 1.3 kg kg⁻¹ P, en potasio 1.9 kg kg⁻¹ K, en calcio 7.5 kg kg⁻¹ Ca, en magnesio 5.6 kg kg⁻¹ Mg y en azufre 14.9 kg kg⁻¹ S.

Así también las eficiencias agronómicas de todos los nutrientes se ven afectadas por las omisiones de N, P, K, Ca, Mg y S, sin excepción; siendo la omisión de nitrógeno la que reduce mayormente la eficiencia agronómica, teniendo que para fósforo reduce en 20.3 kg kg⁻¹ P, potasio en 31 kg kg⁻¹ K, calcio en 118 kg kg⁻¹ Ca, magnesio en 88.6 kg kg⁻¹ Mg y azufre en 236 kg kg⁻¹ S. Para el caso del nitrógeno, el mayor efecto negativo se observó con la omisión de P, que reduce en 15.5 kg kg⁻¹ N.

Estudios realizados por el IPNI (2012) en el noroeste de China, muestran en promedio valores para papa de 35 kg kg⁻¹ N que se acercan a los valores encontrados para la eficiencia agronómica del nitrógeno (EAN) en esta localidad (Tabla 4.7), sobre todo en el tratamiento con fertilización completa. Sin embargo, Curless et al. (2004) citados por IPNI (2012) demostraron que cuando se aplicó 134 kg N ha⁻¹ la EAN fue de 46 kg kg⁻¹ N. Zvomuya et al.

(2002); Love et al. (2005); Kumar et al. (2007) citados por IPNI (2012) observaron que la EAN disminuye con el aumento de la dosis aplicada, lo cual concuerda con lo encontrado en este estudio ya que la mayor eficiencia se obtiene con el tratamiento FA donde se aplicó 25 kg N ha⁻¹ menos.

En IPNI (2012) se encuentran resultados de EAP y de EAK con valores de 32.4 kg kg⁻¹ P₂O₅ y 41.3 kg kg⁻¹ K₂O, respectivamente, valores que están muy por encima de las mayores eficiencias encontradas en esta localidad.

Tabla 4.7. Eficiencia agronómica por elemento, según la omisión de nutrientes en la localidad Cuaspud, Carchi

Tratamientos	EFICIENCIA AGRONÓMICA						
	N	P	K	Ca	Mg	S	B
	kg rendimiento adicional kg ⁻¹ nutriente aplicado						
FC [§]	37.3	8.4	7.4	18.7	2.7	49.1	-178.3
-N		-11.9	-23.6	-99.4	-85.9	-187.2	-3014.4
-P	21.8		-5.5	-30.3	-34.1	-48.9	-1354.6
-K	28.4	3.6		-9.4	-18.4	-7.1	-853.9
-Ca	31.4	5.2	2.5		-11.4	11.7	-628.1
-Mg	36.2	7.8	6.4	15.2		42.0	-264.1
-S	29.6	4.2	0.9	-5.8	-15.8		-768.1
-B	39.7	9.7	9.3	26.2	8.3	64.0	
TA							
FA	47.3	8.4	12.8				

[§]FC= Fertilización completa, -N= Sin nitrógeno, -P= Sin fósforo, -K= Sin potasio, -Ca= Sin calcio, -Mg= Sin magnesio, -S= Sin azufre, -B= Sin boro, TA= Testigo absoluto, FA= Fertilización agricultor.

Eficiencia de recuperación (ER)

En la Tabla 4.8 se observa que todos los tratamientos de omisión, reducen la ER de los elementos estudiados (excepto la omisión de boro que mejora la eficiencia de potasio), respecto al tratamiento de fertilización completa. El valor más alto de ER para todos los elementos se encuentran con el tratamiento de fertilización completa. Se observa nuevamente que la omisión del nitrógeno, afecta más que cualquier otro tratamiento a la ER de cada elemento, en vista de que reduce en todos los casos más del 100 % la eficiencia, siendo aún menor a los respectivos tratamientos de omisión del elemento. Para el caso del nitrógeno, la omisión de fósforo y calcio son los que principalmente afectaron su absorción en un 35 % cada uno.

Tabla 4.8. Eficiencia de recuperación por elemento, según la omisión de nutrientes en la localidad Cuaspud, Carchi

Tratamientos	EFICIENCIA DE RECUPERACIÓN						
	N	P	K	Ca	Mg	S	B
	kg nutriente absorbido kg ⁻¹ nutriente aplicado						
FC [§]	0.29	0.00	0.07	0.21	0.03	0.07	0.01
-N		-0.01	-0.17	-0.09	-0.04	0.02	-0.01
-P	0.19		0.07	0.08	-0.01	0.07	0.00
-K	0.24	0.00		0.05	0.01	0.06	0.00
-Ca	0.19	0.00	0.00		0.00	0.03	0.00
-Mg	0.23	0.00	-0.01	0.09		0.05	0.00
-S	0.23	0.00	0.00	-0.01	-0.02		0.00
-B	0.25	0.00	0.10	0.07	0.00	0.05	
TA							
FA	0.26	0.01	0.16				

[§]FC= fertilización completa, -N= sin nitrógeno, -P= sin fósforo, -K= sin potasio, -Ca= sin calcio, -Mg= sin magnesio, -S= sin azufre, -B= sin boro, TA= testigo absoluto, FA= fertilización agricultor.

4.2 Localidad 2: Canchaguano, Montufar.

4.2.1. Variables fenológicas

Porcentaje de emergencia, número de tallos por planta y días a la floración

Estas variables no presentan diferencias estadísticas significativas (Anexo 17). La germinación fue muy buena debido al uso de semilla registrada del INIAP; el promedio de tallos por planta fue de 5 tallos planta⁻¹ y los días promedio a floración para esta localidad fueron de 68 días.

Días a la madurez fisiológica

En el Anexo 17 se presentan las diferencias estadísticas altamente significativas de esta variable, provocadas por la omisión de nutrientes. La Tabla 4.9 destaca los tratamientos con omisión de N y testigo absoluto, como los de ciclo más corto con 18 días menos en promedio, comparados con el resto de tratamientos, efecto provocado por la omisión de N que acelera la madurez, como sucedió en la localidad Cuaspud y además disminuye la tolerancia a la sequía registrada en esta localidad.

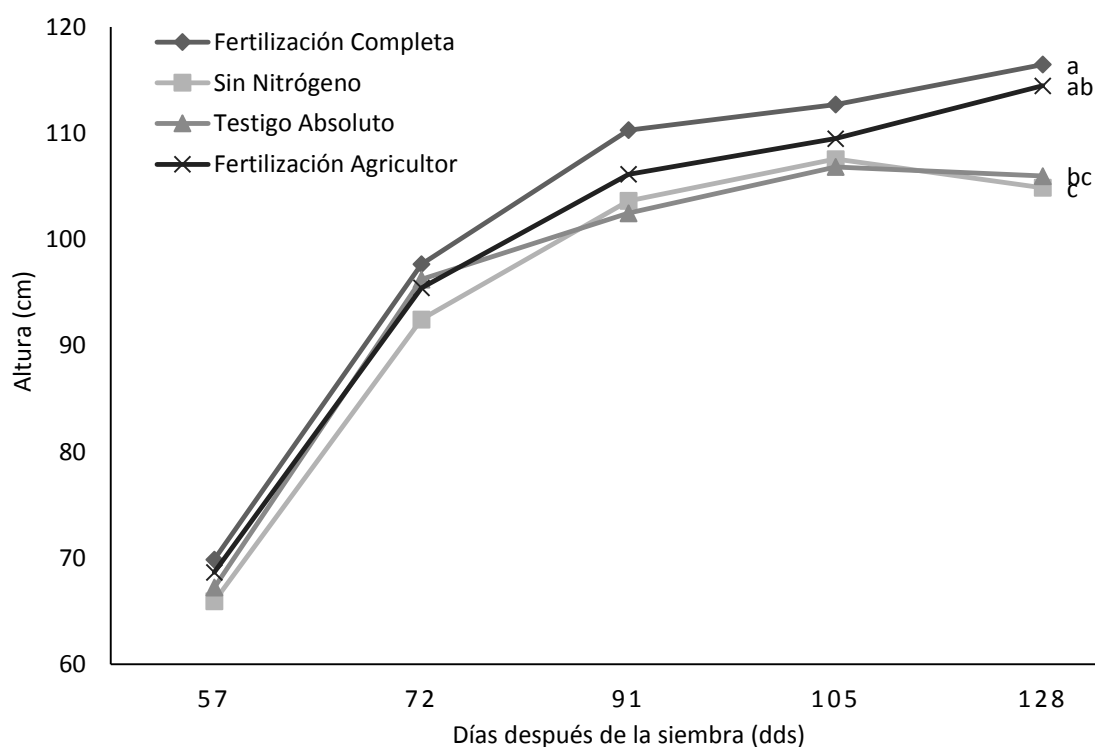
Tabla 4.9. Días a la madurez fisiológica del cultivo de papa, afectados por la omisión de nutrientes, en la localidad Canchaguano, Carchi

Variable	Tratamientos										Promedio
	FC [§]	-N	-P	-K	-Ca	-Mg	-S	-B	TA	FA	
Días a la madurez	128.7 a	108.3 c	117.7 b	127.3 a	126.3 a	130.0 a	129.0 a	128.3 a	111.0 c	118.0 b	122.5

[§]FC= fertilización completa, -N= sin nitrógeno, -P= sin fósforo, -K= sin potasio, -Ca= sin calcio, -Mg= sin magnesio, -S= sin azufre, -B= sin boro, TA= testigo absoluto, FA= fertilización agricultor. Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey p=0.05).

Altura de planta a la floración

Estadísticamente no hay diferencias significativas entre tratamientos para altura a la floración (Anexo 17); sin embargo, la Figura 4.10 muestra el crecimiento por etapas y la separación de medias a la madurez fisiológica (128 dds), para los tratamientos más representativos en altura como con omisión de N y testigo absoluto (más pequeños) y con fertilización completa y del agricultor (más altos).



[§]Letras diferentes a los 128 dds (madurez fisiológica), indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey p=0.05).

Figura 4.10. Altura de planta por etapa (medio aporque, aporque, floración, engrose y madurez fisiológica), afectada por la omisión de nutrientes más representativos, en la localidad Canchaguano, Carchi.

Grados día desarrollo (GDD)

Los grados día acumulados en esta localidad obtienen la misma tendencia estadística de los días después de la siembra, donde los promedios para todos los tratamientos en las etapas evaluadas correspondieron a floración (68 dds) con acumulación de 760.0 GDD; madurez fisiológica (122 dds) con 1349.0 GDD; cosecha (149 dds) con 1660.1 GDD. Los GDD obtenidos en esta investigación resultan cercanos a los identificados por Ruiz (2014) en México con las variedades de papa Atlantic y Alpha que presentaron 1297 GDD a la madurez fisiológica. Sin embargo, hasta la floración, el cultivo presentaba 15 días de adelanto (171 GDD menos), comparado con la localidad Cuaspud, posterior a esto se presentó problemas de sequía y falta de agua para riego, que provocó estrés y causó un acortamiento de las siguientes etapas fenológicas.

4.2.2. Variables de productividad y calidad

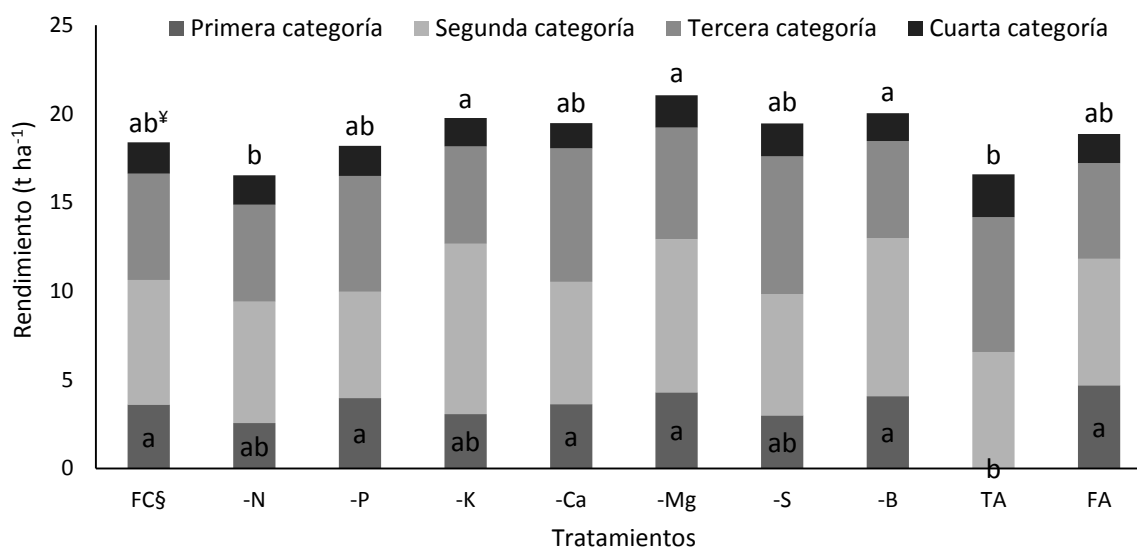
Rendimiento por categoría y total

El rendimiento de papa de primera categoría y total, presentan diferencias estadísticas significativas por la omisión de nutrientes, resaltando el testigo absoluto que no se consiguió cosecha para esta primera categoría (Anexo 18).

La separación de medias para el rendimiento total, presentada en la Figura 4.11 muestra que los tratamientos $-K$, $-Mg$ y $-B$ llegan a los rendimientos más altos, superando al tratamiento de fertilización completa, aunque estadísticamente iguales, indicando que las cantidades nativas de estos elementos son suficientes para alcanzar un rendimiento adecuado. Por el contrario con la omisión de N y testigo absoluto se observó una reducción del rendimiento de más de 1.8 t ha^{-1} . Considerando los rendimientos alcanzados la prioridad de fertilización para esta localidad sería de $N > P$; y en el orden de menor efecto negativo se tendría con la aplicación de $Ca \approx S > K \approx B > Mg$. Cabe indicar que estos efectos de rendimiento son considerados con plantas sometidas a estrés hídrico, cuyo potencial de rendimiento probablemente fue afectado por la sequía.

Comparando estos resultados con los obtenidos en el noroccidente de China por IPNI (2012), presentan diferencias en el orden de nutrientes, teniendo igual importancia la aplicación de

N y P y consiguen elevar rendimientos con la fertilización potásica ($N \approx P > K$); alcanzando valores mayores de 30 t ha^{-1} cuando se aplicó este último elemento.



§FC= fertilización completa, -N= sin nitrógeno, -P= sin fósforo, -K= sin potasio, -Ca= sin calcio, -Mg= sin magnesio, -S= sin azufre, -B= sin boro, TA= testigo absoluto, FA= fertilización agricultor. †Letras diferentes, en cada categoría, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey $p=0.05$). Letras sobre las barras corresponden al rendimiento total.

Figura 4.11. Rendimiento total y por categoría de papa, afectados por la omisión de nutrientes, en la localidad Canchaguano, Carchi.

En la Tabla 4.10 se observa que existieron correlaciones significativas entre la altura de planta al engrose y a la madurez fisiológica. La primera podría ser una alternativa para proyectar el rendimiento a la cosecha. Estas correlaciones también fueron observadas en la localidad Cuaspud, presentando significancia estadística; sin embargo, en esta localidad, no se encontró relación con la producción de materia seca foliar a la madurez fisiológica, indicando que una planta frondosa no necesariamente tendrá alto rendimiento, sin olvidar del efecto que podría haber provocado el déficit hídrico.

Tabla 4.10. Coeficientes de correlación entre el rendimiento total y las variables altura de planta medida a diferentes etapas y rendimiento de materia seca del follaje en la localidad Canchaguano, Carchi

Variabes	Rendimiento
Altura al medio aporque (57 dds)	$r^{\S} = 0.30$ ns
Altura al aporque (72 dds)	$r = 0.00$ ns
Altura a la floración (91 dds)	$r = 0.56$ ns
Altura al engrose (105 dds)	$r = 0.69$ *
Altura a la madurez fisiológica (128 dds)	$r = 0.85$ **
Materia seca del follaje (128 dds)	$r = 0.56$ ns

§r= Coeficiente de correlación lineal de Pearson ($p=0.05$), ns= no significativo, *= significativo, **= altamente significativo.

Materia seca del tubérculo

Esta variable presentó diferencias estadísticas significativas, provocadas por la omisión de nutrientes (Anexo 19) y en la Tabla 4.11, se observa que el tratamiento con omisión de N es el que acumula mayor cantidad de MS. La omisión de P, Mg, S y B provocan disminuciones en la acumulación de la materia seca, estadísticamente diferentes a los encontrados con la omisión de N; mas similares a los obtenidos con el de fertilización completa. Todos los tratamientos estudiados presentaron valores mayores al mínimo aceptable (20 %) para la mayoría de propósitos de procesamiento (CIP, 2010).

Tabla 4.11. Porcentaje de materia seca del tubérculo, afectado por la omisión de nutrientes, en la localidad Canchaguano, Carchi

Variable	FC [§]	-N	-P	-K	-Ca	-Mg	-S	-B	TA	FA	Promedio
%											
Materia seca del tubérculo	25.1 ab	28.0 a	24.9 b	25.4 ab	25.4 ab	24.6 b	24.9 b	24.8 b	27.6 ab	25.0 ab	25.6

[§]FC= fertilización completa, -N= sin nitrógeno, -P= sin fósforo, -K= sin potasio, -Ca= sin calcio, -Mg= sin magnesio, -S= sin azufre, -B= sin boro, TA= testigo absoluto, FA= fertilización agricultor. Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey p=0.05).

Gravedad específica del tubérculo y porcentaje de hojuelas con calidad industrial

Estas variables no presentan diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Anexo 19) y todos estos tienen un valor superior a 1.08 que sumado a la condición anterior de materia seca, según el CIP (2010) corresponden a un contenido de sólidos de aproximadamente 18 %, con el cual los tubérculos se consideran aptos para la industria, que además concuerda con lo obtenido en las pruebas de fritura, por sus valores mayores del 90 % que garantiza calidad para la producción de hojuelas fritas, por cumplir con el mínimo propuesto por Cuesta (2008) donde habla de un máximo aceptable del 13 % al 14 % de hojuelas quemadas.

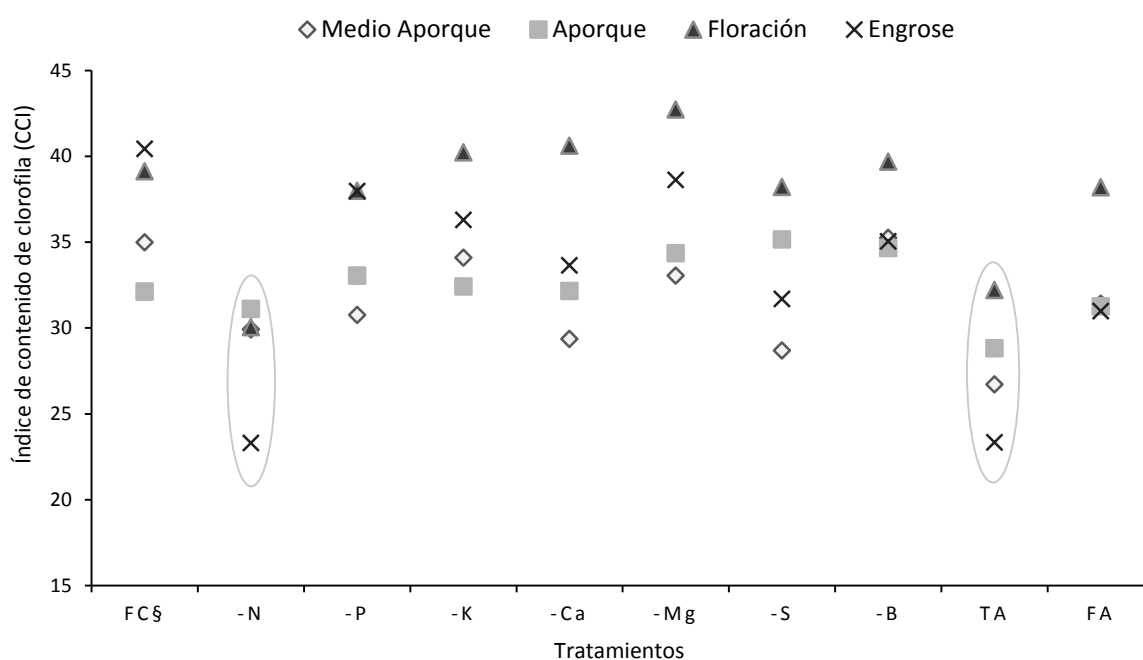
Al igual que en Cuaspud, no se encontró correlación significativa entre porcentaje de materia seca de tubérculo, gravedad específica y porcentaje de hojuelas buenas, diferente a lo manifestado por CIP (2010) donde indica existir una elevada correlación entre la producción de materia seca y gravedad específica.

4.2.3. Variables fisiológicas y de nutrición

Índice de clorofila y color

El índice de clorofila presenta diferencias estadísticas significativas para las etapas de medio aporque, floración y engrose (Anexo 20). En la Figura 4.12 se observa que los datos más bajos a lo largo del ciclo se obtuvieron con el tratamiento de omisión de N y testigo absoluto. Los valores máximos de clorofila de esta localidad, resultaron mayores a los registrados en la localidad Cuaspud, llegando en este caso a 40 CCI.

Se practicó el análisis de correlación entre los valores de color con el índice de clorofila y rendimiento, sin encontrar grado de significancia estadística. En la Tabla 4.12 se observa que existe un alto grado de asociación entre el índice de clorofila y el rendimiento, desde la etapa del aporque (73 dds) hasta el engrose (105 dds); indicando que el índice de clorofila resulta una herramienta útil para definir la dosis de fertilizante nitrogenado a ser aplicado en la última fracción y el uso de fertilizantes foliares complementarios, en lo que resta del ciclo.



⁵FC= fertilización completa, -N= sin nitrógeno, -P= sin fósforo, -K= sin potasio, -Ca= sin calcio, -Mg= sin magnesio, -S= sin azufre, -B= sin boro, TA= testigo absoluto, FA= fertilización agricultor. CCI= Índice de contenido de clorofila.
+Separación de medias en el Anexo 20.

Figura 4.12. Contenido de clorofila, afectado por la omisión de nutrientes, en cada etapa del cultivo en la localidad Canchaguano, Carchi.

Tabla 4.12. Coeficientes de correlación entre clorofila y rendimiento para las diferentes etapas del cultivo en la localidad Canchaguano, Carchi

Correlaciones	Medio aporque (59 dds)	Aporque (73 dds)	Floración (91 dds)	Engrose (105 dds)
Clorofila vs Rendimiento	0.54 [§] ns	0.74 *	0.93 **	0.73 *

[§]r= Coeficiente de correlación lineal de Pearson (p=0.05), ns= no significativo, *= significativo, **= altamente significativo.

Concentración de nutrientes en el tubérculo

Esta variable presenta diferencias estadísticas significativas en las concentraciones de nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio, azufre, boro, zinc, hierro y manganeso (Anexo 21).

En la Tabla 4.13 se observa que en general, la omisión de N al igual que el testigo absoluto, afectan negativamente las concentraciones de todos los nutrientes evaluados. Para el N su concentración se ve elevada cuando se omite la fertilización con P y Mg; para los elementos P, Ca, Mg y S, no se observan diferencias grandes por omisión de nutrientes y para Zn, Fe y Mn, la omisión de S eleva las concentraciones de estos elementos en los tubérculos, que influiría en la obtención de alimentos fortificados, necesarios para la alimentación.

Los valores de concentración conseguidos en el tratamiento de fertilización completa en esta localidad, resultan superiores para los elementos N, P, K, Ca, Mg, Zn y Cu, inferior para Fe y similar al Mn, a los reportados por Soto y Quirós (2002), citados por Bertsch (2003), en la variedad de papa Floresta en Costa Rica.

Tabla 4.13. Concentración de macro y micro elementos en el tubérculo de papa, afectados por la omisión de nutrientes, en la localidad Canchaguano, Carchi

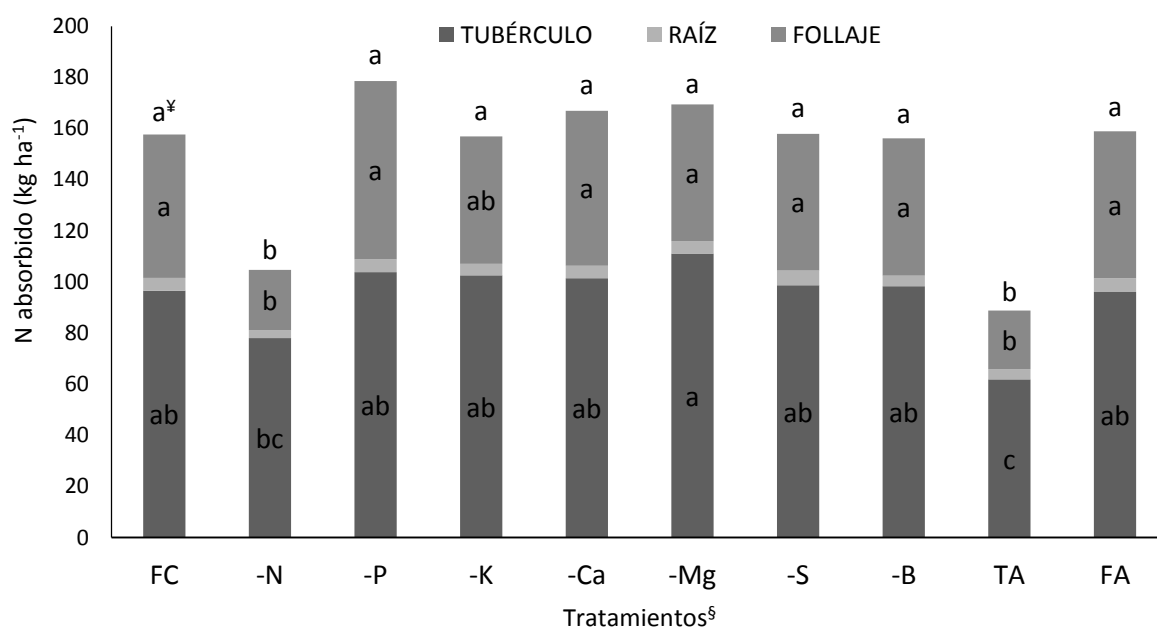
Tratamientos	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn	Cu	Fe	Mn
	dag kg ⁻¹						mg kg ⁻¹				
FC [§]	2.09 a	0.23 ab	1.97	0.11 ab	0.15 ab	0.14 ab	6.90	13.10 abc	8.80	44.45 ab	8.93 ab
-N	1.71 b	0.22 b	1.92	0.12 ab	0.14 ab	0.13 b	6.80	9.60 c	7.60	41.17 ab	7.33 b
-P	2.30 a	0.23 ab	2.00	0.10 b	0.14 ab	0.14 ab	7.10	13.30 abc	9.23	42.23 ab	7.43 b
-K	2.04 a	0.24 ab	1.95	0.11 ab	0.15 ab	0.15 ab	6.97	12.53 abc	8.87	42.30 ab	8.67 ab
-Ca	2.06 a	0.24 ab	2.00	0.11 ab	0.15 ab	0.15 ab	7.80	13.50 abc	8.73	42.87 ab	8.93 ab
-Mg	2.15 a	0.24 ab	2.07	0.12 a	0.15 a	0.17 a	7.47	13.00 abc	8.97	41.90 ab	9.07 ab
-S	2.03 a	0.24 ab	2.01	0.11 ab	0.15 ab	0.15 ab	7.70	17.80 a	10.70	50.30 a	10.40 a
-B	1.97 a	0.24 ab	2.06	0.11 ab	0.15 ab	0.16 ab	7.10	15.57 abc	9.90	44.93 ab	8.80 ab
TA	1.35 b	0.22 b	1.92	0.10 ab	0.13 b	0.14 ab	6.57	10.57 bc	7.57	36.10 b	7.10 b
FA	2.04 a	0.26 a	2.05	0.10 ab	0.14 ab	0.16 ab	6.77	15.10 abc	9.37	42.93 ab	9.33 ab
Promedio	1.97	0.24	2.00	0.11	0.15	0.15	7.12	13.41	8.97	42.92	8.60

[§]FC= fertilización completa, -N= sin nitrógeno, -P= sin fósforo, -K= sin potasio, -Ca= sin calcio, -Mg= sin magnesio, -S= sin azufre, -B= sin boro, TA= testigo absoluto, FA= fertilización agricultor. Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey p=0.05).

Absorción de nutrientes

La absorción total de nutrientes presenta diferencias estadísticas significativas provocadas por la omisión de nutrientes, para todos los elementos excepto Ca (Anexo 22).

La absorción de nitrógeno presenta diferencias estadísticas a nivel total, follaje y tubérculo (Anexo 22, Anexo 23 y Anexo 25). En la Figura 4.13 se observa que la mayor acumulación de N se encuentra en el tubérculo. La omisión de N y el tratamiento testigo absoluto afectan significativamente la absorción total de N, reduciendo respecto al tratamiento de fertilización completa (157.6 kg ha^{-1}) en más de 52 kg ha^{-1} que corresponde a 33.5 %. Esta absorción difiere mucho a lo enunciado por Soto y Quirós (2002), reportados por Bertsch (2003) y Cabalceta et al. (2005) quienes indican que para una producción aproximada de 36 t ha^{-1} se requiere de 258 kg ha^{-1} y 110 kg ha^{-1} , respectivamente.

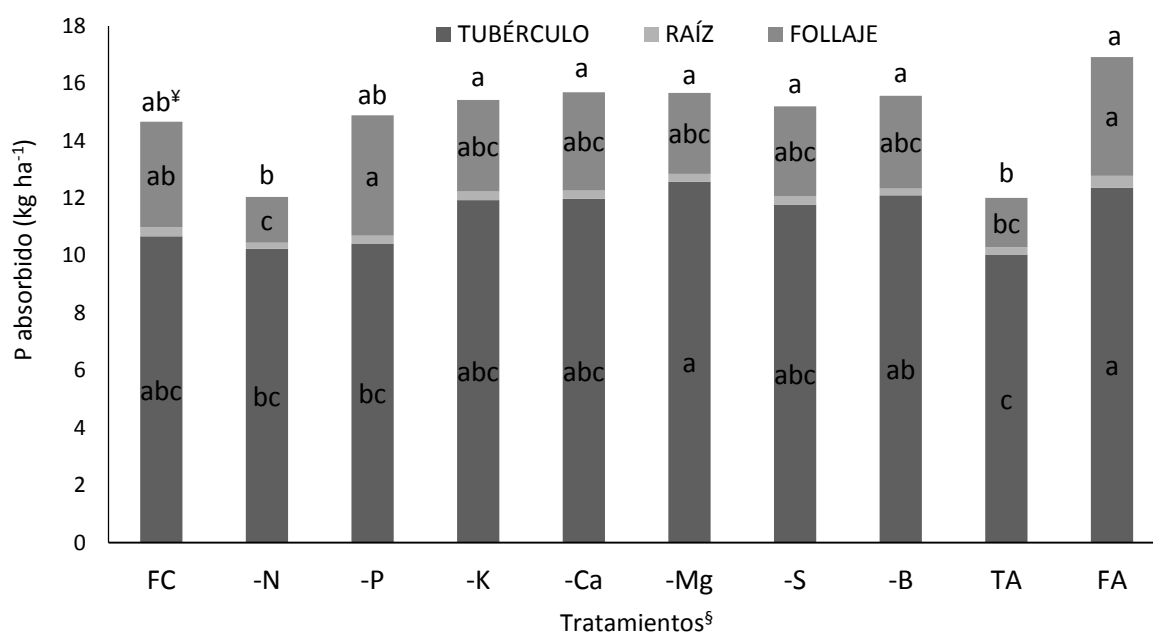


*Letras diferentes, en cada órgano, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey $p=0.05$). Letras sobre las barras corresponden a la absorción total. [§]FC= fertilización completa, -N= sin nitrógeno, -P= sin fósforo, -K= sin potasio, -Ca= sin calcio, -Mg= sin magnesio, -S= sin azufre, -B= sin boro, TA= testigo absoluto, FA= fertilización agricultor.

Figura 4.13. Absorción de nitrógeno por órgano, afectada por la omisión de nutrientes, en la localidad Canchaguano, Carchi.

La absorción de fósforo total, follaje y tubérculo presentan diferencias estadísticas significativas (Anexo 22, Anexo 23 y Anexo 25). En la Figura 4.14 se observa que el mayor contenido de P ocurre en el tubérculo; sin embargo, el que define la absorción total es la fracción presente en el follaje. El contenido de P se ve afectado por la omisión de N donde experimenta una reducción de 2.5 kg ha^{-1} (17.5 %) en tanto que las omisiones de los restantes

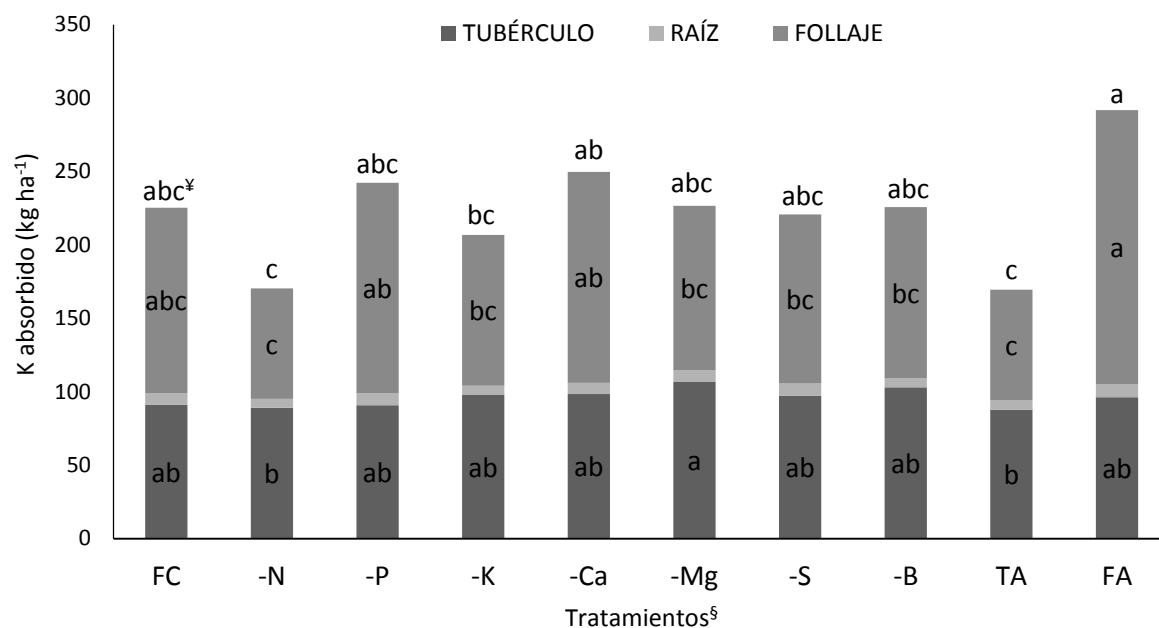
elementos provocan incrementos poco significativos. Si comparado los 14.6 kg ha⁻¹ de P absorbidos en el tratamientos de fertilización completa, para una producción de 18.4 t ha⁻¹ de papa, resulta elevado con los reportados por Cabalceta et al. (2005) y Soto y Quirós (2002), citados por Bertsch (2003) que para una producción aproximada de 36 t ha⁻¹ la absorción fue de 15 y 20 kg ha⁻¹, respectivamente.



¶Letras diferentes, en cada órgano, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey p=0.05). Letras sobre las barras corresponden a la absorción total. §FC= fertilización completa, -N= sin nitrógeno, -P= sin fósforo, -K= sin potasio, -Ca= sin calcio, -Mg= sin magnesio, -S= sin azufre, -B= sin boro, TA= testigo absoluto, FA= fertilización agricultor.

Figura 4.14. Absorción de fósforo por órgano, afectada por la omisión de nutrientes, en la localidad Canchaguano, Carchi.

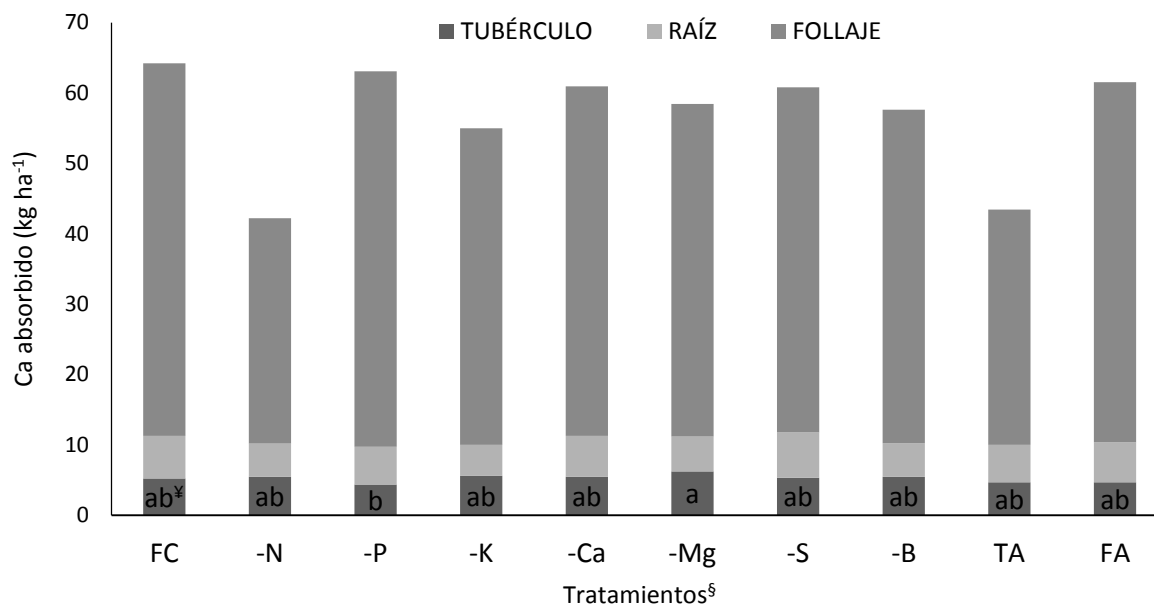
La absorción de potasio presenta diferencias estadísticas significativas a nivel total, follaje y tubérculo (Anexo 22, Anexo 23 y Anexo 25). En la Figura 4.15 se observa que el contenido de K en el follaje es similar a la del tubérculo y en algunos tratamientos es incluso superior; que garantiza una buena reposición de este elemento al suelo. La omisión de N provoca la mayor reducción en la absorción de K, presentando valores totales de 170.2 kg ha⁻¹ K que resulta menor en 54.9 kg ha⁻¹ (24.4 %); por otro lado, las omisiones de P y Ca provocan un leve incremento en la absorción de K. Considerando la absorción de 225.2 kg ha⁻¹ registrado en el tratamiento de fertilización completa para la producción de 18.4 t ha⁻¹, resulta elevado si comparado con los 166 kg ha⁻¹ y 276 kg ha⁻¹, reportados por Cabalceta et al. (2005) y Soto y Quirós (2002), citados por Bertsch (2003) para una producción aproximada de 36 t ha⁻¹ de papa.



¶Letras diferentes, en cada órgano, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey $p=0.05$). Letras sobre las barras corresponden a la absorción total. §FC= fertilización completa, -N= sin nitrógeno, -P= sin fósforo, -K= sin potasio, -Ca= sin calcio, -Mg= sin magnesio, -S= sin azufre, -B= sin boro, TA= testigo absoluto, FA= fertilización agricultor.

Figura 4.15. Absorción de potasio por órgano, afectada por la omisión de nutrientes, en la localidad Canchaguano, Carchi.

La absorción total de calcio no presenta efectos estadísticamente significativos, más si para la absorción a nivel de tubérculo (Anexo 25). De manera general se observa en la Figura 4.16 que la mayor absorción se da a nivel foliar por lo que un alto porcentaje de este elemento retorna al suelo. La absorción de Ca de 64.2 kg ha^{-1} registrado en el tratamiento de fertilización completa, resulta elevado respecto a lo indicado por Cabalceta et al. (2005) y Soto y Quirós (2002), citados por Bertsch (2003) que indican valores de 12 y 34 kg ha^{-1} de Ca y ligeramente superior a los 50 kg ha^{-1} expuestos por Fernandes et al. (2011) para materiales altamente productivos.

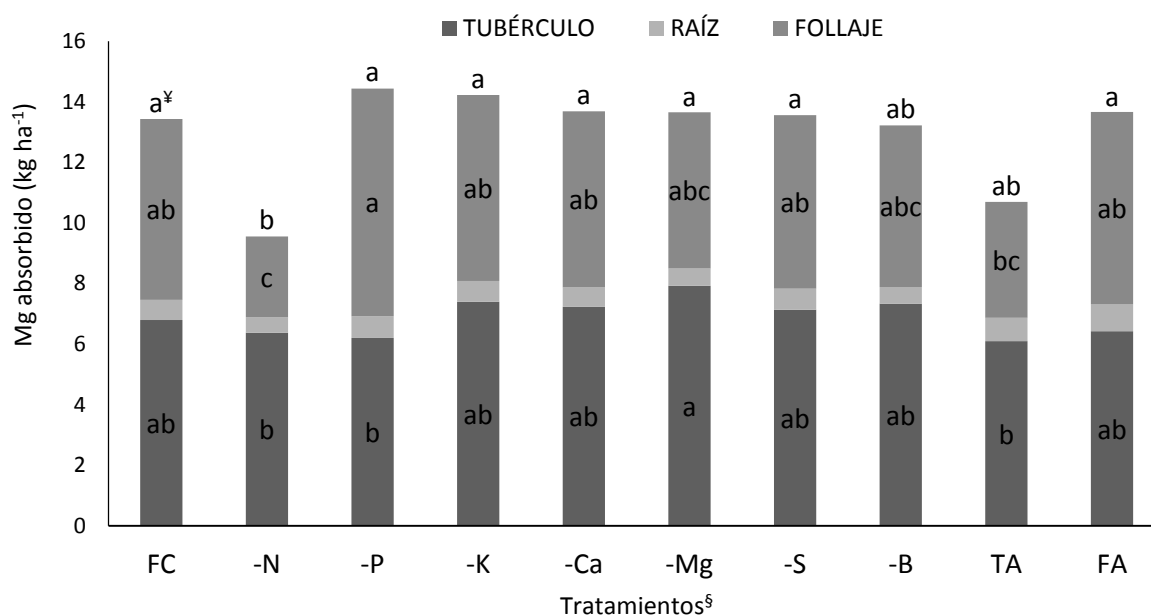


[¶]Letras diferentes, en cada órgano, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey p=0.05).

[§]FC= fertilización completa, -N= sin nitrógeno, -P= sin fósforo, -K= sin potasio, -Ca= sin calcio, -Mg= sin magnesio, -S= sin azufre, -B= sin boro, TA= testigo absoluto, FA= fertilización agricultor.

Figura 4.16. Absorción de calcio por órgano, afectada por la omisión de nutrientes, en la localidad Canchaguano, Carchi.

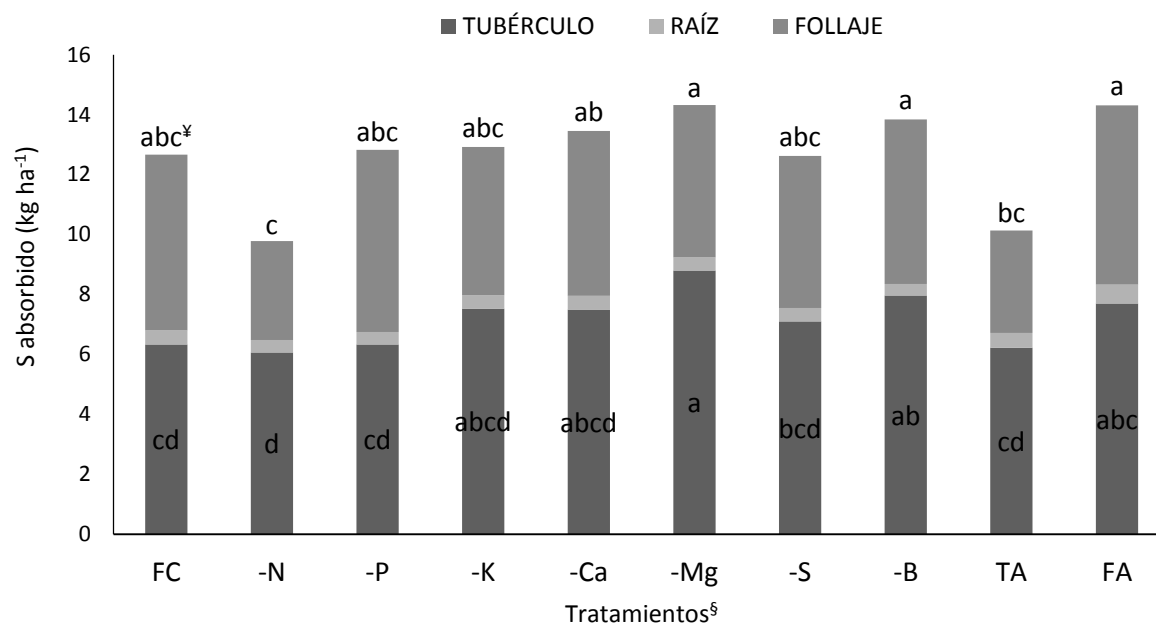
La absorción de magnesio presenta diferencias estadísticas significativas a nivel total, follaje y tubérculo (Anexo 22, Anexo 23 y Anexo 25), siendo mayormente acumulado en el tubérculo (Figura 4.17). La mayor reducción de la absorción de Mg, se ocasiona con la omisión de N donde se disminuye en 3.9 kg ha⁻¹ que corresponde al 29 %. Las restantes omisiones provocan incrementos poco significativos a la absorción de este elemento. Basados en la absorción de 13.4 kg ha⁻¹ experimentado por el tratamiento de fertilización completa, difiere de los 10 kg ha⁻¹ y 26 kg ha⁻¹ indicados por Cabalceta et al. (2005) y Soto y Quirós (2002), citados por Bertsch (2003), respectivamente, para un rendimiento de 36 t ha⁻¹; mas coincide, con las absorciones reportadas por Fernandes et al. (2011) para materiales altamente productivos.



¶Letras diferentes, en cada órgano, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey $p=0.05$). Letras sobre las barras corresponden a la absorción total. §FC= fertilización completa, -N= sin nitrógeno, -P= sin fósforo, -K= sin potasio, -Ca= sin calcio, -Mg= sin magnesio, -S= sin azufre, -B= sin boro, TA= testigo absoluto, FA= fertilización agricultor.

Figura 4.17. Absorción de magnesio por órgano, afectada por la omisión de nutrientes, en la localidad Canchaguano, Carchi.

La absorción de azufre presenta diferencias estadísticas significativas a nivel total y tubérculo (Anexo 22 y Anexo 25). En la Figura 4.18 se aprecia que la omisión de N disminuye la absorción total de S en cantidades de 2.9 kg ha^{-1} que corresponde al 23.2 %. La omisión de los otros elementos afectan mínimamente esta absorción, salvo el Mg donde su omisión provoca un incremento de 1.6 kg ha^{-1} (13.1 %). Si considerados los 12.6 kg ha^{-1} absorbidos en el tratamiento de fertilización completa, resulta elevado en relación a los 11 kg ha^{-1} reportados por Cabalceta et al. (2005), para una producción de 36 t ha^{-1} .

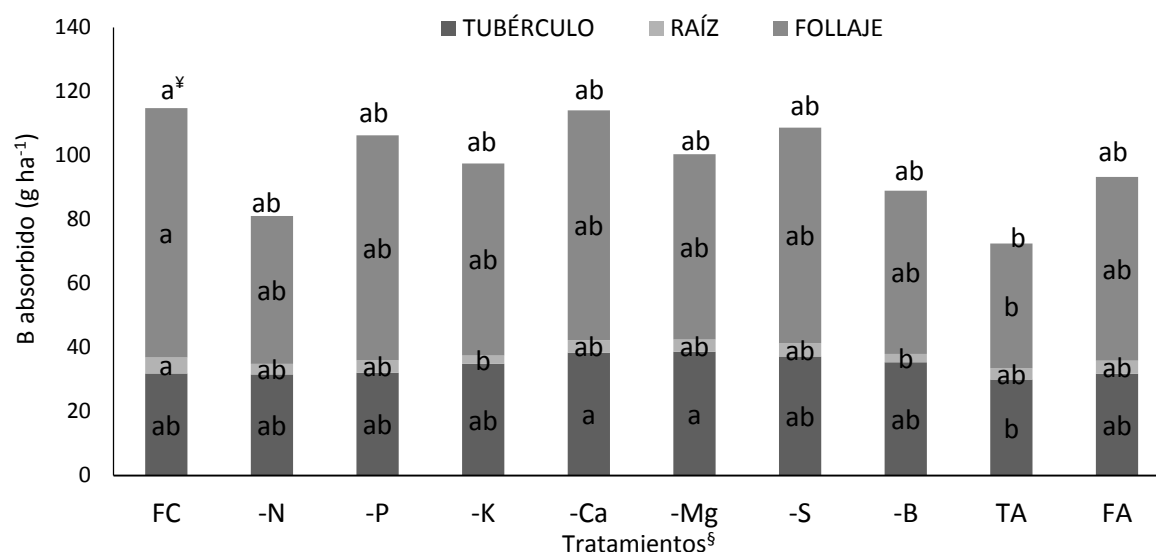


[¶]Letras diferentes, en cada órgano, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey $p=0.05$). Letras sobre las barras corresponden a la absorción total. [§]FC= fertilización completa, -N= sin nitrógeno, -P= sin fósforo, -K= sin potasio, -Ca= sin calcio, -Mg= sin magnesio, -S= sin azufre, -B= sin boro, TA= testigo absoluto, FA= fertilización agricultor.

Figura 4.18. Absorción de azufre por órgano, afectada por la omisión de nutrientes, en la localidad Canchaguano, Carchi.

Para el caso del boro, se presenta diferencias significativas en la absorción total, follaje, raíz y tubérculo (Anexo 22, Anexo 23, Anexo 24 y Anexo 25). En la Figura 4.19 se muestra que la absorción a nivel foliar es proporcionalmente mayor al resto de órganos y define la tendencia de absorción total. Las omisiones de N, K, Mg y B, provocan reducciones mayores de 14 g ha^{-1} ($>12\%$). En trabajo realizado por Soratto et al. (2011) indican haber obtenido absorciones de B de 71 g ha^{-1} y 50 g ha^{-1} para papa consideradas de alta y baja productividad, respectivamente; igualmente Cabalceta et al. (2005) obtuvieron absorciones de 42 g ha^{-1} para una producción de 36 t ha^{-1} ; estos valores resultan inferiores a los obtenidos en este trabajo y localidad cuya mayor absorción registrada en el tratamiento de fertilización completa fue de 114.8 g ha^{-1} para un rendimiento de 18.4 t ha^{-1} .

El tratamiento con fertilización completa destaca en el rango superior a nivel foliar y radical con la mayor absorción, presentando a nivel total una absorción de 42.3 g ha^{-1} adicionales a la absorción del testigo absoluto.



[‡]Letras diferentes, en cada órgano, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey $p=0.05$). Letras sobre las barras corresponden a la absorción total. [§]FC= fertilización completa, -N= sin nitrógeno, -P= sin fósforo, -K= sin potasio, -Ca= sin calcio, -Mg= sin magnesio, -S= sin azufre, -B= sin boro, TA= testigo absoluto, FA= fertilización agricultor.

Figura 4.19. Absorción de boro por órgano, afectada por la omisión de nutrientes, en la localidad Canchaguano, Carchi.

En la Tabla 4.14 se aprecia que hubo correlaciones positivas altamente significativas entre el N, P, Mg y S con el rendimiento total, así también estos elementos más el Ca y B, se correlacionaron con el índice de clorofila en la época de engrose y todos los elementos con la clorofila a floración. Esta tendencia indica que a mayor absorción de elementos, mayor será el rendimiento e índice de clorofila. La absorción de todos los elementos evaluados, muestran correlación negativa altamente significativa con el porcentaje de materia seca en el tubérculo, indicando que a mayor absorción total de nutrientes, menor será el porcentaje de MS a obtener en el tubérculo.

Tabla 4.14. Coeficientes de correlación entre la absorción total por elemento con el rendimiento total, porcentaje de materia seca del tubérculo e índice de clorofila medido en diferentes etapas del ciclo de cultivo en la localidad Canchaguano, Carchi

ABSORCIÓN TOTAL	Rendimiento total	% MS del tubérculo	Clorofila Medio aporque	Clorofila Aporque	Clorofila Floración	Clorofila Engrose
N	0.77 [§] **	-0.96 **	0.49 ns	0.67 *	0.87 **	0.89 **
P	0.82 **	-0.92 **	0.47 ns	0.54 ns	0.87 **	0.72 *
K	0.52 ns	-0.78 **	0.22 ns	0.28 ns	0.63 *	0.53 ns
Ca	0.63 ns	-0.94 **	0.43 ns	0.56 ns	0.79 **	0.84 **
Mg	0.80 **	-0.95 **	0.32 ns	0.55 ns	0.89 **	0.79 **
S	0.88 **	-0.95 **	0.60 ns	0.67 *	0.91 **	0.82 **
B	0.51 ns	-0.79 **	0.29 ns	0.49 ns	0.69 *	0.78 **

[§]r= Coeficiente de correlación lineal de Pearson ($p=0.05$), ns= no significativo, *= significativo, **= altamente significativo. MS= materia seca.

4.2.4. Eficiencias

Eficiencia fisiológica (EF)

En la Tabla 4.15 se presentan los valores de incremento o reducción de eficiencia por elemento según el tratamiento estudiado. La discusión presentada a continuación está basada en la comparación con la eficiencia fisiológica obtenida con el tratamiento FC. En este tratamiento solamente el nitrógeno y el magnesio presentan eficiencias fisiológicas positivas, posiblemente este efecto se deba a los problemas climáticos que provocaron la cosecha temprana forzada en esta localidad y los valores negativos observados refuerzan esta afirmación, correspondiendo a una eficiencia fisiológica menor a la encontrada en los tratamientos donde se omite cada elemento.

La eficiencia fisiológica del nitrógeno es afectada solamente por la omisión de P, reduciendo en 13.5 kg de papa kg^{-1} de N absorbido (38.2 %); por otro lado, las restantes omisiones provocan incrementos en la EFN, sobresaliendo la omisión de N donde eleva en 33.6 kg kg^{-1} N que corresponde a un 95.1 %. En esta localidad la máxima eficiencia fisiológica registrada en el tratamiento -Mg (68.9 kg kg^{-1} N) resultó menor a la conseguida en la localidad Cuaspud, donde la eficiencia fue mayor en 144.5 %; igualmente resulta menor a lo encontrado por Giletto et al. (2007) en Argentina.

Para el caso del fósforo las omisiones de todos los elementos elevan la eficiencia fisiológica sobresaliendo el efecto de la omisión de S donde se consigue incrementos de hasta 5328 kg kg^{-1} P. Comparado con lo sucedido en Cuaspud, donde se registraron incrementos y disminuciones por efecto de la omisión de nutrientes, en esta localidad solamente se elevó la EFP por la omisión.

Para el potasio no se registra reducción de la eficiencia fisiológica por omisión de nutrientes respecto al tratamiento de fertilización completa, consiguiendo elevar un máximo de 164.7 kg kg^{-1} K con la omisión de N.

La eficiencia fisiológica del calcio, se reduce con la omisión de Mg en 325.3 kg kg^{-1} Ca, consiguiendo elevar con la omisión de N en 458.6 kg kg^{-1} ; igualmente, corresponde que la omisión de Ca, disminuye la EFMg, sin embargo, para este elemento con la omisión de S se verifica mayor EFMg.

La eficiencia fisiológica del azufre se eleva con la omisión de todos los elementos, consiguiendo un valor máximo de 1294 kg kg⁻¹ S, respecto al tratamiento de omisión de este elemento, cuando se omite K en el plan de fertilización.

Para el caso del boro la eficiencia fisiológica se reduce solo cuando se omite P, por el contrario el mayor incremento se aprecia con la omisión de N.

Tabla 4.15. Eficiencia fisiológica por elemento, según la omisión de nutrientes, en la localidad Canchaguano, Carchi

Tratamientos	EFICIENCIA FISIOLÓGICA						
	N	P	K	Ca	Mg	S	B [‡]
	kg rendimiento adicional kg ⁻¹ nutriente absorbido						
FC [§]	35.3	-972.7	-75.5	-305.0	11342.2	-25188.0	-64.5
-N		562.6	89.2	153.6	1078.1	997.3	449.3
-P	21.8		-46.6	-585.5	-3767.7	-5965.2	-110.9
-K	62.4	3415.2		-63.5	-2215.7	1294.4	-32.2
-Ca	46.3	1631.3	-8.8		-95064.2	0.0	-25.9
-Mg	68.9	3747.3	60.6	-630.3		937.7	81.2
-S	54.0	4355.5	-27.4	0.0	14027.2		-33.1
-B	68.5	2905.6	14.6	-197.6	2099.5	543.9	
TA	-2.2	550.5	86.4	163.1	1490.4	1154.8	212.6
FA	43.1	356.2	-10.9	-863.9	378400.7	-332.7	-277.6

[§]FC= fertilización completa, -N= sin nitrógeno, -P= sin fósforo, -K= sin potasio, -Ca= sin calcio, -Mg= sin magnesio, -S= sin azufre, -B= sin boro, TA= testigo absoluto, FA= fertilización agricultor. [‡]Expresado en kg rendimiento adicional g⁻¹ nutriente absorbido.

Eficiencia agronómica (EA)

En la Tabla 4.16, se observa que a excepción de N y P, los demás elementos presentan eficiencias negativas en el tratamiento de fertilización completa. También resalta para esta localidad que la omisión de N reduce mayormente la eficiencia agronómica de todos los elementos en estudio, seguido del P. La omisión de N reduce la eficiencia agronómica del fósforo en 5.3 kg de papa kg⁻¹ de P aplicado; potasio 8.1 kg kg⁻¹ K; calcio 31 kg kg⁻¹ Ca; magnesio 23.4 kg kg⁻¹ Mg; azufre 62 kg kg⁻¹ S y boro 748 kg kg⁻¹ B. Contrario a esto, la omisión de Mg eleva las EA del nitrógeno en 15.2 kg kg⁻¹ N; fósforo 7.4 kg kg⁻¹ P; potasio 11.3 kg kg⁻¹ K; calcio 43.2 kg kg⁻¹ Ca; azufre 86.3 kg kg⁻¹ S y boro 1036 kg kg⁻¹ B.

Esta localidad, en general, obtiene eficiencias agronómicas más bajas que Cuaspud y sus resultados son menores a los obtenidos por IPNI (2012) donde la EAN, EAP y EAK fueron

de 34.4 kg kg⁻¹ N; 32.4 kg kg⁻¹ P₂O₅ y 41.3 kg kg⁻¹ K₂O. Estos efectos posiblemente sean consecuencia de la sequía experimentada por el cultivo en esta localidad.

Tabla 4.16. Eficiencia agronómica por elemento, según la omisión de nutrientes, en la localidad Canchaguano, Carchi

Tratamientos	EFICIENCIA AGRONÓMICA						
	N	P	K	Ca	Mg	S	B
	kg rendimiento adicional kg ⁻¹ nutriente aplicado						
FC [§]	11.0	0.7	-6.1	-16.9	-32.4	-33.7	-665.3
-N		-4.6	-14.2	-48.0	-55.7	-96.0	-1412.9
-P	9.5		-7.2	-21.1	-35.6	-42.3	-768.2
-K	19.2	4.7		6.3	-15.0	12.6	-109.7
-Ca	16.9	3.6	-1.6		-19.7	0.0	-260.6
-Mg	26.2	8.1	5.2	26.3		52.6	370.4
-S	16.9	3.6	-1.6	0.0	-19.7		-260.6
-B	20.8	5.5	1.2	10.9	-11.6	21.7	
TA							
FA	14.1	1.7	-4.9				

[§]FC= Fertilización completa, -N= Sin nitrógeno, -P= Sin fósforo, -K= Sin potasio, -Ca= Sin calcio, -Mg= Sin magnesio, -S= Sin azufre, -B= Sin boro, TA= Testigo absoluto, FA= Fertilización agricultor.

Eficiencia de recuperación (ER)

En la Tabla 4.17 se observa que en general las eficiencias de recuperación de todos los elementos son bajas. Para el caso del N se consigue la máxima ER (0.43 kg kg⁻¹ N) con la omisión de P, elevando en 0.12 kg kg⁻¹ N, respecto al de fertilización completa. La eficiencia de recuperación de P, K, Ca, Mg, S y B se reduce mayormente con la omisión de N. Resalta el incremento de 0.11 kg kg⁻¹ de K cuando se omite Ca, para los restantes elementos, los incrementos son poco significativos.

Tabla 4.17. Eficiencia de recuperación por elemento, según la omisión de nutrientes, en la localidad Canchaguano, Carchi

Tratamientos	EFICIENCIA DE RECUPERACIÓN						
	N	P	K	Ca	Mg	S	B
	kg nutriente absorbido kg ⁻¹ nutriente aplicado						
FC [§]	0.31	0.00	0.08	0.06	0.00	0.00	0.01
-N		-0.01	-0.16	-0.31	-0.05	-0.10	0.00
-P	0.43		0.15	0.04	0.01	0.01	0.01
-K	0.31	0.00		-0.10	0.01	0.01	0.00
-Ca	0.37	0.00	0.19		0.00	0.03	0.01
-Mg	0.38	0.00	0.09	-0.04		0.06	0.00
-S	0.31	0.00	0.06	0.00	0.00		0.01
-B	0.30	0.00	0.08	-0.05	-0.01	0.04	
TA							
FA	0.33	0.00	0.45				

[§]FC= fertilización completa, -N= sin nitrógeno, -P= sin fósforo, -K= sin potasio, -Ca= sin calcio, -Mg= sin magnesio, -S= sin azufre, -B= sin boro, TA= testigo absoluto, FA= fertilización agricultor.

4.3 Localidad 3: La Libertad, Espejo.

4.3.1. Variables fenológicas

Porcentaje de emergencia, número de tallos por planta y días a la floración

Al igual que en las localidades Cuaspud y Canchaguano, estas variables no presentaron diferencias estadísticas significativas por omisión de los nutrientes (Anexo 26), teniendo que la emergencia estuvo sobre el 97 % con un promedio de 6 tallos planta⁻¹ y con 90 días promedio a la floración.

Días a la madurez fisiológica

En el Anexo 26, se aprecia que hubieron diferencias estadísticas altamente significativas, provocadas por la omisión de nutrientes sobre esta variable y en la Tabla 4.18, se observa el efecto marcado de la omisión de N sobre los días a la madurez fisiológica, que reduce su tiempo en 24 días respecto al tratamiento de fertilización completo, que requirió de 160 días.

Tabla 4.18. Días a la madurez fisiológica y altura de planta (cm) a la floración, afectados por la omisión de nutrientes, en la localidad La Libertad, Carchi

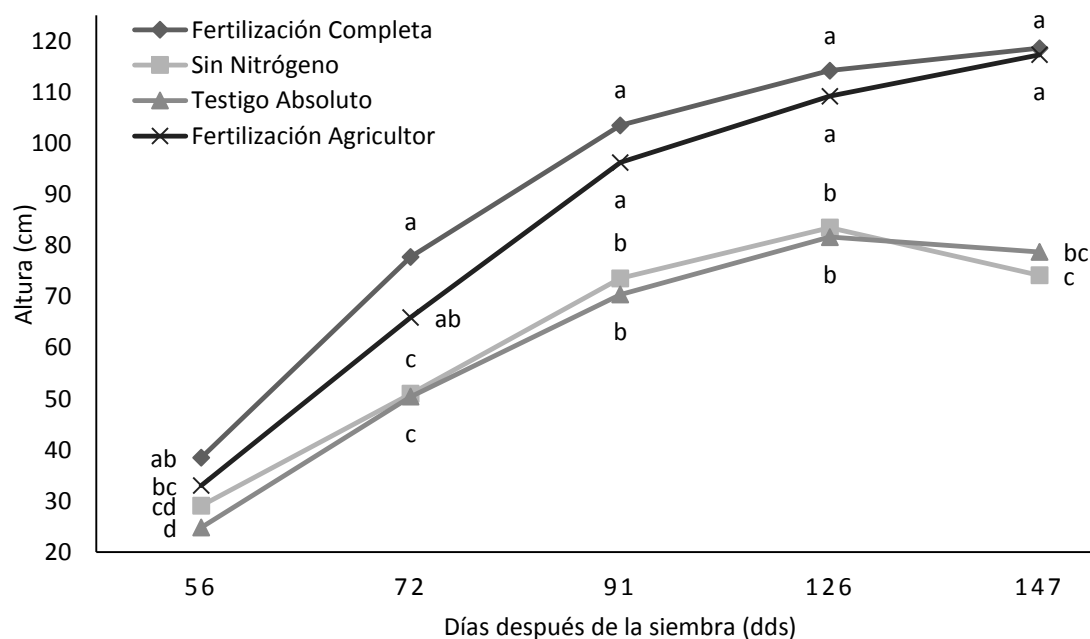
Variable	Tratamientos										Promedio
	FC [§]	-N	-P	-K	-Ca	-Mg	-S	-B	TA	FA	
Días a la madurez	160.3 a	136.0 d	157.7 a	147.7 bc	153.0 ab	159.3 a	157.0 a	158.3 a	140.3 cd	156.7 a	152.6
Altura a la floración	103.5 a	73.5 b	82.3 b	101.5 a	102.8 a	102.5 a	104.3 a	103.2 a	70.4 b	96.2 a	94.0

[§]FC= fertilización completa, -N= sin nitrógeno, -P= sin fósforo, -K= sin potasio, -Ca= sin calcio, -Mg= sin magnesio, -S= sin azufre, -B= sin boro, TA= testigo absoluto, FA= fertilización agricultor. Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey p=0.05).

Altura de planta a la floración

Esta variable presenta diferencias estadísticas significativas (Anexo 26), donde con el tratamiento de fertilización completa se consiguieron plantas con promedio de altura de 103.5 cm, valor que disminuye cuando experimenta la omisión de N y P, reduciendo su altura en 30 cm y 21.2 cm, respectivamente (Tabla 4.18).

En la Figura 4.20 se observa el desarrollo de cuatro tratamientos contrastantes (-N y TA como menores y TC y FA como mayores) y su separación de medias por etapa del cultivo, observando que a partir de los 72 días empieza a marcarse esta diferencia por efecto de la nutrición, con disminuciones en la altura al omitir N o no fertilizar (TA).



[§]Letras diferentes para cada etapa (dds), indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey p=0.05).

Figura 4.20. Altura de planta por etapa (medio aporque, aporque, floración, engrose y madurez fisiológica), afectada por la omisión de nutrientes más representativos, en la localidad La Libertad. Carchi.

Grados día desarrollo

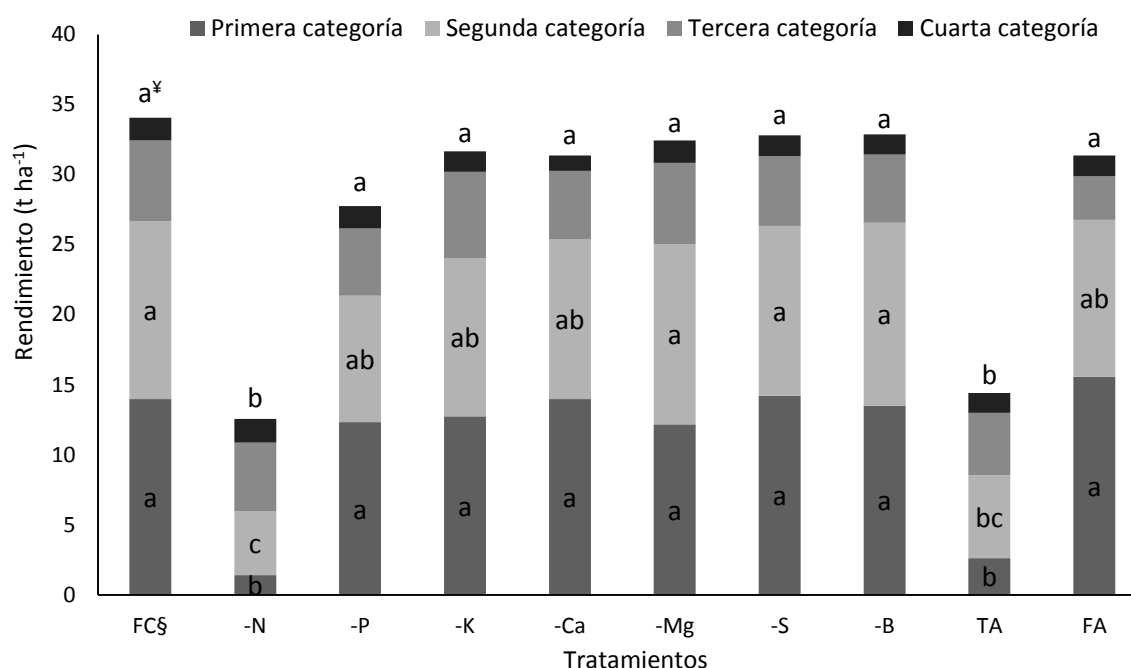
La acumulación de grados día desarrollo en esta localidad presentó similar tendencia estadística a los días requeridos para cada etapa fenológica, siendo que para floración necesitó un promedio de 90 días con acumulación de 925.9 GDD; para madurez fisiológica 153 días con 1571.2 GDD y cosecha 181 días con 1850.8 GDD. Este promedio de GDD a la madurez fisiológica, resultó menor a los requeridos (1721 GDD) en Cuaspud y mayor a los (1349 GDD) registrados en Canchaguano; sin embargo, todos estos valores fueron mayores a los 1297 GDD descritos por Ruiz (2014), para esta misma etapa fenológica, al trabajar en México con las variedades Atlantic y Alpha.

4.3.2. Variables de productividad y calidad

Rendimiento por categoría y total

El rendimiento de papa de primera y segunda categoría, así como el total de cosecha, presentan diferencias estadísticas altamente significativas por efecto de la omisión de nutrientes (Anexo 28). En la Figura 4.21 se aprecia que todas las omisiones de nutrientes provocan disminución en el rendimiento, comparado con el tratamiento de fertilización completa; mas, estadísticamente diferente al resto de tratamientos, resulta el efecto provocado por la omisión de N y TA. Las diferencias en rendimiento, son en el orden de 21.5 t ha⁻¹ y 19.7 t ha⁻¹, que corresponden a reducciones del 63.1 % y 57.8 %, respectivamente.

Las pequeñas diferencias en rendimiento obtenidas con la omisión de nutrientes excepto el N y P, indican que estos suelos poseen elevadas reservas nativas para la nutrición del cultivo; de esta forma las prioridades de nutrición en esta localidad siguen el orden de N>>>P>>Ca≈K>Mg≈S≈B. Esta tendencia, difiere a las prioridades registradas en este mismo trabajo para las localidades Cuaspud y Canchaguano; igualmente con lo reportado por IPNI (2012) para cultivo de papa sembrado en China con un rendimiento máximo de 31.5 t ha⁻¹, donde las prioridades fueron N≈P>K.



§FC= Fertilización completa, -N= Sin nitrógeno, -P= Sin fósforo, -K= Sin potasio, -Ca= Sin calcio, -Mg= Sin magnesio, -S= Sin azufre, -B= Sin boro, TA= Testigo absoluto, FA= Fertilización agricultor. *Letras diferentes, en cada categoría, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey $p=0.05$). Letras sobre las barras corresponden al rendimiento total.+Separación de medias corregida con transformación raíz cuadrada ($u= y-1/2$) para corregir heterogeneidad de varianzas.

Figura 4.21. Rendimiento de papa por categoría y total, afectados por la omisión de nutrientes, en la localidad La Libertad, Carchi.

En la Tabla 4.19, se observa que el rendimiento total de papa, presenta correlaciones positivas altamente significativas (coeficientes de correlación mayores a 0.8), con todas las variables de altura y rendimiento de materia seca del follaje. Este grado de relación, para esta localidad, puede ser una herramienta valiosa, para estimar los rendimientos en tubérculo, basados en la apariencia del cultivo.

Tabla 4.19. Coeficientes de correlación entre el rendimiento total y altura de planta a diferentes etapas fenológicas y rendimiento de materia seca del follaje, en la localidad La Libertad, Carchi

Variabes	Rendimiento
Altura al medio aporque (56 dds)	$r^{\S} = 0.81$ **
Altura al aporque (72 dds)	$r = 0.90$ **
Altura a la floración (91 dds)	$r = 0.94$ **
Altura al engrose (126 dds)	$r = 0.99$ **
Altura a la madurez fisiológica (147 dds)	$r = 0.99$ **
Materia seca del follaje (149 dds)	$r = 0.98$ **

§r= Coeficiente de correlación lineal de Pearson ($p=0.05$), ns= no significativo, *= significativo, **= altamente significativo.

Gravedad específica del tubérculo y materia seca del tubérculo.

La gravedad específica del tubérculo presenta diferencias estadísticas significativas por efecto de la omisión de nutrientes (Anexo 29). En la Tabla 4.20 se aprecia que la omisión de N con valor de 1.103, resultó estadísticamente superior al tratamiento de fertilización completa que experimentó un valor de 1.093. Este efecto registrado en esta localidad, difiere con lo observado en Cuaspud y Canchaguano, donde no se encontraron diferencias estadísticas significativas.

Los valores observados en todos los tratamientos fueron superiores a 1.080 que acompañados con promedios de materia seca superiores al 20 %, registrado en este trabajo, corresponden a un contenido de sólidos de aproximadamente 18 %, que para el CIP (2010) son considerados aceptables para la industria.

Tabla 4.20. Gravedad específica del tubérculo, afectada por la omisión de nutrientes, en la localidad La Libertad, Carchi

Variable	Tratamientos									Promedio	
	FC ^s	-N	-P	-K	-Ca	-Mg	-S	-B	TA		FA
Gravedad específica del tubérculo	1.093 bc	1.103 a	1.092 bc	1.094 bc	1.097 abc	1.096 abc	1.099 ab	1.095 bc	1.103 a	1.090 c	1.096

^sFC= fertilización completa, -N= sin nitrógeno, -P= sin fósforo, -K= sin potasio, -Ca= sin calcio, -Mg= sin magnesio, -S= sin azufre, -B= sin boro, TA= testigo absoluto, FA= fertilización agricultor. Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey p=0.05).

Porcentaje de hojuelas con calidad industrial

A pesar de que este valor no presenta diferencias estadísticas significativas (Anexo 29), se discute los resultados debido a que los tratamientos de omisión de N y Mg con 86 % y 87 % de hojuelas buenas, respectivamente, se encuentran al límite de la posibilidad de procesamiento industrial como hojuelas fritas, según indicado por Cuesta (2008) donde un material apto debe tener un máximo del 13 % al 14 % de hojuelas quemadas, confirmando la importancia de estos elementos en la calidad de producto cosechado.

Las correlaciones presentadas en la Tabla 4.21 muestran asociación positiva significativa de 0.74, entre la gravedad específica y el porcentaje de materia seca, que concuerda parcialmente con lo indicado por el CIP (2010), en vista de que este autor expresa también relación entre el porcentaje de materia seca y hojuelas buenas, resultado que no se observó en este trabajo.

Tabla 4.21. Coeficientes de correlación entre el porcentaje de materia seca del tubérculo, gravedad específica del tubérculo y porcentaje de hojuelas buenas en la localidad La Libertad, Carchi

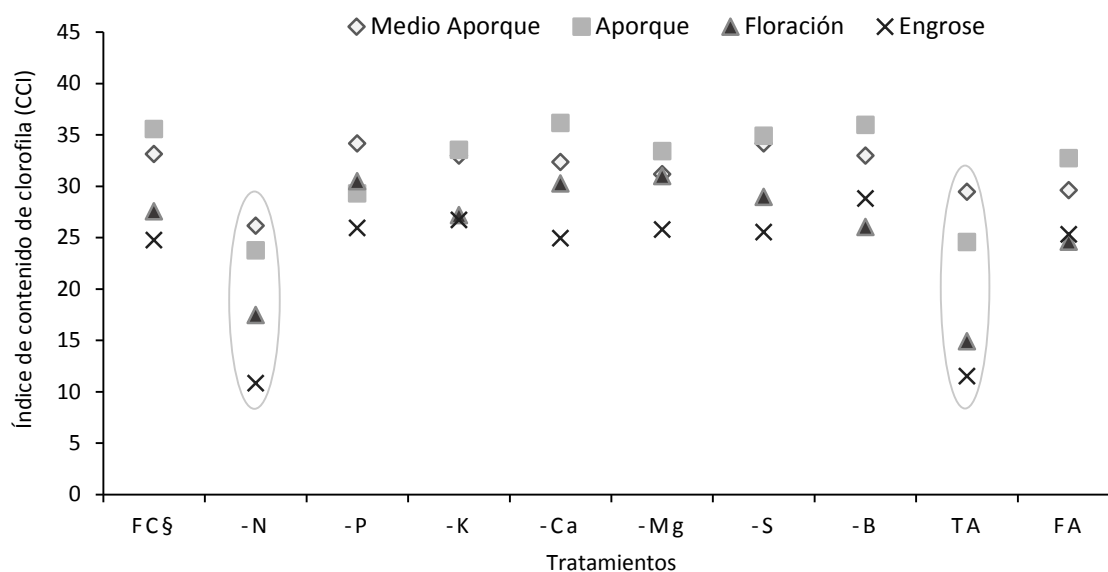
	% Materia seca	Gravedad Específica	% Hojuelas buenas
% Materia Seca			
Gravedad específica	0.74 [§] *		
% Hojuelas buenas	-0.27 ns	-0.03 ns	

[§]r= Coeficiente de correlación lineal de Pearson (p=0.05), ns= no significativo, *= significativo, **= altamente significativo. MS= materia seca.

4.3.3. Variables fisiológicas y de nutrición

Índice de clorofila y color

El índice de clorofila presenta diferencias estadísticas altamente significativas para todas las etapas, excepto al medio aporque (Anexo 30). En la Figura 4.22, se muestra la tendencia del índice de clorofila, medido por etapas a lo largo del cultivo (separación de medias en Anexo 30), donde se observa que en todos los tratamientos, las concentraciones de clorofila tienden a disminuir, a partir del aporque. También resalta que los menores contenidos de clorofila, en todas las etapas, fueron afectadas negativamente con la omisión de nitrógeno y el tratamiento testigo absoluto. Estos resultados valoran el uso del índice de clorofila, como una herramienta para determinar a edades tempranas, deficiencias por nitrógeno que puedan ser corregidas con la fertilización.



§FC= fertilización completa, -N= sin nitrógeno, -P= sin fósforo, -K= sin potasio, -Ca= sin calcio, -Mg= sin magnesio, -S= sin azufre, -B= sin boro, TA= testigo absoluto, FA= fertilización agrícola. CCI= Índice de contenido de clorofila. +Separación de medias en el Anexo 30

Figura 4.22. Contenido de clorofila, afectado por la omisión de nutrientes, en cada etapa del cultivo en la localidad La Libertad, Carchi.

En la Tabla 4.22, se observan relaciones positivas altamente significativas, mayores de 0.65, entre la concentración de clorofila con la tabla de colores y el rendimiento del cultivo para todas las etapas fenológicas. La tabla de colores presenta relaciones positivas altamente significativas mayores de 0.75, con el rendimiento a partir de los 72 dds (aporque); resultando al igual que el contenido de clorofila, como una herramienta útil para determinar deficiencias tempranas de N en el cultivo.

Tabla 4.22. Coeficientes de correlación entre clorofila, color y rendimiento en cuatro diferentes etapas del cultivo en la localidad La Libertad, Carchi

Correlaciones	Medio aporque (56 dds)	Aporque (72 dds)	Floración (106 dds)	Engrose (126 dds)
Clorofila vs Color	0.83 [§] **	0.69 *	0.75 *	0.79 **
Clorofila vs Rendimiento	0.77 **	0.96 **	0.87 **	0.96 **
Color vs Rendimiento	0.45 ns	0.79 **	0.92 **	0.94 **

§r= Coeficiente de correlación lineal de Pearson (p=0.05), ns= no significativo, *= significativo, **= altamente significativo.

Concentración de nutrientes en el tubérculo

Esta variable presenta diferencias estadísticas significativas por efecto de la omisión de nutrientes en las concentraciones de los macro elementos N, P y Mg, así como en los micro elementos B, Cu y Mn (Anexo 31).

En la Tabla 4.23, se observa que la omisión del N provoca efectos negativos en las concentraciones de la mayoría de elementos nutrientes, especialmente sobre este mismo elemento. La omisión de los restantes nutrientes, provoca incrementos en las concentraciones de la mayoría de elementos, caso que no es esperado. Este último efecto probablemente se debe al efecto de concentración Steenbjerg mencionado por Malavolta et al. (1997) y Martinez et al. (1999), donde el tratamiento de fertilización completa con mayor producción de materia seca, presenta diluidos los nutrientes; en tanto que en los tratamientos de omisión al verse afectado su desarrollo y producción de materia seca, tienden a elevar su concentración de elementos en los tejidos.

Tabla 4.23. Concentración de macro y micro elementos en el tubérculo de papa, afectados por la omisión de nutrientes, en la localidad La Libertad, Carchi

Tratamientos	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn	Cu	Fe	Mn
	dag kg ⁻¹						mg kg ⁻¹				
FC [§]	1.13 ab	0.16 b	1.55	0.10	0.11 ab	0.11	5.93 ab	9.73	5.43 ab	34.23	7.27 ab
-N	0.86 b	0.16 b	1.58	0.09	0.09 b	0.11	6.33 a	9.03	4.33 b	40.23	5.57 b
-P	1.36 a	0.17 b	1.58	0.10	0.11 ab	0.11	5.83 ab	10.50	5.80 a	35.80	9.17 a
-K	1.26 a	0.18 ab	1.63	0.09	0.11 ab	0.11	6.00 ab	10.37	4.77 ab	35.07	8.13 ab
-Ca	1.42 a	0.17 b	1.54	0.10	0.12 a	0.11	5.60 ab	9.57	4.70 ab	35.33	7.80 ab
-Mg	1.49 a	0.18 ab	1.62	0.09	0.11 ab	0.13	5.90 ab	10.20	5.57 ab	36.83	7.57 ab
-S	1.45 a	0.17 b	1.57	0.09	0.11 ab	0.13	5.80 ab	13.10	5.07 ab	37.37	8.33 ab
-B	1.30 a	0.16 b	1.55	0.09	0.11 ab	0.11	5.23 ab	8.43	5.10 ab	42.55	6.43 ab
TA	1.09 ab	0.20 ab	1.62	0.09	0.09 b	0.12	4.77 b	8.97	6.07 a	35.43	5.90 ab
FA	1.24 ab	0.21 a	1.67	0.09	0.09 b	0.12	4.67 b	9.67	5.07 ab	36.57	6.63 ab
Promedio	1.26	0.18	1.59	0.09	0.11	0.12	5.61	9.96	5.19	36.94	7.28

[§]FC= fertilización completa, -N= sin nitrógeno, -P= sin fósforo, -K= sin potasio, -Ca= sin calcio, -Mg= sin magnesio, -S= sin azufre, -B= sin boro, TA= testigo absoluto, FA= fertilización agricultor. Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey p=0.05).

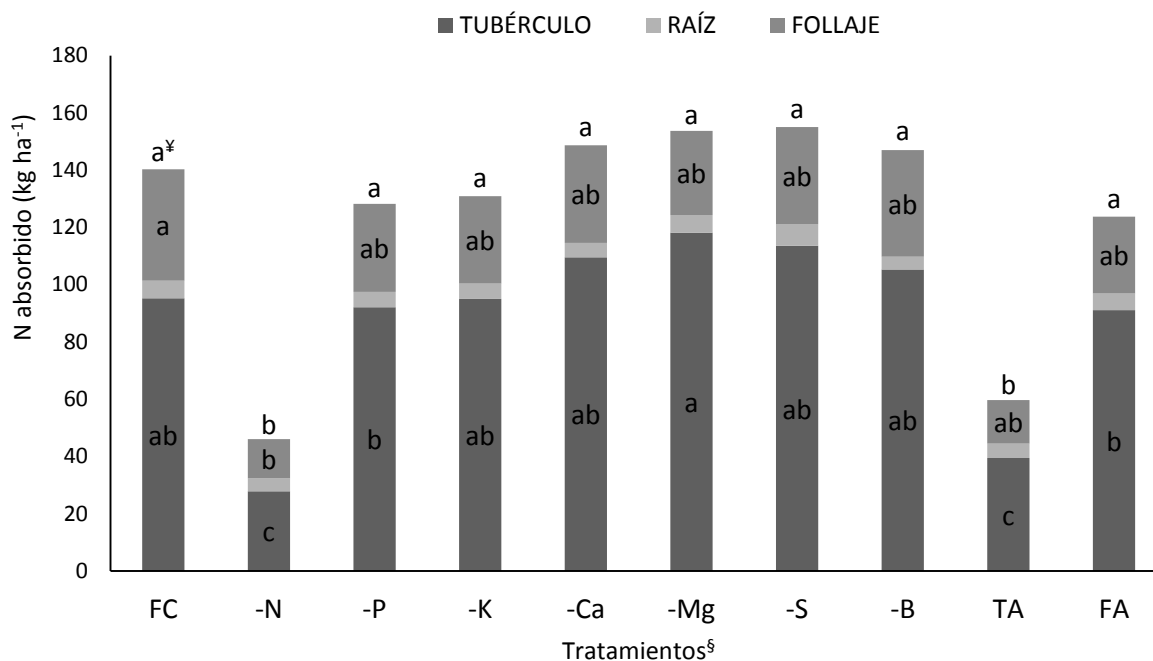
Absorción de nutrientes

En el Anexo 32, se muestran las diferencias estadísticas significativas provocadas por la omisión de nutrientes sobre la absorción total de macro nutrientes y boro.

La absorción de nitrógeno presenta diferencias estadísticas significativas a nivel total, follaje y tubérculo (Anexo 32, Anexo 33 y Anexo 35). En la Figura 4.23 resalta la concentración de N en el tratamiento de omisión de este mismo elemento donde tanto en el tubérculo, raíz y follaje son los más bajos. Considerando la absorción de 140.3 kg ha^{-1} experimentado por el tratamientos de fertilización completa, la omisión de N disminuye este valor en 94.3 kg ha^{-1} que corresponde al 67.2 %, indicativo de la importancia del nitrógeno dentro de un plan de fertilización. Esta absorción concuerda con lo mencionado por Cabalceta et al. (2005) quienes indican requerimientos de 110 kg ha^{-1} de N; más difieren con los 248 kg ha^{-1} de N, mencionados por Soto y Quirós (2002), citados por Bertsch (2003), en ambos casos para una producción aproximada de 36 t ha^{-1} .

La omisión de P y K, provocan una leve disminución en la absorción de N; por el contrario se observa elevación en el contenido de N, cuando se omiten especialmente Ca, Mg y S en la fertilización.

En esta figura también se observa, que al igual que en las otras localidades la mayor proporción de N acumulado en la planta se encuentra en el tubérculo y sus diferencias por efecto de la omisión de nutrientes, son las que definen la absorción total de la planta.



⁴Letras diferentes, en cada órgano, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey $p=0.05$). Letras sobre las barras corresponden a la absorción total. ⁵FC= fertilización completa, -N= sin nitrógeno, -P= sin fósforo, -K= sin potasio, -Ca= sin calcio, -Mg= sin magnesio, -S= sin azufre, -B= sin boro, TA= testigo absoluto, FA= fertilización agricultor.

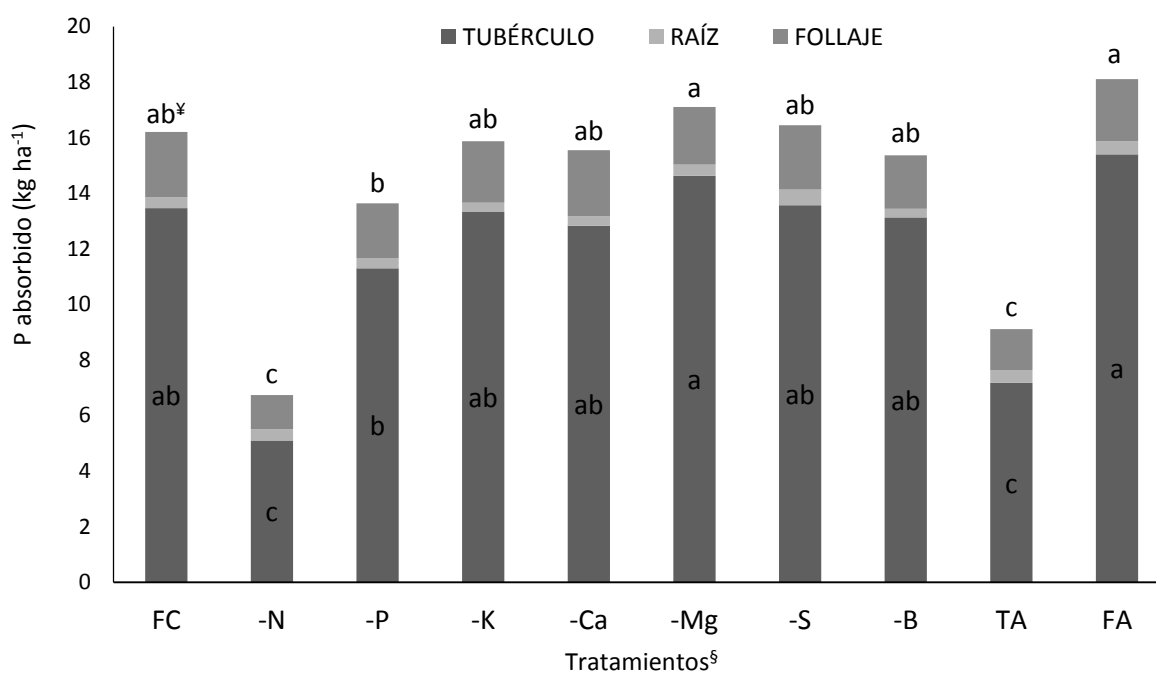
Figura 4.23. Absorción de nitrógeno por órgano, afectada por la omisión de nutrientes, en la localidad La Libertad, Carchi.

La absorción de fósforo presenta diferencias estadísticas significativas por efecto de la omisión de nutrientes, a nivel total y tubérculo (Anexo 32 y Anexo 35). La mayor proporción del elemento se encuentra acumulado en el tubérculo y define las diferencias observadas en la absorción total.

En la Figura 4.24, se observa que excepto la omisión de K, Mg y S, las restantes provocan disminución en la absorción de P, principalmente la omisión de N y P que provocan reducciones en el orden de 9.5 kg ha^{-1} y 2.6 kg ha^{-1} , que corresponden al 58.5 % y 16.0 %, respectivamente. Si comparado los 16.2 kg ha^{-1} de P absorbidos en el tratamientos de fertilización completa, para una producción de 34 t ha^{-1} de papa, está acorde a los reportados por Cabalceta et al. (2005) y Soto y Quirós (2002), citados por Bertsch (2003) que para una producción aproximada de 36 t ha^{-1} la absorción fue de 15 y 20 kg ha^{-1} , respectivamente.

La cantidad total de P absorbida en promedio en el cultivo es de 14.4 kg ha^{-1} , mientras que la aplicación de P en todo el ciclo fue de 350 kg ha^{-1} , que se justifica con lo indicado por Espinosa (2008) quien resalta que el efecto de fijación de P es más fuerte en suelos volcánicos localizados sobre los 2000 msnm, debido a la acumulación de complejos humus-Al, provocado por las ligaciones entre el Al y HPO_4^- y H_2PO_4^- .

Al igual que la omisión de N, el P, es otro elemento importante dentro de la nutrición del cultivo, en vista de sus efectos sobre la absorción de nutrientes, efecto que se observó también en la localidad Cuaspud; sin embargo, en la localidad Canchaguano no tiene tal importancia, tal vez por el inconveniente hídrico que sufrieron las plantas en esa localidad.



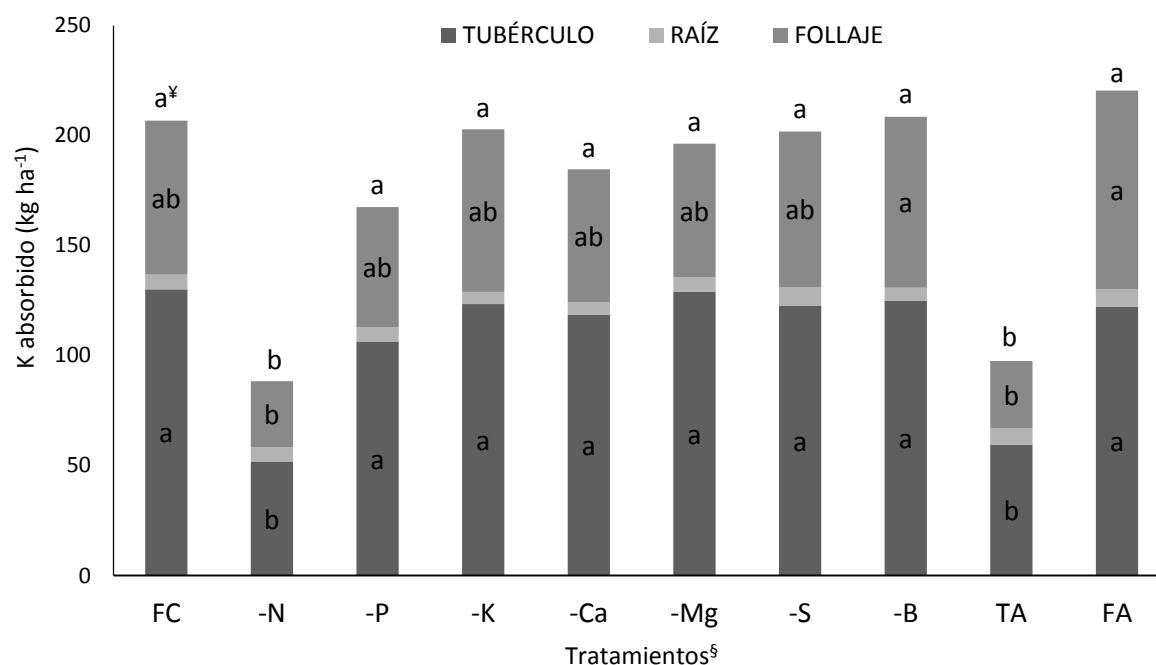
¶Letras diferentes, en cada órgano, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey $p=0.05$). Letras sobre las barras corresponden a la absorción total. §FC= fertilización completa, -N= sin nitrógeno, -P= sin fósforo, -K= sin potasio, -Ca= sin calcio, -Mg= sin magnesio, -S= sin azufre, -B= sin boro, TA= testigo absoluto, FA= fertilización agricultor.

Figura 4.24. Absorción de fósforo por órgano, afectada por la omisión de nutrientes, en la localidad La Libertad, Carchi.

La absorción de potasio presenta diferencias estadísticas significativas por efecto de la omisión de nutrientes a nivel total, follaje y tubérculo (Anexo 32, Anexo 33 y Anexo 35). En la Figura 4.25, se observa que excepto las omisiones de N, P y Ca, el resto de omisiones provocan variaciones leves en la absorción de K, teniendo que con la omisión de N y P, se encuentran reducciones de $118,3 \text{ kg ha}^{-1}$ y $39,2 \text{ kg ha}^{-1}$ (57.2 % y 18.9 %, respectivamente), que son las más elevadas.

Considerando la absorción de $206,7 \text{ kg ha}^{-1}$ registrado en el tratamiento de fertilización completa para la producción de 34 t ha^{-1} , resulta elevado si comparado con los 166 kg ha^{-1} indicados por Cabalceta et al. (2005) y menor a los 276 kg ha^{-1} mencionado por Soto y Quirós (2002), citados por Bertsch (2003) para una producción estimada de 36 t ha^{-1} de papa.

En forma general la mayor absorción de K por la planta, se encuentra concentrada en los tubérculos, siendo un indicativo importante a considerar dentro de los planes de fertilización, en vista de su alta extracción en la cosecha.



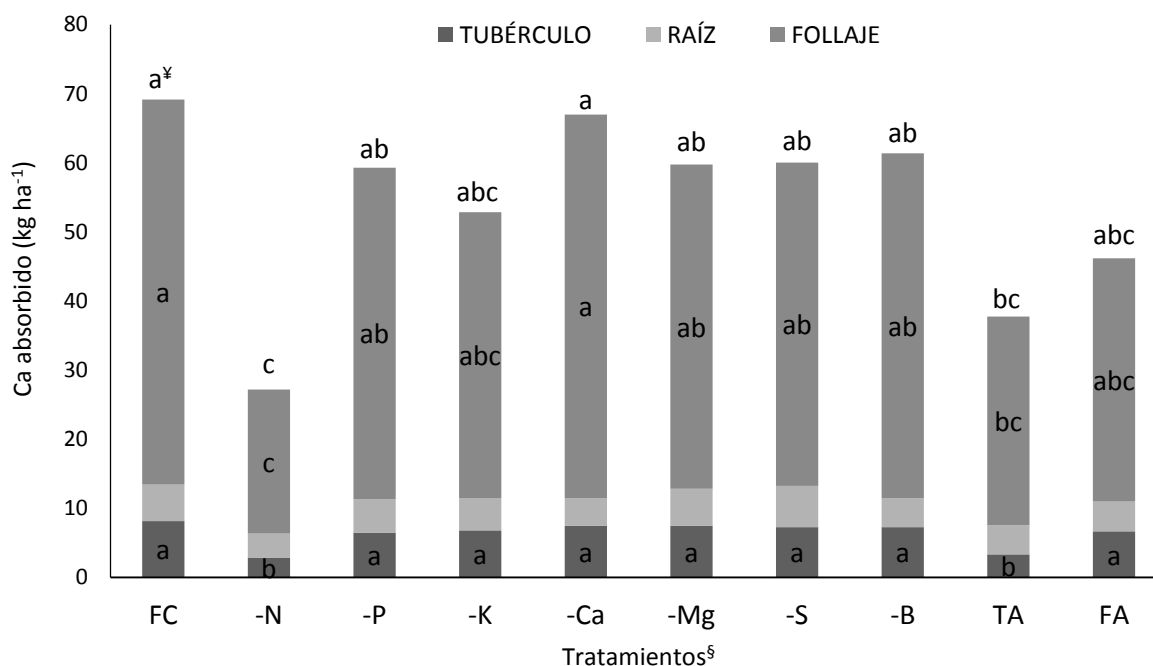
*Letras diferentes, en cada órgano, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey $p=0.05$). Letras sobre las barras corresponden a la absorción total. [§]FC= fertilización completa, -N= sin nitrógeno, -P= sin fósforo, -K= sin potasio, -Ca= sin calcio, -Mg= sin magnesio, -S= sin azufre, -B= sin boro, TA= testigo absoluto, FA= fertilización agrícola.

Figura 4.25. Absorción de potasio por órgano, afectada por la omisión de nutrientes, en la localidad La Libertad, Carchi.

Para el elemento calcio la absorción registrada presenta diferencias estadísticas significativas por efecto de la omisión de nutrientes a nivel total, follaje y tubérculo (Anexo 32, Anexo 33 y Anexo 35). De manera general, contrario a lo observado en los anteriores elementos, el calcio se concentra mayormente en el follaje, garantizando un reciclaje elevado y por ende menor probabilidad de deficiencia en los cultivos (Figura 4.26).

En el tratamiento de fertilización completa se observa la mayor absorción de Ca (69.17 kg ha^{-1}), que se ve reducida cuando en la fertilización se omite uno de los elementos estudiados, principalmente, N y K, donde se reduce su absorción en 41.9 kg ha^{-1} y 16.3 kg ha^{-1} , que corresponden al 60.6 % y 23.6 %, respectivamente. Este mismo efecto de la omisión de N y K sobre la absorción de Ca, se observó en la localidad Canchaguano, diferente a lo sucedido en Cuaspud donde la omisión de todos los elementos afectaron la omisión de Ca.

La absorción de Ca de 69.1 kg ha⁻¹ registrado en el tratamiento de fertilización completa, resulta elevado respecto a lo mencionado por Cabalceta et al. (2005) y Soto y Quirós (2002), citados por Bertsch (2003) que indican valores de 12 y 34 kg ha⁻¹ de Ca y superior a los 50 kg ha⁻¹ expuestos por Fernandes et al. (2011) para materiales altamente productivos.



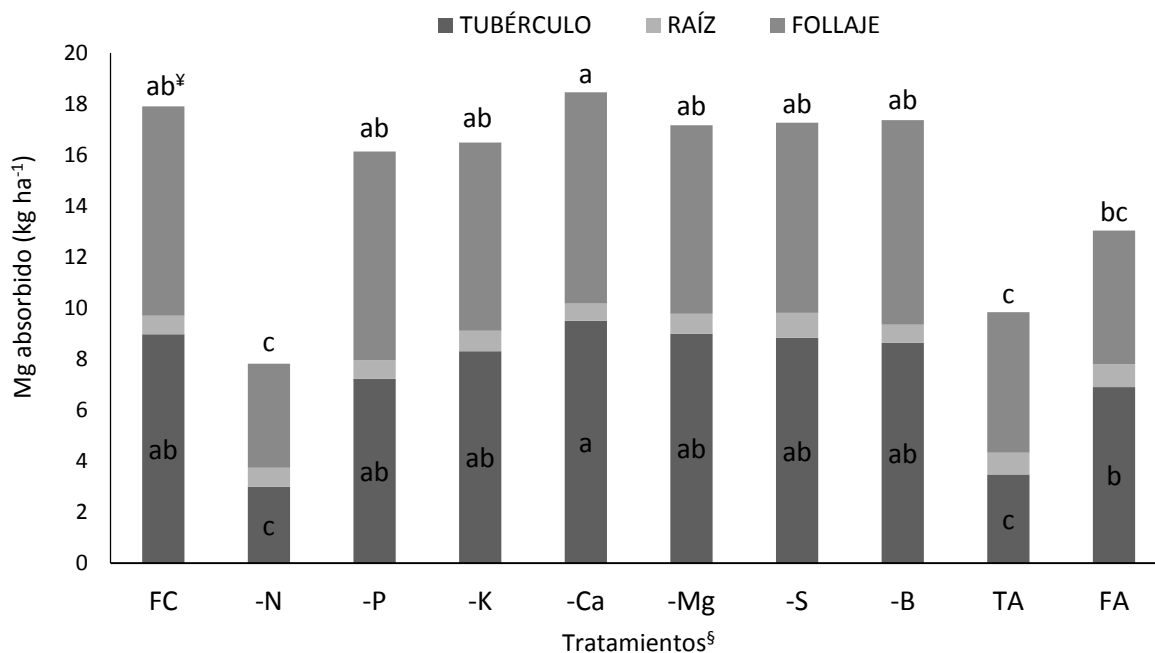
¶Letras diferentes, en cada órgano, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey $p=0.05$). Letras sobre las barras corresponden a la absorción total. §FC= fertilización completa, -N= sin nitrógeno, -P= sin fósforo, -K= sin potasio, -Ca= sin calcio, -Mg= sin magnesio, -S= sin azufre, -B= sin boro, TA= testigo absoluto, FA= fertilización agricultor.

Figura 4.26. Absorción de calcio por órgano, afectada por la omisión de nutrientes, en la localidad La Libertad, Carchi.

La absorción de magnesio presenta diferencias estadísticas significativas a nivel total y tubérculo (Anexo 32 y Anexo 35). En la Figura 4.27, se observa la distribución del magnesio en la planta encontrando que se acumula en similar proporción entre follaje y tubérculo. Las diferencias encontradas en la absorción total de este elemento, se debe a la omisión de N, donde su ausencia en el plan de fertilización reduce la absorción en 10.1 kg ha⁻¹ (56.5 %). Basados en la absorción de 17.9 kg ha⁻¹ experimentado por el tratamiento de fertilización completa, difiere de los 10 kg ha⁻¹ y 26 kg ha⁻¹ indicados por Cabalceta et al. (2005) y Soto y Quirós (2002), citados por Bertsch (2003), respectivamente, para un rendimiento de 36 t ha⁻¹.

Este efecto de la omisión de N sobre la absorción de Mg es similar a lo observado en Canchaguano, donde excepto el N, el resto de elementos no influyen significativamente

sobre la absorción de Mg; mas difiere a lo encontrado en Cuaspud donde la omisión de todos los elementos reducen la absorción de Mg.



¶Letras diferentes, en cada órgano, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey $p=0.05$). Letras sobre las barras corresponden a la absorción total. §FC= fertilización completa, -N= sin nitrógeno, -P= sin fósforo, -K= sin potasio, -Ca= sin calcio, -Mg= sin magnesio, -S= sin azufre, -B= sin boro, TA= testigo absoluto, FA= fertilización agricultor.

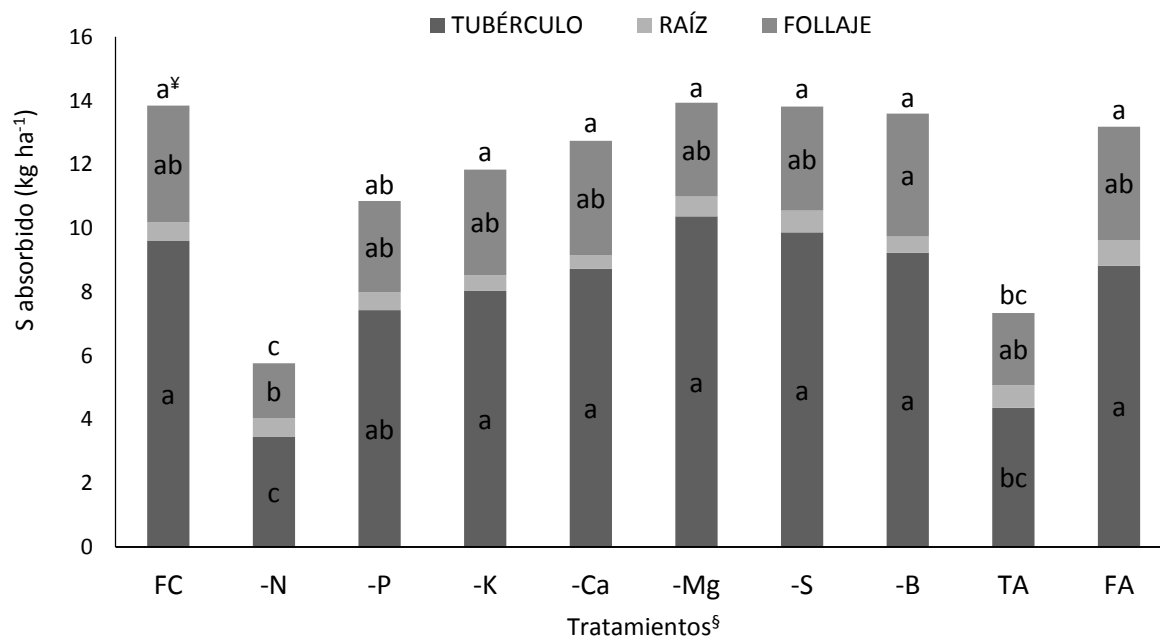
Figura 4.27. Absorción de magnesio por órgano, afectada por la omisión de nutrientes, en la localidad La Libertad, Carchi.

La absorción de azufre presenta diferencias estadísticas significativas a nivel total, follaje y tubérculo (Anexo 32, Anexo 33 y Anexo 35). En la Figura 4.28, se aprecia que este elemento se concentra más en los tejidos del tubérculo que del follaje, siendo un problema en cultivos donde no se acostumbra reponer esta exportación.

La mayor disminución de la absorción de S se observa con la omisión de N, que provoca disminución de 8.1 kg ha^{-1} , correspondiente al 58.6 % y mayor de 1.1 kg ha^{-1} con las omisiones de P, K y Ca que corresponde al 8.2 %. Si considerados los 13.8 kg ha^{-1} absorbidos en el tratamiento de fertilización completa, resulta similar a los 11 kg ha^{-1} reportados por Cabalceta et al. (2005), para una producción de 36 t ha^{-1} .

El efecto observado en esta localidad, resultó diferente a los encontrados en Cuaspud y Canchaguano, donde en el primer sitio la omisión de S provocó mayor disminución que la

omisión de N en la concentración de S en la planta; en tanto que, en la otra localidad, solamente el N disminuye la absorción del S.

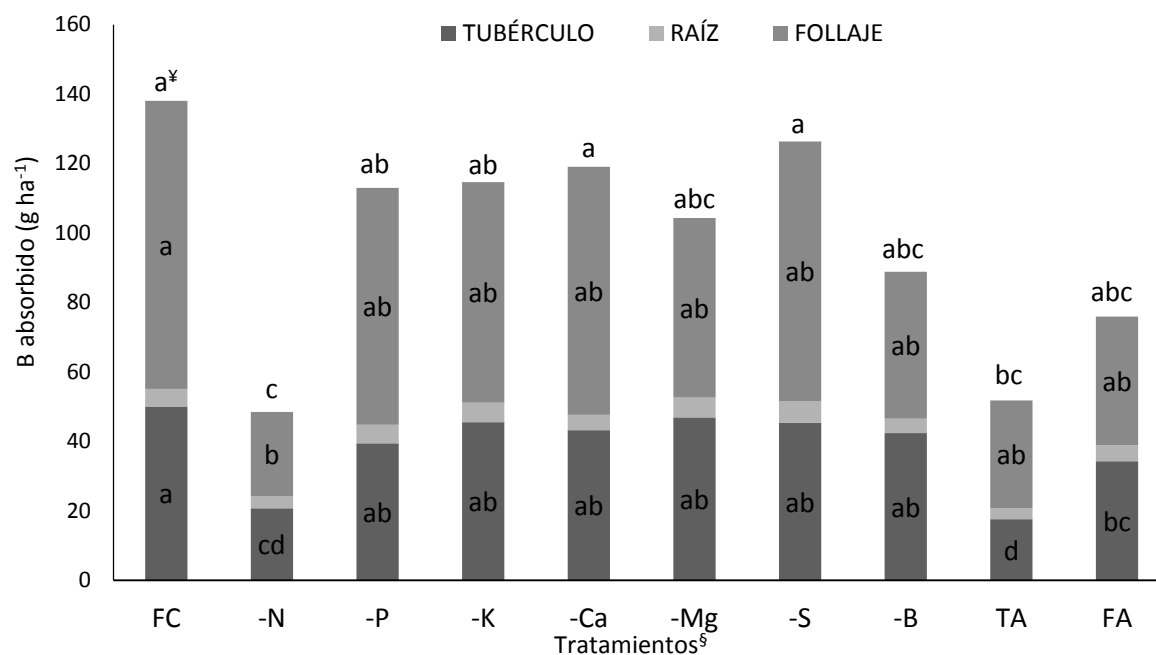


¶Letras diferentes, en cada órgano, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey $p=0.05$). Letras sobre las barras corresponden a la absorción total. §FC= fertilización completa, -N= sin nitrógeno, -P= sin fósforo, -K= sin potasio, -Ca= sin calcio, -Mg= sin magnesio, -S= sin azufre, -B= sin boro, TA= testigo absoluto, FA= fertilización agricultor.

Figura 4.28. Absorción de azufre por órgano, afectada por la omisión de nutrientes, en la localidad La Libertad, Carchi.

En cuanto a la absorción de boro total, follaje y tubérculo, los Anexo 32, Anexo 33 y Anexo 35, presentan las diferencias estadísticas significativas encontradas por la omisión de nutrientes. En la Figura 4.29, se observa que la omisión de todos los elementos provocan disminución en la absorción de B, especialmente con la omisión de N, B y Mg, donde se experimenta reducciones de 89.6 g ha^{-1} , 49.2 g ha^{-1} y 33.7 g ha^{-1} , que corresponden al 64.9 %, 35.6 % y 24.4 %, en su orden. La mayor absorción registrada en el tratamiento de fertilización completa fue de 138 g ha^{-1} para un rendimiento de 34 t ha^{-1} , valor superior a lo citado por Soratto et al. (2011) quienes obtuvieron absorciones de 71 g ha^{-1} de B y 50 g ha^{-1} de B, para papa de alta y baja productividad, respectivamente y Cabalceta et al. (2005) quienes reportaron absorciones de 42 g ha^{-1} de B para una producción de 36 t ha^{-1} .

Este efecto de la omisión de nutrientes sobre la absorción del B en las plantas fue igualmente encontrado en las localidades Cuaspud y Canchaguano.



Letras diferentes, en cada órgano, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey $p=0.05$). Letras sobre las barras corresponden a la absorción total. [§]FC= fertilización completa, -N= sin nitrógeno, -P= sin fósforo, -K= sin potasio, -Ca= sin calcio, -Mg= sin magnesio, -S= sin azufre, -B= sin boro, TA= testigo absoluto, FA= fertilización agricultor.

Figura 4.29. Absorción de boro por órgano, afectada por la omisión de nutrientes, en la localidad La Libertad, Carchi.

En la Tabla 4.24, se aprecia que la absorción foliar de todos los elementos, presentan correlación positiva altamente significativa (coeficientes >0.65), con el rendimiento y la concentración de clorofila en todas las etapas fenológicas; sin embargo, el K no correlacionó en la etapa de medio aporque y floración, mientras que el B en la etapa de engrose. Por otra parte, se tuvo correlación negativa significativa de la gravedad específica del tubérculo con los elementos N, P, K y S.

Tabla 4.24. Coeficientes de correlación entre la absorción foliar por elemento, con rendimiento total, gravedad específica del tubérculo e índice de clorofila medido a diferentes etapas del cultivo, en la localidad La Libertad, Carchi

ABSORCIÓN FOLIAR	Rendimiento total	GE del tubérculo	Clorofila medio aporque	Clorofila aporque	Clorofila floración	Clorofila engrose
N	0.93 [§] **	-0.65 *	0.85 **	0.94 **	0.83 **	0.90 **
P	0.93 **	-0.69 *	0.74 *	0.90 **	0.81 **	0.84 **
K	0.88 **	-0.81 **	0.53 ns	0.83 **	0.61 ns	0.86 **
Ca	0.84 **	-0.53 ns	0.85 **	0.86 **	0.84 **	0.80 **
Mg	0.77 **	-0.47 ns	0.92 **	0.76 *	0.82 **	0.78 **
S	0.91 **	-0.72 *	0.70 *	0.94 **	0.66 *	0.88 **
B	0.70 *	-0.42 ns	0.84 **	0.68 *	0.77 **	0.63 ns

[§]r= Coeficiente de correlación lineal de Pearson ($p=0.05$), ns= no significativo, *= significativo, **= altamente significativo. GE= gravedad específica.

4.3.4. Eficiencias

Eficiencia fisiológica (EF)

En la Tabla 4.25, se encuentra que la eficiencia fisiológica del N se ve disminuida por la omisión de todos los elementos cuando comparada a la conseguida en el tratamiento de fertilización completa (227.8 kg de papa kg^{-1} de N absorbido), especialmente con la omisión de Ca, Mg, P y S, donde se reduce en más de 42.6 kg kg^{-1} N, equivalente a 18.7 %.

La eficiencia fisiológica del fósforo es mayormente afectada por la omisión de Mg, donde se registra una disminución de 1083.1 kg kg^{-1} P que corresponde al 44.7 %. La omisión de B es el único tratamiento que eleva la EFP en 500 kg kg^{-1} P equivalente al 20.6 %.

Para el potasio, la omisión de todos los elementos provocan disminuciones en su eficiencia fisiológica, destacándose la omisión de S con reducción de 1662.9 kg kg^{-1} K, correspondiente al 270.4 %, respecto al tratamiento de fertilización completa.

La eficiencia fisiológica del calcio es afectada por todas las omisiones estudiadas, principalmente por la omisión de B que reduce en 1522.7 kg kg^{-1} Ca, que corresponde al 121.8 %.

La omisión de P provoca un incremento de 2137 kg kg^{-1} Mg (96.3 %), respecto al tratamiento de fertilización completa; por otro lado la omisión de Ca reduce en 3009.4 kg kg^{-1} Mg (135.7 %).

Para el azufre se observa que todos los elementos provocan reducción de la EFS, evidenciando la mayor disminución con la omisión de Mg (105.1 %).

La omisión de N y el testigo absoluto muestran su mayor incremento en la eficiencia fisiológica del boro en más del 100 %, mientras que la omisión de P reduce en similares proporciones su eficiencia.

El azufre por su parte se ve mayormente afectado por la falta de Mg y B pudiendo mejorar su eficiencia al 100 % al aplicar el primer elemento.

La eficiencia fisiológica del boro se eleva cuando se omite N, provocando un incremento mayor de 1000 %; por el contrario la omisión del resto de elementos, disminuye su eficiencia especialmente con la omisión de P donde se registra efectos mayores de 900 %.

Tabla 4.25. Eficiencia fisiológica por elemento, según la omisión de nutrientes, en la localidad La Libertad, Carchi

Tratamientos	EFICIENCIA FISIOLÓGICA						
	N	P	K	Ca	Mg	S	B [‡]
	kg rendimiento adicional kg ⁻¹ nutriente absorbido						
FC [§]	227.8	2418.0	614.8	1249.9	2217.5	71922.2	23.7
-N		2201.5	166.8	472.5	2113.6	2498.1	503.4
-P	185.2		109.6	465.0	4354.5	1678.2	-211.6
-K	225.0	1716.6		-21.2	1082.4	544.0	-47.9
-Ca	183.1	1849.5	16.5		-791.9	1288.3	-50.9
-Mg	184.1	1334.9	-111.9	-143.2		-3710.1	-32.2
-S	185.2	1768.3	-1048.1	-199.5	2921.2		-3.9
-B	201.4	2918.9	215.5	-272.8	3048.9	-569.7	
TA	131.4	2948.5	164.0	579.9	2442.5	2832.2	500.0
FA	241.3	787.7	-18.6	1.2	256.0	2290.3	120.6

[§]FC= fertilización completa, -N= sin nitrógeno, -P= sin fósforo, -K= sin potasio, -Ca= sin calcio, -Mg= sin magnesio, -S= sin azufre, -B= sin boro, TA= testigo absoluto, FA= fertilización agricultor. [‡]Expresado en kg rendimiento adicional g⁻¹ nutriente absorbido.

Eficiencia agronómica (EA)

En la Tabla 4.26, se observa que la omisión de todos los nutrientes evaluados, provoca reducciones en la eficiencia agronómica. Este primer efecto, resalta la importancia de realizar una fertilización balanceada, donde se complemente las necesidades del cultivo con ayuda de los fertilizantes.

En esta misma tabla, resalta los efectos provocados por la omisión de N que mayormente reduce la eficiencia de todos los nutrientes estudiados, en el caso de fósforo la disminución es de 61 kg de papa kg⁻¹ de P aplicado, potasio 94 kg kg⁻¹ K, calcio 358 kg kg⁻¹ Ca, magnesio 269 kg kg⁻¹ Mg, azufre 716 kg kg⁻¹ S y boro 8594 kg kg⁻¹ B. Para el N, la omisión de P reduce 36.9 kg kg⁻¹ N que equivale a un 29.2 %.

De manera general los resultados de EA observados en esta localidad, fueron mayores a los registrados en las otras dos localidades estudiadas; además se evidencia que el tratamiento de fertilización completa para todos los casos, presentó la mayor EA.

Comparando las EAN y EAP presentadas en este trabajo (126.4 kg kg⁻¹ N y 17.9 kg kg⁻¹ P, respectivamente), resultan mayores a lo reportado por IPNI (2012) que indican para EAN 34.4 kg kg⁻¹ N, EAP de 32.4 kg kg⁻¹ P₂O₅ (14.1 kg kg⁻¹ P); mientras que los 10.5 kg kg⁻¹ K de esta investigación fue menor a los 41.3 kg kg⁻¹ K₂O (34.2 kg kg⁻¹ K) que ellos documentan.

Tabla 4.26. Eficiencia agronómica por elemento, según la omisión de nutrientes, en la localidad La Libertad, Carchi

Tratamientos	EFICIENCIA AGRONÓMICA						
	N	P	K	Ca	Mg	S	B
kg rendimiento adicional kg ⁻¹ nutriente aplicado							
FC [§]	126.4	17.9	10.5	45.0	20.8	43.7	466.6
-N		-43.5	-83.4	-313.1	-247.8	-672.4	-8127.6
-P	89.5		-16.9	-59.4	-57.5	-165.2	-2040.4
-K	112.3	11.0		5.0	-9.2	-36.3	-493.8
-Ca	110.5	10.2	-1.3		-13.0	-46.3	-613.9
-Mg	116.6	13.2	3.2	17.3		-11.7	-198.9
-S	118.7	14.2	4.8	23.1	4.4		-58.3
-B	119.5	14.6	5.4	25.6	6.2	4.9	
TA							
FA	113.7	8.1	-1.7				

[§]FC= Fertilización completa, -N= Sin nitrógeno, -P= Sin fósforo, -K= Sin potasio, -Ca= Sin calcio, -Mg= Sin magnesio, -S= Sin azufre, -B= Sin boro, TA= Testigo absoluto, FA= Fertilización agricultor.

Eficiencia de recuperación (ER)

En la Tabla 4.27, se observa que a excepción de la eficiencia de recuperación del N, en los demás elementos, es poco significativa. Para el caso del N, la ER más alta fue de 0.64 kg de N absorbido kg⁻¹ de N aplicado, con la omisión de S, incrementando en 0.09 kg kg⁻¹ N, respecto al tratamiento de fertilización completa. La eficiencia de recuperación de P, K, Ca, Mg, S y B, generalmente experimentan una reducción con la omisión de N.

Tabla 4.27. Eficiencia de recuperación por elemento, según la omisión de nutrientes, en la localidad La Libertad, Carchi

Tratamientos	EFICIENCIA DE RECUPERACIÓN						
	N	P	K	Ca	Mg	S	B
	kg nutriente absorbido kg ⁻¹ nutriente aplicado						
FC [§]	0.55	0.01	0.02	0.04	0.01	0.00	0.02
-N		-0.02	-0.50	-0.66	-0.12	-0.27	-0.02
-P	0.48		-0.15	-0.13	-0.01	-0.10	0.01
-K	0.50	0.01		-0.24	-0.01	-0.07	0.01
-Ca	0.60	0.01	-0.08		0.02	-0.04	0.01
-Mg	0.63	0.01	-0.03	-0.12		0.00	0.01
-S	0.64	0.01	0.00	-0.12	0.00		0.01
-B	0.59	0.00	0.03	-0.09	0.00	-0.01	
TA							
FA	0.47	0.01	0.09				

[§]FC= fertilización completa, -N= sin nitrógeno, -P= sin fósforo, -K= sin potasio, -Ca= sin calcio, -Mg= sin magnesio, -S= sin azufre, -B= sin boro, TA= testigo absoluto, FA= fertilización agricultor.

4.4 Análisis Combinado: Cuaspud, Canchaguano y La Libertad, Carchi.

4.4.1. Variables fenológicas

Porcentaje de emergencia y número de tallos por planta

Estas variables no presentan diferencias estadísticas significativas entre localidades (Anexo 36); por tanto no hay efecto de ambiente (suelo, clima).

Días a la floración, madurez fisiológica y altura de planta

Los resultados que se presentan en la Tabla 4.28, indican que estas variables responden a características de suelo y clima de cada una de las localidades, verificándose con las diferencias estadísticas significativas entre localidades presentadas en el Anexo 36. En las dos etapas fenológicas el cultivo de papa en la localidad Canchaguano tiende a acelerar su ciclo vegetativo. En los días a floración se observa una pequeña diferencia que resultó estadísticamente significativa entre las localidades de Cuaspud (82.57) y La Libertad (90.47); sin embargo, en estas dos localidades el cultivo llega a la madurez fisiológica al mismo tiempo (≈ 153 días).

En esta misma tabla, se observa que las alturas en cada localidad fueron estadísticamente diferentes, encontrando que en Canchaguano, las plantas se desarrollaron más que en las

otras dos localidades, superando en aproximadamente 5 cm a las plantas de La Libertad y en más de 20 cm a las de Cuaspud. Estas dos últimas localidades también presentaron alturas estadísticamente diferentes.

Tabla 4.28. Efecto de las localidades sobre los días a la floración, madurez fisiológica y altura de planta a la floración, Carchi

Localidades	Días a la floración	Días a la madurez	Altura a la floración
	número		cm
Cuaspud [§]	82.57 b	153.37 a	88.80 c
Canchaguano	68.27 c	122.47 b	110.75 a
La Libertad	90.47 a	152.63 a	105.50 b

[§]Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre localidades (Tukey $p=0.05$).

4.4.2. Variables de productividad y calidad

Rendimiento por categoría y total

Excepto la cuarta categoría de papa, las restantes y el rendimiento total, presentan diferencias estadísticas significativas por efecto de localidades (Anexo 37).

En la Tabla 4.29, se observa que para todas las variables la papa cosechada en la localidad La Libertad, presenta las mejores características, destacándose en el alto rendimiento (28.13 t ha⁻¹) que supera a las otras dos localidades cuyo rendimiento máximo fue de 19.24 t ha⁻¹ en la localidad Cuaspud. De igual manera en La Libertad se cosecharon las mayores cantidades de papa de primera y segunda categoría, resaltando que en la localidad Canchaguano se cosechó la menor cantidad de papa de primera calidad y lógicamente, mayor cantidad de papa de tercera y cuarta categoría. Hay que considerar que en las localidades de Canchaguano y Cuaspud, el cultivo fue afectado por sequía y granizada, respectivamente, que podría ser la causa para haber obtenido un menor rendimiento.

Tabla 4.29. Efecto de las localidades sobre el rendimiento total y por categoría de papa, Carchi

Localidades	Primera categoría	Segunda categoría	Tercera categoría	Cuarta categoría	Rendimiento total
	t ha ⁻¹				
Cuaspud [§]	8.49 a	5.99 b	3.58 b	1.19	19.24 b
Canchaguano	3.30 b	7.46 ab	6.35 a	1.75	18.85 b
La Libertad	11.25 a	10.42 a	4.97 ab	1.49	28.13 a

[§]Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre localidades (Tukey $p=0.05$).

Materia seca y gravedad específica del tubérculo

Las dos variables, presentan diferencias estadísticas significativas por efecto de localidades (Anexo 38). En la Tabla 4.30, se observan que los valores de materia seca del tubérculo difieren entre localidades, teniendo que en la localidad Canchaguano, el tubérculo contiene 25.57 % de materia seca que resulta estadísticamente diferente a los 24.53 % de la localidad La Libertad y a los 22.62 % de la localidad Cuaspud. Los valores de materia seca de estas dos últimas localidades, también difieren estadísticamente.

En esta misma tabla, se observa que los datos de gravedad específica del tubérculo, presentan la misma tendencia de materia seca, por tal motivo, los tubérculos de las tres localidades estarían aptos para ser industrializados, si se considera como valores referenciales 20 % de materia seca y 1.080 o más de gravedad específica indicados por CIP (2010).

Tabla 4.30. Efecto de localidades sobre el porcentaje de materia seca y gravedad específica del tubérculo, Carchi

Tratamientos	Materia seca del tubérculo	Gravedad específica del tubérculo
	%	
Cuaspud [§]	22.62 c	1.09 c
Canchaguano	25.57 a	1.11 a
La Libertad	24.53 b	1.10 b

[§]Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre localidades (Tukey p=0.05).

Porcentaje de hojuelas con calidad industrial

Esta variable no presenta diferencias estadísticas significativas por efecto de localidad (Anexo 38), presentando valores superiores a 87 % indicado por Cuesta (2008) como mínimo para el procesamiento de hojuelas fritas en la industria.

4.4.3. Variables fisiológicas y de nutrición

Índice de clorofila

Las mediciones de clorofila realizadas a lo largo del ciclo de cultivo, presentan diferencias estadísticas significativas por efecto de localidades (Anexo 39). Estas diferencias encontradas, indican que para la localidad Cuaspud, debe calibrarse el equipo y determinar índices diferentes en comparación a las localidades Canchaguano y La Libertad, donde la concentración de clorofila al medio aporque y aporque resultaron estadísticamente iguales.

Para la floración y engrose se observa que en la localidad Cuaspud y La Libertad presentan concentraciones de clorofila estadísticamente iguales que difieren de las observadas en Canchaguano y cuyas concentraciones fueron mayores y estadísticamente diferentes (Tabla 4.31).

Tabla 4.31. Efecto de localidades sobre el índice de clorofila en diferentes etapas del cultivo, Carchi

Tratamientos	Clorofila al	Clorofila al	Clorofila a la	Clorofila al
	Medio Aporque	Aporque	Floración	Engrose
	CCI [§]			
Cuaspud [§]	24.73 b	23.34 b	26.75 b	26.94 b
Canchaguano	31.44 a	32.52 a	37.92 a	33.14 a
La Libertad	31.62 a	31.99 a	25.85 b	23.01 b

[§]CCI= Índice de contenido de clorofila. [§]Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre localidades (Tukey p=0.05).

Concentración de nutrientes en el tubérculo

Para todos los macro y micro nutrientes analizados en esta variable, se presentan diferencias estadísticas significativas por efecto de localidades (Anexo 40). En la Tabla 4.32, se observa que la localidad Canchaguano se tiene la mayor concentración de nutrientes en el tubérculo, valores que difirieron estadísticamente a los obtenidos en las otras dos localidades. De acuerdo a estos resultados, que varían por efecto del clima y suelo, podría pensarse en la búsqueda de alimentos fortificados, con una denominación de origen.

Absorción total de nutrientes

La absorción total de macro nutrientes y boro presenta diferencias estadísticas significativas, afectados por localidades (Anexo 41).

La Tabla 4.33, nos indica que las absorciones de nutrientes fueron individualmente diferentes entre localidades para N y Mg; con P, Ca, S y B las absorciones de Canchaguano y La Libertad resultaron estadísticamente iguales, mas diferentes a las encontradas en Cuaspud. Las absorciones de K fueron iguales estadísticamente para Cuaspud y La Libertad y difieren de lo encontrado en la localidad Canchaguano.

Tabla 4.32. Efecto de localidades sobre la concentración de nutrientes en el tubérculo, Carchi

Tratamientos	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn	Cu	Fe	Mn
	dag kg ⁻¹						mg kg ⁻¹				
Cuaspud [§]	1.56 b	0.20 b	2.02 a	0.07 c	0.13 b	0.09 c	5.08 c	9.24 b	4.66 b	25.28 c	7.31 b
Canchaguano	1.97 a	0.24 a	1.99 a	0.11 a	0.14 a	0.15 a	7.12 a	13.41 a	8.97 a	42.92 a	8.60 a
La Libertad	1.26 c	0.18 b	1.59 b	0.09 b	0.11 c	0.12 b	5.61 b	9.96 b	5.19 b	36.94 b	7.28 b

[§]Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre localidades (Tukey p=0.05).

Tabla 4.33. Absorción total de macro nutrientes y boro para localidades, Carchi

Tratamientos	N	P	K	Ca	Mg	S	B
	kg ha ⁻¹						g ha ⁻¹
Cuaspud [§]	92.94 c	10.11 b	155.62 b	25.03 b	10.00 c	5.71 b	492.96 b
Canchaguano	149.56 a	14.80 a	222.81 a	56.71 a	13.00 b	12.69 a	978.02 a
La Libertad	123.31 b	14.42 a	177.45 b	54.05 a	15.15 a	11.69 a	980.27 a

[§]Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre localidades (Tukey p=0.05).

4.5 Comprobación de hipótesis

- a) Luego de culminada la investigación, se acepta la hipótesis alternativa, en vista que al menos uno de los nutrientes y de manera general para las tres localidades, el nitrógeno es el nutriente que mayormente limita la producción y calidad de cosecha de papa (categorías).
- b) Respecto a la calidad de papa para la industria, se acepta la hipótesis nula, por no tener efecto de localidad y omisión de nutrientes.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Basados en los resultados, producto de esta investigación, se concluye que:

El elemento prioritario para la fertilización del cultivo de papa en las tres localidades es el nitrógeno, definiendo las prioridades de fertilización para Cuaspud, Tulcán $N > P \approx K \approx S > Ca > Mg \approx B$; Canchaguano, Montufar $N > P > Ca \approx S > K \approx B > Mg$ y La Libertad, Espejo $N > > > P > > > Ca \approx K > Mg \approx S \approx B$.

El rendimiento potencial obtenido, todavía no es el definitivo en las tres localidades estudiadas, debido a los efectos climáticos en Cuaspud (granizada) y Canchaguano (sequía); sin embargo, el rendimiento de La Libertad es la primera aproximación real.

Las omisiones de N y P, son las que más afectan al desarrollo y rendimiento de papa en Andisoles de la Sierra Norte ecuatoriana.

Existe una estrecha relación entre la determinación del índice de clorofila en la fase de aporque y engrose, con el rendimiento de la papa, en las tres localidades.

La absorción total de nutrientes fue mayormente influenciada por la producción de materia seca que por las concentraciones de elementos en cada órgano de la planta.

Los elementos N, P, S y Cu, son acumulados mayormente en el tubérculo, el Ca y B se acumulan en el follaje, en tanto que el K y Mg se encuentran en similares proporciones en el tubérculo y follaje.

La eficiencia agronómica de todos los elementos es reducida principalmente por la omisión de N, seguida del P.

La omisión de B en Cuaspud y la de Mg en Canchaguano, incrementan la eficiencia agronómica de todos los nutrientes.

La calidad de papa para la industria, específicamente para el procesamiento de hojuelas fritas, no es afectada por la omisión de nutrientes.

5.2 Recomendaciones

Concluido este trabajo de investigación, se recomienda:

Calibrar el uso del medidor de clorofila, como herramienta válida para la toma de decisiones, en cuanto a fertilización nitrogenada, por presentar buena relación entre su índice con el rendimiento.

En la calibración del medidor de clorofila, determinar una hoja específica, que sirva como patrón de referencia en la toma de datos para estimar los rendimientos.

Para posteriores estudios, se realice determinaciones de los efectos de la omisión de nutrientes, sobre la presencia de enfermedades como *Phytophthora infestans*.

Realizar estudios relacionados al ajuste de dosis de nitrógeno y fósforo en cada localidad, considerando el fraccionamiento y las fuentes de fertilizantes, en procura de mejorar las eficiencias de fertilización.

Validar fórmulas de cálculo de Grados Día Desarrollo, valores mínimos y máximos a ser usados para futuras investigaciones y obtener datos útiles para interpretación y recomendaciones de manejo y nutrición, acordes a los cambios climáticos y de suelo de las diferentes zonas de cultivo.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Aldeán, A. (2009). *Manejo de nutrientes por sitio específico en el cultivo de maíz (Zea mays L.) en Santo Domingo de los Tsáchilas y Patricia Pilar, 2008-2009*. Universidad Tecnológica Equinoccial, Santo Domingo, EC.
- Alvarado, S., Jaramillo, R., Valverde, F., & Parra, R. (2011). *Manejo de nutrientes por sitio específico en el cultivo de maíz bajo labranza de conservación para la provincia de Bolívar: Boletín Técnico No. 150*. Quito, EC: Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), International Plant Nutrition Institute (IPNI).
- Andrade, H., Bastidas, O., & Sherwood, S. (2002). La Papa en Ecuador. En: M. Pumisacho, & S. Sherwood (Eds), *El Cultivo de la Papa en Ecuador* (pp. 21-28). Ecuador: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP)-Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Bertsch, F. (2003). *Absorción de nutrimentos por los cultivos*. San José, CR: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.
- Bremmer, J. (1965). Total nitrogen. En: C. Black (Ed.). *Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy n.9* (pp. 1149-1178). Madison, Wisconsin. American Society of Agronomy.
- Cabalceta, G., Saldias, M., & Alvarado, A. (2005). Absorción de nutrimentos en el cultivar de papa MNF-80. *Agronomía Costarricense*, 29(3), 107-123.
- Carretero, I., Doussinague, C., & Villena, E. (2006). *Manual Práctico de Agricultura*. España: Cultural S.A.
- Centro Internacional de la Papa (CIP). (2010). *Procedimientos para pruebas de evaluaciones estándar de clones avanzados de papa: Guía para Cooperadores Internacionales*. Perú: CIP.

- Centro Internacional de la Papa (CIP). (2015). *Potato*. Consultado el 25 de marzo de 2015, de <http://cipotato.org/potato/>
- Cuesta, X., Andrade, H., Bastidas, O., Quevedo, R., & Sherwood, S. (2002). Botánica y Mejoramiento Genético. En: M. Pumisacho, & S. Sherwood (Eds.), *El Cultivo de la Papa en Ecuador* (pp. 33-42). Ecuador: INIAP-CIP.
- Cuesta, X. (2008). *Guía para el Manejo y Toma de Datos de Ensayos de Mejoramiento de Papa*. Ecuador: INIAP.
- Devaux, A., Ordinola, M., Hibon, A., & Flores, R. (Eds.). (2010). *El sector papa en la región andina: Diagnóstico y elementos para una visión estratégica (Bolivia, Ecuador y Perú)*. Perú: Centro Internacional de la Papa.
- Dobermann, A., & Fairhurst, T. H. (2000). *Arroz: Desórdenes Nutricionales y Manejo de Nutrientes*. Traducido por: J. Espinosa. Canada: Potash & Phosphate Institute (PPI), Potash & Phosphate Institute of Canada (PPIC), & International Rice Research Institute (IRRI).
- Espinosa, J. (2008). Distribución, uso y manejo de los suelos de la región andina. En: *Memorias del XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*. Ecuador: SECS.
- Espinosa, J., & García, J. P. (2009). Herramientas para mejorar la eficiencia de uso de nutrientes en maíz. En: J. Espinosa, & F. García (Eds.), *Memorias del Simposio "Uso Eficiente de Nutrientes" presentado por el IPNI en el XVIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo* (pp. 49-56). Costa Rica: IPNI.
- Espinosa, J., & Jaramillo, R. (2010). Manejo de la Fertilidad en Suelos Volcánicos (Andisoles). En: *Memorias del Curso Nacional de Actualización en el Cultivo de la Papa*. Colombia: FEDEPAPA.
- FAOSTAT. (2015). *Dirección de Estadística*. Download Data. Consultado el 25 de marzo de 2015, de <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/S>

- Fernandes, A., Soratto, R., & Silva, L. (2011). Extração e exportação de nutrientes em cultivares de batata: I Macronutrientes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35, 2039-2056.
- Giletto, C., Rattín, J., Echeverría, H., & Caldiz, D. (2007). Eficiencia de uso del nitrógeno en variedades de papa para industria cultivadas en el sudeste de la provincia de Buenos Aires. *Revista Ciencia del Suelo (Argentina)*, 25(1), 43-51.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). (2012). *Encuesta de Superficie y producción Agropecuaria Continua 2012: Resumen Ejecutivo*. Recuperado de http://www.inec.gob.ec/ESPAC2012/InformeEjecutivo.pdf?TB_iframe=true&height=600&width=1000
- International Plant Nutrition Institute (IPNI). (2012). *Agronomic Evaluation of Nutrient Management for Potato in Northwest China*. Recuperado de <http://info.ipni.net/CNP-3021>
- Malavolta, E., Vitti, G. & De Oliveira, S. (1997). Avaliação do Estado Nutricional das Plantas. Principios y Aplicaciones. *Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato*. Piracicaba, Brazil.
- Martinez, H., Carvalho, J., & Souza, R. (1999). Diagnose Foliar. En: A. Ribeiro, P. Guimaraes, & V. Alvarez (Eds.), *Recomendacoes para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais* (pp. 143-168). Vicosá, MG: Imprensa Universitária da Universidade Federal de Vicosá.
- Mejía, L. (1997). *Mapa General de Clasificación por Capacidad-Fertilidad. Suelos del Ecuador*. Ecuador: Instituto Geográfico Militar.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP). (2012). *Provincia del Carchi. Mapa de Suelos-Taxonomía*. Ecuador: CGSIN.
- Mite, F., Medina, L., & Espinosa, J. (2009). Efecto de la corrección del pH en el rendimiento de piña en suelos volcánicos. *Informaciones Agronómicas*, 73, 1-5.

- OFIAGRO. (2008). *Diagnóstico de la Situación Actual de la Cadena Agroalimentaria de la Papa en el contexto Internacional y Regional. 2000-2006.*
- Oyarzún, P., Chamorro, F., Córdova, J., Merino, F., Valverde, F., & Velázquez, J. (2002). Manejo Agronómico. En: M. Pumisacho, & S. Sherwood (Eds.), *El Cultivo de la Papa en Ecuador* (pp. 51-82). Ecuador: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP)-Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Potash & Phosphate Institute (PPI), Potash & Phosphate Institute of Canada (PPIC), & Foundation for Agronomic Research (FAR). (1988). *Manual de Fertilidad de los Suelos.* U.S.A.: PPI
- Ruiz, V. (2014). *La modelación biológica con fines de planeación de distritos de riego.* (Tesis inédita de maestría). Colegio de Postgraduados, Montecillo, MX.
- Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo (SECS). (1986). *Mapa General de Suelos del Ecuador.* Ecuador: Instituto Geográfico Militar.
- Soratto, R., Fernandes, A., & Schlick, G. (2001). Extracão e exportação de nutrientes em cultivares de batata: II Micronutrientes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35, 2057-2071.
- Tabatabai, M. & Bremmer, J. (1970). A simple turbidimetric method of determining total sulfur in plant materials. *Agronomy Journal*, 62, 805-806.
- Valverde, F., & Alvarado, S. P. (2009). Manejo del suelo y la fertilización en el cultivo de papa: experiencias del DMSA. En: *Memorias del Curso de producción, procesamiento, comercialización y control de calidad en semilla de papa en el Ecuador.* Ecuador: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP)-Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Villordon, A., Clark, C., Ferrin, D., & LaBonte, D. (2009). Using growing degree days, agrometeorological variables, linear regression, and data mining methods to help improve prediction of sweetpotato harvest date in Louisiana. *HortTechnology*, 19(1), 133-144.

Zasoski, R. & Burau, R. 1977. A rapid nitric-perchloric acid digestion method of multielement tissue analysis. *Commun. Soil Sci. Plant Anal*, 3, 425-436.

ANEXOS

Anexo 1. Variedades de papa sembradas por zona de cultivo en Ecuador (INIAP).

Zona de Cultivo	Variedad
Norte: Provincia del Carchi	Chola
	INIAP-Superchola
	INIAP-Gabriela
	INIAP-Esperanza
	INIAP-María
	INIAP- Fripapa
	Diacol-Capiro
	Ormuz
	Yema de Huevo (Chauchas)
Centro: Provincias de Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Bolívar y Chimborazo	Chola
	Uvilla
	INIAP-Santa Catalina
	INIAP-Esperanza
	INIAP-Gabriela
	INIAP-María
	INIAP-Rosita
	INIAP-Santa Isabel
	INIAP-Superchola
	Yema de Huevo (Chauchas)
INIAP-Fripapa	
INIAP-Cecilia-Leona	
Sur: Provincias de Cañar, Azuay y Loja	Uvilla
	Bolona
	INIAP-Santa Catalina
	INIAP-Esperanza
	INIAP-Soledad Cañari
	INIAP-Gabriela

FUENTE: Cuesta et al., 2002; Devaux et al., 2010.

Anexo 2. Recomendaciones de fertilización para papa, INIAP.

a) Recomendaciones de fertilización para papa comercial (población 27 778pl ha⁻¹)

Análisis de Suelo	N	P ₂ O ₅ [‡]	K ₂ O	S
	kg ha ⁻¹			
Bajo	150-200	300-400	100-150	20-30
Medio	100-150	200-300	60-100	10-20
Alto	50-100	100-200	30-60	0-10

[‡] Nivel crítico de fósforo 42 mg kg⁻¹.

b) Recomendaciones de fertilización para producción de papa semilla (población 37 037pl ha⁻¹)

Análisis de Suelo	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S
	kg ha ⁻¹			
Bajo	200-250	400-500	150-200	30-50
Medio	150-200	300-400	100-150	20-30
Alto	80-150	150-300	50-100	0-20

FUENTE: Valverde & Alvarado, 2009.

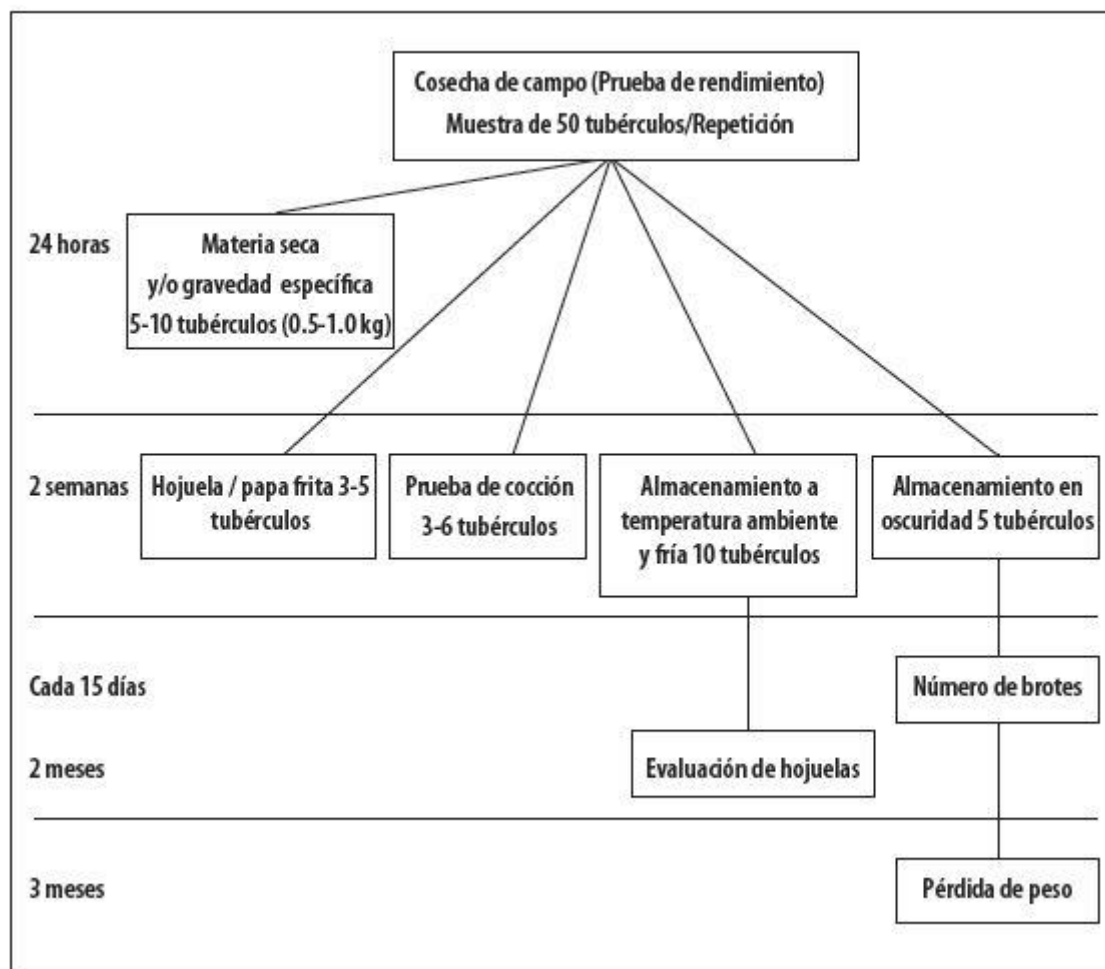
Anexo 3. Extracción total de nutrientes por el cultivo de papa para diferentes niveles de producción en Ecuador.

Rendimiento t ha ⁻¹	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn
	kg ha ⁻¹						g ha ⁻¹			
17	70	15	40	25	10		400	35	1050	200
50	220	50	350	95	35		900	60	4600	550

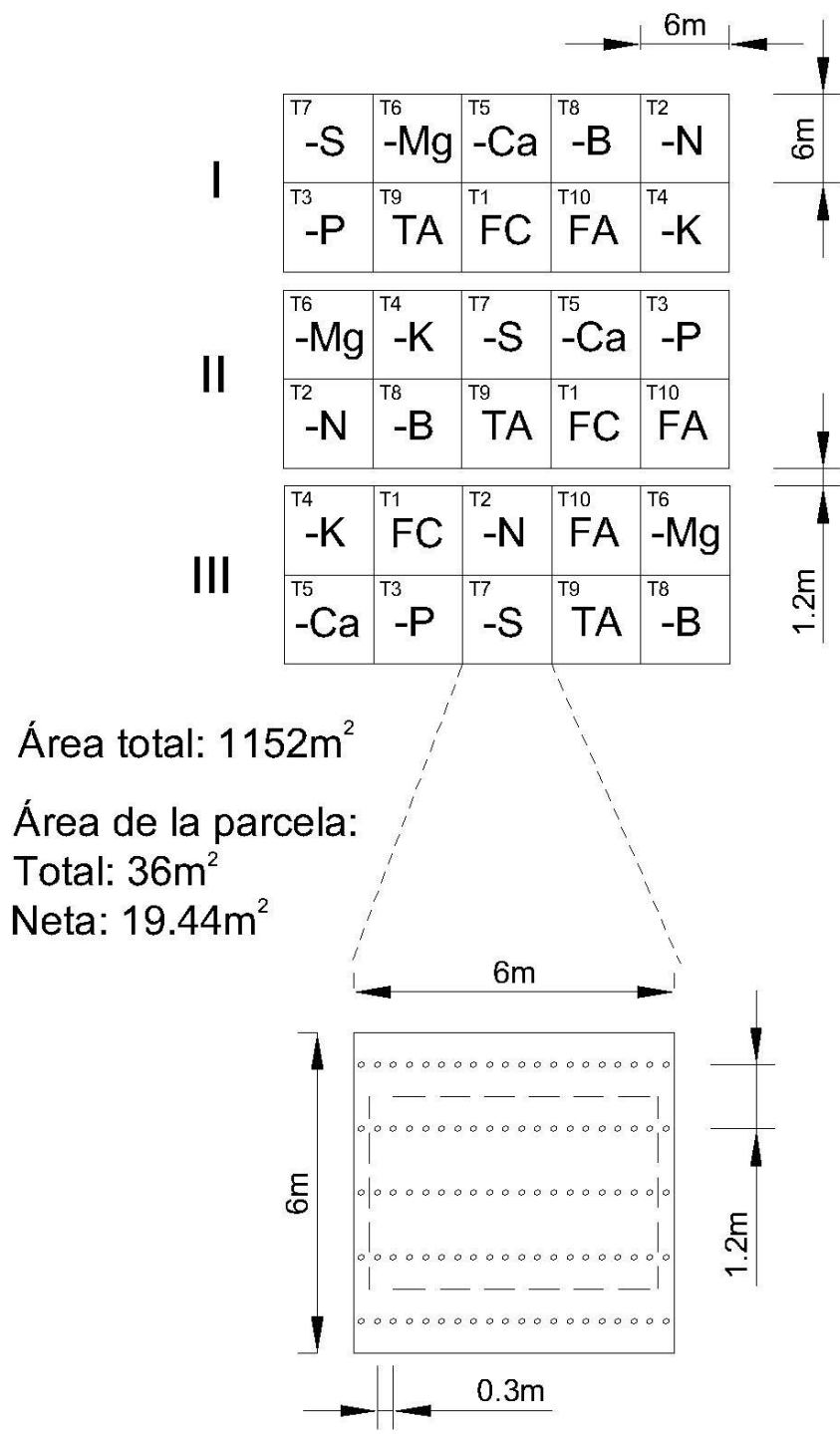
FUENTE: Oyarzún et al., 2002.

Anexo 4. Número de tubérculos y momento de la prueba de evaluación post cosecha recomendada por el CIP.

Diagrama de flujo: Evaluación de post cosecha



Anexo 5. Distribución de tratamientos y repeticiones en campo para cada una de las localidades establecidas en Cuaspud, Canchaguano y La Libertad, Carchi.



Anexo 6. Análisis de suelos iniciales de los tres lotes estudiados en la provincia del Carchi.

a) LOCALIDAD 1: CUASPUD, TULCÁN, CARCHI.

	ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA" LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340 Quito- Ecuador Telf.: 690-691/92/93 Fax: 690-693	
---	--	---

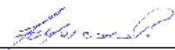

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO Nombre : ALONSO MAFLA Dirección : TULCÁN Ciudad : Teléfono : Fax :	DATOS DE LA PROPIEDAD Nombre : CUASPUD Provincia : CARCHI Cantón : TULCÁN Parroquia : SANTA MARTHA DE CUBA Ubicación : PROY. INIAP-IEE	PARA USO DEL LABORATORIO Cultivo Actual : PAPA Fecha de Muestreo : 03/09/2013 Fecha de Ingreso : 06/09/2013 Fecha de Salida : 22/07/2014
--	--	---

N° Muestr. Laborat.	Datos del Lote		pH	ppm			meq/100ml			ppm				
	Identificación			NH4	P	S	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B
0748	R1-0-15		5,71LAc	53,0M	118,0A	7,1B	0,41A	6,50M	0,72B	3,8M	3,2M	343,0A	5,7M	0,40B
0749	R1-15-30		5,65LAc	36,0M	71,0A	4,8B	0,24M	5,50M	0,57B	2,1M	3,2M	278,0A	4,4B	0,40B
0750	R2-0-15		5,58LAc	40,0M	109,0A	7,7B	0,29M	3,50B	0,41B	2,4M	2,9M	291,0A	4,5B	0,60B
0751	R2-15-30		5,35Ac RC	40,0M	58,0A	8,4B	0,35M	4,30M	0,53B	2,1M	4,6A	287,0A	5,2M	0,50B
0752	R3-0-15		5,56LAc	61,0A	111,0A	8,3B	0,49A	3,50B	0,57B	2,7M	4,1A	301,0A	5,7M	0,40B
0753	R3-15-30		5,52LAc	36,0M	36,0A	4,5B	0,28M	3,00B	0,38B	1,2B	3,6M	236,0A	4,0B	0,50B

INTERPRETACION		
pH		Elemento: de NH4 a B
Ac	= Acido	N = Neutro
LAc	= Liger. Acido	LAl = Liga. Alcalino
PN	= Prac. Neutro	Al = Alcalino
	RC = Requies Cal	B = Bajo
		M = Medio
		A = Aho
		T = Tóxico (Boro)

METODOLOGIA USADA	EXTRACTANTES
pH = Suelo: agua (1-2,5)	Olus Modificado
N,P,B = Colorimetria	N,P,K,Ca,Mg,Cu,Fe,Mn,Zn
S = Turbidimetria	Fosfato Monobásico de Calcio
K,Ca,Mg,Cu,Fe,Mn,Zn = Absorción atómica	B.S


RESPONSABLE LABORATORIO

LABORATORISTA

Para la versión original, favor remitirse al Laboratorio del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas de INIAP Sta. Catalina

	ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA" LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340 Quito- Ecuador Telf.: 690-691/92/93 Fax: 690-693	
---	--	---

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

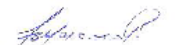

DATOS DEL PROPIETARIO Nombre : ALONSO MAFLA Dirección : TULCÁN Ciudad : Teléfono : Fax :	DATOS DE LA PROPIEDAD Nombre : CUASPUD Provincia : CARCHI Cantón : TULCÁN Parroquia : SANTA MARTHA DE CUBA Ubicación : PROY. INIAP-IEE	PARA USO DEL LABORATORIO Cultivo Actual : PAPA Fecha de Muestreo : 03/09/2013 Fecha de Ingreso : 06/09/2013 Fecha de Salida : 22/07/2014
--	--	---

N° Muestr. Laborat.	meq/100ml			dS/m	C.E.	M.O.	Ca	Mg	Ca+Mg	meq/100ml	%	NTot	ppm	Textura (%)			Clase Textural
	Al+H	Al	Na											Arena	Limo	Arcilla	
0748						15,3A	9,0	1,76	17,61	7,63				51	36	13	Franco
0749						14,4A	9,6	2,38	25,29	6,31				51	36	13	Franco
0750						12,6A	8,5	1,41	13,48	4,20				55	32	13	Franco-Arenoso
0751	2,24T	0,85M				9,9A	8,1	1,51	13,80	7,42				55	32	13	Franco-Arenoso
0752	2,20T	0,99M				13,7A	6,1	1,16	8,31	6,76				51	36	13	Franco
0753	2,18T	0,79M				10,3A	7,8	1,36	12,07	5,84				55	34	11	Franco-Arenoso

INTERPRETACION					
AH, Al y Na		C.E.		M.O. y Cl	
B	= Bajo	NS	= No Salino	S	= Salino
M	= Medio	LS	= Lig. Salino	MS	= Muy Salino
T	= Tóxico			B	= Bajo
				M	= Medio
				A	= Aho

ABREVIATURAS
C.E. = Conductividad Eléctrica
M.O. = Materia Orgánica
RAS = Relación de Adsorción de Sodio

METODOLOGIA USADA
C.E. = Pasta Saturada
M.O. = Titulación de Walkley Black
Al+H = Titulación con NaOH


RESPONSABLE LABORATORIO

LABORATORISTA

Para la versión original, favor remitirse al Laboratorio del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas de INIAP Sta. Catalina

b) LOCALIDAD 2: CANCHAGUANO, MONTUFAR, CARCHI.

	ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA" LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340 Quito-Ecuador Telf: 690-691/92/93 Fax: 690-693	
---	---	---

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO Nombre : JOSÉ ULCUANGO Dirección : MONTUFAR Ciudad : Teléfono : Fax :	DATOS DE LA PROPIEDAD Nombre : CANCHAGUANO Provincia : CARCHI Cantón : MONTUFAR Parroquia : SAN GABRIEL Ubicación : PROY. INIAP-IEE	PARA USO DEL LABORATORIO Cultivo Actual : PAPA Fecha de Muestreo : 03/09/2013 Fecha de Ingreso : 06/09/2013 Fecha de Salida : 22/07/2014
---	---	---

N° Muest. Laborat.	Datos del Lote		pH	ppm			meq/100ml			ppm				
	Identificación			NH ₄	P	S	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B
0742	R1-0-15		5,76LAc	35,0 M	87,0 A	7,7 B	0,87 A	8,10 A	0,96 B	6,8 M	9,4 A	732,0 A	9,7 M	1,00 M
0743	R1-15-30		5,64LAc	59,0 M	110,0 A	12,0 M	0,73 A	9,40 A	1,30 M	5,9 M	8,8 A	870,0 A	9,8 M	1,00 M
0744	R2-0-15		5,75LAc	53,0 M	106,0 A	7,0 B	0,77 A	7,50 M	0,89 B	6,0 M	8,5 A	714,0 A	9,9 M	1,00 M
0745	R2-15-30		5,78LAc	38,0 M	95,0 A	9,5 B	0,57 A	7,80 M	0,84 B	4,2 M	8,4 A	678,0 A	7,2 M	0,90 B
0746	R3-0-15		5,79LAc	41,0 M	113,0 A	6,6 B	0,74 A	6,80 M	0,78 B	5,7 M	7,9 A	711,0 A	11,4 M	1,00 M
0747	R3-15-30		5,78LAc	40,0 M	99,0 A	6,4 B	0,52 A	7,90 M	0,93 B	3,8 M	7,9 A	693,0 A	6,9 M	0,90 B

INTERPRETACION		
pH		Elementos de NH ₄ a B
Ac	= Acido	N = Neutro
LAc	= Liger. Acido	LA = Liga. Alcalino
PN	= Prac. Neutro	Al = Alcalino
RC	= Requiere Cal	
B	= Bajo	
M	= Medio	
A	= Alto	
T	= Tóxico (Bere)	

METODOLOGIA USADA	EXTRACTANTES
pH = Suelo: agua (1:2,5)	Olus Modificado
N,P,B = Colorimetría	N,P,K,Ca,Mg,Cu,Fe,Mn,Zn
S = Turbidimetría	Fosfato Monobásico de Calcio
K,Ca,Mg,Cu,Fe,Mn,Zn = Absorción atómica	B.S

RESponsable LABORATORIO

Para la versión original, favor remitirse al Laboratorio del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas de INIAP Sta. Catalina

LABORATORISTA

	ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA" LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340 Quito-Ecuador Telf: 690-691/92/93 Fax: 690-693	
---	---	---

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO Nombre : JOSÉ ULCUANGO Dirección : MONTUFAR Ciudad : Teléfono : Fax :	DATOS DE LA PROPIEDAD Nombre : CANCHAGUANO Provincia : CARCHI Cantón : MONTUFAR Parroquia : SAN GABRIEL Ubicación : PROY. INIAP-IEE	PARA USO DEL LABORATORIO Cultivo Actual : PAPA Fecha de Muestreo : 03/09/2013 Fecha de Ingreso : 06/09/2013 Fecha de Salida : 22/07/2014
---	---	---

N° Muest. Laborat.	meq/100ml			dS/m C.E.	(%) M.O.	Ca Mg Ca+Mg			meq/100ml Σ Bases	%	ppm Cl	Textura (%)			Clase Textural
	Al+H	Al	Na			Mg	K	K				Arena	Limo	Arcilla	
0742				4,5 M	8,4	1,10	10,41	9,93				41	32	27	Franco
0743				5,0 M	7,2	1,78	14,66	11,43				41	32	27	Franco
0744				4,6 M	8,4	1,16	10,90	9,16				41	34	25	Franco
0745				4,1 M	9,2	1,47	15,16	9,21				47	28	25	Franco
0746				3,8 M	8,7	1,05	10,24	8,32				51	30	19	Franco
0747				3,6 M	8,4	1,79	16,98	9,35				51	26	23	Franco

INTERPRETACION		
Al+H, Al y Na		C.E.
B = Bajo	NS = No Salino	S = Salino
M = Medio	LS = Lig. Salino	MS = Muy Salino
T = Tóxico		
B	= Bajo	
M	= Medio	
A	= Alto	

ABREVIATURAS
C.E. = Conductividad Eléctrica
M.O. = Materia Orgánica
RAS = Relación de Adsorción de Sodio

METODOLOGIA USADA
C.E. = Pasta Saturada
M.O. = Titulación de Walkley Black
Al+H = Titulación con NaOH

RESponsable LABORATORIO

Para la versión original, favor remitirse al Laboratorio del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas de INIAP Sta. Catalina

LABORATORISTA

c) LOCALIDAD 3: LA LIBERTAD, ESPEJO, CARCHI.

	ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA" LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340 Quito- Ecuador Telf.: 690-691/92/93 Fax: 690-693	
---	---	---

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO Nombre : PEDRO CANACUAN Dirección : ESPEJO Ciudad : Teléfono : Fax :	DATOS DE LA PROPIEDAD Nombre : LA LIBERTAD Provincia : CARCHI Cantón : ESPEJO Parroquia : LA LIBERTAD Ubicación : PROY. INIAP-IEE	PARA USO DEL LABORATORIO Cultivo Actual : PAPA Fecha de Muestreo : 05/09/2013 Fecha de Ingreso : 06/09/2013 Fecha de Salida : 22/07/2014
--	---	---

N° Muest. Laborat.	Datos del Lote		pH	ppm			meq/100ml			ppm				
	Identificación			NH ₄	P	S	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B
0754	R1-0-15		5,42 Ac RC	57,0 M	107,0 A	24,0 A	0,66 A	8,60 A	1,20 M	4,9 M	8,6 A	753,0 A	8,9 M	1,00 M
0755	R1-15-30		5,30 Ac RC	66,0 A	112,0 A	31,0 A	0,62 A	9,50 A	1,50 M	4,7 M	7,8 A	816,0 A	9,9 M	1,00 M
0756	R2-0-15		5,09 Ac RC	66,0 A	141,0 A	31,0 A	0,75 A	6,40 M	1,10 M	5,3 M	6,8 A	768,0 A	13,5 M	1,10 M
0757	R2-15-30		5,39 Ac RC	67,0 A	134,0 A	29,0 A	0,63 A	8,00 M	1,10 M	4,7 M	7,5 A	804,0 A	11,9 M	1,10 M
0758	R3-0-15		4,99 Ac RC	76,0 A	165,0 A	27,0 A	0,77 A	6,30 M	0,98 B	6,0 M	7,0 A	882,0 A	16,3 A	0,80 B
0759	R3-15-30		5,08 Ac RC	71,0 A	149,0 A	25,0 A	0,59 A	6,00 M	0,87 B	5,0 M	7,1 A	855,0 A	12,7 M	0,90 B

INTERPRETACION		
pH	Elemento: de NH ₄ + B	
Ac = Acido	N = Neutro	B = Bajo
LAc = Liger. Acido	LAl = Liger. Alcalino	M = Medio
PN = Prac. Neutro	Al = Alcalino	A = Alto
	RC = Requiere Cal	T = Tóxico (Boro)

METODOLOGIA USADA	EXTRACTANTES
pH = Suelo: agua (1:2,5)	Olivo Modificado
N,P,B = Colorimetría	N,P,K,Ca,Mg,Cu,Fe,Mn,Zn
S = Turbidimetría	Fosfato Monobásico de Calcio
K,Ca,Mg,Cu,Fe,Mn,Zn = Absorción atómica	B.S

RESPONSABLE LABORATORIO

Para la versión original, favor remitirse al Laboratorio del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas de INIAP Sta. Catalina

LABORATORISTA

	ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA" LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340 Quito- Ecuador Telf.: 690-691/92/93 Fax: 690-693	
---	---	---

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO Nombre : PEDRO CANACUAN Dirección : ESPEJO Ciudad : Teléfono : Fax :	DATOS DE LA PROPIEDAD Nombre : LA LIBERTAD Provincia : CARCHI Cantón : ESPEJO Parroquia : LA LIBERTAD Ubicación : PROY. INIAP-IEE	PARA USO DEL LABORATORIO Cultivo Actual : PAPA Fecha de Muestreo : 05/09/2013 Fecha de Ingreso : 06/09/2013 Fecha de Salida : 22/07/2014
--	---	---

N° Muest. Laborat.	meq/100ml			dS/m	C.E. (%)		Ca Mg Ca+Mg meq/100ml				%	ppm	Textura (%)			Clase Textural
	Al+H	Al	Na		C.E.	M.O.	Mg	K	Ca	Σ Bases			NTot	Cl	Arena	
0754	0,80 M				5,7 A		7,1	1,82	14,85	11,26			37	36	27	Franco-Arcilloso
0755	1,62 T	0,95 M			6,0 A		6,3	2,42	17,74	13,24			37	36	27	Franco-Arcilloso
0756	1,64 T	0,66 M			5,9 A		5,8	1,47	10,00	9,89			37	36	27	Franco-Arcilloso
0757	1,17 M	0,47 M			9,7 A		7,2	1,75	14,44	10,90			37	36	27	Franco-Arcilloso
0758	1,62 T	0,51 M			5,3 A		6,4	1,27	9,45	9,67			37	34	29	Franco-Arcilloso
0759	1,72 T	0,60 M			5,8 A		6,9	1,47	11,64	9,18			37	34	29	Franco-Arcilloso

INTERPRETACION		
Al+H, Al y Na	C.E.	M.O. y Cl
B = Bajo	NS = No Salino	S = Salino
M = Medio	LS = Lig. Salino	MS = Muy Salino
T = Tóxico		A = Alto

ABREVIATURAS
C.E. = Conductividad Eléctrica
M.O. = Materia Orgánica
RAS = Relación de Adsorción de Sodio

METODOLOGIA USADA
C.E. = Pasta Saturada
M.O. = Titulación de Walkley Black
Al+H = Titulación con NaOH

RESPONSABLE LABORATORIO

Para la versión original, favor remitirse al Laboratorio del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas de INIAP Sta. Catalina

LABORATORISTA

Anexo 7. Descripción fotográfica del estudio, Carchi.



1) Muestreo inicial de suelos



2) Siembra y fertilización inicial



3) Retape y fertilización del agricultor



4) Toma de emergencia



5) Deshierba y primera fertilización complementaria



6) Medio aporte y segunda fertilización complementaria



7) Toma de altura de planta



8) Toma de clorofila



9) Toma de color de hoja



10) Aporque



11) Días a la floración



12) Inicio de sequía en Canchaguano



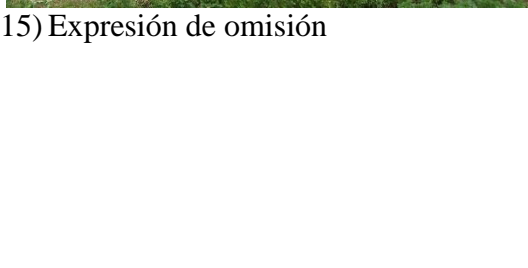
13) Visitas técnicas



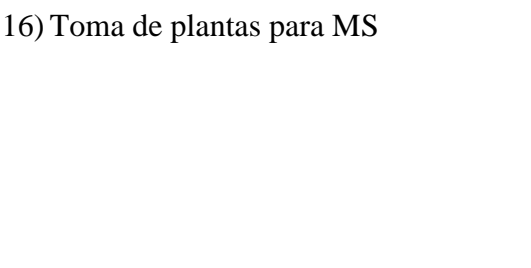
14) Granizada en Cuaspud



15) Expresión de omisión



16) Toma de plantas para MS





17) Cosecha



18) Clasificación de tubérculos



19) Medición de densidad aparente



20) Cálculo de materia seca



21) Pruebas de fritura



22) Molienda de tejidos



23) Día de campo



24) Equipo investigador

Anexo 8. ADEVAS de las variables fenológicas de la localidad Cuaspud, Tulcán, Carchi.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios				
		Emergencia	Tallos por planta	Días a la floración	Días a la madurez	Altura de planta
Total	29					
Tratamientos	9	2.44 ns	0.52 ns	2.82 ns	103.22 **	44.72 ns
Repeticiones	2	1.73 ns	3.63 **	16.03 *	10.83 ns	93.06 ns
Error experimental	18	4.40	0.30	2.89	4.02	72.36
C.V. (%) [†]		2.15	10.47	2.06	1.31	9.76

[†]CV= Coeficiente de variación, ns=no significativo, *=significativo, **=altamente significativo.

Anexo 9. ADEVAS del rendimiento total y por categorías en la localidad Cuaspud, Carchi.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios				
		Primera categoría	Segunda categoría	Tercera categoría	Cuarta categoría	Rendimiento total
Total	29					
Tratamientos	9	15.62 ns	1.82 ns	1.17 ns	0.23 ns	24.77 **
Repeticiones	2	4.71 ns	4.43 ns	10.69 **	3.70 **	2.66 ns
Error experimental	18	8.67	2.07	1.28	0.23	5.18
C.V. (%) [†]		34.71	24.01	31.63	40.11	11.83

[†]CV= Coeficiente de variación, ns=no significativo, *=significativo, **=altamente significativo.

Anexo 10. ADEVAS de las variables de calidad industrial en la localidad Cuaspud, Carchi.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios		
		Materia seca del tubérculo	Gravedad específica del tubérculo	Hojuelas buenas
Total	29			
Tratamientos	9	0.29 ns	1.3×10^{-5} ns	12.19 ns
Repeticiones	2	1.64 ns	2.8×10^{-5} ns	49.89 ns
Error experimental	18	0.77	1.4×10^{-5}	25.31
C.V. (%) [†]		3.88	0.34	5.23

[†]CV= Coeficiente de variación, ns=no significativo, *=significativo, **=altamente significativo.

Anexo 11. ADEVAS y separación de medias del índice de clorofila medido en diferentes etapas del cultivo en la localidad Cuaspud, Carchi.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios			
		Clorofila al Medio Aporque	Clorofila al Aporque	Clorofila a la Floración	Clorofila al Engrose
Total	29				
Tratamientos	9	8.16 ns	32.30 **	23.30 **	43.95 **
Repeticiones	2	10.10 ns	0.83 ns	25.96 *	8.37 ns
Error experimental	18	4.40	6.09	4.40	6.36
C.V. (%) [†]		8.48	10.57	7.35	9.36

[†]CV= Coeficiente de variación, ns=no significativo, *=significativo, **=altamente significativo.

Tratamientos	Clorofila al Medio Aporque	Clorofila al Aporque	Clorofila a la Floración	Clorofila al Engrose
	CCI ^Y			
FC ^S	26.40	25.17 ab	28.47 abc	35.77 a
-N	22.97	19.47 bc	24.50 abc	24.30 bc
-P	23.57	21.33 abc	26.03 abc	26.53 bc
-K	24.93	25.37 ab	28.47 abc	24.77 bc
-Ca	24.47	27.00 a	29.40 ab	27.33 bc
-Mg	24.83	24.10 ab	28.90 ab	27.87 bc
-S	26.03	24.97 ab	25.33 abc	25.70 bc
-B	22.23	26.67 ab	30.57 a	29.90 ab
TA	27.70	16.87 c	22.37 c	21.57 c
FA	24.13	22.43 abc	23.43 bc	25.57 bc
Promedio	24.73	23.34	26.75	26.93

^YCCI= Índice de contenido de clorofila. ^SFC= fertilización completa, -N= sin nitrógeno, -P= sin fósforo, -K= sin potasio, -Ca= sin calcio, -Mg= sin magnesio, -S= sin azufre, -B= sin boro, TA= testigo absoluto, FA= fertilización agricultor. Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey p=0.05).

Anexo 12. ADEVAS de la concentración de nutrientes en el tubérculo en la localidad Cuaspud, Carchi.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Total	29						
Tratamientos	9	0.06 *	5.5x10 ⁻⁴ ns	0.02 ns	2.4x10 ⁻⁴ **	1.3x10 ⁻⁴ *	5.2x10 ⁻⁴ ns
Repeticiones	2	0.06 ns	3.8x10 ⁻³ **	0.01 ns	1.3x10 ⁻⁵ ns	2.3x10 ⁻⁵ ns	6.4x10 ⁻⁴ ns
Error experimental	18	0.02	2.6x10 ⁻⁴	0.02	6.5x10 ⁻⁵	4.9x10 ⁻⁵	3.1x10 ⁻⁴
C.V. (%) ^Y		8.89	8.25	6.89	11.76	5.22	19.07

^YCV= Coeficiente de variación, ns= no significativo, *=significativo, **= altamente significativo.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios				
		B	Zn	Cu	Fe	Mn
Total	29					
Tratamientos	9	0.82 **	1.77 ns	0.91 *	11.34 **	2.19 **
Repeticiones	2	0.07 ns	2.01 ns	6.58 **	33.62 **	2.78 **
Error experimental	18	0.21	1.99	0.28	2.99	0.36
C.V. (%) ^Y		9.05	15.26	11.36	6.84	8.18

^YCV= Coeficiente de variación, ns= no significativo, *=significativo, **= altamente significativo.

Anexo 13. ADEVAS de la absorción total de macro nutrientes y boro en la localidad Cuaspud, Carchi.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios						
		N	P	K	Ca	Mg	S	B
Total	29							
Tratamientos	9	1059.11 **	5.39 *	1309.64 *	88.68 *	10.07 **	2.16 ns	18576.03 *
Repeticiones	2	320.62 ns	11.29 *	1968.12 *	48.58 ns	1.56 ns	3.59 ns	8679.86 ns
Error experimental	18	153.87	2.02	447.23	34.07	1.72	1.71	6943.20
C.V. (%) [†]		13.35	14.07	13.59	23.32	13.11	22.93	16.90

[†]CV= Coeficiente de variación, ns= no significativo, *=significativo, **= altamente significativo.

Anexo 14. ADEVAS de los macro nutrientes y boro absorbidos por el follaje en la localidad Cuaspud, Carchi.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios						
		N	P	K	Ca	Mg	S	B
Total	29							
Tratamientos	9	67.37 ns	0.23 ns	420.17 ns	69.34 *	3.15 **	0.25 ns	6168.41 ns
Repeticiones	2	26.81 ns	0.22 ns	1450.52 *	34.27 ns	1.01 ns	0.33 ns	7646.54 ns
Error experimental	18	45.01	0.20	243.20	26.59	0.74	0.21	3396.40
C.V. (%) [†]		32.35	32.29	24.68	26.81	23.92	32.35	23.63

[†]CV= Coeficiente de variación, ns= no significativo, *=significativo, **= altamente significativo.

Anexo 15. ADEVAS de los macro nutrientes y boro absorbidos por la raíz en la localidad Cuaspud, Carchi.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios						
		N	P	K	Ca	Mg	S	B
Total	29							
Tratamientos	9	1.92 ns	0.01 ns	4.33 ns	0.67 ns	0.02 ns	0.01 ns	38.13 ns
Repeticiones	2	1.82 ns	0.02 ns	0.01 ns	1.58 ns	0.04 ns	0.02 ns	61.41 ns
Error experimental	18	0.83	0.01	2.45	0.47	0.01	0.01	46.91
C.V. (%) [†]		23.52	25.97	30.37	24.58	21.41	27.09	26.23

[†]CV= Coeficiente de variación, ns= no significativo, *=significativo, **= altamente significativo.

Anexo 16. ADEVAS de los macro nutrientes y boro absorbidos por el tubérculo en la localidad Cuaspud, Carchi.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios						
		N	P	K	Ca	Mg	S	B
Total	29							
Tratamientos	9	581.06 **	3.54 ns	349.4 *	1.26 **	2.28 **	1.19 ns	3420.73 *
Repeticiones	2	151.19 ns	7.84 *	39.08 ns	0.04 ns	0.10 ns	1.44 ns	406.26 ns
Error experimental	18	87.73	1.57	129.32	0.32	0.59	1.09	1365.49
C.V. (%) [†]		13.71	14.85	13.03	18.68	13.09	26.22	16.78

[†]CV= Coeficiente de variación, ns= no significativo, *=significativo, **= altamente significativo.

Anexo 17. ADEVAS de las variables fenológicas de la localidad Canchaguano, Montufar, Carchi.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios				
		Emergencia	Tallos por planta	Días a la floración	Días a la madurez	Altura de planta
Total	29					
Tratamientos	9	4.58 ns	0.43 ns	1.69 ns	195.05 **	17.60 ns
Repeticiones	2	3.43 ns	1.63 ns	0.13 ns	10.03 ns	42.61 *
Error experimental	18	4.99	0.49	3.69	4.77	10.02
C.V. (%) [†]		2.30	13.23	2.81	1.78	2.97

[†]CV= Coeficiente de variación, ns=no significativo, *=significativo, **= altamente significativo.

Anexo 18. ADEVAS de las variables rendimiento total y por categorías en la localidad Canchaguano, Carchi.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios				
		Primera categoría	Segunda categoría	Tercera categoría	Cuarta categoría	Rendimiento total
Total	29					
Tratamientos	9	5.25 *	4.15 ns	2.77 ns	0.22 ns	6.30 **
Repeticiones	2	24.59 **	42.35 **	6.25 *	0.78 *	0.46 ns
Error experimental	18	1.49	1.75	1.27	0.18	1.16
C.V. (%) [†]		37.06	17.79	17.71	24.39	5.71

[†]CV= Coeficiente de variación, ns=no significativo, *=significativo, **= altamente significativo.

Anexo 19. ADEVAS de las variables de calidad industrial en la localidad Canchaguano, Carchi.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios		
		Materia seca del tubérculo	Gravedad específica del tubérculo	Hojuelas buenas
Total	29			
Tratamientos	9	4.37 **	2.7×10^{-4} ns	25.78 ns
Repeticiones	2	0.25 ns	5.9×10^{-5} ns	118.59 ns
Error experimental	18	1.11	1.1×10^{-4}	40.38
C.V. (%) [†]		4.12	0.96	6.70

[†]CV= Coeficiente de variación, ns=no significativo, *=significativo, **= altamente significativo.

Anexo 20. ADEVAS y separación de medias del índice de clorofila medido en diferentes etapas del cultivo en la localidad Canchaguano, Carchi.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios			
		Clorofila al Medio Aporque	Clorofila al Aporque	Clorofila a la Floración	Clorofila al Engrose
Total	29				
Tratamientos	9	24.57 **	10.90 ns	44.91 **	106.68 **
Repeticiones	2	1.04 ns	75.08 *	5.54 ns	56.87 *
Error experimental	18	3.19	16.71	9.17	11.39
C.V. (%) [†]		5.68	12.57	7.99	10.18

[†]CV= Coeficiente de variación, ns= no significativo, *=significativo, **= altamente significativo.

Tratamientos	Clorofila al Medio Aporque	Clorofila al Aporque	Clorofila a la Floración	Clorofila al Engrose
	CCI [‡]			
FC [§]	35.00 ab	32.13	39.13 ab	40.44 a
-N	29.93 bcde	31.13	30.07 c	23.31 b
-P	30.77 abcde	33.07	38.00 abc	37.98 a
-K	34.10 abc	32.43	40.23 ab	36.31 a
-Ca	29.37 cde	32.17	40.63 ab	33.66 a
-Mg	33.07 abcd	34.37	42.73 a	38.63 a
-S	28.70 de	35.17	38.23 abc	31.71 ab
-B	35.27 a	34.67	39.70 ab	35.06 a
TA	26.73 e	28.83	32.23 bc	23.35 b
FA	31.43 abcde	31.27	38.20 abc	31.00 ab
Promedio	31.44	32.52	37.92	33.15

[‡]CCI= Índice de contenido de clorofila. [§]FC= fertilización completa, -N= sin nitrógeno, -P= sin fósforo, -K= sin potasio, -Ca= sin calcio, -Mg= sin magnesio, -S= sin azufre, -B= sin boro, TA= testigo absoluto, FA= fertilización agricultor. Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey p=0.05).

Anexo 21. ADEVAS de la concentración de nutrientes en el tubérculo en la localidad Canchaguano, Carchi.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios					
		N [‡]	P	K	Ca	Mg	S
Total	29						
Tratamientos	9	0.02 **	5.1x10 ⁻⁴ *	0.01 ns	1.6x10 ⁻⁴ *	1.3x10 ⁻⁴ **	5.1x10 ⁻⁴ *
Repeticiones	2	4.3x10 ⁻³ ns	2.1x10 ⁻⁴ ns	0.01 ns	7.0x10 ⁻⁵ ns	3.0x10 ⁻⁵ ns	6.3x10 ⁻⁵ ns
Error experimental	18	4.6x10 ⁻³	1.5x10 ⁻⁴	0.01	5.1x10 ⁻⁵	3.4x10 ⁻⁵	1.4x10 ⁻⁴
C.V. (%) [†]		12.94	5.23	3.79	6.58	4.06	8.09

[‡]Datos con transformación inversa (u=1 y-1) para corregir heterogeneidad de varianzas.

[†]CV= Coeficiente de variación, ns= no significativo, *=significativo, **= altamente significativo.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios				
		B ^x	Zn	Cu [£]	Fe	Mn
Total	29					
Tratamientos	9	0.02 *	16.81 **	3.7x10 ⁻⁴ ns	37.45 **	3.16 **
Repeticiones	2	0.01 ns	7.00 ns	2.0x10 ⁻⁴ ns	1.21 ns	1.32 ns
Error experimental	18	0.01	3.43	1.5x10 ⁻⁴	10.23	0.75
C.V. (%) [¤]		3.09	13.82	10.78	7.45	10.04

^xDatos con transformación raíz cuadrada ($u = \sqrt{y-1/2}$) para corregir heterogeneidad de varianzas.

[£]Datos con transformación inversa ($u = 1/y-1$) para corregir heterogeneidad de varianzas.

[¤]CV= Coeficiente de variación, ns= no significativo, *=significativo, **= altamente significativo.

Anexo 22. ADEVAS de la absorción total de macro nutrientes y boro en la localidad Canchaguano, Carchi.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios						
		N	P	K	Ca	Mg	S	B
Total	29							
Tratamientos	9	2521.14 **	7.37 **	3917.74 **	183.09 ns	7.53 **	7.37 **	58878.45 *
Repeticiones	2	273.91 ns	2.28 ns	3236.66 *	155.88 ns	0.82 ns	2.03 ns	54994.84 ns
Error experimental	18	284.44	1.08	634.06	106.60	1.70	1.47	20512.51
C.V. (%) [¤]		11.28	7.02	11.3	18.21	10.03	9.56	14.64

[¤]CV= Coeficiente de variación, ns= no significativo, *=significativo, **= altamente significativo.

Anexo 23. ADEVAS de los macro nutrientes y boro absorbidos por el follaje en la localidad Canchaguano, Carchi.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios						
		N	P	K	Ca	Mg	S	B
Total	29							
Tratamientos	9	690.31 **	2.33 **	3334.74 **	169.64 ns	5.50 **	2.90 *	44670.23 *
Repeticiones	2	167.72 ns	0.81 ns	2681.24 *	127.60 ns	0.80 ns	2.03 ns	46504.78 ns
Error experimental	18	102.38	0.49	474.41	82.58	0.87	1.15	16431.62
C.V. (%) [¤]		20.21	22.42	18.20	19.71	17.08	21.17	21.41

[¤]CV= Coeficiente de variación, ns= no significativo, *=significativo, **= altamente significativo.

Anexo 24. ADEVAS de los macro nutrientes y boro absorbidos por la raíz en la localidad Canchaguano, Carchi.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios						
		N	P	K	Ca	Mg	S	B
Total	29							
Tratamientos	9	1.71 ns	0.01 ns	3.02 ns	1.25 ns	0.04 ns	0.01 ns	158.00 *
Repeticiones	2	2.01 ns	0.02 *	14.64 **	1.98 ns	0.01 ns	0.04 ns	36.14 ns
Error experimental	18	1.1	0.01	1.92	1.63	0.03	0.01	51.82
C.V. (%) [¤]		22.37	26.85	18.89	23.87	23.94	25.78	19.44

[¤]CV= Coeficiente de variación, ns= no significativo, *=significativo, **= altamente significativo.

Anexo 25. ADEVAS de los macro nutrientes y boro absorbidos por el tubérculo en la localidad Canchaguano, Carchi.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios						
		N	P	K	Ca	Mg	S	B
Total	29							
Tratamientos	9	614.91 **	2.76 **	115.28 *	0.86 *	1.10 **	2.44 **	2934.60 **
Repeticiones	2	126.11 ns	0.25 ns	14.43 ns	0.24 ns	0.09 ns	0.25 ns	405.97 ns
Error experimental	18	110.17	0.44	35.59	0.31	0.26	0.28	758.16
C.V. (%) [§]		11.07	5.79	6.23	10.58	7.45	7.44	8.05

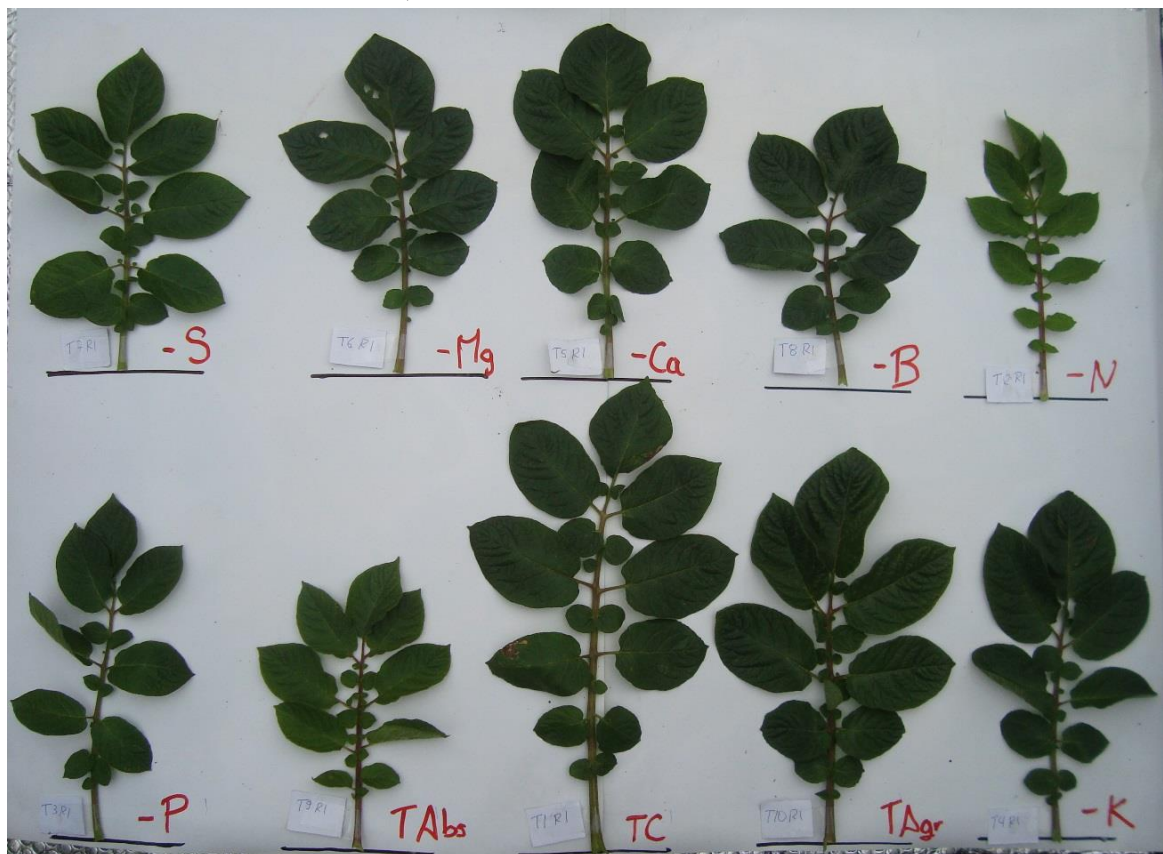
[§]CV= Coeficiente de variación, ns= no significativo, *=significativo, **= altamente significativo.

Anexo 26. ADEVAS de las variables fenológicas de la localidad La Libertad, Carchi.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios				
		Emergencia	Tallos por planta	Días a la floración	Días a la madurez	Altura de planta
Total	29					
Tratamientos	9	7.78 ns	0.73 ns	10.61 ns	216.70 **	534.42 **
Repeticiones	2	6.53 ns	1.63 *	1.63 ns	8.63 ns	22.95 ns
Error experimental	18	3.42	0.45	4.71	7.74	16.99
C.V. (%) [§]		1.90	11.68	2.40	1.82	4.38

[§]CV= Coeficiente de variación, ns= no significativo, *=significativo, **= altamente significativo.

Anexo 27. Muestreo al azar de la octava hoja de una planta de cada tratamiento a los 110 dds en la localidad La Libertad, Carchi.



[§]TC= Fertilización completa, -N= Sin nitrógeno, -P= Sin fósforo, -K= Sin potasio, -Ca= Sin calcio, -Mg= Sin magnesio, -S= Sin azufre, -B= Sin boro, TAbs= Testigo absoluto, TAg= Fertilización agricultor.

Anexo 28. ADEVAS de las variables rendimiento total y por categorías en la localidad La Libertad, Carchi.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios				Rendimiento total
		Primera categoría	Segunda categoría	Tercera categoría	Cuarta categoría	
Total	29					
Tratamientos	9	74.21 **	26.72 **	2.19 ns	0.08 ns	187.35 **
Repeticiones	2	19.82 *	2.26 ns	10.59 *	1.59 **	0.27 ns
Error experimental	18	4.94	4.15	2.64	0.20	5.85
C.V. (%) [†]		19.77	19.56	32.65	30.28	8.60

[†]CV= Coeficiente de variación, ns=no significativo, *=significativo, **= altamente significativo.

Anexo 29. ADEVAS de las variables de calidad industrial en la localidad La Libertad, Carchi.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios		
		Materia seca del tubérculo	Gravedad específica del tubérculo	Hojuelas buenas
Total	29			
Tratamientos	9	1.41 ns	5.9×10^{-5} **	60.91 ns
Repeticiones	2	0.37 ns	1.6×10^{-5} ns	207.25 **
Error experimental	18	1.22	7.8×10^{-6}	27.74
C.V. (%) [†]		4.51	0.25	5.68

[†]CV= Coeficiente de variación, ns= no significativo, *=significativo, **= altamente significativo.

Anexo 30. ADEVAS y separación de medias del índice de clorofila medido en diferentes etapas del cultivo en la localidad La Libertad, Carchi.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios			
		Clorofila al Medio Aporque	Clorofila al Aporque	Clorofila a la Floración	Clorofila al Engrose
Total	29				
Tratamientos	9	19.37 ns	63.14 **	91.19 **	120.81 **
Repeticiones	2	8.99 ns	11.73 ns	3.62 ns	10.24 ns
Error experimental	18	11.10	9.67	8.47	4.09
C.V. (%) [†]		10.54	9.72	11.26	8.79

[†]CV= Coeficiente de variación, ns= no significativo, *=significativo, **= altamente significativo.

Tratamientos	Clorofila al	Clorofila al	Clorofila a la	Clorofila al
	Medio Aporque	Aporque	Floración	Engrose
	CCI[‡]			
FC [§]	33.13	35.57 a	27.57 a	24.76 a
-N	26.17	23.77 c	17.47 bc	10.83 b
-P	34.17	29.30 abc	30.50 a	25.95 a
-K	32.97	33.53 ab	27.20 a	26.71 a
-Ca	32.37	36.17 a	30.27 a	24.95 a
-Mg	31.17	33.40 ab	30.97 a	25.77 a
-S	34.17	34.90 a	28.97 a	25.53 a
-B	32.97	35.97 a	26.03 a	28.79 a
TA	29.47	24.57 bc	14.90 c	11.51 b
FA	29.60	32.73 abc	24.60 ab	25.31 a
Promedio	31.62	31.99	25.85	23.01

[‡]CCI= Índice de contenido de clorofila. [§]FC= fertilización completa, -N= sin nitrógeno, -P= sin fósforo, -K= sin potasio, -Ca= sin calcio, -Mg= sin magnesio, -S= sin azufre, -B= sin boro, TA= testigo absoluto, FA= fertilización agricultor. Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey p=0.05).

Anexo 31. ADEVAS de la concentración de nutrientes en el tubérculo en la localidad La Libertad, Carchi.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Total	29						
Tratamientos	9	0.11 **	8.4x10 ⁻⁴ **	0.01 ns	2.8x10 ⁻⁵ ns	3.3x10 ⁻⁴ *	1.9x10 ⁻⁴ ns
Repeticiones	2	0.01 ns	5.6x10 ⁻⁴ ns	0.05 ns	6.3x10 ⁻⁵ ns	2.3x10 ⁻⁵ ns	5.7x10 ⁻⁴ ns
Error experimental	18	0.02	1.6x10 ⁻⁴	0.02	5.6x10 ⁻⁵	9.4x10 ⁻⁵	2.0x10 ⁻⁴
C.V. (%) [‡]		10.99	7.21	8.28	8.07	9.16	12.29

[‡]CV= Coeficiente de variación, ns= no significativo, *=significativo, **= altamente significativo.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios				
		B [‡]	Zn	Cu	Fe	Mn
Total	29					
Tratamientos	9	1.0x10 ⁻³ **	4.95 ns	0.84 **	19.88 ns	3.91 *
Repeticiones	2	2.4x10 ⁻⁴ ns	1.24 ns	1.81 **	23.69 ns	0.57 ns
Error experimental	18	2.7x10 ⁻⁴	3.04	0.22	11.58	1.43
C.V. (%) [‡]		9.00	17.52	9.04	9.21	16.42

[‡]Datos con transformación inversa (u=1 y-1) para corregir heterogeneidad de varianzas.

[‡]CV= Coeficiente de variación, ns= no significativo, *=significativo, **= altamente significativo.

Anexo 32. ADEVAS de la absorción total de macro nutrientes y boro en la localidad La Libertad, Carchi.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios						
		N	P	K	Ca	Mg	S	B
Total	29							
Tratamientos	9	4503.87 **	40.18 **	6576.44 **	532.15 **	40.61 **	25.47 **	284668.74 **
Repeticiones	2	57.25 ns	4.09 *	1671.79 *	15.55 ns	12.26 *	3.92 ns	3184.36 ns
Error experimental	18	153.94	0.97	413.65	77.77	3.22	1.85	46445.40
C.V. (%) ^a		10.06	6.83	11.46	16.31	11.84	11.62	21.98

^aCV= Coeficiente de variación, ns= no significativo, *=significativo, **= altamente significativo.

Anexo 33. ADEVAS de los macro nutrientes y boro absorbidos por el follaje en la localidad La Libertad, Carchi.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios						
		N	P	K	Ca	Mg	S	B
Total	29							
Tratamientos	9	216.98 *	0.44 ns	1127.90 **	380.35 **	6.67 ns	1.36 *	122833.05 *
Repeticiones	2	130.06 ns	0.23 ns	579.08 ns	6.10 ns	9.31 ns	0.26 ns	2800.90 ns
Error experimental	18	73.38	0.26	229.36	74.23	2.85	0.52	37648.32
C.V. (%) ^a		29.50	25.19	24.49	20.01	24.18	23.33	35.48

^aCV= Coeficiente de variación, ns= no significativo, *=significativo, **= altamente significativo.

Anexo 34. ADEVAS de los macro nutrientes y boro absorbidos por la raíz en la localidad La Libertad, Carchi.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios						
		N	P	K	Ca	Mg	S	B
Total	29							
Tratamientos	9	2.72 ns	0.02 ns	3.00 ns	1.68 ns	0.03 ns	0.04 ns	311.96 ns
Repeticiones	2	1.89 ns	0.03 ns	17.76 *	1.55 ns	0.17 **	0.04 ns	145.45 ns
Error experimental	18	2.39	0.02	4.07	1.06	0.02	0.02	225.03
C.V. (%) ^a		27.82	31.7	30.04	22.28	19.58	23.3	31.16

^aCV= Coeficiente de variación, ns= no significativo, *=significativo, **= altamente significativo.

Anexo 35. ADEVAS y separación de medias de los macro nutrientes y boro absorbidos por el tubérculo en la localidad La Libertad, Carchi.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios						
		N	P	K	Ca	Mg	S	B
Total	29							
Tratamientos	9	2808.31 **	32.77 **	2492.39 **	9.70 **	16.31 **	16.16 **	36894.14 **
Repeticiones	2	58.36 ns	2.33 ns	170.2 ns	0.32 ns	0.02 ns	3.09 ns	737.74 ns
Error experimental	18	72.36	0.93	135.42	0.52	0.75	1.55	2168.66
C.V. (%) ^a		9.59	8.04	10.69	11.33	11.71	15.59	12.09

^aCV= Coeficiente de variación, ns= no significativo, *=significativo, **= altamente significativo.

Anexo 36. ADEVAS de las variables fenológicas del análisis combinado, Carchi.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios				
		Emergencia	Tallos por planta	Días a la floración	Días a la madurez	Altura de planta
Total	89					
Localidades (L)	2	2.71 ns	2.34 ns	3798.70 **	9326.88 **	3941.28 **
Repeticiones dentro de localidades	6	3.90	2.30	5.93	9.83	5.23
Tratamientos (T)	9	6.00 ns	0.37 ns	6.80 ns	433.36 **	271.58 **
L x T	18	4.40 ns	0.65 ns	4.16 ns	40.80 **	117.28 **
Error experimental	54	4.27	0.41	3.76	5.51	18.08
C.V. (%) ^h		2.12	11.85	2.41	1.64	4.18

^hCV= Coeficiente de variación, ns=no significativo, *=significativo, **= altamente significativo.

Anexo 37. ADEVAS de las variables rendimiento total y por categoría del análisis combinado, Carchi.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios				
		Primera categoría	Segunda categoría	Tercera categoría	Cuarta categoría	Rendimiento total
Total	89					
Localidades (L)	2	489.42 **	152.89 *	57.56 *	2.34 ns	826.59 **
Repeticiones dentro de localidades	6	14.79 **	16.39	5.61	0.89	1.22
Tratamientos (T)	9	65.32 **	19.11 **	2.73 ns	0.16 ns	142.70 **
L x T	18	14.79	6.84 **	1.68 ns	0.18 ns	37.83 **
Error experimental	54	5.20	2.65	2.12	0.32	4.06
C.V. (%) ^h		29.69	20.47	29.32	38.58	9.13

^hCV= Coeficiente de variación, ns=no significativo, *=significativo, **= altamente significativo.

Anexo 38. ADEVAS de las variables de calidad industrial del análisis combinado, Carchi

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios		
		Materia seca del tubérculo	Gravedad específica del tubérculo	Hojuelas buenas
Total	89			
Localidades (L)	2	66.84 **	3.3×10^{-3} **	90.95 ns
Repeticiones dentro de localidades	6	0.50	2.8×10^{-5}	134.50
Tratamientos (T)	9	4.02 **	1.6×10^{-4} **	48.28 ns
L x T	18	1.03 ns	9.3×10^{-5} *	25.30 ns
Error experimental	54	1.06	4.6×10^{-5}	30.12
C.V. (%) ^h		4.26	0.61	5.80

^hCV= Coeficiente de variación, ns=no significativo, *=significativo, **= altamente significativo.

Anexo 39. ADEVAS y separación de medias del índice de clorofila medido en diferentes etapas del cultivo. Análisis combinado, Carchi.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios			
		Clorofila al Medio Aporque	Clorofila al Aporque	Clorofila a la Floración	Clorofila al Engrose
Total	89				
Localidades (L)	2	462.64 **	797.80 **	1356.32 **	782.87 *
Repeticiones dentro de localidades	6	7.09	29.94	6.68	25.84
Tratamientos (T)	9	19.37 **	84.50 **	127.52 **	213.76 **
L x T	18	16.36 **	10.91 ns	15.94 *	28.85 **
Error experimental	54	6.19	10.74	7.91	7.19
C.V. (%) [†]		8.50	11.19	9.32	9.68

[†]CV= Coeficiente de variación, ns= no significativo, *=significativo, **= altamente significativo.

Tratamientos	Clorofila al Medio Aporque	Clorofila al Aporque	Clorofila a la Floración	Clorofila al Engrose
	CCI [‡]			
FC [§]	31.51 a	30.96 a	31.72 ab	33.66 a
-N	26.36 b	24.79 bc	24.01 c	19.48 c
-P	29.50 ab	27.90 abc	31.51 ab	30.16 ab
-K	30.67 a	30.44 a	31.97 ab	29.27 b
-Ca	28.73 ab	31.78 a	33.43 a	28.66 b
-Mg	29.69 ab	30.62 a	34.20 a	30.75 ab
-S	29.63 ab	31.68 a	30.84 ab	27.66 b
-B	30.16 ab	32.43 a	32.10 ab	31.26 ab
TA	27.97 ab	23.42 c	23.17 c	18.80 c
FA	28.39 ab	28.81 ab	28.74 b	27.30 b
Promedio	29.26	29.28	30.17	27.70

[‡]CCI= Índice de contenido de clorofila. [§]FC= fertilización completa, -N= sin nitrógeno, -P= sin fósforo, -K= sin potasio, -Ca= sin calcio, -Mg= sin magnesio, -S= sin azufre, -B= sin boro, TA= testigo absoluto, FA= fertilización agricultor. Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey p=0.05).

Anexo 40. ADEVAS del análisis combinado de la concentración de nutrientes en el tubérculo, Carchi.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Total	89						
Localidades (L)	2	3.85 **	0.03 **	1.73 **	0.01 **	0.01 **	0.02 **
Repeticiones dentro de localidades	6	0.06	8.6x10 ⁻⁴	0.02	8.6x10 ⁻⁵	3.9x10 ⁻⁵	4.0x10 ⁻⁴
Tratamientos (T)	9	0.29 **	9.1x10 ⁻⁴ **	0.01 ns	2.0x10 ⁻⁴ **	4.5x10 ⁻⁴ **	2.4x10 ⁻⁴ ns
L x T	18	0.05 ns	4.9x10 ⁻⁴ *	0.01 ns	1.1x10 ⁻⁴ *	7.2x10 ⁻⁵ ns	4.9x10 ⁻⁴ *
Error experimental	54	0.03	2.6x10 ⁻⁴	0.01	5.3x10 ⁻⁵	5.7x10 ⁻⁵	2.2x10 ⁻⁴
C.V. (%) [†]		11.40	8.01	6.36	8.11	5.93	12.52

[†]CV= Coeficiente de variación, ns= no significativo, *=significativo, **= altamente significativo.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios				
		B	Zn	Cu	Fe	Mn
Total	89					
Localidades (L)	2	33.44 **	149.05 **	165.84 **	2413.15 **	17.00 **
Repeticiones dentro de localidades	6	0.16	2.95	1.64	11.45	0.86
Tratamientos (T)	9	1.10 **	14.92 **	2.18 **	22.07 *	5.22 **
L x T	18	0.56 **	4.31 ns	1.12 ns	23.30 **	2.02 *
Error experimental	54	0.24	2.87	0.78	9.16	0.92
C.V. (%) [¶]		8.33	15.60	14.08	8.64	12.42

[¶]CV= Coeficiente de variación, ns= no significativo, *=significativo, **= altamente significativo.

Anexo 41. ADEVAS del análisis combinado de la absorción total de macro nutrientes y boro, Carchi.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios						
		N	P	K	Ca	Mg	S	B
Total	89							
Localidades (L)	2	24086.12 **	203.88 **	35239.91 **	9267.19 **	201.00 **	427.24 **	2363780.42 **
Repeticiones dentro de localidades	6	235.23	3.96	1657.87	79.47	4.53	3.10	19762.03
Tratamientos (T)	9	7005.68 **	40.24 **	9512.53 **	596.45 **	44.74 **	12.82 **	255321.78 **
L x T	18	539.22 **	6.35 **	1145.65 *	103.74 ns	6.74 **	5.59 **	53400.72 *
Error experimental	54	195.42	1.57	568.80	72.13	2.25	1.69	24914.18
C.V. (%) [¶]		11.46	9.56	12.87	18.76	11.80	12.95	19.32

[¶]CV= Coeficiente de variación, ns= no significativo, *=significativo, **= altamente significativo.