



CRIA



**GOBIERNO de
GUATEMALA**
DR. ALEJANDRO GIAMMATTEI

Instituto de Ciencia y
Tecnología Agrícolas (ICTA)



Programa de consorcios de Investigación Agropecuaria

Cadena de Papa

**Efecto de la fertilización con macronutrientes, sobre el rendimiento del cultivo de papa
(*Solanum tuberosum* L.), en el altiplano occidental de Guatemala**

Ing. Agr. Eduardo Rodrigo Fuentes Navarro

Ing. Agr. Leonel Esteban Monterroso

Ing. Agr. Oscar Xutuj Castillo

Disciplina de Validación y Transferencia de Tecnología

ICTA-CIALO-

CIALO

Quetzaltenango, diciembre de 2020

“Este proyecto fue ejecutado gracias al apoyo financiero del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés). El contenido de esta publicación es responsabilidad de su(s) autor(es) y de la institución(es) a las que pertenecen. La mención de empresas o productos comerciales no implica la aprobación o preferencia sobre otros de naturaleza similar que no se mencionan”.

Resumen

El cultivo de papa para el altiplano occidental de Guatemala principalmente en los departamentos de Quetzaltenango, Huehuetenango y San Marcos se encuentra bien establecido, por tal razón a través del programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria IICA- CRIA, ICTA ejecutó el proyecto Determinación del efecto de niveles de fertilización con macronutrientes, en el rendimiento del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el altiplano occidental de Guatemala en el periodo 2019-2020. Con el propósito de validar una recomendación técnica para la nutrición de la papa que incremente los rendimientos de tubérculo de papa comercial, se validaron tres formulaciones químicas una por cada departamento, según estudios previos y agrupados por zonas homogéneas de suelo. Los resultados obtenidos indican que para el departamento de Quetzaltenango la fórmula 198 Kg de N, 72 Kg de P y 248 Kg de K por hectárea, presentó diferencia estadística significativa de rendimiento en comparación al testigo, únicamente para la categoría de Primera (22.12 t ha⁻¹ y 19.68 t ha⁻¹ respectivamente), mientras que para los departamentos de San Marcos con la recomendación de 135 Kg de N, 36 Kg de P y 106 Kg de K por ha⁻¹ y Huehuetenango con 73.30 kg N, 42.90 kg de P₂O₅ y 185 kg de K₂O por ha⁻¹, no presentaron diferencia estadística significativa con el rendimiento obtenido por la nutrición que habitualmente utiliza el agricultor en ambos departamentos. (29.46 t ha⁻¹ y 27.34 t ha⁻¹; 22.34 t ha⁻¹ y 23.31 t ha⁻¹ respectivamente)

Abstract

The Potato cultivation for the western highlands of Guatemala, mainly in the departments of Quetzaltenango, Huehuetenango and San Marcos, is well established, for this reason, through the IICA-CRIA Regional Consortiums for Agricultural Research program, ICTA executed the project Determination of the effect of levels of fertilization with macronutrients, in the yield of the potato crop (*Solanum tuberosum* L.) in the western highlands of Guatemala in the period 2019-2020. In order to validate a technical recommendation for potato nutrition that increases commercial potato tuber yields, three chemical formulations were validated, one for each department, according to previous studies and grouped by homogeneous soil zones. The results obtained indicate that for the department of Quetzaltenango the formula 198 Kg of N, 72 Kg of P and 248 Kg of K per hectare, presented a significant statistical difference in yield compared to the control, only for the First category (22.12 t ha⁻¹ and 19.68 t ha⁻¹ respectively), while for the departments of San Marcos with the recommendation of 135 Kg of N, 36 Kg of P and 106 Kg of K per ha⁻¹ and Huehuetenango with 73.30 kg N, 42.90 kg of P₂O₅ and 185 kg of K₂O per ha⁻¹, did not present statistically significant difference with the yield obtained by the nutrition that the farmer usually uses in both departments. (29.46 t ha⁻¹ and 27.34 t ha⁻¹; 22.34 t ha⁻¹ and 23.31 t ha⁻¹ respectively)

Índice

1.	Introducción.....	1
2.	Marco teórico.....	3
2.1.	Cultivo de papa en Guatemala.....	3
2.2.	Fertilización en el cultivo de papa.....	3
2.3.	Experiencias en nutrición en el cultivo de papa.....	4
2.4.	Estudios realizados sobre el efecto de niveles de fertilización con NPK en el cultivo de papa..	6
3.	Objetivos.....	7
4.	Hipótesis.....	8
5.	Metodología.....	8
5.1.	Localidades:.....	8
5.2.	Características de los suelos donde se establecerán los ensayos.....	9
5.3.	Diseño experimental.....	11
5.4.	Tratamientos:.....	11
5.5.	Tamaño de la Unidad Experimental:.....	13
5.6.	Modelo estadístico.....	13
5.7.	Variables de respuesta.....	14
5.8.	Análisis de la información.....	14
5.9.	Manejo del experimento.....	14
6.	Resultados y discusión.....	16
6.1.	Resultados departamento de San Marcos.....	17
6.1.1.	Análisis de rendimiento por categoría de papa producida.....	18
6.1.2.	Análisis de rendimiento total.....	19
6.1.3.	Análisis de estabilidad del rendimiento.....	20
6.1.4.	Análisis económico de las parcelas de validación.....	22
6.1.5.	Eficiencia en el uso de N, P ₂ O ₅ y K ₂ O en parcelas de validación de papa establecidas en San Marcos.....	26
6.1.6.	Opinión de los agricultores sobre la tecnología.....	29
6.1.7.	Conclusiones.....	30
6.1.8.	Recomendaciones.....	31
6.2.	Resultados departamento de Quetzaltenango.....	31
6.2.1.	Análisis de rendimiento por categoría de papa producida.....	31

6.2.2.	Análisis de rendimiento total.....	32
6.2.3.	Análisis de Regresión Lineal.....	33
6.2.4.	Análisis económico de los tratamientos	34
6.2.5.	Eficiencia en el uso de N, P ₂ O ₅ y K ₂ O en parcelas de validación de papa establecidas en el departamento de Quetzaltenango.	37
6.2.6.	Opinión de los productores sobre la tecnología validada.....	40
6.2.7.	Conclusiones	44
6.2.8.	Recomendaciones.....	44
6.3.	Resultados departamento de Huehuetenango	44
6.3.1.	Rendimiento por categorías	44
6.3.2.	Rendimiento total.....	46
6.3.3.	Análisis de la estabilidad.....	48
6.3.4.	Análisis económico para la nueva tecnología.....	50
6.3.5.	Eficiencia en el uso de N, P ₂ O ₅ y K ₂ O en parcelas de prueba de papa en Huehuetenango 54	
6.3.6.	Opinión de los agricultores.....	57
6.3.7.	Conclusiones	58
6.3.8.	Recomendaciones.....	58
7.	Referencias bibliográficas	59

1. Introducción

Actualmente la papa es uno de los cuatro cultivos alimenticios más importantes a nivel mundial, ocupando el cuarto lugar después de los cereales trigo, arroz y maíz. Según datos de la FAO, la producción mundial en el 2001 fue aproximadamente de 308 millones de toneladas en 19 millones de hectáreas con una productividad media de 16 t ha^{-1} . Más de un tercio de la producción mundial de papa proviene de los países en desarrollo. A comienzos de los años 60, éstos producían apenas el 11 por ciento. Esto último indica que los esfuerzos en investigación han jugado un papel importante en este cultivo, al proporcionar a los agricultores de escasos recursos una serie de nuevas tecnologías.

En la actualidad en Guatemala la mayor producción de papa, está ubicada en la región del altiplano occidental, en algunas localidades de la parte central del país, en la parte de la montaña de Jalapa y últimamente el cultivo se ha extendido a la parte alta de Baja Verapaz, principalmente en el municipio de Purulha.

Este cultivo por su alto valor energético constituye uno de los principales alimentos de la dieta de la mayoría de la población guatemalteca. Además, es un cultivo hortícola que en comparación con otros cultivos como maíz y frijol, ofrece mayor rentabilidad para el agricultor por los rendimientos por unidad de área.

Sin embargo, la mayoría de los agricultores tienen problemas en cuanto a bajos rendimientos y altos costos de producción, aunado a esto, es un cultivo que en un alto porcentaje es cultivado por pequeños y medianos productores, los cuales por falta de recursos no fertilizan, esto provoca que el mismo tenga bajos rendimientos y ser muy susceptibles a plagas y enfermedades.

ICTA, ha trabajado durante muchos años en este cultivo, pero ha quedado rezagado el manejo del mismo en lo que respecta a la fertilización, por lo que hoy asumiendo su papel de entidad encargada de la investigación agrícola del país, efectúa trabajos de investigación en el cultivo de la papa para dar a los productores de este cultivo una alternativa de fertilización técnicamente definida en base al tipo de suelo.

Para esto realizo una serie de pasos que van desde los ensayos exploratorio, luego ensayos agro técnicos, seguido de los ensayos agroeconómicos para pasar finalmente a las parcelas de prueba. Los resultados obtenidos serán publicados en la memoria de labores de la

institución y al consorcio Regional de Investigación Agropecuaria CRIA, para socializarlo con la comunidad científica nacional e internacional.

En la actualidad la mayor producción de papa, está ubicada en la región del altiplano occidental, y en algunas localidades de la parte central del país. Este cultivo por su alto valor energético constituye uno de los principales alimentos de la dieta de la mayoría de la población guatemalteca.

El uso de las diferentes metodologías de análisis e interpretación de rendimientos para dosificar fertilizantes en un cultivo específico, se hacen cada día más indispensables, pues estas metodologías permiten realizar un manejo racional de los mismos al sugerirse programas de fertilización basados en la demanda nutrimental del cultivo.

La dosificación adecuada de nutrimentos no solo contribuye a que el agricultor optimice sus recursos económicos, sino que también influye en la conservación de la fertilidad natural de los suelos y disminución de riesgos de contaminaciones ambientales entre otros, principalmente del recurso agua de los mantos freáticos y otros cuerpos de aguas superficiales, ya sea por lixiviación de nutrimentos o el arrastre de los mismos por las aguas de escorrentía.

La respuesta del cultivo de la papa a la aplicación de diferentes niveles de N-P₂O₅-K₂O, tiene por objeto determinar las dosis adecuadas de cada uno de ellos para formular programas de fertilización en función de un rendimiento esperado.

El Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas, a través del Programa de Nutrición Vegetal determinó, en 1973, los niveles adecuados de N-P-K en varios cultivos agrícolas incluyendo papa, como otra fase del proceso de evaluación de la fertilidad de los suelos. Esta información, unida al criterio de niveles de suficiencia de nutrimentos derivados de un método de alta correlación, es utilizada como fundamento para orientar programas de fertilización en diferentes cultivos.

Por lo antes expuesto y con él propósito de incrementar los rendimientos del cultivo de papa en la región, se plantea a través del programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria CRIA-IICA, agrocadena papa, la investigación para validar una recomendación técnica para la nutrición con macronutrientes en el cultivo de papa, que permita incrementar sus rendimientos y calidad de los tubérculos para la comercialización.

2. Marco teórico.

2.1. Cultivo de papa en Guatemala

Para el caso de Guatemala, la papa es un cultivo propio de regiones frías o templadas a altitudes de 1,500 a 3,600 msnm. La producción nacional se encuentra distribuida en los departamentos: Huehuetenango 32 %, Quetzaltenango 23%, San Marcos, 21 %, Guatemala 6%, Sololá 4% y los demás departamentos de la republica suman el 14% restante.

El 88.9% de la superficie cosechada se encuentra concentrada en 6 departamentos: Huehuetenango 29.1%, San Marcos 24%, Quetzaltenango 21.7%, Guatemala 5.6%, Jalapa 4.7% y Sololá 3.8%. (MAGA- DIPLAN, 2016)

La producción de papa para el año 2013 fue de 11,504,800.00 quintales, en una extensión de 29,800.00 manzanas, lo que estima un rendimiento de 386.10 quintales por manzana.

La producción para el año 2014 aumento en un 8.2% con respecto a la producción de papa reportado en la ENA-2013. (ENA, 2014)

2.2. Fertilización en el cultivo de papa

La práctica de la fertilización consiste en aplicar al suelo los nutrientes que se encuentran deficientes para la producción esperada. Los suelos sometidos a una agricultura intensiva si bien pueden tener una alta capacidad productiva, generalmente son deficientes en nitrógeno, fósforo, potasio y algunas veces en otros macros y micro elementos que el agricultor necesita aplicarlos para obtener altos rendimientos que le aseguren una buena rentabilidad en el cultivo. Por ello es aconsejable que antes de plantar el cultivo se realice un análisis del suelo para conocer la situación de éste y poder aplicar los elementos necesarios (macro y micro elementos) que el cultivo requiere para su óptima producción. Además, es conveniente que durante el desarrollo del cultivo se realicen análisis foliares para corregir algunas deficiencias de micro o macro elementos que puedan afectar la producción.

El cultivo de la papa para producir una tonelada de tubérculo fresco extrae del suelo: 4 a 6 Kg de N, 0.7 a 1.1 Kg de P (1.6 a 2.5 Kg de P₂O₅), 6 a 7.5 Kg de K (7.2 a 9.0 Kg de K₂O), 0.6 a 0.8 Kg de Mg, 0.6 a 0.8 Kg de Ca, 0.6 a 0.8 Kg de S, 80 a 120 gr de Fe, 12 a 60 gr de Mn, 12 a

60 gr de Zn, 2 a 6 gr de Cu, 12 a 40 gr de B, y 2 a 6 gr de Mo. (Villagarcía, S., CIP, 1987 citado por Franco, J. 2002).

El uso de las diferentes metodologías de análisis e interpretación de rendimientos para dosificar fertilizantes en un cultivo específico, se hacen cada día más indispensables, pues estas metodologías permiten realizar un manejo racional de los mismos al sugerirse programas de fertilización basados en la demanda nutrimental del cultivo.

La dosificación adecuada de nutrimentos no solo contribuye a que el agricultor optimice sus recursos económicos, sino que también influye en la conservación de la fertilidad natural de los suelos y disminución de riesgos de contaminaciones ambientales entre otros, principalmente del recurso agua de los mantos freáticos y otros cuerpos de aguas superficiales, ya sea por lixiviación de nutrimentos o el arrastre de los mismos por las aguas de escorrentía.

La respuesta del cultivo de la papa a la aplicación de diferentes niveles de N-P₂O₅-K₂O, tiene por objeto determinar las dosis adecuadas de cada uno de ellos para formular programas de fertilización en función de un rendimiento esperado.

2.3. Experiencias en nutrición en el cultivo de papa

El ICTA, a través de su laboratorio de suelos, programa de hortalizas y equipos de validación y transferencia de tecnología han realizado ensayos y parcelas en centros de investigación y fincas de agricultores durante más de dos décadas con el objetivo de puntualizar las investigaciones relacionadas a la fertilización de la papa. Se han concretado recomendaciones que, en algunos casos, dependiendo del tipo de suelo, no puedan ajustarse adecuadamente considerando que en nuestro país existe variabilidad de suelos influenciados por el clima y su mal manejo. Sin embargo, dicha recomendaciones pueden ser utilizadas en la mayoría de áreas papeas del país, las cuales tienen pocas variantes que pueden influenciar la eficiencia de las mismas. (ICTA, 2010)

La nutrición del cultivo de papa se concentra principalmente en la respuesta en rendimiento a la aplicación de NPK, y en ocasiones elementos como Ca, Mg y S (Porrás, 2005), lo mismo ocurre para micronutrientes como el B (Barrera, 1995). Muchos informes señalan que

la papa es el cultivo con mayor consumo de fertilizantes compuestos por unidad de superficie con dosis que oscilan entre 1.000 y 2.000 kg ha⁻¹, predominan las fuentes altas en P en las relaciones 1:3:1, 2:4:1 y en menor escala se utiliza la relación 1:2:2, las dosis utilizadas dependen de la altitud y se aumenta en la medida que ésta se incrementa (Barrera, 1995)

Para Wieczorek (1979), la mayoría de suelos en zonas donde se cultiva papa responden favorablemente a la aplicación de N y P (P₂O₅), obteniéndose los mayores rendimientos con dosis de 50 a 100 kg ha⁻¹ de N y entre 100 y 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅ en zonas de alturas menores a 2.900 msnm. Además, la respuesta de la papa al K ha sido menos estudiada, su aplicación ha dado respuestas positivas al aumentar el rendimiento en algunos casos y en otros no se ha obtenido respuesta o se ha presentado disminución en los rendimientos; sin embargo, en suelos bajos en K, se puede presentar respuesta cuando se aplican dosis altas de N y P. Para estos casos se recomienda aplicar 60 kg ha⁻¹ de K₂O. (Quinchoaa, J.Y; *et al*, 2018)

El cultivo de papa demanda grandes cantidades de nutrimentos, principalmente nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) durante todo su ciclo (White *et al.*, 2007) y es una de las hortalizas de mayor rentabilidad con altos costos de producción que genera excesiva aplicación de insumos (pesticidas, agua y fertilizantes).

Bertsch (2003) reporta que este cultivo absorbe 220, 20, 240, 60 y 20 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca y Mg respectivamente para una producción de 20 t ha⁻¹, lo que evidencia los altos requerimientos nutrimentales que presenta el cultivo. De acuerdo a Horneck y Rosen (2008) la mayoría del N absorbido por la planta se presenta antes del periodo de máximo crecimiento y desarrollo del tubérculo, lo cual significa que antes del llenado de tubérculos la planta consume más de 50% con una demanda diaria de 7 kg ha⁻¹-día, para el caso del P la demanda fluctúa entre 0.4 a 0.9 kg ha⁻¹-día a mitad del ciclo dependiendo de la variedad y clima. Para el K la absorción es de 5 a 14 kg ha⁻¹-día.

Aunado a lo anterior, el continuo incremento en el precio de fertilizantes como urea (46-00-00) y fosfato monoamónico (11-52-00), están afectando su rentabilidad, en 2008 los costos de estos se duplicaron, comparados con los tres años anteriores y representaron más de 25 del costo total de producción en la mayoría de los cultivos, proporción que se ha mantenido actualmente (SAGARPA, 2008).

La fertilización tiene la función de suministrar nutrimentos a los cultivos que no son aportados de manera natural por el suelo. Para una buena producción en términos de cantidad y

calidad, usualmente los macronutrientes NPK, son aplicados al cultivo de papa cuando las reservas del suelo son limitadas (Ierna et al., 2011), pero, además, deben acoplarse con sus demandas, debido a ello, es importante conocer las curvas de absorción nutrimental (Bertsch, 2003 citado por Ibarra, E. *et al* 2013).

2.4. Estudios realizados sobre el efecto de niveles de fertilización con NPK en el cultivo de papa

Nutrición del cultivo de papa (Solanum tuberosum L.) considerando variabilidad climática en el “Valle del Fuerte” Sinaloa, México

El manejo tradicional del cultivo de papa es cada vez menos funcional debido a la alta variabilidad climática en las zonas productoras del noroeste de México, provocando aplicaciones excesivas de insumos, contaminación y baja rentabilidad. Para mejorar lo anterior, se generó una metodología que ayuda a acoplar la demanda nutrimental al clima, mediante funciones autoajustables basadas en el concepto grado día (o D) derivadas de las curvas de extracción. El trabajo se desarrolló en el norte de Sinaloa durante dos ciclos agrícolas otoño-invierno (OI): 2008-2009 y 2009-2010, en el INIFAP-CIRNO-CEVAF. En el primer ciclo se obtuvieron curvas base de extracción nutrimental (CB) para la variedad Alpha en riego por goteo; durante el segundo, se validaron las CB con la variedad Fianna en riego por superficie, mediante un experimento con tres tratamientos (T) en un arreglo en bloques completos al azar. El T1 fue la fertilización NPK de acuerdo a CB (245, 30, 350 kg ha⁻¹), en el T2 se fertilizó usando CB+20% (294, 36, 420 kg ha⁻¹) y el T3 consistió en CB-20% (196, 24, 280 kg ha⁻¹). La extracción total de nutrientes fue similar en los tres tratamientos, sin embargo, la tasa de absorción fue diferenciada en las etapas iniciales del cultivo. Debido a que en el rendimiento y calidad del tubérculo fue significativa la diferencia en el T2, en este se generaron las funciones matemáticas, obteniendo R² mayores al 0.8. La metodología se probó con éxito en dos parcelas comerciales. (Sifuentes, E. *et al* 2013).

Determinación del Efecto de Diferentes Niveles de Fertilización en Papa (Solanum tuberosum ssp. Andigena) DIACOL Capiro en un Suelo con Propiedades Ándicas de Santa Rosa de Osos, Colombia

La fertilización es una labor que cumple con la necesidad de suplementar a la planta, los nutrientes no satisfechos por el suelo en su condición de fertilidad natural. Por muchas décadas se han utilizado dosis deficientes que conducen a bajas producciones, y en ocasiones dosis excesivas de fertilizantes químicos que pueden generar problemas ambientales. La fertilización con nutrientes secundarios (Ca, Mg, S) y el micronutriente B, han sido poco estudiadas en el cultivo de papa, razón por la cual se evaluó, en el Centro Agropecuario Paysandú de la Universidad Nacional de Colombia (Medellín), el efecto de diferentes dosis de estos nutrientes en un cultivo de papa (*Solanum tuberosum* spp. Andigena) de la variedad DIACOL Capiro en un suelo con propiedades ándicas de Santa Rosa de Osos. Se utilizaron dosis bajas, moderadas y altas de NPK, Ca, Mg, B y S, y se encontró una respuesta positiva en rendimiento a las aplicaciones crecientes de NPK (500, 1.500 y 3000 kg ha⁻¹), también se presentaron diferencias significativas en peso de los tubérculos de primera y segunda categoría, mientras que los tubérculos de tercera y cuarta categoría no presentaron diferencias significativas.

Las interacciones entre Ca, Mg, B y S no tuvieron efecto apreciable sobre el rendimiento de los tubérculos, ya que en la mayoría de los casos solo se observaron los efectos simples de dichos elementos. no tuvieron efecto apreciable sobre el rendimiento de los tubérculos, ya que en la mayoría de los casos solo se observaron los efectos simples de dichos elementos. (Quinchoa, J, *et al* 2010)

3. Objetivos

3.1. General:

Validar una recomendación técnica de macronutrientes para la fertilización del cultivo de papa, en los diferentes ambientes del altiplano occidental de Guatemala.

3.2. Específicos

- Determinar el rendimiento de tubérculos de papa por categoría, de la variedad Loman, bajo los niveles de fertilización a validar por departamento.
- Estimar el costo-beneficio de la tecnología a validar.
- Conocer la opinión de los productores sobre la tecnología a validar

4. Hipótesis.

Ha. El nivel de N-P₂O₅-K₂O a validar por departamento, produce en efectos superior en el rendimiento de tubérculos comerciales de papa, comparado con la fertilización tradicional utilizado por el productor.

Ha. La recomendación técnica propuesta en la investigación, será económicamente rentable para el cultivo de la papa.

5. Metodología.

5.1. Localidades:

La investigación fue ejecutada en los departamentos de Quetzaltenango, San Marcos y Huehuetenango, en los municipios donde la producción de papa es un cultivo de importancia económica para la población.

El periodo de ejecución estuvo comprendido entre mayo 2019 a septiembre 2020, con el propósito de evaluar la recomendación de fertilización en dos épocas de siembra del cultivo, en un total de 30 localidades en estudio.

Cuadro 1. Ubicación de localidades y épocas de siembra de las parcelas de validación

No.	Municipio	Departamento	Parcelas	Épocas de siembra
1	Concepción Chiquirichapa	Quetzaltenango	4	Mayo 2019 y Abril 2020
2	San Juan Ostuncalco	Quetzaltenango	4	Mayo 2019 y Abril 2020
3	San Mateo	Quetzaltenango	1	Mayo de 2019
4	San Martín	Quetzaltenango	1	Mayo de 2019
5	San Pedro Sacatepéquez	San Marcos	4	Mayo de 2019
6	Ixchiguan	San Marcos	4	Mayo 2019 y Abril 2020
7	Tacana	San Marcos	2	Mayo de 2019
8	San Juan Ixcoy	Huehuetenango	1	Mayo de 2019
9	Todos Santos C.	Huehuetenango	4	Mayo 2019 y Enero 2020
10	Chiantla	Huehuetenango	5	Mayo 2019 y Abril 2020

Fuente: Elaboración propia

5.2. Características de los suelos donde se establecerán los ensayos.

Los suelos del departamento de Huehuetenango donde se establecerán los ensayos, según la primera aproximación a la clasificación taxonómica de los suelos en Guatemala, se clasificaron en los órdenes de suelos Mollisoles y Entisoles, mientras que para el departamento de San Marcos en los órdenes Entisoles y Andisoles. (IRANA, 2006)

Suelos Entisoles son suelos minerales derivados tanto de materiales aluviónicos como residuales, de textura moderadamente gruesa a fina, de topografía variable entre plana a extremadamente empinada. No tienen horizontes de diagnóstico. (USDA citado por IARNA, 2006)

Los suelos Mollisoles Son suelos superficiales a moderadamente profundos, con epipedón mólico, desarrollados de materiales volcánicos y sedimentarios; tienen horizontes superficiales oscurecidos, estructurados en gránulos bien desarrollados de consistencia friable y dotados suficientemente de bases, principalmente Ca y Mg. Presentan topografía que varía entre ligeramente inclinada a extremadamente empinada. (USDA citado por IARNA, 2006)

Para cada departamento se realizaron análisis de suelos, los cuales se describen a continuación

Cuadro 2. Reporte de análisis de suelo de parcelas establecidas en el departamento de Quetzaltenango.

Agricultor colaborador	P 12 a 16 ppm	K 0.40 - 0.80 meq/100 g	MO 3 a 6 %	ph	Ca 6 a 8	magnesio 1.5 - 2.5	Clase Textural
Francisco Romero	130	0.1	2.8	5.49	3	0.5	Arenoso
Estela Nohemí Días	97	1	2.39	5.14	3.8	0.5	Arena Franca
Samuel Lorenzo López	170.5	0.4	3.5	5.28	3.4	0.8	Arena Franca
Daniel Escalante	73	2.5	3	5.69	0.9	8.6	Fronco Arenoso
Jessica Escalante	150	1.9	3.46	4.9	4.3	0.8	Franco Arenoso
Ezequiel Hernández	86.5	2.5	2.61	5.29	5.5	1.2	Franco Arenoso
Jublan López	215.5	2.4	2.75	5.55	3.5	0.8	Arenoso
Rigoberto Sanchez	110	3.3	2.88	5.49	5.3	1.1	Arena Franca

Fuente: Laboratorio de Suelos, Agua y Plantas ICTA 2019

Cuadro 3. Reporte de análisis de suelo de parcelas establecidas en el departamento de San Marcos 2019.

No	Rango adecuado	P 12 a 16 ppm	K 0.40 - 0.80 meq/100 g	MO 3 a 6 %	ph	Ca 6 a 8	Magnesio 1.5 - 2.5	Clase Textural
1	Modesto e steban	2.5	2.9	5.78	5.42	6.9	1.3	Franco arenoso
2	Gumercindo Nolasco	55.5	1.6	2.2	4.94	4.5	1.4	Franco arcillo arenoso
3	Julio Garcilla	n/d	0.5	13.6	5.6	1.2	0.3	Franco arenoso
4	Feliciano de León	n/d	1.9	4.6	5.8	33.9	0.9	Franco arenoso
5	Felix López Roblero	n/d	1	10	5.73	5.2	0.9	Franco arenoso
6	Federico Santos	96.5	0.2	1.38	6.4	2.3	0.1	Arena franca
7	Miguel Garcia	78.5	3	4.19	6.46	3	0.4	Arena franca

Fuente: Laboratorio de Suelos, Agua y Plantas ICTA 2019

Cuadro 4. Reporte de análisis de suelo de parcelas establecidas en el departamento de Huehuetenango 2019.

Agricultor colaborador	Materia orgánica(%)	Fósforo ppm	Potasio meq/100 g	ph	Clase textural
Alberto Luca	5.78	n/d	1.9	8.05	Arcilloso
Andrés Chale	16.78	5.5	1.8	5.67	Franco arenoso
Domingo Vargas	19.7	n/d	1.3	5.12	Arena franca
Hermínio Pablo	15.6	n/d	2	6.6	Franco arenoso
Perfecto Cano	1.44	n/d	5.8	5.24	Franco arenoso
Santos López	3.97	3.5	1.2	7.85	Franco arcilloso arenoso
Silvestre Cano	16.7	2.5	1.7	4.93	Franco arenoso
Julian López	6.28	33	1.4	6.03	Arena franca
Estanislao Carrillo	13.93	18.5	2.9	5.79	Franco arenoso
Marcos López	10.02	0.5	0.5	5.03	Franco arenoso

Fuente: Laboratorio de Suelos, Agua y Plantas ICTA 2019

5.3. Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental de parcelas apareadas, con dos tratamientos en 10 localidades por departamento, para un total de 30 ambientes en evaluados.

5.4. Tratamientos:

Por las características edáficas propias de cada departamento, según estudios previos de la disciplina Manejo de Agua y Suelo de ICTA, se recomendaron los niveles por departamento a validar, de la siguiente manera:

Quetzaltenango

Recomendación de fertilización validada

198 Kg de N, 72 Kg de P y 248 Kg de K por hectárea, recomendación de ICTA.

Cuadro 5. Testigo, fertilización comercial del agricultor, identificados cinco tecnologías tradicionales de fertilización

	kg ha ⁻¹ N	kg ha ⁻¹ P	kg ha ⁻¹ K
T1	180	180	77
T2	310	310	155
T3	232	232	232
T4	174	347	174
T5	274	155	0.00

San Marcos

Recomendación de fertilización validada:

135 Kg de N, 36 Kg de P y 106 Kg de K por hectárea

Cuadro 6. Testigos, fertilización comercial del agricultor, identificados cuatro tecnologías tradicionales.

	kg ha ⁻¹ N	kg ha ⁻¹ P	kg ha ⁻¹ K
T1	267	124	24
T2	196	196	31
T3	Fertilización orgánica		
T4	356	305	368

Huehuetenango

Recomendación de fertilización validada:

73.30 kg N, 42.90 kg de P₂O₅ y 185 kg de K₂O por ha⁻¹

Cuadro 7. Testigos correspondientes a las tecnologías de los agricultores

	Testigo kg ha ⁻¹		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
T1	317	317	317
T2	200	200	200
T3	355	355	0
T4	188	188	188
T5	361	361	361
T6	226	64	64
T7	172	172	172
T8	152	152	65
T9	534	289	707
T10	158	158	158

5.5. Tamaño de la Unidad Experimental:

Las dimensiones utilizadas fueron de 220 metros cuadrados por tratamiento, haciendo un área de 440 metros cuadrados como parcela de validación.

5.6. Modelo estadístico

$$t = \frac{d}{S_d}$$

Dónde:

t = Valor de t de Student.

d = Promedio de las diferencias de rendimiento

S_d = Error estándar de las medias de las diferencias entre rendimiento.

5.7. Variables de respuesta

Rendimiento de tubérculo en fresco, por calidades o categorías.

Ingreso neto en Q/ha.

Opinión de los agricultores. (Boleta de evaluación participativa)

5.8. Análisis de la información

Prueba de t para muestras pareadas

Regresión lineal (Estabilidad). (Di Rienzo et al. 2009).

Análisis de TRM (Presupuesto parcial)

Registros económicos de producción, para pequeños agricultores (ICTA 2009)

Análisis Multivariado por Componentes Principales. (Boleta de evaluación participativa).

5.9. Manejo del experimento.

a. Identificación de agricultores.

El proyecto se inició con la identificación de agricultores, que cumplieran con las siguientes características:

- Miembros del consorcio de la agrocadena de papa
- Responsable para el cumplimiento del manejo de la parcela de prueba.
- Capacidad para el aporte de mano de obra, terreno y otros insumos desde el inicio del cultivo hasta la cosecha.

- Experiencia en la siembra del cultivo de papa
- Terreno representativo de la comunidad o del área en estudio
- Disponibilidad de terreno para establecer paralelamente la parcela de validación junto al área cultivada por el agricultor con su propia tecnología. (Testigo)

b. Selección de sitios experimentales

Tanto la identificación de agricultores como la selección de sitios experimentales, se realizó con socios de la agrocadena de papa del CRIA conjuntamente con los equipos de extensión del Ministerio de Agricultura y Alimentación –MAGA- que conforman los Centros de Aprendizaje de Desarrollo Rural –CADERS- de cada localidad seleccionada, de igual manera se coordinó con ONG´s y Asociaciones presentes en la región de estudio.

c. Ubicación

Para cada parcela de validación, se tomaron los datos de su ubicación en coordenadas geográficas en decimales, para su posterior ubicación por municipios y departamentos en un Shape generado en ArcGis.

d. Tecnología a validar.

Niveles de macronutrientes para la fertilización de papa de variedad Loman, provenientes de ensayos agroeconómicos realizados por la disciplina de Agua y Suelo del ICTA.

e. Manejo de la parcela de prueba

Fue realizado según la tecnología del agricultor, principalmente para la prevención y control de plaga y enfermedades de importancia económica en el cultivo. Sin embargo en su momento se realizaron algunas sugerencias según la guía técnicas del ICTA, para la producción comercial de papa para el consumo (ICTA, 2010), siempre siguiendo la metodología de parcela de prueba de tecnología.

f. Evaluación de la tecnología en validación.

Para conocer la opinión de los agricultores sobre la nueva formulación química para la fertilización del cultivo de papa, se llevaron a cabo 2 eventos de intercambio de experiencia y evaluación participativa a través de días de campo (ICTA, 2010).

Los días de campo fueron realizados en los departamentos de Huehuetenango y Quetzaltenango, coordinados con extensionistas de MAGA, productores individuales de las comunidades aledañas, asociaciones agrícolas locales y estudiantes. Los eventos fueron planificados en fechas de cosecha para poder observar la diferencia en rendimiento entre ambas parcelas.

En cada evento se realizó una evaluación a los participantes, con el fin de conocer la opinión respecto a la tecnología en validación en comparación a la que ellos usan habitualmente.

Para la evaluación participativa se diseñó una boleta con aspectos a evaluar sobre la nueva tecnología de fertilización.

Aspectos tomados en cuenta en la planificación de días de campo

- Organización
- Planificación de la actividad
- Selección de la información sobre la tecnología a transferir
- Selecciones participantes
- Lugar
- Expositores
- Fecha y hora
- Invitación y promoción
- Presupuesto
- Evaluación del evento.

Durante los días de campo se abordaron los temas sobre

- Niveles de fertilizantes utilizados en la nueva recomendación técnica.
- Fórmulas comerciales que pueden utilizar
- Momentos de aplicación
- Variedades de papa que responden a dicha recomendación.
- Para finalizar la actividad se realizó la evaluación participativa.

6. Resultados y discusión

La validación fue realizada en tres departamentos del altiplano occidental de Guatemala, para tal caso se presentan los resultados por departamento debido a la diferencia de niveles de macronutrientes utilizados para la nutrición del cultivo en los departamentos.

Porras (2005) Indica que la nutrición del cultivo de papa se concentra principalmente en la respuesta en rendimiento a la aplicación de NPK, y en ocasiones elementos como Ca, Mg y S (Ríos, Jaramillo, González y Cortes, 2010)

6.1. Resultados departamento de San Marcos

Las parcelas de validación establecida en el departamento de San Marcos, fueron establecidas en los municipios de Tacana, Ixchiguán y San Pedro Sacatepéquez, los rendimientos obtenidos en toneladas por hectárea se encuentran detallados en la cuadro 2.

Cuadro 8. Rendimiento en t. ha⁻¹ de tubérculo de papa según tamaño, producidos en el altiplano de San Marcos.

Municipio	Nombre del productor	Rendimiento t ha ⁻¹							
		Primera		Segunda		Tercera		TOTAL	
		Tecnología ICTA	Testigo	Tecnología ICTA	Testigo	Tecnología ICTA	Testigo	Tecnología ICTA	Testigo
Tacana	Felix López	10.67	8.71	10.58	12.51	11.39	6.83	32.64	28.05
Tacana	Feliciano de León	10.75	7.27	7.34	9.82	10.22	3.45	28.31	20.54
Ixchiguán	Gumercindo Nollasco	11.85	15.64	16.98	6.10	2.85	1.57	31.68	23.31
Ixchiguán	Modesto Esteban	16.23	16.70	7.48	7.73	2.47	2.79	26.19	27.22
Ixchiguán	Julio García	3.86	3.97	8.66	10.43	2.63	4.29	15.15	18.69
Ixchiguán	Federico Santos	9.00	10.00	2.60	2.80	1.60	1.60	13.20	14.40
San Pedro	Pedro Ramírez Méndez	24.79	33.06	6.18	4.10	2.05	2.05	33.02	39.20
San Pedro	Juan Fernando Gonzales	23.47	24.00	10.00	10.00	3.00	4.33	36.47	38.33
San Pedro	Bonifacio G. Fuentes	24.24	20.00	10.67	8.33	3.03	4.00	37.94	32.33
San Pedro	Miguel García	25.00	20.00	11.67	6.67	3.33	4.67	40.00	31.33

Fuente: Elaboración propia

El cuadro 8 presenta los rendimientos obtenidos en parcelas de prueba de tecnología de papa establecidas en el periodo mayo 2019 – marzo 2020, dichos rendimientos corresponde al tratamiento fertilización al suelo propuesto por ICTA en el cultivo de papa 135 Kg de N, 36 Kg de P y 106 Kg de K por hectárea, y al testigo con la fertilización que habitualmente utiliza el productor. (Ver el apartado de tratamientos)

El rendimiento obtenido en promedio para la recomendación en validación fue de 29.46 t ha⁻¹ mientras que el rendimiento promedio del rendimiento de la papa con la fertilización tradicional fue de 27.34 t ha⁻¹, ambas son superiores al rendimiento estimado para Guatemala para el año 2017 según la FAO fue de 25.79 t ha⁻¹. (FAO, 2019).

Por la diferencia geográfica y condiciones de suelo donde se establecieron las parcelas se encontraron cuatro fertilizaciones diferentes denominadas en la investigación testigos, con los cuales fueron comparados, el rendimiento anterior corresponde al promedio total de las establecidas.

6.1.1. Análisis de rendimiento por categoría de papa producida.

Tomando en cuenta que los niveles de fertilización, puede ejercer un efecto en el crecimiento de una determinada categoría de tubérculos, se presentan en el cuadro 3 los resultados de la prueba de “t” para muestras apareadas de los rendimientos obtenidos por categorías, para demostrar si estadísticamente existió una diferencia significativa en la producción de tubérculos.

Cuadro 9. Prueba de t para el rendimiento por categoría de tubérculo de papa producida en ambos tratamientos, en el departamento de San Marcos.

Categoría de papa	Obs(1)	Obs(2)	N	media(dif)	Media(1)	Media(2)	DE(dif)	T	p(Unilateral D)
Primera	Formulación ICTA	Testigo	10	0.05	15.99	15.94	3.99	0.04	0.4843
Segunda	Formulación ICTA	Testigo	10	1.37	9.22	7.85	4.05	1.07	0.1568
Tercera	Formulación ICTA	Testigo	10	0.7	4.26	3.56	2.8	0.79	0.2254

Fuente: Software Infostat

Según la prueba de “t” para muestras apareadas, indican que no existe diferencia estadística significativa en el rendimiento de los tubérculos en las categorías de clasificación por calidad: primera, segunda y tercera, entre ambos tratamientos a pesar que en las tres clasificaciones el rendimiento de la recomendación de ICTA superó a los testigos.

Por lo tanto, la prueba de “t” indica que la fertilización en validación de ICTA, no ejerció un efecto específico en el incremento en el rendimiento del tubérculo en ninguna de las categorías, por lo que se hace necesario hacer el análisis de eficiencia agronómica por las cantidades de N, P y K, utilizadas como testigo, lo cual se discute en el siguiente apartado. Sin embargo, según Pérez, Rodríguez y Gómez (2008), el balance nutricional y la oferta de nutrientes N P K Mg en forma oportuna mejoran el área foliar y el rendimiento de tubérculos de categoría segunda en la variedad Criolla Colombia de modo que hay una eficiencia en la toma de los fertilizantes, las cuales no se evidenciaron para la presente investigación.

6.1.2. Análisis de rendimiento total

Los rendimientos totales obtenidos, no haciendo distinción alguna entre las categorías de los tubérculos, analizados a través de una prueba de “t”, indican que no hay diferencia estadística significativa entre el rendimiento de ambas tecnologías, tal como se observa en el cuadro 3.

Cuadro 10. Prueba de “t” para rendimientos totales obtenidos en el departamento de San Marcos. 2019-2020.

Obs(1)	Obs(2)	N	media(dif)	Media(1)	Media(2)	DE(dif)	T	p(Unilateral D)
Formulación ICTA	Testigo	10	2.12	29.46	27.34	5.48	1.22	0.126

Fuente: Software Infostat

El cuadro 10 indica que la formulación de ICTA, los niveles de N-P₂O₅-K₂O, produjeron 2.12 t ha⁻¹ más que de los testigos, sin embargo haciendo la prueba de t para muestras pareadas no se encuentre diferencia estadística significativa entre el rendimiento de ambas tecnologías, pero que económicamente esta diferencia si tienen un efecto de ganancia en el agricultor.

Por lo tanto la recomendación de fertilización de 135 Kg de N, 36 Kg de P y 106 Kg de K por hectárea propuesta por ICTA, no produce un efectos superior en el rendimiento de tubérculos, al compararlo con la fertilización tradicional utilizado por el productor, aceptado la hipótesis nula de la investigación. Por tal motivo se hace necesaria analizar la eficiencia agronómica de cada nutriente tanto de la recomendación en validación como la de los cuatro testigos y un registro económico para cada uno de las tecnologías.

Por otra parte según Bertsch (2003) reporta que este cultivo absorbe 220, 20, 240, 60 y 20 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca y Mg respectivamente para una producción de 20 t ha⁻¹, lo que evidencia los altos requerimientos nutrimentales que presenta el cultivo, comparándola con la formulación utilizada está por debajo de cantidad de N y K utilizada en recomendación hecha por la Disciplina de Suelos de la Institución, sin embargo produjo 29.46 t ha⁻¹, 9.46 t ha⁻¹ más que los reportado por Bertsch, por lo que se considera una alternativa positiva para la fertilización de papa en el departamento de San Marcos.

6.1.3. Análisis de estabilidad del rendimiento

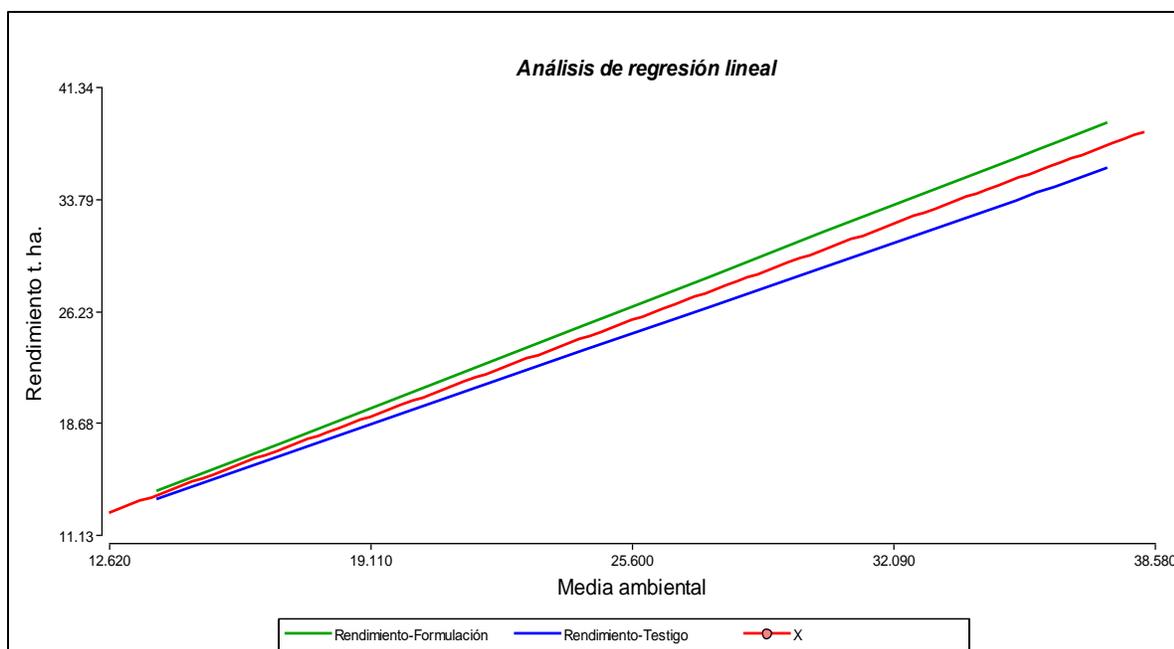
Para conocer el comportamiento del rendimiento como efecto del uso de la formulación con macronutrientes de la fertilización en validación, se realizó el análisis de regresión lineal propuesto por Eberhart & Russell en el año 1966, para conocer la estabilidad del rendimiento.

Cuadro 11. Coeficientes de regresión y estadísticos asociados

Tratamientos	Variable	const	I.A.	I.A. _p-valor	R²
Formulación	Rendimiento	-0.5	1.06	<0.0001	0.91
Testigo	Rendimiento	0.5	0.94	<0.0001	0.89

Fuentes: Software Infostat.

El coeficiente índice ambiental (I.A) 1.06, indica que la formula en validación propuesta por ICTA mantuvo su rendimiento a lo largo de los 10 ambientes evaluados, posicionando su rendimiento sobre la media de los ambientes, sin embargo la inclinación en el lado derecho de la figura 1, indica que la formulación respondiendo mejor en los ambientes ricos, mientras que los testigos con I.A. 0.94 indica que su rendimiento se posiciono por debajo de la media de los ambientes, (Gráfica 1).



Gráfica 1. Estabilidad de rendimiento como efecto de la fertilización con macronutrientes en el cultivo de papa, en el departamento de San Marcos.

Se puede observar también que la formulación química que utilizó el agricultor presentó una pendiente de inclinación por debajo de la media de los ambientes. Las condiciones de los suelos fueron las siguientes

Cuadro 12. Resultado de análisis de suelo las parcelas donde se establecieron las parcelas de validación.

No	Rango adecuado	P	K	MO	ph	Ca	magnesio	Clase Textural
		12 a 16 ppm	0.40 - 0.80 meq/100 g	3 a 6 %		6 a 8	1.5 - 2.5	
1	Modesto e steban	2.5	2.9	5.78	5.42	6.9	1.3	Franco arenoso
2	Gumercindo Nolasco	55.5	1.6	2.2	4.94	4.5	1.4	Franco arcillo arenoso
3	Julio Garcilla	n/d	0.5	13.6	5.6	1.2	0.3	Franco arenoso
4	Feliciano de León	n/d	1.9	4.6	5.8	33.9	0.9	Franco arenoso
5	Felix López Roblero	n/d	1	10	5.73	5.2	0.9	Franco arenoso
6	Federico Santos	96.5	0.2	1.38	6.4	2.3	0.1	Arena franca
7	Miguel Garcia	78.5	3	4.19	6.46	3	0.4	Arena franca

6.1.4. Análisis económico de las parcelas de validación

La prueba de “t” indica que no hay diferencia significativa en el rendimiento producido, por tal razón, se hace necesario profundizar en los costos en que se incurrieron para la producción de cada una de las tecnologías, para determinar si existe una diferencia en este aspecto, que pueda fundamentar la validación. El aspecto monetario es una forma fácil para que el productor comprenda los alcances de adoptar una tecnología (Miniño, 1994).

El análisis económico a través del método presupuesto parcial, resulto muy práctico para obtener los costos y beneficios netos tanto de la fertilización en validación como de testigos utilizados en los diferentes ambientes evaluados.

Esta metodología se utiliza para organizar los datos experimentales con el fin de obtener los costos y beneficios de los tratamientos alternativos. Por otro lado, Reyes (2001), indica que es parcial porque con este enfoque solamente se toma en consideración los costos asociados con la decisión de usar o no el tratamiento y el resto de los costos no se ven afectados por la decisión de usar un tratamiento en particular, y permanecen constantes.

Costos variables insumos

Para el análisis fue necesario cuantificar los insumos y mano de obra, catalogados como costos variables, utilizados en la parcela de validación como en la parcela testigo, por la ubicación geográfica y condiciones agroclimáticas fueron identificados cuatro testigos, los cuales son descritos en los cuadros 6 y 7. En el cuadro 6 la columna inicial indica el número de agricultores que utilizan el testigo para el cual se hace la estimación del costo.

Cuadro 13. Costos variables, insumos utilizados para la determinación del efecto de la fertilización con macro nutrientes en el cultivo de la papa en el departamento de San Marcos.

No. De Agri.	Insumo	Cantidad (220 m ²)	Unidad de medida	Cantidad (ha ⁻¹)	Unidad de medida	Precio de mercado (Q)	Costo (ha ⁻¹)	Costo Transporte (Q)	Costos total (ha ⁻¹)
Tecnología ICTA en validación (198 Kg de N, 72 Kg de P y 248 Kg de K (ha⁻¹))									
10	Urea 46% N	26	Libra	11.82	qq	Q200.00	Q2,363.64	Q10.00	Q2,481.82
	10- 50- 0	3	Libra	1.36	qq	Q325.00	Q443.18	Q10.00	Q456.82
	0-0-60	9	Libra	4.09	qq	Q300.00	Q1,227.27	Q10.00	Q1,268.18
Total Costos que varían de insumos									Q4,206.82
Testigo 1									
4	15-15-15	40	Libra	18.18	qq	Q240.00	Q4,363.64	Q5.00	Q4,454.55
	Urea 46% N	15	Libra	6.82	qq	Q200.00	Q1,363.64	Q5.00	Q1,397.73
Total Costos que varían de insumos									Q5,852.27
Testigo 2									
3	20- 20- 20	40	Libra	18.18	qq	Q220.00	Q4,000.00	Q5.00	Q4,090.91
	15-15- 15	10	Libra	4.55	qq	Q240.00	Q1,090.91	Q5.00	Q1,113.64
Total Costos que varían de insumos									Q5,204.55
Testigo 3									
2	MM	30	Libra	13.64	qq	Q300.00	Q4,090.91	Q5.00	Q4,159.09
	Biocofia	3	qq	136.36	qq	Q48.00	Q6,545.45	Q5.00	Q7,227.27
Total Costos que varían de insumos									Q11,386.36
Testigo 4									
1	20 12 12	25	Libra	11.36	qq	Q330.00	Q3,750.00	Q5.00	Q3,806.82
	Acodionador de suelo	25	Libra	11.36	qq	Q60.00	Q681.82	Q5.00	Q738.64
	Biosol verde	25	Libra	11.36	qq	Q350.00	Q3,977.27	Q5.00	Q4,034.09
	15- 15- 15	70	Libra	31.82	qq	Q250.00	Q7,954.55	Q5.00	Q8,113.64
Total Costos que varían de insumos									Q16,693.18

EL registros de insumos utilizados en la fertilización de papa que habitualmente el agricultor hace, para 10 parcelas establecidas en el departamento de San Marcos, se formaron 4 grupos por la similitud de los fertilizantes utilizados para la nutrición al suelo, denominados en el cuadro 13 como testigo 1, 2, 3 y 4.

Los resultados obtenidos indican que la formula en validación su costo de insumos está por debajo de todos, presentando el menor gasto en la adquisición de fertilizantes.

Costos variables mano de obra

Se hizo necesario cuantificar los jornales utilizados, debido que para la preparación de la formula incluye el pesado y luego mezclado de los fertilizantes para homogenizarlo, para lo cual se emplea tiempo que hace la diferencia con lo que habitualmente el agricultor realiza para la práctica de fertilización.

Agrupando nuevamente los agricultores que hacen prácticas similares, y emplean la misma cantidad de jornales se cuantifican los costos que varían entre ellos y comparado al final con el gasto de jornales de la fertilización en validación.

Cuadro 14. Costos variables, jornales empleados para la aplicación de fertilizantes en la validación.

No.	Actividad	No. De Personas	Tiempo (Min/220 m ²)	Jornales (220 m ²)	Jornales (ha ⁻¹)	Precio de campo Jornal	Costos de Campo Jornales (Q/ha ⁻¹)
Formula en validación ICTA							
1	Mezcla de fertilizantes	1	10	0.0208	1	Q65.00	Q61.55
2	Aplicación de fertilizantes	1	30	0.0625	3	Q65.00	Q184.66
Total Costos que varían jornales							Q246.21
Testigos 1, 2 y 3							
1	Aplicación de fertilizantes	1	30	0.0625	3	Q65.00	Q184.66
Total Costos que varían jornales							Q184.66
Testigo 4							
1	Aplicación de fertilizantes	1	30	0.0625	3	Q65.00	Q184.66
	Aplicación de acondicionador de suelo	1	30	0.0625	3	Q65.00	Q184.66
	Aplicación de biosol verde	1	20	0.0417	2	Q65.00	Q123.11
Total Costos que varían jornales							Q492.42

El cuadro 14 indica que la formula en validación de ICTA requiere un jornal más que los testigos 1, 2 y 3 excepto del testigo 4 que emplea mayor cantidad de jornales para la fertilización, por la cantidad de insumos que utiliza. El gasto de jornales en el tratamiento en validación se debe a que es necesario pesar y mezclar previo a la aplicación a la siembra, situación que al productor le afecta, debido a que siempre están limitado de tiempo por la demanda de jornales que lleva la siembra del papa.

Presupuesto Parcial

Haciendo uso de la información obtenida de los costos que varían en relación a insumos y jornales para la fertilización en la tecnología propuesta por ICTA en comparación con la que habitualmente realiza el agricultor, se genera el análisis del cuadro 8.

Cuadro 15. Presupuesto parcial para la tecnología de ICTA y cuatro testigos utilizados en la fertilización del cultivo de papa en el departamento de San Marcos. 2019-2020.

Descripción	Tecnología ICTA	Testigo 1	Testigo 2	Testigo 3	Testigo 4
Rendimiento de campo	29.45	29.70	24.01	38.97	33.02
Ajuste de rendimiento 20 %	23.56	23.76	19.21	31.18	26.42
Rendimiento ajustado (qq/ha)	518.32	522.72	422.58	685.87	581.15
Precio de papa (Quetzales/qq)	Q175.00	Q175.00	Q175.00	Q175.00	Q175.00
Beneficios brutos de campo (Q/ha ⁻¹)	Q90,706.00	Q91,476.00	Q73,950.80	Q120,027.60	Q101,701.60
Costos que varían (insumos) (Q/ha ⁻¹)	Q4,206.68	Q5,852.27	Q5,204.55	Q11,386.36	Q16,693.18
Costos que varían (jornales) (Q/ha ⁻¹)	Q246.21	Q184.66	Q184.66	Q184.66	Q492.42
Costos Totales que Varían (Q/ha ⁻¹)	Q4,452.89	Q6,036.93	Q5,389.21	Q11,571.02	Q17,185.60
Beneficios netos (Q/ha ⁻¹)	Q86,253.11	Q85,439.07	Q68,561.59	Q108,456.58	Q84,516.00

Fuente: Elaboración propia

Los resultados indican que la formula en validación presenta mayor beneficio neto en comparación al testigo 2, con una diferencia positiva de Q 17,691.52, siendo los municipios de Tacana e Ixchiguan a donde pertenecen el testigo y corresponde a donde solo utilizan los fertilizantes de 15-15-15 y 20-20-0, también supera a los testigos 1 (Tacana e Ixchiguan) y 4 (San Pedro) con una mínima cantidad de Q 814.04 y Q 1,737.11 por hectárea respectivamente. Por lo contrario con los agricultores principalmente del valle central de San Marcos como San Pedro Sacatepéquez, donde intensifican la fertilización, la formula en validación su beneficio neto no supero el beneficio neto del testigo 3, presentando una diferencia negativa de Q 22,203.47, en este caso el testigo 3 fue uno de los que utilizaron más insumos en la fertilización por lo que el análisis de eficiencia de uso de los elementos se reporta en el siguiente apartado.

Según Tabares, E. (2008), en un estudio de la papa a la respuesta a la fertilización en un Andisol, encontró que hubo una respuesta positiva a las dosis crecientes de NPK, cuyos promedios de producción total fueron 7,54; 9,34 y 11,39 kg m⁻². Sin embargo, la relación costo/beneficio, indica que las dosis adecuadas para la fertilización química de la papa Diacol

Capiro en este suelo, están alrededor de 1.500 kg ha⁻¹ y no justifica la aplicación de las dosis más altas de fertilizante, dado que al duplicarlas solo se logra un incremento del 22% en la producción total y no se observaron diferencias significativas en la producción de tubérculos de mayor valor comercial.

6.1.5. Eficiencia en el uso de N, P₂O₅ y K₂O en parcelas de validación de papa establecidas en San Marcos

La eficiencia agronómica (EA) que se refiere al aumento del rendimiento de tubérculos por cada unidad de nutriente aplicada (Puentes, P. *et al.* 2014). Los índices agronómicos de necesidad de N es determinado por kg de N absorbidos por tonelada de tubérculo producido (Marouani, A. 2016).

Cuadro 16. Eficiencia agronómica para la tecnología en validación en comparación al testigo 1 utilizado en cuatro parcelas de prueba de tecnología. 2019-2020.

Agriculto colaborador	Tecnología ICTA (Kg de tubérculo / Kg de elemento aplicado)			Testigo 1 (Kg de tubérculo / Kg de elemento aplicado)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Feliciano de León	209.70	786.38	267.07	76.94	165.68	165.68
Gumercindo Nollasco	234.64	879.90	298.83	87.29	187.96	187.96
Julio Garcia	112.23	420.88	142.94	69.99	150.70	150.70
Juan Gonzales	270.12	1012.96	344.03	143.57	309.14	309.14
Promedio Kg tub/Kg aplicado	206.67	775.03	263.22	94.45	203.37	203.37

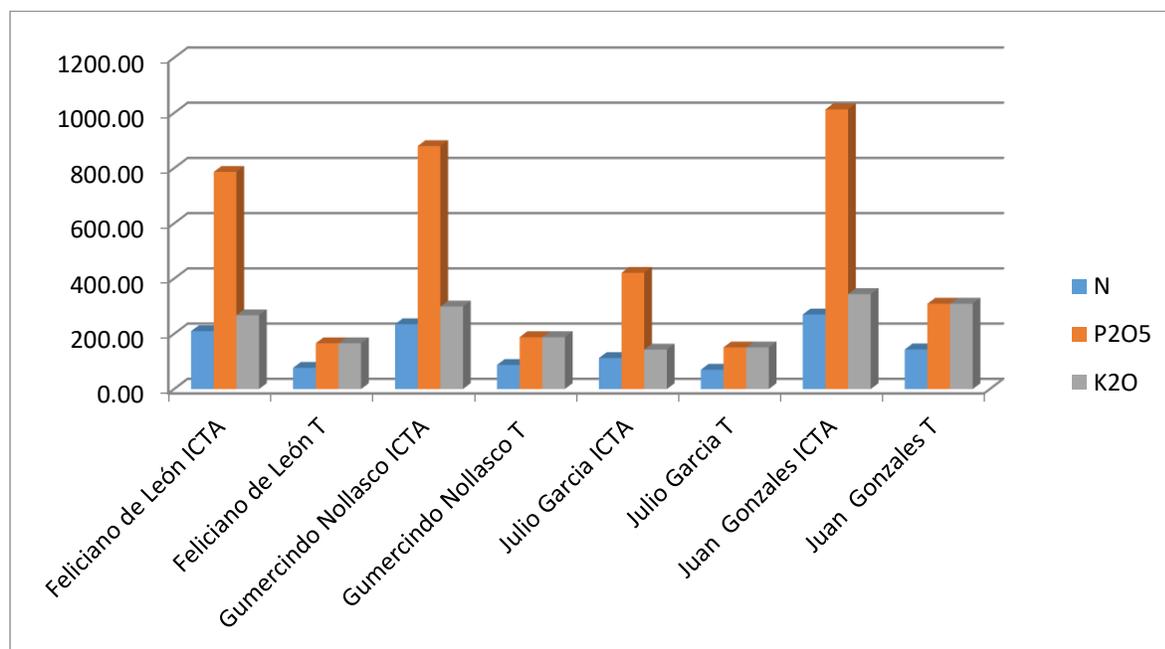
Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que con la aplicación de 135 kg de N, 36 kg P₂O₅ y 106 kg de K₂O por hectáreas produjo mayor cantidad de kilogramos de tubérculo en comparación con el testigo uno con aplicación de 267 kg de N, 124 kg de P₂O₅ y 124 Kg de K₂O, produjo una diferencia de 112.22, 512.0 y 59.85 kilogramos de tubérculos mas, por kilogramo de N P K aplicado a favor de la formula en validación.

Al hacer la comparación del testigo 267, 124 y 124 kg ha⁻¹ de N P K, con lo obtenido por Bertsch (2003) donde reporta que este cultivo absorbió 220, 20, 240 de N P K

respectivamente, para la producción de 20 t ha⁻¹, se observa que se aplicó más de lo que requiere el cultivo, con la tecnología que aplica el agricultor actualmente en los municipios de Tacana e Ixchiguán.

IPNI indica un valor de referencia de 4.4, 0.9 y 6.4 kg de K P N por tonelada de tubérculo producido, lo cual nos indica valores más bajos de requerimiento de nitrógeno.



Grafica 2. Eficiencia agronómica de aplicación de 135 kg de N, 36 kg P₂O₅ y 106 kg de K₂O ha⁻¹ (Recomendación ICTA) en comparación a la aplicación 267 kg de N, 124 kg P₂O₅ y 124 K₂O ha⁻¹ (Testigo).

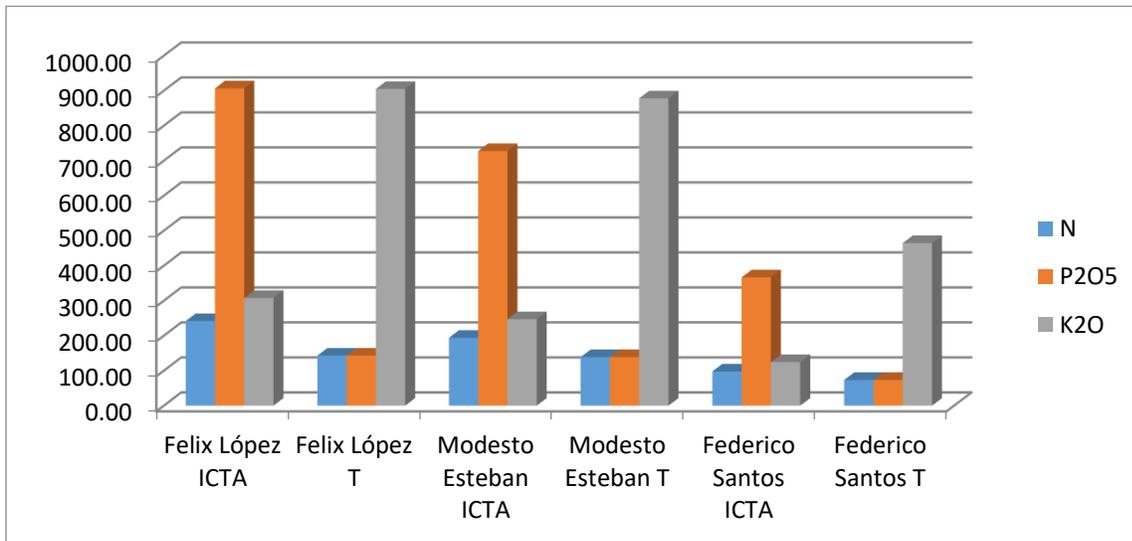
Cuadro 17. Eficiencia agronómica para la tecnología en validación en comparación al testigo 2 en tres parcelas de prueba de tecnología.

Agricultor colaborador	Tecnología ICTA (Kg de tubérculo / Kg de elemento aplicado)			Testigo 2 (Kg de tubérculo / Kg de elemento aplicado)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Felix López	241.76	906.60	307.90	143.11	143.11	904.83
Modesto Esteban	194.00	727.49	247.07	138.86	138.86	877.95
Federico Santos	97.78	366.67	124.53	73.47	73.47	464.52
Promedio	177.85	666.92	226.50	118.48	118.48	749.10

Fuente: Elaboración propia

La aplicación de 196 Kg de N, 196 Kg de P y 31 Kg de K como testigo, presentaron para N y P, menor rendimiento de tubérculo por kilogramo del elemento aplicado en comparación con la recomendación en validación, mientras que para el K, el testigo en las tres localidades presento mayor eficiencia agronómica.

En dos de estas parcelas, correspondientes a los agricultores Modesto Esteban y Feliz López los análisis de suelos iniciales indican que contienen 1 y 2.9 meq/100 gr respectivamente, encontrándose sobre los rangos adecuados de 0.40 a .80 meq/100 gr.



Grafica 3. Kilogramos de papa producido por kilogramo NPK aplicado, para ambas tecnologías. (135 kg de N, 36 kg P₂O₅ y 106 kg de K₂O ha⁻¹ (Recomendación ICTA) y 196 kg de N, 196 kg P₂O₅ y 31 kg de K₂O ha⁻¹ (Testigo)

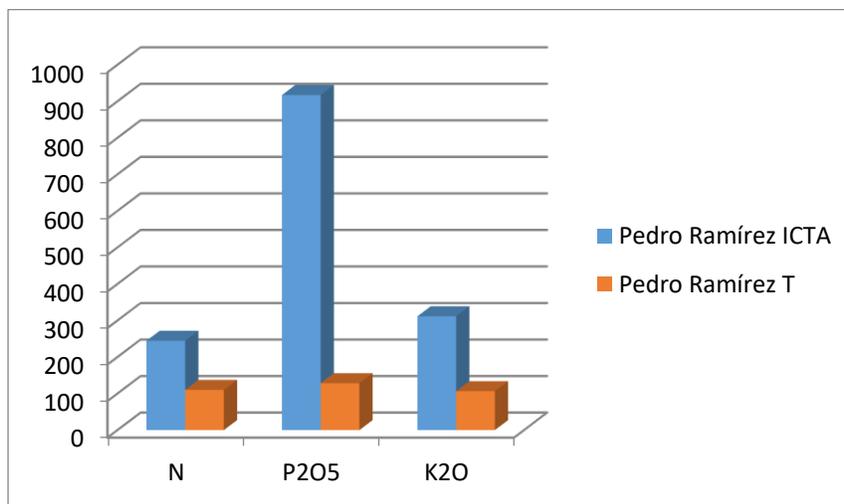
Cuadro 18. Eficiencia agronómica para la tecnología en validación en comparación al testigo 4 utilizado en una parcela de validación.

Agricultor colaborador	Tecnología ICTA (Kg de tubérculo / Kg de elemento aplicado)			Testigo 4 (Kg de tubérculo / Kg de elemento aplicado)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Pedro Ramírez Méndez	244.58	917.17	311.49	110.11	128.52	106.52

Fuente: Elaboración propia

En esta localidad ubicada en el Municipio de San Pedro Sacatepéquez se aplicaron 356 kg de N, 305 kg de P y 368 kg de K como testigo cuatro, sin embargo a pesar de las altas

cantidades utilizadas, produjeron menos kilogramos de tubérculos para cada uno de los macro elementos aplicados, en comparación de la formula en validación.



Grafica 4. Eficiencia agronómica de ambas tecnología (ICTA 135 kg de N, 36 kg P₂O₅ y 106 kg de K₂O ha⁻¹ –Testigo 356 kg de N, 305 kg P₂O₅, 368 kg de K₂O ha⁻¹).

6.1.6. Opinión de los agricultores sobre la tecnología

La opinión de los agricultores fue obtenida mediante las vistas realizadas a las parcelas, debido a que por el comportamiento expresado de las parcelas establecidas, no fue posible hacer un evento de día de campo y evaluación participativa.

Aplicando la técnica de PNI según Real Ginés (2013), es una estrategia que permite el mayor número de ideas que se generan sobre un evento, acontecimiento o alguna observación., permitiendo a los productores en este caso, determinar lo positivo, lo negativo y lo interesante de la formula en validación, por lo que se le considera de un alto valor para el proceso de generación de tecnología.

Cuadro 19. Opinión de los agricultores sobre la nueva tecnología para la fertilización de papa en San Marcos

Positivo	Negativo	Interesante
<ul style="list-style-type: none"> • Conocen nuevas alternativas para la fertilización del cultivo de papa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de fertilizantes no al acceso de ellos en los agro servicios locales • El proceso de la preparación de la mezcla hacen que los agricultores empleen más tiempo a la siembra. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nuevas fórmulas de fertilizantes para el cultivo de papa

6.1.7. Conclusiones

- En el departamento de San Marcos, la fórmula química en validación 135 Kg de N, 36 Kg de P y 106 Kg de K por hectárea no presento incremento en el rendimiento de tubérculos comerciales del cultivo de papa de variedad Loman comparado con la fertilización tradicional del agricultor.

- Los costos económicos estimados indican que el empleo de la recomendación técnica en validación, genera benéficos netos con aquellos productores ubicado en los municipios de Tacana e Ixchiguan.

El análisis de eficiencia del uso de macronutrientes en la fertilización del cultivo de papa determino, que las diferentes tecnologías que el agricultor utiliza para la nutrición del cultivo, está aplicando más cantidad de fertilizante por kilogramo de tubérculo producido, en comparación a la recomendación de ICTA.

6.1.8. Recomendaciones

- Se recomienda pasar a la siguiente fase del proceso de generación de tecnología la propuesta técnica de fertilización al cultivo de papa, por presentar una eficiencia agronómica en el rendimiento, evitando procesos de contaminación a los suelos por el exceso de fertilizantes que actualmente usan en el departamento.

6.2. Resultados departamento de Quetzaltenango

Los rendimientos de tubérculos de papa obtenidos en las parcelas de validación de la fórmula 198 kg de N, 72 kg de P y 248 kg de K ha⁻¹, establecidas en tres municipios en el departamento de Quetzaltenango son los siguientes.

Cuadro 20. Rendimiento de tubérculos de papa por categoría en toneladas por hectárea, en parcelas de validación establecido en el departamento de Quetzaltenango. 2019-2020

Municipio	Productor	Rendimiento t ha ⁻¹							
		Primera		Segunda		Tercera		TOTAL	
		Tecnología	Testigo	Tecnología	Testigo	Tecnología	Testigo	Tecnología	Testigo
San Juan Ostuncalco	Francisco Romero O.	21.02	16.81	8.41	13.45	4.20	1.68	33.63	31.94
San Juan Ostuncalco	Estela Nohemí Díaz	20.01	16.94	12.29	7.72	2.04	3.23	34.34	27.89
Concepción Chiquirichapa	Samuel Lorenzo López	29.59	27.2	7.29	7.7	0.00	0.00	36.88	34.9
San Mateo	Daniel Escalante	24.35	20.45	5.26	7.63	2.10	3.50	31.71	31.58
Concepción Chiquirichapa	Jessica Alicia Escalante	22.26	19.48	4.43	6.34	1.85	2.86	28.54	28.68
Concepción Chiquirichapa	Ezequiel Hernández	22.86	27.31	3.06	5.19	2.20	4.14	28.12	36.64
San Martín Sacatepéquez	Jublan López Pérez	18.21	12.14	3.65	2.42	0	0	21.86	14.56
Concepción Chiquirichapa	Ezequiel Hernández	22.66	19.56	3.23	4.2	3.23	2.38	29.12	26.14
Concepción Chiquirichapa	Rigoberto Sánchez	18.14	17.22	2.15	3.69	1.78	2.65	22.07	23.56

Fuente: Elaboración propia

6.2.1. Análisis de rendimiento por categoría de papa producida.

Los rendimientos obtenidos por categoría de calidad de los tubérculos producidos se analizaron a través de una prueba de “t” para muestras pareadas, identificando el efecto de la aplicación del fertilizante en validación sobre una categoría en específicos.

Cuadro 21. Prueba de “t” para el rendimientos de tubérculo de papa por categoría obtenidos en parcelas de validación en el departamento de Quetzaltenango.

Categoría de papa	Obs(1)	Obs(2)	N	media(dif)	Media(1)	Media(2)	DE(dif)	T	p(Unilateral D)
Primera	Tecnología ICTA	Testigo	9	2.44	22.12	19.68	2.94	2.49	0.0187
Segunda	Tecnología ICTA	Testigo	9	-0.95	5.53	6.48	2.67	-1.07	0.8423
Tercera	Tecnología ICTA	Testigo	9	-0.34	1.93	2.27	1.37	-0.74	0.76

Fuente: Elaboración propia

Según la prueba de “t”, se encontró diferencia estadística significativa en el rendimiento de papa de primera, a favor de la fórmula de fertilización en validación recomendación de ICTA, 198 kg de N, 72 kg de P y 248 kg de K por hectárea con un P-valor de 0.0187. Esto indica que la tecnología de ICTA propuesta para la fertilización en la categoría de primera produjo 2.44 t ha⁻¹, más que el testigo o fertilización local.

Se considera que la dosis de fertilizantes en validación produce un efecto positivo en el incremento del tubérculo de primera calidad para la variedad de papa Loman.

Para las categorías segunda y tercera no se encontró diferencia significativa entre el rendimiento de ambos tratamientos, para los productores dichas categorías no toma mayor importancia, por lo que se considera esta recomendación una alternativa para la nutrición del cultivo.

6.2.2. Análisis de rendimiento total

Tomando en cuenta el rendimiento total de papa, no haciendo diferencia entre categorías se hace el análisis a través de la prueba de “t”, los resultados obtenidos se detallan en el cuadro 23.

Cuadro 22. Prueba de t para rendimientos totales obtenidos en parcelas de validación en el departamento de Quetzaltenango.

Obs(1)	Obs(2)	N	media(dif)	Media(1)	Media(2)	DE(dif)	T	p(Unilateral D)
Tecnología ICTA	Testigo	9	1.15	29.59	28.43	4.66	0.74	0.2393

Fuente: Software InfoStat

La prueba de “t” para el rendimiento total de papa para ambos tratamientos indica que no existe diferencia estadística significativa, entre el rendimiento producido en la parcela fertilizada con la nueva formulación química, comparada con lo que habitualmente realiza el agricultor en el departamento, aceptando la hipótesis nula de la investigación. Por otra parte las cantidades de fertilizante que aplica el agricultor superan a la propuesta en validación, por tal motivo se realiza en el apartado siguiente el uso eficiente de los macronutrientes.

6.2.3. Análisis de Regresión Lineal

Para conocer el comportamiento del rendimiento de tubérculos de papa producidos con la fertilización con macro nutrientes, comparado con la fertilización que realiza el productor, se analizó a través de la regresión líneas propuestas por Eberhart and Russell en 1996, el cuadro 24 hace referencia a los coeficientes del análisis.

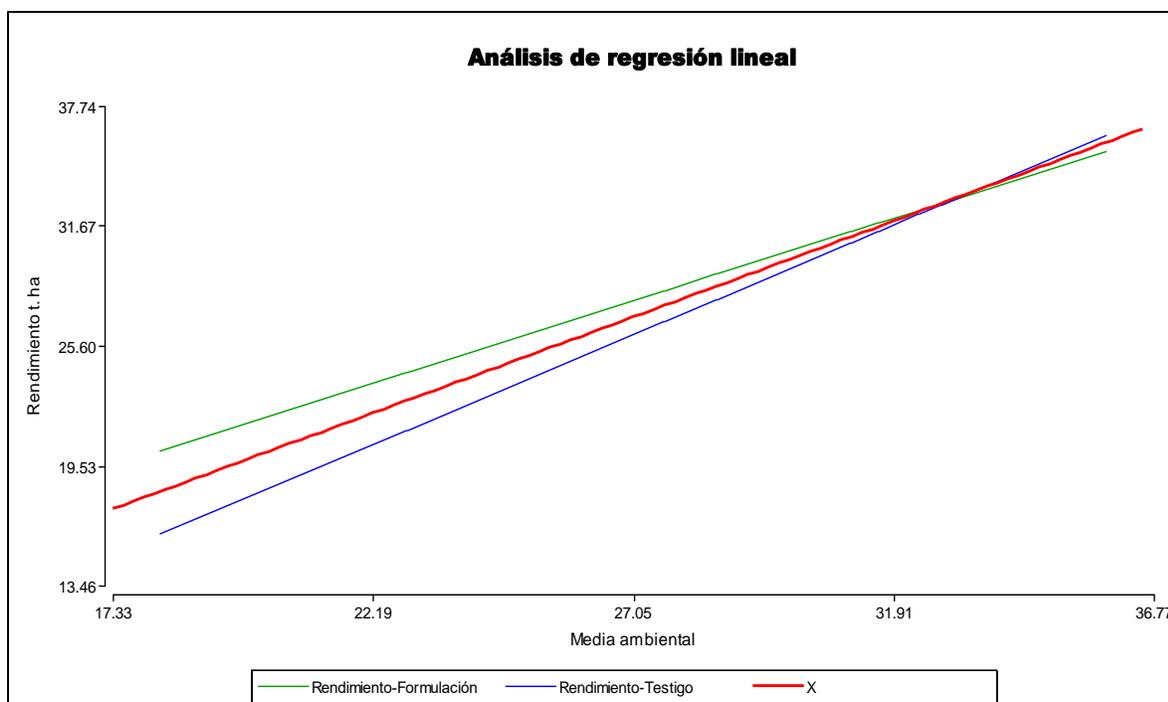
Cuadro 23. Coeficientes de regresión y estadísticos asociados

TRATAMIENTO	Variable	const	I.A.	I.A. _p-valor	R ²
Formulación ICTA	Rendimiento	4.69	0.86	0.0007	0.82
Testigo	Rendimiento	-4.69	1.14	0.0001	0.89

Fuente: Software InfoStat

El cuadro 23 indica que los rendimientos de la tecnología propuesta por ICTA en validación presenta un índice ambiental de 0.86, indicando que no presenta estabilidad ya que a pesar de estar en ambientes ricos sus rendimientos no mejoraron, tal como se observa la gráfica 5, lado derecho la posición de la pendiente bajo la media de los ambientes.

El rendimiento del testigo correspondiente a la forma tradicional como el agricultor fertiliza cada año, también no presento estabilidad con un índice ambiental de 1.14 sin embargo su rendimiento aumenta en ambientes de mejor oferta ambiental (grafica 5).



Grafica 5. Regresión lineal del rendimiento de tubérculo de papa, como efecto de la fertilización con formula en validación y fertilización tradicional (testigo)

6.2.4. Análisis económico de los tratamientos

Para conocer los costos y beneficios obtenidos con la aplicación de la tecnología propuesta por ICTA para la fertilización del cultivo de papa en el departamento de Quetzaltenango, se analizó a través de la metodología de presupuesto parcial, aplicado en análisis económico de ensayos agrícolas (Reyes, M. 2002).

Para la aplicación se hizo necesario cuantificar los costos variables de insumos y mano de obra empleados para ambas tecnologías.

Costos variables insumos

Para el análisis fue necesario cuantificar los insumos y mano de obra, catalogados como costos variables, utilizados en la parcela de validación como en la parcela testigo, por la ubicación geográfica y condiciones agroclimáticas fueron identificados cinco testigos, los cuales son descritos en los cuadros 18 y 19. En el cuadro 13 la columna inicial indica el las localidades que utilizan el testigo para el cual se hace la estimación del costo.

Cuadro 24. Costos variables, insumos utilizados para la fertilización en el cultivo de la papa en el departamento de Quetzaltenango.

Localidades	Insumo	Cantidad (220 m ²)	Unidad de medida	Cantidad (ha ⁻¹)	Unidad de medida	Precio de mercado (Q)	Costo (ha ⁻¹)	Costo Transporte (Q)	Costos total (ha ⁻¹)
Tratamiento en validación 198 Kg de N, 72 Kg de P y 248 Kg de K ha⁻¹									
Todas en estudio	Urea 46% N	19	Libra	8.64	qq	Q200.00	Q1,727.27	Q10.00	Q1,813.64
	10 - 50- 0	7	Libra	3.18	qq	Q325.00	Q1,034.09	Q10.00	Q1,065.91
	0-0-60	20	Libra	9.09	qq	Q300.00	Q2,727.27	Q10.00	Q2,818.18
Total Costos que varían de insumos									Q5,697.73
Testigo 1									
La Cumbre	15 -15 -15	25	Libra	11.36	qq	Q240.00	Q2,727.27	Q5.00	Q2,784.09
	20 -20 -0	25	Libra	11.36	qq	Q200.00	Q2,272.73	Q5.00	Q2,329.55
Total Costos que varían de insumos									Q5,113.64
Testigo 2									
San Juan	20- 20 -20	37.5	Libra	17.05	qq	Q220.00	Q3,750.00	Q5.00	Q3,835.23
Ostuncalco	20- 20 -20	37.5	Libra	17.05	qq	Q220.00	Q3,750.00	Q5.00	Q3,835.23
Total Costos que varían de insumos									Q7,670.45
Testigo 3									
San Martín	15 -15 -15	50	Libra	22.73	qq	Q250.00	Q5,681.82	Q5.00	Q5,795.45
	15 -15 -15	25	Libra	11.36	qq	Q250.00	Q2,840.91	Q5.00	Q2,897.73
Total Costos que varían de insumos									Q8,693.18
Testigo 4									
Concepción Ch	12 - 24 - 1 2	45	Libra	20.45	qq	Q250.00	Q5,113.64	Q5.00	Q5,215.91
	12 - 24 - 1 2	25	Libra	11.36	qq	Q250.00	Q2,840.91	Q5.00	Q2,897.73
Total Costos que varían de insumos									Q8,113.64
Testigo 5									
San Juan	20- 20 -20	25	Libra	11.36	qq	Q220.00	Q2,500.00	Q5.00	Q2,556.82
Ost Parte alta	20- 20 -20	12.5	Libra	5.68	qq	Q220.00	Q1,250.00	Q5.00	Q1,278.41
	Urea	12.5	Libra	5.68	qq	Q200.00	Q1,136.36	Q5.00	Q1,164.77
Total Costos que varían de insumos									Q5,000.00

Los costos que varían que comprenden los fertilizantes utilizados, puede observarse en el cuadro anterior que única mente el testigo uno y cinco utilizada en la parte alta de San Juan, presento menor gasto en la compra de fertilizantes, las diferentes formulaciones utilizadas en el resto de localidades para fertilizar denominadas testigos en la investigación, son de mayor costo para el productor, por los insumos utilizados.

Costo variables mano de obra

Cuadro 25. Costos variables, jornales empleados para la aplicación de fertilizantes en la validación.

No.	Actividad	No. De Personas	Tiempo (Min/220 m ²)	Jornales (220 m ²)	Jornales (ha ⁻¹)	Precio de campo Jornal	Costos de Campo Jornales (Q/ha ⁻¹)
Formula en validación ICTA							
1	Mezcla de fertilizantes	1	10	0.0208	1	Q65.00	Q61.55
2	Aplicación de fertilizantes	1	30	0.0625	3	Q65.00	Q184.66
Total Costos que varían jornales							Q246.21
Testigos 1, 2 y 3							
1	Aplicación de fertilizantes	1	30	0.0625	3	Q65.00	Q184.66
Total Costos que varían jornales							Q184.66

La estimación de los costos variables con relación a los jornales empleados indican que la fertilización en validación presento mayor consto, utilizando un jornal más en mano de obra para la aplicación, en comparación con la aplicación de la fertilización que normalmente hace el agricultor.

Presupuesto parcial

Cuantificando los costos que varían y los beneficios que se obtienen al hacer la comercialización, se determinaron los beneficios netos que se describen en el cuadro 27, para cada uno de los tipos de fertilización (testigos) y la recomendación en validación.

Se encuentra que existe diferencia en los beneficios netos generados por la nueva tecnología en validación para la fertilización al suelo del cultivo de la papa, en comparación a los testigos restantes.

Cuadro 26. Presupuesto parcial para la nueva tecnología de ICTA y cuatro testigos utilizados en la fertilización del cultivo de papa en el departamento de Quetzaltenango. 2019-2020.

Descripción	Tecnología					
	ICTA	Testigo 1	Testigo 2	Testigo 3	Testigo 4	Testigo 5
Rendimiento de campo	32.20	31.58	29.95	14.56	27.40	27.89
Ajuste de rendimiento 20 %	25.76	25.26	23.96	11.65	21.92	22.31
Rendimiento ajustado (qq/ha)	566.72	555.81	527.12	256.26	482.24	490.86
Precio de papa (Quetzales/qq)	Q175.00	Q175.00	Q175.00	Q175.00	Q175.00	Q175.00
Beneficios brutos de campo (Q/ha ⁻¹)	Q99,176.00	Q97,266.40	Q92,246.00	Q44,844.80	Q84,392.00	Q85,901.20
Costos que varían (insumos) (Q/ha ⁻¹)	Q5,697.73	Q5,113.64	Q7,670.45	Q8,693.18	Q8,113.64	Q5,000.00
Costos que varían (jornales) (Q/ha ⁻¹)	Q246.21	Q184.66	Q184.66	Q184.66	Q184.66	Q184.66
Costos Totales que Varían (Q/ha ⁻¹)	Q5,943.94	Q5,298.30	Q7,855.11	Q8,877.84	Q8,298.30	Q5,184.66
Beneficios netos (Q/ha ⁻¹)	Q93,232.06	Q91,968.10	Q84,390.89	Q35,966.96	Q76,093.70	Q80,716.54

Por otra parte la recomendación técnica propuesta en la investigación para la fertilización al suelo en papa, económicamente genero más beneficios netos que las fertilizaciones utilizadas en la región.

6.2.5. Eficiencia en el uso de N, P₂O₅ y K₂O en parcelas de validación de papa establecidas en el departamento de Quetzaltenango.

A continuación se presenta la eficiencia agronómica de la aplicación de 198 Kg de N, 72 Kg de P y 248 Kg de K por hectárea, recomendación de ICTA en validación, comparada con la eficiencia agronómica de cada uno de los testigos utilizados en el departamento de Quetzaltenango.

Cuadro 27. Eficiencia agronómica de la fórmula en validación comparada con los testigo utilizados en el departamento de Quetzaltenango.

	Tecnología ICTA (Kg de tubérculo / Kg de elemento aplicado)			Testigo (Kg de tubérculo / Kg de elemento aplicado)			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Francisco Romero O.	169.85	467.08	135.60	176.73	176.73	412.37	T1
Daniel Escalante	160.15	440.42	127.86	101.87	101.87	203.74	T2
Jublan López Pérez	110.40	303.61	88.15	62.65	62.64	62.64	T3
Samuel Lorenzo López	186.26	512.22	148.71	201.14	100.57	201.14	T4
Jessica Alicia Escalante	144.14	396.39	115.08	165.78	82.65	165.30	T4
Ezequiel Hernández	142.02	390.56	113.39	165.78	104.73	165.30	T4
Ezequiel Hernández	147.07	404.44	117.42	165.78	75.33	165.30	T4
Rigoberto Sánchez	111.46	306.53	88.99	165.78	67.90	165.30	T4
Estela Nohemí Díaz	173.43	476.94	138.47	101.91	180.04	0.00	T5

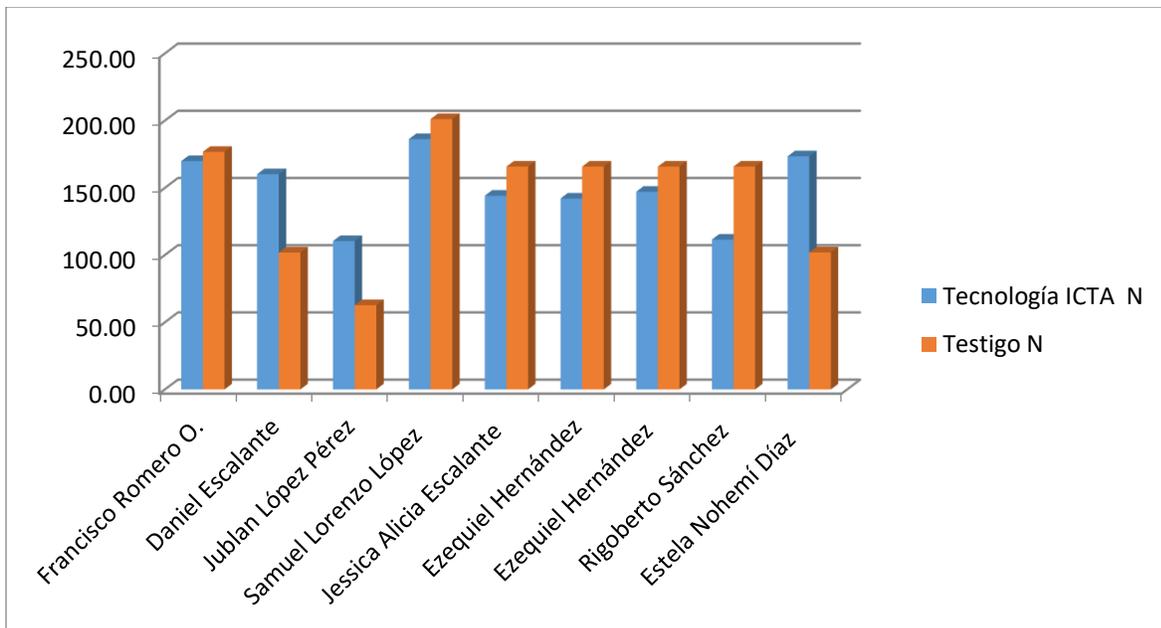
Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que el T1, supero en 7.78 y 276 kg por kilogramo aplicado de N y P respectivamente.

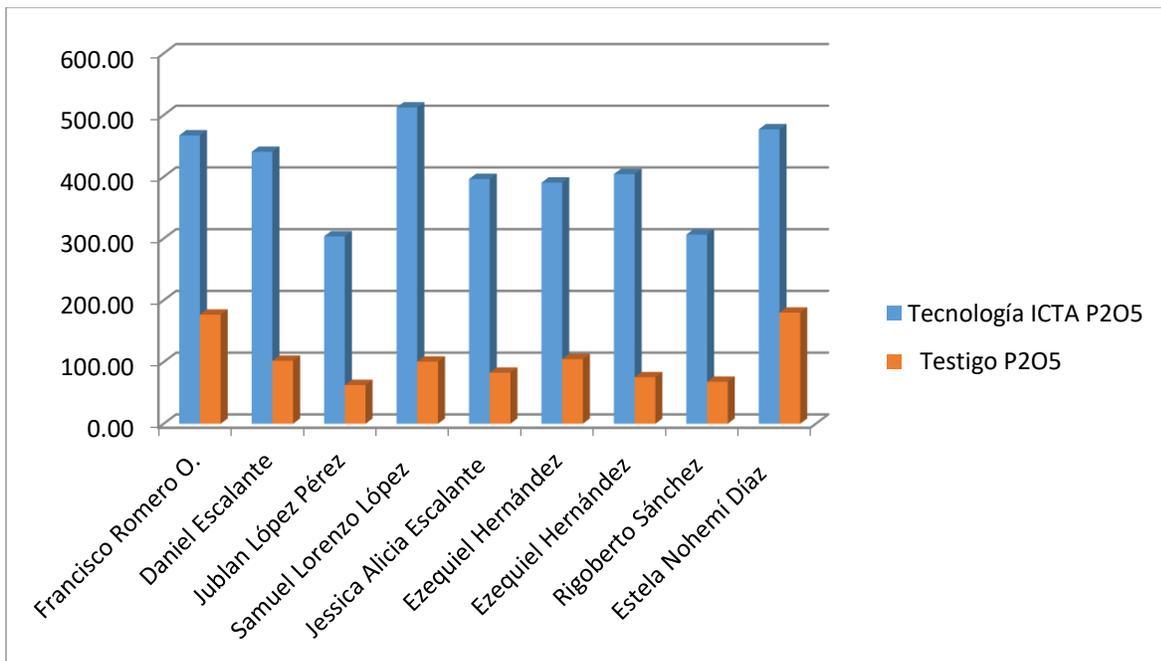
Para los testigo 2 y 3, no superaron en eficiencia de los elementos N P K a la recomendación en validación, por lo que en estas localidades se recomienda su uso.

En el caso del T4 se puede observar que en comparación con el N, el testigo produjo en promedio 26.66 kilogramos más de tubérculos por kilogramo de nutriente aplicado, por lo contrario para los nutrientes P se obtuvo una producción en promedio para la fórmula de 315 Kg de tubérculo más que el testigo. Para el elemento de K el testigo produjo en promedio 55.75 Kg más de tubérculo que la recomendación de ICTA, por cada kilogramo de fosforo aplicado.

Haciendo la comparación de EA de la tecnología propuesta con el testigo 5, se puede observar que fue a favor de tecnología en validación, con una diferencia bien marcada en los tres elementos.

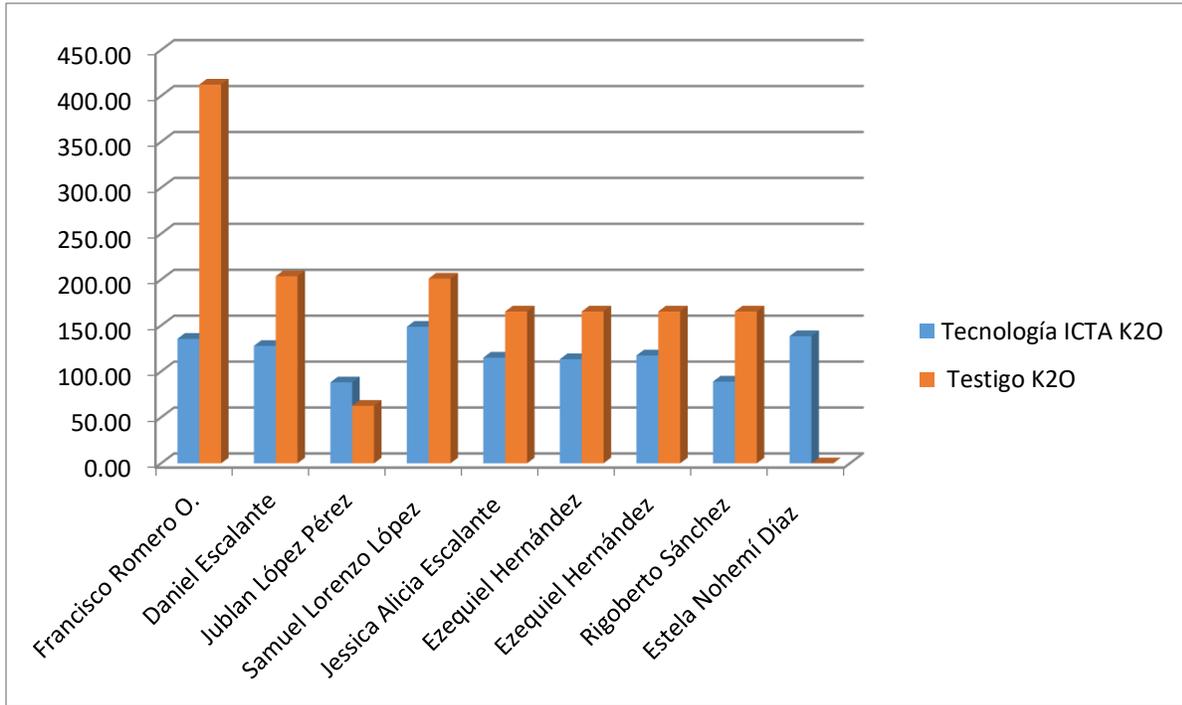


Grafica 6. Eficiencia agronómica de la aplicación de nitrógeno en las parcelas de validación en Quetzaltenango.



Grafica 7. Eficiencia agronómica de la aplicación de fósforo en las parcelas de validación en Quetzaltenango.

La eficiencia agronómica del fosforo de la formula en validación fue superior en producción de kilogramos de tubérculo por kilogramo de producto aplicado en todo los ambientes evaluados, al compararlos con la cantidad de fosforo aplicado en la fertilización química de los productores.



Grafica 8. Eficiencia agronómica de la aplicación de potasio en las parcelas de validación en el departamento de Quetzaltenango.

6.2.6. Opinión de los productores sobre la tecnología validada

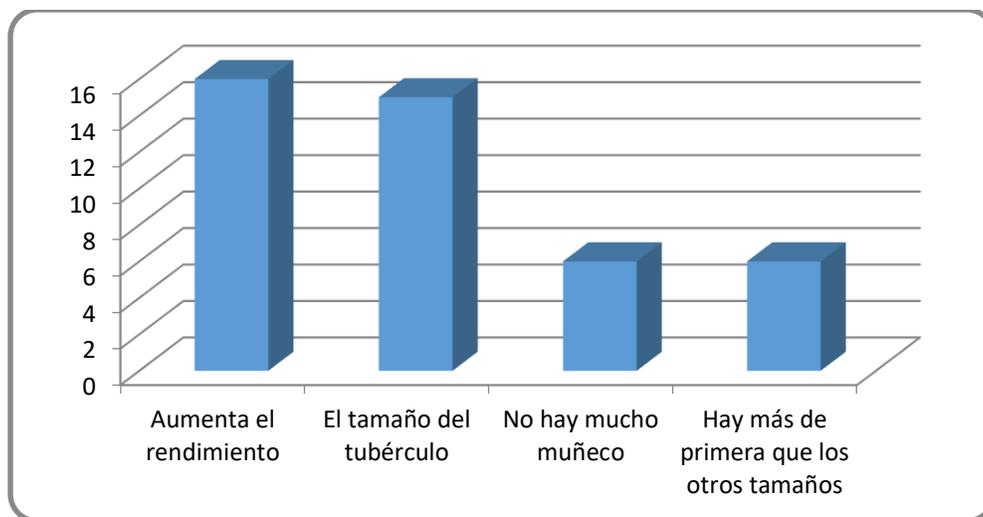
Para obtener la opinión de los agricultores se hizo necesario realizar un evento de día de campo y evaluación participativa (ICTA, 2010), a través de la coordinación con la Asociación Integral Guatemalteca de Mujeres Indígenas Mames –AIGMIM y La oficina de Extensión Rural del MAGA ambas instituciones en el municipio de San Juan Ostuncalco del departamento de Quetzaltenango.

Participaron un total de 47 personas de las cuales el 60 por ciento, son miembros de la Asociación AIGMAM, 18 por ciento, constituyó por extensionistas y promotores de la Oficina

de Extensión del MAGA en San Juan Ostuncalco, y el 22 por ciento restante fueron productores independientes.

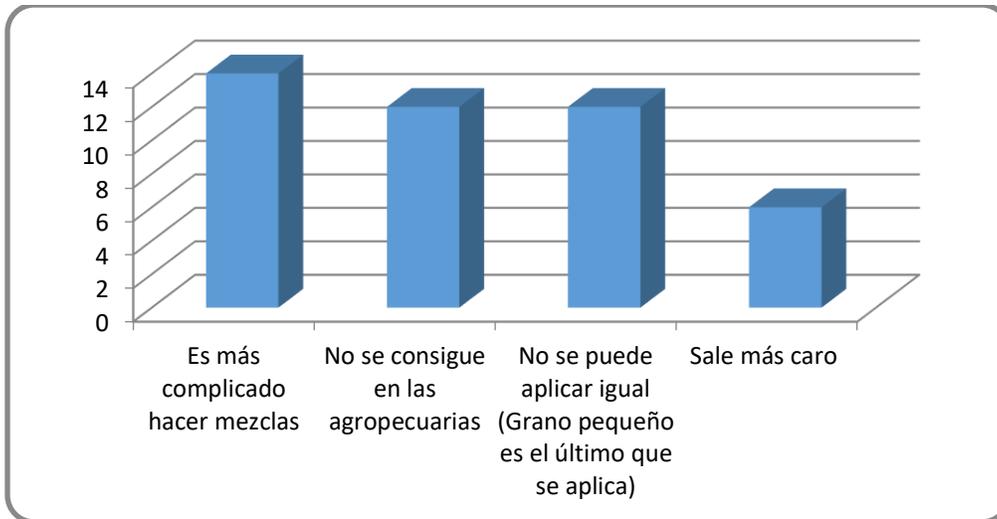
El paso de boletas se realizó a un total 20 participantes que participaron en el Día de Campo, lo que representa un 43 por ciento del total, seleccionado por representar a instituciones y agricultores con cierto grado de escolaridad para el llenado de la boleta.

El resultado de la opinión de los productores se presenta a continuación por pregunta realizada.



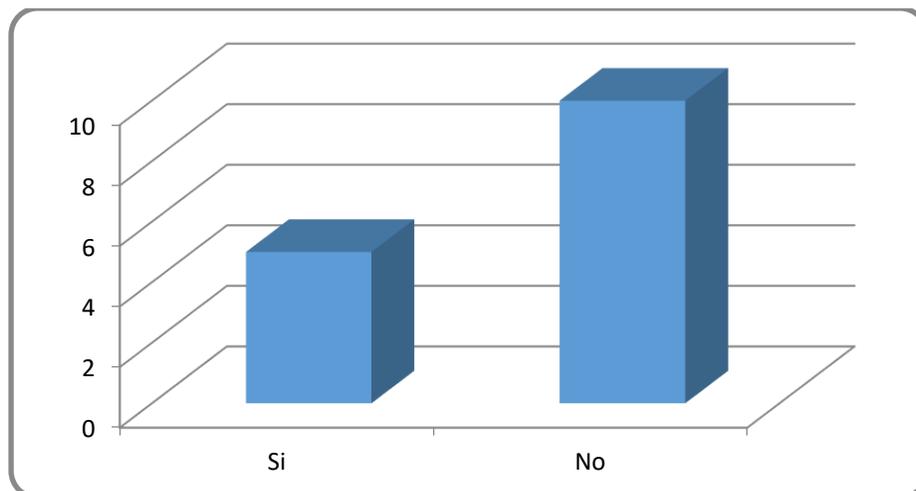
Grafica 9. Respuesta a la pregunta de boleta de evaluación participativa ¿Qué le gusta de la recomendación de fertilización?

La opinión de los productores indica que le gusta principalmente el rendimiento expresado por la variedad Loman fertilizado con la nueva tecnología, el tamaño del tubérculo, poca deformación en el tubérculo de papa (Muñeco) y que existió mas de papa de categoría de primera.



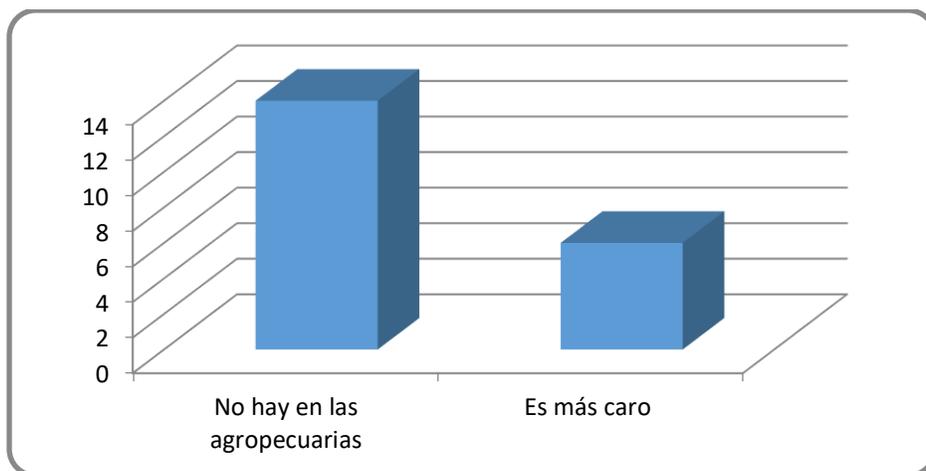
Grafica 10. Respuesta a la pregunta de boleta de evaluación participativa ¿Qué es lo que no le gusta?

Los agricultores manifestaron que es más complicado el manejo de la nueva tecnología por qué se necesita pesar y mezclar, ya que se necesita homogenizarlo bien, para evitar aplicar únicamente el fertilizante de grano pequeño al final y finalmente hacen referencia que le sale más costoso por que no se consigue con facilidad en las agropecuarias.



Grafica 11. Respuesta a la pregunta de boleta de evaluación participativa ¿Utilizaría usted esta recomendación de fertilizantes?

Se puede observar en la figura 5, que fueron menos los participantes que opinaron que utilizarían la recomendación de fertilización en su siguiente ciclo. También opinaron que lo harían en un lote no mayor de una cuerda, sabiendo que por la zona hay más extensión destinada a la papa a la que no aplicarían la nueva tecnología por las desventajas que presenta.



Grafica 11. Respuesta a la pregunta de boleta de evaluación participativa ¿Qué Dificultades tendría para usar esta recomendación?

Las desventajas principales que hicieron mención fue a que es difícil adquirirlos en las agropecuarias por no ser formulas químicas que normalmente se usan en los cultivos de la región.

A juzgar por las respuestas a la pregunta de lo que no le gusta, podemos inferir que la tecnología no es adecuada para los productores de papa del altiplano occidental de Guatemala.

La tecnología presenta ventajas que son reconocidas por los productores, sin embargo, debido a la dificultad en la aplicación de la misma, los entrevistados no están dispuestos emplearla.

Debido a ser una mezcla física, los productores consideran que, en el caso de la urea, por ser el grano más pequeño puede caer al fondo del saco y por consiguiente es el último elemento que se aplica con lo que la distribución de los elementos mayores no es uniforme en el campo de cultivo.

6.2.7. Conclusiones

- El nivel de fertilización 198 Kg de N, 72 Kg de P y 248 Kg de K ha⁻¹ utilizado en la nutrición del suelo en el cultivo de la papa, presento incremento en el rendimiento de la papa variedad Loman únicamente en la categoría de tubérculo de primera.
- Económicamente los beneficios netos que genera la nueva tecnología de fertilización son mayores que los producidos al utilizar la fertilización tradicional del agricultor.
- La eficiencia del uso de P es mayor en la formulación en validación, en comparación con la tecnología del agricultor.
- La opinión de los productores no es positiva para la nueva tecnología, las desventajas que ellos encuentran tienen más peso, que la ganancia en rendimiento y costo netos que obtiene al final del ciclo.

6.2.8. Recomendaciones

- Continuar con el proceso de generación de tecnología, siempre que se hagan las modificaciones en la estructura física de la formula, para mejorar la efectividad al momento de la aplicación.
- Ampliar el proceso de validación para la fórmula propuesta, para poder contar con mayor certeza el resultado obtenido, el cual se verá expresado en la opinión positiva de los productores.

6.3. Resultados departamento de Huehuetenango

6.3.1. Rendimiento por categorías

La producción de los tratamientos en cada localidad se dividió en categorías, Primera, Segunda y Tercera, basándose en el tamaño del tubérculo para su clasificación. Con el objetivo

de conocer si alguno de los tratamientos evaluados favorecía estadísticamente alguna de las categorías de clasificación se realizó un análisis estadístico del rendimiento por medio de una prueba de T, para muestras independientes. Los datos que se muestran en el cuadro 29 representan el promedio de rendimiento por tratamiento para las diez localidades trabajadas en la investigación

Cuadro 28. Rendimiento del tubérculo en fresco por categorías y por tratamiento

Agricultor	Municipio	Rendimiento ICTA t ha ⁻¹			Rendimiento Testigo t ha ⁻¹		
		Primera	Segunda	Tercera	Primera	Segunda	Tercera
Alberto Lucas	Todos Santos Cuchumatán	1.97	5.87	4.17	7.18	7.84	1.54
Andrés Chales	Todos Santos Cuchumatán	13.36	8.02	2.67	18.71	13.36	1.34
Domingo Vargas	San Juan Ixcoy	16.03	7.91	5.1	10.14	5.94	3.25
Herminio Pablo	Todos Santos Cuchumatán	23.72	5.47	0.66	18.36	3.16	0.75
Perfecto Cano	Chiantla	25.25	2.41	1.25	21.16	3.61	0.84
Santos López	Chiantla	10.43	5.13	3.18	9.37	5.31	3.01
Silvestre Cano	Chiantla	32.8	1.64	0.66	29.52	1.31	0.66
Julian López	Chiantla	1.7	2.01	1.3	1.41	2.07	1.09
Estanislao Carrillo	Todos Santos Cuchumatán	8.18	8.78	4.33	25.73	9.26	2.28
Marcos López	Chiantla	8.91	8.07	2.46	12.35	9.05	3.47

Fuente: Elaboración propia

a) Categoría de “Primera”

Comparando las medias para cada tratamiento, las cuales aparecen en el Cuadro 30, se puede observar que existe una diferencia de 1.16 t/ha a favor del testigo, el cual posee una media de 15.39 t/ha. Asimismo con base en el resultado de la prueba de la prueba de T se puede decir que no existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos (p-valor= 0.6906), en otras palabras ninguno de los programas de fertilización en estudio produce rendimientos superiores estadísticamente, con respecto a la categoría “Primera” de los tubérculos. Aunque estadísticamente los tratamientos producen resultados iguales, es importante resaltar que en seis de las 10 localidades la tecnología de ICTA presentó rendimientos mayores al testigo.

Cuadro 29. Prueba de T para el rendimiento de la categoría “Primera”

Observación (1)	Observación (2)	N	media (dif)	Media (1)	Media (2)	DE (dif)	T	p (Unilateral D)
Rend. ICTA 1 t ha ⁻¹	Rend. Testigo 1 t ha ⁻¹	10	-1.16	14.24	15.39	7.1	-0.52	0.6906

b) Categoría de “Segunda”

Con respecto a la categoría “Segunda”, se mantiene la tendencia como en la anterior. En este caso existe una diferencia de 0.56 t ha⁻¹ a favor del testigo, el cual posee una media de 6.09 t ha⁻¹, por lo que estadísticamente se puede decir que la propuesta de ICTA no produce efectos superiores en el rendimiento de tubérculos comerciales de papa (p-valor= 0.7859), comparado con la fertilización tradicional utilizada por el productor, con respecto a la categoría “Segunda”.

Cuadro 30. Prueba de T para el rendimiento de la categoría “Segunda”

Observación (1)	Observación (2)	N	media (dif)	Media (1)	Media (2)	DE (dif)	T	p (Unilateral D)
Rend. ICTA 2 t ha ⁻¹	Rend. Testigo 2 t ha ⁻¹	10	-0.56	5.53	6.09	2.14	-0.83	0.7859

Fuente: Software InfoStat

c) Categoría de “Tercera”

Para el caso de la categoría “Tercera”, al comparar las medias de rendimientos mostradas en el Cuadro 32, se puede observar una diferencia de 0.76 56 t ha⁻¹ a favor de la tecnología propuesta por ICTA, lo cual ayuda a afirmar que estadísticamente existe diferencia significativa entre los tratamientos evaluados (p-valor= 0.0341), es decir que en este caso la tecnología propuesta por ICTA produce efectos superiores en el rendimiento de dicha categoría.

Cuadro 31. Prueba de T para el rendimiento de la categoría “Tercera”

Observación (1)	Observación (2)	N	media (dif)	Media (1)	Media (2)	DE (dif)	T	p (Unilateral D)
Rend. ICTA 3 t ha ⁻¹	Rend. Testigo 3 t ha ⁻¹	10	0.76	2.58	1.82	1.15	2.07	0.0341

Fuente: Software InfoStat

6.3.2. Rendimiento total

También se realizó una prueba de T para el rendimiento total, en donde las medias fueron muy similares, con 22.34 t/ha para la tecnología propuesta por ICTA y 23.31 t/ha para el testigo, con una diferencia de 0.97 t ha⁻¹ a favor del último. Los resultados de la prueba de T indican que

no existe diferencia significativa entre los tratamientos en estudio (p-valor= 0.6461), por lo que en base a estos resultados y a la primer hipótesis planteada se puede decir que estadísticamente la propuesta de ICTA no produce efectos superiores en el rendimiento de tubérculos comerciales de papa. A pesar de lo descrito anteriormente es importante ver otros aspectos como la estabilidad de los tratamientos y la mejor opción desde el punto de vista económico, aspectos que se verán en los siguientes apartados.

Cuadro 32. Prueba de T para el rendimiento total

Observación (1)	Observación (2)	N	media (dif)	Media (1)	Media (2)	DE (dif)	T	p (Unilateral D)
Rend. ICTA Total t ha ⁻¹	Rend. Testigo Total t ha ⁻¹	10	-0.97	22.34	23.31	7.9	-0.39	0.6461

Fuente: Software InfoStat

Los rendimientos del testigo pueden ser explicados por las altas cantidades de abono orgánico (gallinaza, estiércol de oveja, estiércol de vaca, abono de abonera) que aplican al momento de la siembra, que en promedio son 23.03 t ha⁻¹. De acuerdo a Galland et al., 1998 y Porter et al., 1999; citados por Zamora et al 2008; El uso de estiércoles está asociado a un incremento de los contenidos de nitrógeno en el suelo, se ha demostrado que la aplicación de estiércoles, estimula la microbiota de suelo, lo cual favorece la mineralización de la materia orgánica, aumentando la liberación del nitrógeno orgánico, además de promover la actividad radical favoreciendo la absorción de nutrimentos, todo esto repercute en una mejor fertilidad del suelo.

A pesar de lo descrito con anterioridad, la materia orgánica o estiércoles deben de pasar por un proceso de fermentación, previo a su aplicación en el campo; de lo contrario la materia orgánica puede contener microorganismos que afectan a la planta de papa.

Por otro lado uno de los beneficios al suelo al momento de usar la tecnología del ICTA, es la aplicación de cal, principalmente porque ayuda a regular el pH y de esta manera hace disponibles a la mayoría de elementos a la planta. Chávez 2005, en su investigación llevada a cabo en Sololá, Guatemala; encontró que al adicionar a la fertilización tradicional cal a razón de 0.454 t ha⁻¹ más fertilizantes foliares los rendimientos se incrementaron considerablemente, con

esta adición obtuvo una media de 39.45 t ha⁻¹, mientras que con la fertilización tradicional de triplique quince a razón de 0.943 t ha⁻¹ obtuvo un rendimiento de 18.91 t ha⁻¹.

También es importante mencionar que la mayoría de agricultores utiliza fertilizantes de reacción acida como el Triple 15 y la Urea, lo cual viene a acidificar aún más el suelo, que según datos de análisis de suelo hechos por el equipo de la DVTT en Huehuetenango en el año 2013 en la meseta de Los Cuchumatanes, el promedio del pH en las localidades muestreadas fue de 4.4 y con un rango que va de 3.8 a 5.5. Lo anterior no sucede con la tecnología recomendada por ICTA en la presente investigación, la cual usa fertilizantes como Complex® y Nitrato de potasio

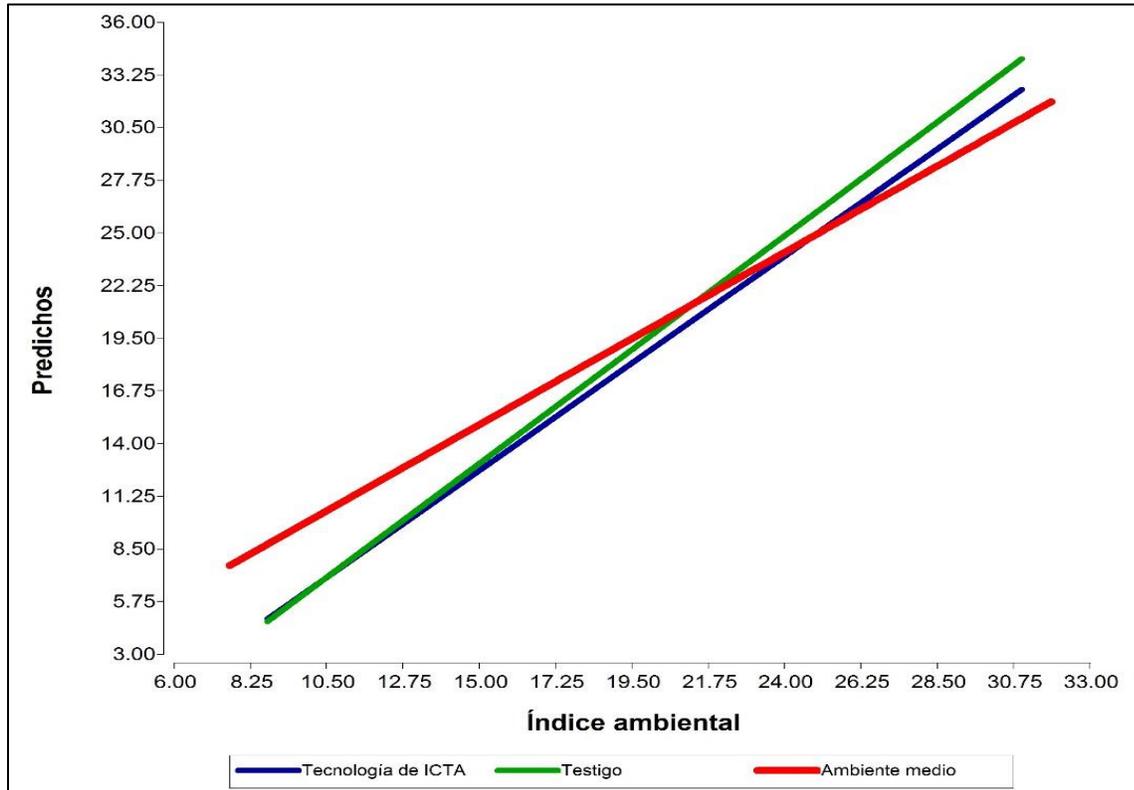
6.3.3. Análisis de la estabilidad

Otro aspecto importante es la estabilidad de las tecnologías en validación, en este caso los programas de fertilización en el cultivo de papa, ya que se desea que los rendimientos producidos y que en parte son resultado de la fertilización, sean estables para los diferentes ambientes evaluados. Para conocer lo anteriormente descrito se realizó un análisis de estabilidad por medio del modelo propuesto por Eberhart & Russell en el año 1966, el cual se basa en modelos de regresión.

Resultado del análisis de regresión se presenta la Figura 3, la cual muestra la estabilidad de las tecnologías en validación. En dicha gráfica se puede observar que tanto la barra que representa la Tecnología de ICTA como la del testigo se encuentran por encima de la barra del ambiente medio en su extremo derecho, lo cual indica que las tecnologías en validación producen mejores rendimientos del cultivo de papa en ambientes con buenas condiciones de producción, dicho de otra forma ambas tecnologías son inestables con respecto al rendimiento de tubérculo.

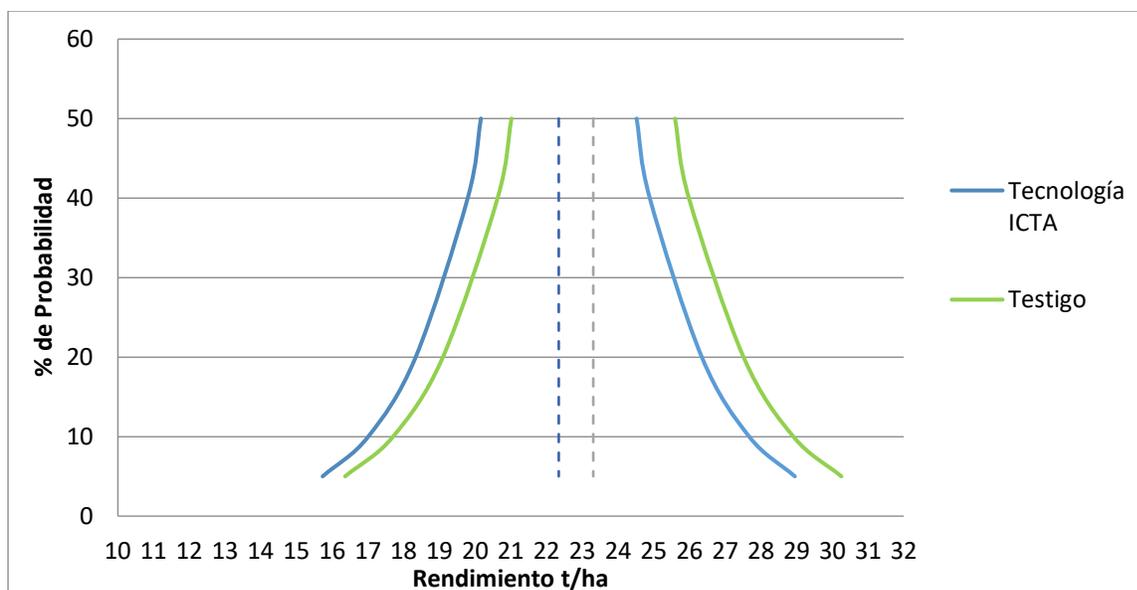
A pesar que las dos tecnologías son inestables, se puede observar que la barra que representa al Testigo posee una mayor pendiente (1.32), con respecto a la tecnología de ICTA (1.24), lo cual aumenta levemente la inestabilidad del Testigo. Lo anterior se puede observar en la Figura 3, en donde la barra del Testigo está levemente por encima de la tecnología de ICTA, en el extremo derecho.

Otro dato que brinda el análisis de regresión son los coeficientes de determinación los cuales son similares, la tecnología de ICTA con un valor de 0.81 y el testigo con 0.83. Éste coeficiente determina la calidad del modelo para replicar futuros resultados



Grafica 13. Análisis de estabilidad por medio del modelo Eberhar & Russell

Por otro lado, también se analizó la estabilidad de los tratamientos por medio de “Curvas Studentizadas”, las cuales se presentan en la figura 4, donde se puede observar que las campanas formadas para cada tratamiento son similares con respecto a su ancho, lo que indica que presentan la misma estabilidad, pero para conocer cual presenta mejor estabilidad nos basaremos en el error estándar de la media, en donde la tecnología de ICTA posee un dato menor (2.86 t/ha), con respecto al testigo (3.01 t/ha), lo cual indica mejor estabilidad para este tratamiento.



Gráfica 14. Análisis de estabilidad por medio de curvas studentizadas

Cuadro 33. Promedio de rendimiento y error estándar de la media por tratamiento

Promedio t ha ⁻¹		Error Estandar de la Media (EEM)	
Tecnología ICTA	Testigo	Tecnología ICTA	Testigo
22.342	23.307	2.8667	3.0121

6.3.4. Análisis económico para la nueva tecnología

Presupuesto parcial

Se realizó un presupuesto parcial para cada parcela de prueba establecida, los cuales se presentan en el Cuadro 35, en donde no están desglosados los “Totales de costos que varían” debido a la cantidad de datos, por lo que solo se colocó el total para cada parcela de prueba, las cuales están identificadas con el nombre del agricultor en donde se establecieron.

Uno de los datos más importantes del presupuesto parcial es el “Beneficio neto” obtenido, el cual se presenta para cada parcela de prueba. A grandes rasgos se puede ver que de las diez parcelas en siete de ellas la tecnología del ICTA presenta beneficios netos mayores al testigo, lo cual es resultado de que los “Totales de costos que varían” de este último son mayores a sus “Beneficios brutos de campo”.

Cuadro 34. Presupuesto parcial por parcela de prueba de tecnología establecida en Huehuetenango 2019-2020.

Agricultor	Rubro	Dimensional	Testigo	ICTA
Alberto Lucas	Rendimiento medio	t ha ⁻¹	16.56	12.01
	Rendimiento ajustado	t ha ⁻¹	14.90	10.81
	Beneficios brutos de campo	Q/ha	45,906.62	33,289.90
	Totales de costos que varían	Q/ha	48,498.29	16,994.85
	Beneficios netos	Q/ha	-2,591.67	16,295.05
Andrés Chales	Rendimiento medio	t ha ⁻¹	33.40	24.05
	Rendimiento ajustado	t ha ⁻¹	30.06	21.65
	Beneficios brutos de campo	Q/ha	92,592.59	66,666.67
	Totales de costos que varían	Q/ha	16,671.80	16,716.22
	Beneficios netos	Q/ha	75,920.79	49,950.45
Domingo Vargas	Rendimiento medio	t ha ⁻¹	19.34	29.05
	Rendimiento ajustado	t ha ⁻¹	17.40	26.14
	Beneficios brutos de campo	Q/ha	53,599.55	80,518.52
	Totales de costos que varían	Q/ha	35,379.35	16,716.22
	Beneficios netos	Q/ha	18,220.20	63,802.30
Herminio Pablo	Rendimiento medio	t ha ⁻¹	22.27	29.84
	Rendimiento ajustado	t ha ⁻¹	20.05	26.86
	Beneficios brutos de campo	Q/ha	61,739.13	82,727.27
	Totales de costos que varían	Q/ha	15,173.66	16,716.22
	Beneficios netos	Q/ha	46,565.47	66,011.05
Perfecto Cano	Rendimiento medio	t ha ⁻¹	25.61	28.91
	Rendimiento ajustado	t ha ⁻¹	23.05	26.02
	Beneficios brutos de campo	Q/ha	71,000.00	80,133.33
	Totales de costos que varían	Q/ha	27,002.43	16,809.09
	Beneficios netos	Q/ha	43,997.57	63,324.24
Santos López	Rendimiento medio	t ha ⁻¹	17.68	18.74
	Rendimiento ajustado	t ha ⁻¹	15.92	16.87

	Beneficios brutos de campo	Q/ha	49,019.61	51,960.78
	Totales de costos que varían	Q/ha	19,499.67	16,948.41
	Beneficios netos	Q/ha	29,519.94	35,012.38
Silvestre Cano	Rendimiento medio	t ha ⁻¹	31.48	35.09
	Rendimiento ajustado	t ha ⁻¹	28.34	31.58
	Beneficios brutos de campo	Q/ha	87,272.73	97,272.73
	Totales de costos que varían	Q/ha	20,727.62	16,809.09
	Beneficios netos	Q/ha	66,545.11	80,463.63
Julian López	Rendimiento medio	t ha ⁻¹	4.58	5.01
	Rendimiento ajustado	t ha ⁻¹	4.12	4.51
	Beneficios brutos de campo	Q/ha	12,683.76	13,880.34
	Totales de costos que varían	Q/ha	4,037.63	16,994.85
	Beneficios netos	Q/ha	8,646.13	-3,114.51
Estanislao Carrillo	Rendimiento medio	t ha ⁻¹	37.28	21.28
	Rendimiento ajustado	t ha ⁻¹	33.55	19.16
	Beneficios brutos de campo	Q/ha	103,333.33	59,000.00
	Totales de costos que varían	Q/ha	16,948.41	30,050.69
	Beneficios netos	Q/ha	42,051.59	38,879.86
Marcos López	Rendimiento medio	t ha ⁻¹	24.87	19.43
	Rendimiento ajustado	t ha ⁻¹	22.38	17.49
	Beneficios brutos de campo	Q/ha	68,930.56	53,861.11
	Totales de costos que varían	Q/ha	30,050.69	16,948.41
	Beneficios netos	Q/ha	38,879.86	36,912.70

También se realizó un presupuesto parcial para todas las parcelas de prueba, usando el promedio de cada rubro (Cuadro 35). A pesar que el Testigo posee un rendimiento medio mayor que la Tecnología de ICTA, sus beneficios netos son menores (Q. 36,102.34), esto se debe principalmente a que los “Totales de costos que varían” del Testigo (Q. 28,505.45) son considerablemente mayores a la Tecnología de ICTA (Q. 16,860.18).

Los costos elevados en el testigo se deben a dos aspectos principales: a) Uso de grandes cantidades de fertilizante orgánico/abono y b) Realización de una tercera fertilización, aunque el primero de estos aspectos es quién hace realmente la diferencia, ya que se gastan Q. 18,360.25 más en comparación con la tecnología del ICTA. Además de elevar los costos, la mayoría de agricultores usa materia orgánica no procesada, la cual contamina los suelos con microorganismos dañinos para la planta de papa.

Por otro lado, aunque el fertilizante químico recomendado por ICTA en la primera fertilización, eleva los costos en comparación con el Testigo, los “Totales de costos que varían”, siguen siendo menores. Además, uno de los beneficios de este fertilizante (YaraMila Complex®) es que debido a su contenido de nitrógeno amoniacal hace que la planta tenga alimento en un plazo más prolongado, además por su contenido de P y K promueve un mejor desarrollo radicular causando un crecimiento vigoroso de la planta, mejora el llenado de fruto e incrementa la tolerancia de la planta al estrés por el calor, frío y viento.

A pesar que el uso de cal agrícola por parte de la tecnología del ICTA, aumenta los costos, ésta ayuda a regular o elevar el pH en los suelos con problemas de acidez, lo cual es bastante común en la meseta de Los Cuchumatanes, y al estar el pH en un nivel óptimo la mayoría de nutrientes están disponibles a la planta.

Por último, es importante mencionar que la mayoría de agricultores de la zona no toman en cuenta los gastos por jornales dentro de su presupuesto, ya que son ellos o su familia, quienes realizan las labores agrícolas, por lo que sus costos de producción no son reales y por lo tanto sus beneficios netos tampoco

Cuadro 35. Presupuesto parcial general

Rubro	Dimensional	Testigo	ICTA
Rendimiento medio	t ha ⁻¹	23.3	22.34
Rendimiento ajustado	t ha ⁻¹	20.97	20.1
Beneficios brutos de campo	Q/ha	64,607.79	61,931.07
Fertilizante orgánico	Q/ha	21,220.25	2,860.00
Fertilizante químico/primer fertilización	Q/ha	981.25	3,602.86
Fertilizante químico/segunda fertilización	Q/ha	4,122.01	4,948.98
Fertilizante químico/tercera fertilización	Q/ha	1,490.64	0
Cal agrícola	Q/ha	0	4,840.00
M.O. fertilizante orgánico	Q/ha	282.55	109.17
M.O. fertilizante químico/primer fertilización	Q/ha	21.63	114.04
M.O. fertilizante químico/segunda fertilización	Q/ha	241.77	276.67
M.O. fertilizante químico/tercera fertilización	Q/ha	145.36	0
M.O. cal agrícola	Q/ha	0	108.46
Totales de costos que varían	Q/ha	28,505.45	16,860.18
Beneficios netos	Q/ha	36,102.34	45,070.89

Fuente: Elaboración propia

6.3.5. Eficiencia en el uso de N, P₂O₅ y K₂O en parcelas de prueba de papa en Huehuetenango

En apartados anteriores se han abordado temas como el rendimiento del cultivo, estabilidad de las tecnologías y el tema económico; sin embargo es importante y necesario abordar el tema de la fertilización al cultivo de papa, desde el punto de vista de la eficiencia en el uso de los macronutrientes (N, P₂O₅ y K₂O).

Lo importante en este tema es conocer la producción de tubérculo obtenido por kilogramo de elemento aplicado al suelo en forma de fertilizante, tanto para la tecnología de ICTA como

para el Testigo. En tal sentido se muestra esta relación para cada agricultor o parcela de prueba llevada a cabo en la investigación.

En los resultados del Cuadro 37 claramente se ve que para los elementos N y P_2O_5 la tecnología de ICTA supera en todos los casos al testigo y si tomamos como referencia el promedio de las diez parcelas de prueba, existe una diferencia de 182.87 kg N.kg y 396.75 kg P_2O_5 . kg a favor de la tecnología de ICTA. Sin embargo en el caso de elemento K_2O la tecnología de ICTA supera al testigo únicamente en seis casos, pero en promedio existe una diferencia a favor de ICTA de 5.66 kg K_2O .kg.

A pesar que con la tecnología de ICTA se realizan únicamente dos fertilizaciones y con dosis relativamente bajas comparadas con el testigo en donde en algunos casos realizan hasta tres fertilizaciones, la eficiencia es superior como se evidenció en el párrafo anterior.

Es importante aclarar que en este análisis de la eficiencia de macronutrientes no se está tomando en cuenta el aporte de parte de la materia orgánica, tanto para la tecnología del ICTA como para el testigo, que como se vio en apartados anteriores aplican grandes cantidades por unidad de área en este último en mención.

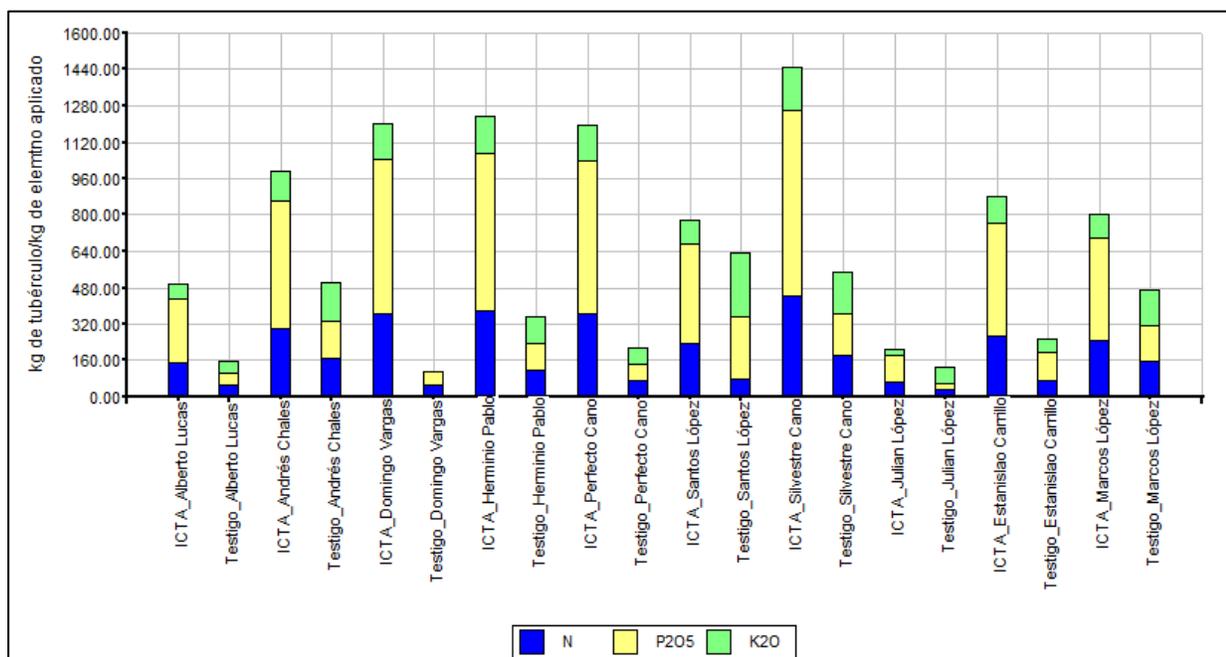
También hay que tomar en cuenta que los resultados de la evaluación de eficiencia en la presente investigación pertenecen a un ciclo de cultivo, que según Stewart (2007) para el caso del nitrógeno es aceptable, ya que la eficiencia del N generalmente se evalúa en el corto plazo, o en un solo ciclo de crecimiento, debido a la naturaleza transitoria del N inorgánico (potencial de volatilización, denitrificación y lixiviación). El mismo autor menciona que para el caso del P y K, los cuales tienen potencial de acumulación en el suelo, también pueden verse a corto plazo, sin embargo se prestan más para que su eficiencia y recuperación sean evaluadas a largo plazo.

Cuadro 36. Eficiencia de N, P₂O₅ y K₂O por parcela de prueba y tecnología

No.	Agricultor/parcela de prueba	ICTA (kg de tubérculo/kg de elemento)			Testigo (kg de tubérculo/kg de elemento)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	Alberto Lucas	151.44	279.94	64.85	52.2	52.2	52.2
2	Andrés Chales	303.28	560.61	129.86	166.67	166.67	166.67
3	Domingo Vargas	366.29	677.09	156.84	54.46	54.46	0
4	Herminio Pablo	376.34	695.66	161.14	118.33	118.33	118.33
5	Perfecto Cano	364.54	673.85	156.09	71	71	71
6	Santos López	236.38	436.94	101.21	78.13	277.78	277.78
7	Silvestre Cano	442.51	817.98	189.48	182.86	182.86	182.86
8	Julian López	63.14	116.72	27.04	30.29	30.29	70.67
9	Estanislao Carrillo	268.4	496.14	114.93	69.82	129.17	52.72
10	Marcos López	245.02	452.92	104.92	157.56	157.56	157.56
	Promedio	281.74	520.78	120.64	98.13	124.03	114.98

Fuente: Elaboración propia

Los resultados que aparecen en el Cuadro 37, también se ilustran en la Gráfica 15, en donde se ve una clara diferencia en la eficiencia de los macronutrientes a favor de la tecnología del ICTA



Gráfica 15. Diferencia en la eficiencia de los macronutrientes a favor de la tecnología del ICTA, en parcelas de validación en el departamento de Huehuetenango.

6.3.6. Opinión de los agricultores

Para obtener la opinión de los agricultores se hizo a través de la herramienta Día de Campo, el cual fue realizado en la aldea Tuipat, Todos Santos Cuchumatán, Huehuetenango. A la actividad asistieron un total de 31 personas, 25 hombres y 6 mujeres, entre los cuales asistieron representantes del MAGA, organizaciones no gubernamentales, productores individuales, entre otros. En el Cuadro 24, se puede observar las organizaciones/instituciones que participaron y el número de personas por cada una de ellas.

Cuadro 37. Organizaciones/instituciones participantes y número de personas por cada una

No.	Organización/Institución	No. De personas
1	IICA/CRIA	1
2	Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA)	5
3	Dirección de Coordinación y Extensión Rural del MAGA (DICORER)	9
4	Asociación de organizaciones de Los Cuchumatanes (ASOCUCH)	1
5	ADIFJCI	1
6	ICOZUNDEHUE	3
7	ADAT	2
8	ADECAF	1
9	Productores individuales	8

Fuente: Elaboración propia

Se logró la participación de 35 personas, proveniente de las extensiones agrícolas de MAGA de los municipios de Chiantla, Todos Santos y San Juan Ixcoy, los cuales fueron informados sobre la nueva tecnología para la fertilización del cultivo de papa.

Se cumple con los propósitos del proyecto, compartir los conocimientos generados con los productores y ONG's, de la región a través del intercambio participativo y eventos de días de campo.

7. Conclusiones

- Ninguno de los programas de fertilización en estudio produce rendimientos superiores estadísticamente, con respecto a la categoría “Primera” y “Segunda” de los tubérculos comerciales de papa
- La tecnología propuesta por el ICTA no produce efectos superiores en el rendimiento de tubérculos comerciales de papa, comparado con la fertilización tradicional utilizado por el productor
- Ambos programas de fertilización son inestables, mostrando mejores rendimientos en ambientes con buenas condiciones de producción.
- El uso excesivo de fertilizante orgánico por parte de los agricultores eleva considerablemente los costos, repercutiendo en los beneficios netos
- La mayoría de agricultores utiliza materia orgánica no procesada en la primera fertilización, contaminando los suelos con microorganismos dañinos para la planta de papa
- La recomendación técnica propuesta por el ICTA es económicamente rentable para el cultivo de papa, obteniendo beneficios netos superiores al testigo
- La eficiencia agronómica de los macronutrientes en la formula en validación, presentaron mayor producción de tubérculos por kilogramo de elemento aplicado, en comparación del testigo, por tal razón se considera de importancia continuar trabajos con esta recomendación.

8. Recomendaciones

- Compartir los resultados obtenidos en la presente investigación con la disciplina de suelo del ICTA para tomar la decisión de la liberación y divulgación del programa de fertilización
- Realizar capacitaciones a agricultores productores de papa sobre el cálculo de los costos de producción, elaboración de aboneras y uso adecuado de abonos orgánicos

- Compartir la información con los agricultores participantes en la investigación, haciendo énfasis en los beneficios netos obtenidos con la tecnología propuesta por ICTA.

9. Referencias bibliográficas

- CIMMYT. (1988). La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica. Edición completamente revisada. México D.F., México: CIMMYT.
- Chávez Vásquez, I. R. (2005). USAC. Recuperado el 04 de Diciembre de 2020, de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2222.pdf
- Eberhart, S. A., Russell, W. A. (1966), Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6:36-40
- Franco, J. (2002). Cultivo de papa en Guatemala (*Solanum tuberosum* L)
- IARNA. (2006). Estado del uso de la tierra y ordenamiento territorial en Guatemala.
- ICTA (2010). Manual del cultivo de papa para el consumo.
- ICTA (1981). Guía Técnica para Investigación Agrícola. 50 P.
- ICTA. (2010). Día de campo, una herramienta para la transferencia de tecnología agrícola.
- INE (2014). Encuesta Nacional agropecuaria de la república de Guatemala
- MAGA/DIPLAN (2016). El agro en Cifras, Dirección de Planeamiento. Guatemala. 69 p
- Quinchoa, J., Villegas, S., Santamaría, L., Cortes, J. (2010). Determinación del Efecto de Diferentes Niveles de Fertilización en Papa (*Solanum tuberosum* ssp. Andigena) DIACOL Capiro en un Suelo con Propiedades Ándicas de Santa Rosa de Osos, Colombia.
- Sifuentes, E., Ojeda, W., Mendoza, C., Macías, J., Rúelas, J. & Inzunza, M. (2013). Nutrición del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) considerando variabilidad climática en el "Valle del Fuerte", Sinaloa, México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc* vol.4 no.4 Texcoco may./jun. 2013. ISSN 2007-0934.
- Miniño, F. H. (1994). Fundamentos de análisis económico: guía para investigación y extensión rural (No. 232). Bib. Orton IICA/CATIE.

- Pérez, L. C., Rodríguez, L., & Gómez, M. (2008), Efecto del fraccionamiento de la fertilización con N, P, K y Mg y la aplicación de los micronutrientes B, Mn y Zn en el rendimiento y calidad de papa criolla (*Solanum phureja*) variedad Criolla Colombia. *Agronomía Colombiana* 26(3), 477-486.
- Reyes, M. (2002). Análisis Económico de Experimentos Agrícolas con Presupuestos Parciales: Re-enseñando el uso de este enfoque. *La Calera*, 2(2), 40-48.
- Ríos, J. Y., Jaramillo, S., González, L., & Cortes, J. (2010). Determinación del efecto de diferentes niveles de fertilización de papa (*Solanum tuberosum* spp. Andígena) DIACOL Capiro, en suelos con propiedades Andicas de Santa Rosa de Osos, Colombia. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín* 6(1):5252-5237.
- Real, N. G. (2013). Estrategias de enseñanza aprendizaje. Disponible en <https://www.orientacionandujar.es/wp-content/uploads/2013/10/Tecnicas-para-aprender-a-pensar-PNI-positivo-negativo-interesante.pdf>
- Tabare, E., Jaramillo, S., González, L., & Cortes, J. (2009). Respuesta de la papa (*Solanum tuberosum* L.) Variedad Diacol Capiro a la Fertilización en un andisol del oriente antioqueño, Colombia. *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín* 62(2): 5099-5110.
- Tovar Rodas, G. A., & García Vásquez, A. R. (2012). Ensayos agroeconómicos de fertilización en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) en la meseta de la sierra de Los Cuchumatanes, Huehuetenango 2012. Informe final, Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas, Disciplina de Validación y Transferencia de Tecnología, Huehuetenango. Recuperado el 04 de Diciembre de 2020
- Zamora, F., Tua, D., & Torres, D. (2008). Recuperado el 04 de Diciembre de 2020, de CAISESA:
http://www.caisesa.com/administrador/lib/images/conocimientos/1357243341_Evaluacion%20de%20fuentes%20organicas%20sobre%20el%20rendimiento.pdf



Instituto de Ciencia y
Tecnología Agrícolas (ICTA)



Programa de consorcios de Investigación Agropecuaria