



Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones
Agropecuarias

Fecha de Presentación: Mayo - 2012

Estación Experimental: Santa Catalina

Departamento: Manejo de Suelos y Aguas (DMSA).

Proyecto: Fortalecimiento de la Innovación Agrícola Pro-pobre para la Seguridad Alimentaria

Título: Efecto de la fertilización foliar y edáfica con hierro y zinc para la biofortificación agronómica del tubérculo de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo invernadero.

Ubicación: Provincia: Pichincha
Cantón: Mejía
Parroquia: Cutuglagua

Autor: Arístides Rodrigo Vélez Navarrete

Co-Autores: Ing. Agr. M. Sc Franklin Valverde
Ing. Agr. M. Sc Fabián Montesdeoca
Soraya Alvarado, Ph. D
Peter Kromann, Ph. D

Colaboradores: Programa Nacional de Raíces y Tubérculos Rubro
Papa (PNRT - papa)
Centro Internacional de la Papa (CIP)

Fecha de inicio: 05 - 2012

Fecha de terminación: 04 - 2013

Presupuesto: \$ 8750,45 (USD)

Fuente(s) de Financiamiento: ISSANDES 83,68%
INIAP 11,63%
TESISTA 4,69%

1. ANTECEDENTES

La papa es uno de los cultivos alimenticios más importantes y difundidos a nivel mundial. En producción de proteína por unidad de tiempo, superficie y en la obtención de energía es superior al resto de los cultivos (Estrada, 2000). En lo que respecta al consumo humano, la papa ocupa el cuarto lugar, en cuanto al valor en volumen de la producción mundial, después del trigo, arroz y maíz (Devaux *et ál*, 2010).

En los últimos años, mediante técnicas agrícolas convencionales y mediante métodos de ingeniería genética, se han logrado cultivos con una mayor calidad nutricional, tal es el caso de la biofortificación (Gregorio *et ál*, 2000). Con la cual se obtienen alimentos vegetales que resultan enriquecidos en micronutrientes biodisponibles. De esta manera la ciencia puede proveer a los agricultores de variedades de cultivos que pueden contribuir a reducir la deficiencia de micronutrientes (Welch R, Graham R. 1999).

Se han demostrado que la papa es una fuente significativa de hierro y zinc, además los parámetros genéticos encontrados demuestran que es posible incrementar los niveles de estos micronutrientes en la papa (Bonierbale M. 2010). El contenido promedio de hierro en la papa es de 19 mg/kg de materia seca, pero los mejoradores indican que es posible aumentar el promedio hasta llegar a los 40 mg/kg de materia seca (Amoros W. 2011).

La papa es reconocida como un alimento de primera necesidad, pero su potencial para combatir la desnutrición no es bien conocido ni aprovechado. "Por ejemplo, en Huancavelica, en las alturas de la sierra peruana, las mujeres y los niños consumen en promedio, respectivamente 800 y 200 gramos de papa por día". Por lo tanto, mejorar las concentraciones de hierro y la biodisponibilidad de la papa tendrá un verdadero impacto en esas áreas (Burgos *et ál*, 2007).

La papa es uno de los productos agropecuarios de mayor producción y consumo en Ecuador, especialmente en la región sierra, donde se estableció como producto alimenticio básico de los pueblos desde épocas pre-coloniales (Devaux *et ál*, 2010). Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (INEC) para el año 2010 en el Ecuador se produjo alrededor de 384235 t, en un área aproximada de 43459 ha y con un rendimiento promedio de 8.8 t/ha (INEC, 2010).

La mayor parte del tubérculo producido se consume sin procesar; razón por la cual, la papa fresca sigue siendo un alimento básico para la gran mayoría de la población pobre, particularmente en las zonas rurales andinas donde no existe infraestructura adecuada para almacenarla ni procesarla. El consumo *per-cápita* en fresco para el periodo 2002-2006 era de 31.8 kg/persona (Devaux *et ál*, 2010).

Debido a sus características y alimenticias, la papa es un producto muy apetecido en los hogares ecuatorianos, y es consumido bajo distintas modalidades. Su precio relativamente bajo frente a otros alimentos, le permite llegar a los hogares más humildes (Herrera *et ál*, 1999).

El Ecuador enfrenta serios problemas relacionados con la nutrición y alimentación, los cuales son más severos en la población infantil menor a 5 años (Herrera *et ál*, 1999). La deficiencia de Zn, se asocia con retardo del desarrollo físico, psicomotor y al aumento de la morbilidad y enfermedades infecciosas durante la infancia. Estas manifestaciones se hacen más marcadas si su déficit se asocia a deficiencia de Fe (Piñeiro, 2010).

En base a estudios previos, uno de los cultivares de papa que tienen mayor cantidad de Fe y Zn, es Chaucha roja (Quilca, 2007). Por lo cual es uno de los cultivares escogido para dicho ensayo.

El Fe es absorbido por la planta en forma reducida (Fe^{+2}). Es un elemento catalítico que interviene en el transporte de electrones, en la síntesis de clorofila y actúa como un transportador de oxígeno. El Zn está directamente relacionado con la producción normal de la clorofila y actúa principalmente como activador enzimático (Villagarcía y Ramírez, 1991).

El alto consumo de tubérculo de papa en la región interandina del Ecuador y su bajo contenido de Fe y Zn, no contribuye la nutrición de las personas que lo consumen, en especial niños y mujeres en edad fértil que viven en pobreza, por lo que es necesario realizar investigación sobre el potencial que tiene la biofortificación de este tubérculo tanto en variedades mejoradas y nativas.

2. JUSTIFICACIÓN

La papa es un producto muy apetecido en los hogares ecuatorianos y uno de los más importantes y accesibles en la zona rural de la región interandina del Ecuador; sin embargo, el contenido de Fe y Zn son inferiores a los requeridos para alcanzar una adecuada nutrición. Por lo que es importante investigar sobre mecanismos de tipo agronómico que permitan incrementar la concentración de estos nutrientes en el tubérculo, y de esta forma contribuir en el área nutricional en especial de los sectores rurales de la región interandina.

3. OBJETIVOS

3.1. General

3.1.1. Evaluar el efecto de la fertilización edáfica y foliar de Fe y Zn sobre la concentración de estos micronutrientes en los tubérculos, de las variedades de papa INIAP-Natividad y Chaucha roja, bajo condiciones de invernadero.

3.2. Específicos

3.2.1. Evaluar el efecto de los niveles de hierro y zinc aplicados al suelo y follaje, sobre la concentración en los tubérculos y resto de la planta en las variedades INIAP-Natividad y Chaucha roja.

- 3.2.2. Determinar la eficiencia y extracción de la fertilización edáfica y foliar con hierro y zinc en las variedades de papa INIAP-Natividad y Chaucha roja en condiciones de invernadero.
- 3.2.3. Determinar la respuesta en el rendimiento de tubérculos y biomasa de las variedades de papa INIAP-Natividad y Chaucha roja, a la aplicación de hierro y zinc al suelo y follaje.

4. HIPÓTESIS

H₀₁: La aplicación de Fe y Zn al suelo y foliar, no afecta la concentración de estos elementos en los tubérculos y biomasa de la planta.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Materiales

Material biológico

Variedades de papa:
 INIAP-Natividad (Anexo 3)
 Chaucha roja (Anexo 4)

Materiales y Equipos

flexómetro	macetas de 10 litros de capacidad
libro de campo	sustrato (tres partes de suelo, una parte de turba y una parte de pomina)
Fertilizantes	agua para riego
sulfomag	Computador
urea	Calculadora
muriato de potasio	Cámara Fotográfica
11-52-00	Calibrador
Kelik Zn 10 % p/v (foliar)	Balanza de precisión
Trazex zinc 25 % (suelo)	Estufa de ventilación forzado
Kelik Fe 7.5 % p/v (foliar)	Cajas petri
Trazex hierro 22 % (suelo)	Pipetas graduadas
Fungicidas	Varilla de agitación
Revus	Vaso de precipitación
Balear	Reactivos
Insecticidas	ICP-OES (Análisis de hierro y zinc)
Engeo	Plancha de digestión
Harvest	Probetas
bomba de mochila	

5.2. Metodología

5.2.1. Características del sitio experimental

5.2.1.1. Ubicación política y geográfica

Cuadro 1. Ubicación política y geográfica del sitio experimental para el efecto de la fertilización foliar y edáfica con Fe y Zn para la biofortificación agronómica de tubérculos de papa. Pichincha, Ecuador. 2012.

UBICACIÓN	LOCALIDAD
Provincia	Pichincha
Cantón	Mejía
Parroquia	Cutuglagua
Altitud	3058 msnm
Longitud	78°33' O
Latitud	00°22' S

Fuente: Estación Meteorológica Izobamba, ubicada en la EESC-INIAP. 2011

5.3. Factores en estudio

5.3.1. Niveles de zinc al suelo (Zn s)

El Zn se aplicará al suelo en su totalidad al momento de la siembra.

Cuadro 3. Niveles de zinc a aplicarse al suelo para el efecto de la fertilización foliar y edáfica para la biofortificación agronómica de tubérculos de papa. Pichincha, Ecuador. 2012.

Código	Interpretación	kg de zinc/ha
Zn s 0	0 mg zinc/maceta con 5 kg de sustrato	0
Zn s 1	40 mg zinc/maceta con 5 kg de sustrato	16
Zn s 2	80 mg zinc/maceta con 5 kg de sustrato	32
Zn s 3	120 mg zinc/maceta con 5 kg de sustrato	48
Zn s 4	160 mg zinc/maceta con 5 kg de sustrato	64

5.3.2. Niveles de zinc al follaje (Zn f)

Los niveles de zinc al follaje se aplicarán a los 45 dds, 60 dds, 75 dds y 90 dds. (dds, días después de la siembra)

Cuadro 4. Niveles de zinc a aplicarse al follaje para el efecto de la fertilización foliar y edáfica para la biofortificación agronómica de tubérculos de papa. Pichincha, Ecuador. 2012.

Código	Interpretación	Kelik zinc (cm ³ /l)
Zn f 0	0 g kelik zinc/litro de agua. se rociará agua destilada hasta el escurrimiento.	0
Zn f 1	2 cm ³ de kelik zinc/litro de agua. Se rociará hasta el escurrimiento.	2

Según dosis recomendada por la casa comercial.

5.3.3. Niveles de hierro al suelo (Fe s)

El hierro se aplicará en su totalidad en el momento de la siembra.

Cuadro 5. Niveles de hierro a aplicarse al suelo para el efecto de la fertilización foliar y edáfica para la biofortificación agronómica de tubérculos de papa. Pichincha, Ecuador. 2012

Código	Interpretación	kg de hierro/ha
Fe s 0	0 mg hierro/maceta con 5 kg de sustrato	0
Fe s 1	125 mg hierro/maceta con 5 kg de sustrato	50
Fe s 2	250 mg hierro/maceta con 5 kg de sustrato	100
Fe s 3	375 mg hierro/maceta con 5 kg de sustrato	150
Fe s 4	500 mg hierro/maceta con 5 kg de sustrato	200

5.3.4. Niveles de hierro al follaje (Fe f)

Los niveles de hierro al follaje se aplicarán a los 45 dds, 60 dds, 75 dds y 90 dds. (dds, días después de la siembra)

Cuadro 6. Niveles de hierro a aplicarse al follaje para el efecto de la fertilización foliar y edáfica para la biofortificación agronómica de tubérculos de papa. Pichincha, Ecuador. 2012.

Código	Interpretación	Kelik Hierro (cm ³ /l)
Fe f 0	0 g hierro, se rociará agua destilada hasta el escurrimiento.	0
Fe f 1	5 cm ³ de kelik hierro/litro. Se rociará hasta el escurrimiento.	5

Según dosis recomendada por la casa comercial.

5.4. Tratamientos

Los tratamientos a evaluarse en el ensayo de Zn (Cuadro 7) son los que resultan de la combinación de cinco niveles de Zn aplicados al suelo (Cuadro 3) y dos niveles de Zn aplicados vía foliar (Cuadro 4). Los tratamientos a evaluarse en el ensayo de Fe (Cuadro 8) son los que resultan de la combinación de cinco niveles de Fe aplicados al suelo (Cuadro 5) y dos niveles de Fe aplicados vía foliar (Cuadro 6).

El Fe y Zn se evaluarán con las variedades de papa INIAP-Natividad (mejorada) y Chaucha Roja (nativa).

Cuadro 7. Tratamientos para efecto de la fertilización edáfica y foliar en la variedad I-Natividad con Zn bajo invernadero. Pichincha, Ecuador. 2012.

Código	Interacción	Interpretación
t1	Zn s 0, Zn f 0 v1	0 mg zinc al suelo, 0 cm ³ kelik zinc /litro de agua al follaje
t2	Zn s 0, Zn f 1 v1	0 mg zinc al suelo, 2 cm ³ kelik zinc/ litro de agua al follaje
t3	Zn s 1, Zn f 0 v1	40 mg zinc al suelo, 0 cm ³ kelik zinc/litro de agua al follaje
t4	Zn s 1, Zn f 1 v1	40 mg zinc al suelo, 2 cm ³ kelik zinc/litro de agua al follaje
t5	Zn s 2, Zn f 0 v1	80 mg zinc al suelo, 0 cm ³ kelik zinc/litro de agua al follaje
t6	Zn s 2, Zn f 1 v1	80 mg zinc al suelo, 2 cm ³ kelik zinc/litro de agua al follaje
t7	Zn s 3, Zn f 0 v1	120 mg zinc al suelo, 0 cm ³ kelik zinc/litro de agua al follaje
t8	Zn s 3, Zn f 1 v1	120 mg zinc al suelo, 2 cm ³ kelik zinc/litro de agua al follaje
t9	Zn s 4, Zn f 0 v1	160 mg zinc al suelo, 0 cm ³ kelik zinc/litro de agua al follaje
t10	Zn s 4, Zn f 1 v1	160 mg zinc al suelo, 2 cm ³ kelik zinc/litro de agua al follaje

Cuadro 8. Tratamientos para efecto de la fertilización edáfica y foliar en la variedad Chaucha roja con Zn bajo invernadero. Pichincha, Ecuador. 2012.

Código	Interacción	Interpretación
t1	Zn s 0, Zn f 0 v2	0 mg zinc al suelo, 0 cm ³ kelik zinc/litro de agua al follaje
t2	Zn s 0, Zn f 1 v2	0 mg zinc al suelo, 2 cm ³ kelik zinc/litro de agua al follaje
t3	Zn s 1, Zn f 0 v2	40 mg zinc al suelo, 0 cm ³ kelik zinc/litro de agua al follaje
t4	Zn s 1, Zn f 1 v2	40 mg zinc al suelo, 2 cm ³ kelik zinc/litro de agua al follaje
t5	Zn s 2, Zn f 0 v2	80 mg zinc al suelo, 0 cm ³ kelik zinc/litro de agua al follaje
t6	Zn s 2, Zn f 1 v2	80 mg zinc al suelo, 2 cm ³ kelik zinc/litro de agua al follaje
t7	Zn s 3, Zn f 0 v2	120 mg zinc al suelo, 0 cm ³ kelik zinc/litro de agua al follaje
t8	Zn s 3, Zn f 1 v2	120 mg zinc al suelo, 2 cm ³ kelik zinc/litro de agua al follaje
t9	Zn s 4, Zn f 0 v2	160 mg zinc al suelo, 0 cm ³ kelik zinc/litro de agua al follaje
t10	Zn s 4, Zn f 1 v2	160 mg zinc al suelo, 2 cm ³ kelik zinc/litro de agua al follaje

Cuadro 9. Tratamientos para efecto de la fertilización edáfica y foliar en la variedad I-Natividad con Fe bajo invernadero. Pichincha, Ecuador. 2012.

Código	Interacción	Interpretación
t1	Fe s 0, Fe f 0 v1	0 mg hierro al suelo, 0 cm ³ kelik hierro /litro de agua al follaje
t2	Fe s 0, Fe f 1 v1	0 mg hierro al suelo, 5 cm ³ kelik hierro /litro de agua al follaje
t3	Fe s 1, Fe f 0 v1	125 mg hierro al suelo, 0 cm ³ kelik hierro /litro de agua al follaje
t4	Fe s 1, Fe f 1 v1	125 mg hierro al suelo, 5 cm ³ kelik hierro /litro de agua al follaje
t5	Fe s 2, Fe f 0 v1	250 mg hierro al suelo, 0 cm ³ kelik hierro /litro de agua al follaje
t6	Fe s 2, Fe f 1 v1	250mg hierro al suelo, 5 cm ³ kelik hierro /litro de agua al follaje
t7	Fe s 3, Fe f 0 v1	375 mg hierro al suelo, 0 cm ³ kelik hierro /litro de agua al follaje
t8	Fe s 3, Fe f 1 v1	375 mg hierro al suelo, 5 cm ³ kelik hierro /litro de agua al follaje
t9	Fe s 4, Fe f 0 v1	500 mg hierro al suelo, 0 cm ³ kelik hierro/litro de agua al follaje
t10	Fe s 4, Fe f 1 v1	500 mg hierro al suelo, 5 cm ³ kelik hierro /litro de agua al follaje

Cuadro 10. Tratamientos para efecto de la fertilización edáfica y foliar en la variedad Chaucha roja con Fe bajo invernadero. Pichincha, Ecuador. 2012.

Código	Interacción	Interpretación
t1	Fe s 0, Fe f 0 v2	0 mg hierro al suelo, 0 cm ³ kelik hierro /litro de agua al follaje
t2	Fe s 0, Fe f 1 v2	0 mg hierro al suelo, 5 cm ³ kelik hierro /litro de agua al follaje
t3	Fe s 1, Fe f 0 v2	125 mg hierro al suelo, 0 cm ³ kelik hierro /litro de agua al follaje
t4	Fe s 1, Fe f 1 v2	125 mg hierro al suelo, 5 cm ³ kelik hierro /litro de agua al follaje
t5	Fe s 2, Fe f 0 v2	250 mg hierro al suelo, 0 cm ³ kelik hierro /litro de agua al follaje
t6	Fe s 2, Fe f 1 v2	250mg hierro al suelo, 5 cm ³ kelik hierro /litro de agua al follaje
t7	Fe s 3, Fe f 0 v2	375 mg hierro al suelo, 0 cm ³ kelik hierro /litro de agua al follaje
t8	Fe s 3, Fe f 1 v2	375 mg hierro al suelo, 5 cm ³ kelik hierro /litro de agua al follaje
t9	Fe s 4, Fe f 0 v2	500 mg hierro al suelo, 0 cm ³ kelik hierro /litro de agua al follaje
t10	Fe s 4, Fe f 1 v2	500 mg hierro al suelo, 5 cm ³ kelik hierro /litro de agua al follaje

5.5. Características de ensayo

- Repeticiones: 8
- Número de tratamientos por repetición: 10
- Área de la maceta: (0.26 m² = ($\pi \times 0.085$ m))
- Área total del ensayo: 104.88 m² = (7.60 m x 20m)
- Siembra: Un tubérculo(60 g) por maceta

5.6. Unidad Experimental

La unidad experimental estará constituida por una planta en cada maceta, la misma que tiene 10 litros de capacidad que contendrá 5 kg de sustrato.

5.7. Análisis Estadístico

5.7.1. Diseño experimental

Se utilizará un Diseño de Parcela Dividida con ocho repeticiones: en la parcela grande se colocará los niveles de fertilización foliar y en la subparcela se colocará a los niveles de fertilización al suelo.

5.7.2. Análisis de la variancia

Cuadro 9. Esquema del análisis de varianza para la biofortificación agronómica de tubérculos de papa en invernadero, Pichincha, Ecuador. 2012.

FUENTES DE VARIACIÓN	GRADOS DE LIBERTAD
TOTAL	79
REPETICIONES	7
NIVELES Zn AL FOLLAJE (F)	1
ERROR (a)	7
NIVELES Zn AL SUELO (S)	4
Lineal	1
Cuadrático	1
Cúbico	1
Cuártico	1
S x F	4
ERROR (b)	56
Promedio:	... u
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (a):	... %
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (b):	... %

El análisis de variancia se realizará por separado tanto para hierro y zinc, y para las variedades INIAP-Natividad y Chaucha Roja.

5.7.3. Análisis funcional

En el análisis funcional se aplicará la prueba de significación de Tukey al 5% para los niveles de fertilización al suelo. Además se utilizará la prueba de significación DMS al 5% para niveles de fertilización foliar.

También se utilizará regresión y polinomios ortogonales para evaluar las tendencias que tienen los diferentes niveles de fertilización de Fe y Zn aplicados al suelo.

5.8. Variables y métodos de evaluación

5.8.1. Variables agronómicas

5.8.1.1. Altura de plantas

Esta variable se evaluará cuando el cultivo presente el 50 % de floración, se tomará la altura de todas las plantas del ensayo, desde la base hasta la parte apical del tallo principal de la planta, para la medición se utilizará un flexómetro, se reportará la altura de cada unidad experimental en centímetros.

5.8.1.2. Número de tubérculos por planta

En el momento de la cosecha, se contará el número de tubérculos por unidad experimental, se reportará el número de tubérculos de cada tratamiento (Arias, 2009).

5.8.1.3.Rendimiento por planta

En el momento de la cosecha se tomará el rendimiento de todas las plantas, se registrarán los pesos de tubérculos, los resultados se expresarán en kg.

5.8.1.4.Rendimiento de biomasa

Todas las plantas una vez cosechada a la madurez fisiológica, se separarán los tubérculos del resto de la planta, se tomará el peso fresco de cada parte y se secará en una estufa de ventilación forzada por un tiempo de 48 a 72 horas a una temperatura de 60 °C, hasta que tengan un peso constante. Se procederá, entonces a calcular el porcentaje de materia seca, utilizando la siguiente formula.

Biomasa de tubérculo

$$PST = \frac{PST_{sub}}{PHT_{sub}} \times PHT$$

Donde:

PST = Peso seco de tubérculo de una planta

PST_{sub} = Peso seco de tubérculo de la sub-muestra

PHT_{sub} = Peso húmedo del tubérculo de la sub-muestra

PHT = Peso húmedo del tubérculo por planta

Biomasa de residuo (hojas, tallos y raíces) a la madurez fisiológica

$$PSR = \frac{PSR_{sub}}{PHR_{sub}} \times PHR$$

Donde:

PSR = Peso seco de los residuos de una planta

PSR_{sub} = Peso seco de los residuos de la sub-muestra

PHR_{sub} = Peso húmedo de los residuos de la sub-muestra

PHR = Peso húmedo de los residuos de una planta

Biomasa total de la planta

$$PSTo = PSR + PST$$

Donde:

PSTo = Peso seco total (g)

PST = Peso seco de tubérculo (g)

PSR = Peso seco de residuos (g)

5.8.2. Variables de calidad nutricional

5.8.2.1. Contenido de Fe y Zn en la planta

Para el análisis químico de Fe y Zn, si presentan diferencias significativa entre las repeticiones se harán los análisis por separados, caso contrario se unirán dos submuestras de tubérculos y residuos de las repeticiones al azar y se realizará en el laboratorio del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas (DMSA) de la EESC-INIAP, utilizando el método de (ICP) (Alvarado, *et ál.* 2000).

5.8.2.2. Acumulación o extracción de hierro y zinc en la planta y tubérculo

Para determinar la acumulación de Fe y Zn por la planta, se utilizarán los resultados de análisis de nutrientes por órgano y los rendimientos de biomasa seca, aplicando las siguientes fórmulas.

Para hierro

- Fe en el tubérculo (mg/planta)

$$AcFe_t = MS_t \times (Fe_t/100)$$

Donde:

AcFe_t = Acumulación de hierro en el tubérculo (mg/100 g de tubérculo)

MS_t = Materia seca del tubérculo (g)

Fe_t = Hierro en el tubérculo (mg)

- Fe en los residuos (mg/planta)

$$AcFe_r = MS_r \times (Fe_r/100)$$

Donde:

AcFe_r = Acumulación de hierro en los residuos (mg/100 g de residuos)

MS_r = Materia seca de los residuos (g/ planta)

Fe_r = Hierro en los residuos (mg/ planta)

- Total de hierro en la planta (mg/planta)

$$AcFetot = AcFe_t + AcFe_r$$

Donde:

AcFetot = Acumulación de hierro total (mg/ planta)

AcFe_t = Acumulación de hierro en el tubérculo (mg/ planta)

AcFe_r = Acumulación de hierro en los residuos (mg/ planta)

Para zinc

- Zinc en el tubérculo (mg/planta)

$$AcZn_t = MS_t \times (Zn_t/100)$$

Donde:

AcZn_t = Acumulación de zinc en el tubérculo (mg/100 g de tubérculo)

MS_t = Materia seca del tubérculo (mg/ planta)

Zn_t = Zinc en el tubérculo (mg/ planta)

- Zinc en los residuos (mg/planta)

$$AcZn_r = MS_r \times (Zn_r/100)$$

Donde:

AcZn_r = Acumulación de zinc en los residuos (mg/100 g de residuos)

MS_r = Materia seca de los residuos (g/ planta)

Zn_r = Zinc en los residuos (mg/ planta)

- Total de zinc en la planta (g/planta)

$$AcZn_{tot} = AcZn_t + AcZn_r$$

Donde:

AcZn_{tot} = Acumulación de zinc total (mg/ planta)

AcZn_t = Acumulación de zinc en el tubérculo (mg/ planta)

AcZn_r = Acumulación de zinc en los residuos (mg/ planta)

5.8.3. Eficiencia de absorción hierro y zinc en la planta

Con los datos obtenidos de contenido y extracción de hierro y zinc total se procederá a calcular la eficiencia del microelemento mediante la siguiente fórmula.

Para hierro

$$Ef_{Fe} = \frac{mg\ FeEx_{TOp} - mg\ FeEx_{TMe}}{mg\ FeA} \times 100$$

Dónde:

Ef_{Fe} = Eficiencia de hierro.

mg FeEx_{TOp} = mg de hierro extraído por el tratamiento óptimo.

mg FeEx_{TMe} = mg de hierro extraído en el tratamiento menor (testigo).

mg FeA = mg de hierro aplicado.

Para zinc

$$EfZn = \frac{mg\ ZnExTOp - mg\ ZnExTMe}{mg\ ZnA} \times 100$$

Dónde:

EfZn = Eficiencia de zinc.

mg ZnExTOp = mg de zinc extraído por el tratamiento óptimo.

mg ZnExTMe = mg de zinc extraído en el tratamiento menor (testigo).

mg Zn = mg de zinc aplicado.

5.9. Manejo específico del experimento

5.9.1. Selección de los cultivares

Para la selección del cultivar nativo (Chaucha roja) se lo hizo en base a estudios realizados en el Departamento de Nutrición y Calidad EEESC, 2011. Para el material mejorado (INIAP-Natividad) se utilizará la variedad lanzada por el PNRT-papa de la EEESC, en el 2007. Se seleccionó a estas dos variedades porque presentan características semejantes en cuanto al ciclo del cultivo y además estas variedades serán utilizadas en huertos familiares de acuerdo a los resultados de la investigación.

Para la selección de la semilla se tomará en cuenta el tamaño del tubérculo, el peso, así como el porcentaje de brotación y condiciones fitosanitarias.

La semilla a utilizarse tanto de Chaucha roja e INIAP-Natividad provienen del invernadero de hidroponía del PNRT-papa las mismas que tienen un tamaño uniforme y un peso alrededor de 60 g.

5.9.2. Preparación del sustrato

Los componentes del sustrato (suelo, turba y pomina en relación 3:1:1 respectivamente) serán secados en el invernadero. El suelo y la pomina serán tamizada en una malla de 2 mm antes de realizar la mezcla.

El sustrato a utilizarse será esterilizado mediante el uso de vapor de agua. El suelo proveniente de la Granja La Pradera (Universidad Técnica del Norte), Chaltura, Imbabura, con bajo contenido de hierro (18 ppm) y zinc (0.9 ppm). La turba proveniente de la provincia de Chimborazo tiene bajo contenido de hierro (10 ppm) y zinc (1.5 ppm). La pomina blanca proviene de Pifo. Se colocará 5 kg del sustrato en cada maceta, la cual tienen un volumen de 10 litros.

5.9.3. Fertilización

Se enviará a analizar el sustrato en el laboratorio del DMSA de la EEESC-INIAP y con los resultados se determinará la cantidad de fertilizante, para luego realizará la fertilización de base de macro y micronutrientes, a excepción de Fe y Zn los cuales se aplicarán en función de los tratamientos establecidos, se mezclarán con el sustrato de forma

homogénea, a continuación se colocará en las respectivas macetas identificadas con el tratamiento. El nitrógeno se fraccionará en 4 aplicaciones: 20 % a la siembra, 30 % a los 30 días, 30 % a los 60 días y 20 % a los 90 días.

Las fuentes de fertilizantes a utilizarse serán:

11-52-0 (11-52) % N, P₂O₅
Sulpomag (22-22-11) % de K₂O, S, Mg
Muriato de potasio (60) % de K₂O
Urea (46) % de N

Zinc

Kelik Zn 10 % p/v EDTA (foliar)
Trazex zinc: Zn 25 %, (suelo)

Hierro

Kelik Fe 7.5 % p/v EDTA (foliar)
Trazex hierro: Fe 22 % (suelo)

5.9.4. Siembra

Dos días antes de la siembra, se procederá a dar un riego al sustrato hasta llegar a la capacidad de campo, la cual se monitoreará aplicando el método físico. La semilla (60-80 g) será colocada una por maceta, a una profundidad de 5 cm.

5.9.5. Riego

Se realizará riegos periódicos de acuerdo a los requerimientos del cultivo en condiciones de invernadero, en forma manual y en cantidades iguales en cada maceta.

5.9.6. Control de malezas

Esta labor se realizará de forma manual, durante el ciclo del cultivo.

5.9.7. Controles fitosanitarios

Se realizarán las aplicaciones fitosanitarias utilizando productos preventivos o curativos, con la aparición de los primeros síntomas de enfermedades. En caso de aparición de insectos plagas se aplicará un insecticida.

Insecticida	Ingrediente activo	Fungicidas	Ingrediente activo
Harvest	Acefato	Balear	Chlorotalonil
Engeo	Lambdacialotrina, tiametoxam	Revus	Mandipropamid

5.9.8. Tutoreo

Después de la siembra cuando sea necesario, se colocará un alambre de 8 mm en forma de arco, donde se amarrará con cinta plástica evitando el acame de las plantas.

5.9.9. Cosecha

La cosecha se realizará de forma manual cuando las plantas alcancen la madurez fisiológica.

5.9.10. Procesamiento de muestras para análisis de nutrientes

Para determinar el contenido de nutrientes en cada órgano, se procederá de la siguiente forma:

Para tubérculos: Se tomará una submuestra de tubérculos de 200 g de cada planta, se les colocarán en malla plástica debidamente identificada, para lavarles con agua corriente, luego se les enjuagará en agua destilada, después se pondrá a secar bajo sombra y se tomará el peso fresco, estos tubérculos se les picará en rodajas y se les colorará en cajas de metal debidamente identificadas para secar en una estufa de ventilación forzada por un tiempo de 48 a 72 horas a una temperatura de 65 °C a 70 °C, para finalmente registrar el peso seco.

Para residuos: se lavará con agua corriente, se enjuagará con agua destilada y se pondrá a escurrir sobre un papel limpio, para luego tomar el peso fresco, después se colocará en fundas de papel debidamente identificadas para secar en una estufa de ventilación forzada por un tiempo de 48 a 72 horas a una temperatura de 65 °C a 70 °C, para tomar el peso seco. Una vez tomados los pesos secos las muestras se molerán.

7. PRESUPUESTO

Cuadro 6. Presupuesto para el ensayo de biofortificación agronómica de tubérculos de papa (*Solanum tuberosum*) con hierro y zinc bajo invernadero. Cutuglagua, Pichincha. 2012.

RUBROS	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNIT. (USD)	TOTAL
INSUMOS				
Semilla	Unidad	360	0,40	144,00
Fertilizantes				
11-52-00	50 kg	4	44,20	176,80
Sulpomag	50 kg	1	35,50	35,50
Urea	50 kg	1	34,00	34,00
Muriato de potasio	50 kg	1	35,00	35,00
Fuente de hierro (Kelik hierro)	1 l	1	12,20	12,20
Trazex Hierro	1 kg	1	15,50	15,50
Fuente de zinc (Kelik Zinc)	1 l	1	16,50	16,50
Trazex Zinc	1 kg	1	15,50	15,50
Subtotal				341,00
Fungicidas				
Revus	125 cc	2	8,25	16,50
Balear (Daconil)	400 cc	2	6,00	12,00
Subtotal				28,50
Insecticidas				
Acefato (harvest)	100 g	5	2,00	10,00
Engeo	250 cc	2	23,00	46,00
Subtotal				56,00
MATERIALES DE OFICINA				
Hojas INEN	Paquete	3	4,50	13,50
Libreta de apuntes	Unidad	3	0,60	1,80
Carpetas	Docena	1	2,40	2,40
Impresiones	Hojas	300	0,05	15,00
Anillados	Unidad	5	2,00	10,00
Empastado	Texto	5	20,00	100,00
Subtotal				142,70
MATERIALES DE INVERNADERO				
Jabas	Unidad	2	18,00	36,00
Hobo	Unidad	1	135,00	135,00
Turba	60 kg	10	30,00	300,00
Pomina	Volqueta	0,50	160,00	80,00
Costales	Unidad	50	0,35	17,50
Macetas (baldes)	Unidad	320	1,64	524,80
Tablas	Unidad	65	1,80	117,00
Tiras de madera	Unidad	16	0,50	8,00
Alambre para tutoreo	Metros	650	0,20	130,00
Jornales	Unidad	12	14,00	168,00
Subtotal				1516,30
MOVILIZACIÓN				
Combustible	Galón	80	1,10	88,00
Subsistencia	Diario	5	40,00	200,00
Subtotal				288,00

OTROS				
Análisis de agua	Muestra	1	13,40	13,40
Análisis de suelos	Muestra	10	10,20	102,00
Análisis de Hierro y Zinc	Muestra	640	3,00	1920,00
Aranceles Facultad	Trámite tesis	1	310,00	310,00
Visita de Tesis	Visita	1	100,00	100,00
Beca tesista	Mensual	9	376,14	3385,26
Subtotal				5817,26
TOTAL				8333,76
IMPREVISTOS				
Imprevistos (5 %)				416,69
GRAN TOTAL				8750,45

Fuentes de financiamiento

En base al costo total por ciclo de cultivo, las fuentes de financiamiento y el aporte correspondiente a cada una de ellas, son las siguientes:

FUENTE	MONTO USD)	PORCENTAJE
PROYECTO Fortalecimiento de la Innovación Agrícola Pro-pobre para la Seguridad Alimentaria	7322,75	83,68
INIAP	1017,70	11,63
TESISTA	410,00	4,69
TOTAL	8750,45	100,00

8. BIBLIOGRAFÍA

Amoros W. 2011. Biofortificación con hierro aumenta popularidad de la papa en comunidades pobres. Centro Internacional de la Papa (CIP, Perú).

Alvarado, S; Córdova, J; López, M. 2000. Metodología de análisis físico químico de suelos, aguas y foliares. Tercera aproximación. Laboratorio del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas. Estación Experimental Santa Catalina. INIAP. Pp.6 - 24. Quito- Ec.

Arias, D. 2009. Estudio agronómico y económico de la producción de tubérculo semilla categoría prebásica de dos variedades de papa y tres densidades en un sistema aeropónico. Tesis Ing. Agr. Quito. Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas. 78 p.

Bonierbale Meredith. 2010. Experiencias de la biofortificación de la papa en el Perú. Centro Internacional de la Papa (CIP, Perú).

Burgos G, Amoros W, Morote M, Stangoulis J y Bonierbale M. 2007. Iron and zinc concentration of native Andean potato cultivars from a human nutrition perspective. Centro Internacional de la Papa (CIP, Perú).

INIAP. Cenipalma. 2004. Laboratorio de Análisis Foliares y de Suelos. Ec.

Departamento de Nutrición y Calidad INIAP-EESC, 2011.

Devaux A, Ordinola M, Hibon A. y Flores R. 2010. El sector papa en la región andina: Diagnósticos y elementos para una visión estratégica (Bolivia, Ecuador, Perú). Lima, Perú. Centro Internacional de la Papa. 385 p.

Estrada, R. 2000. Mejoramiento genético de la papa resistencia a enfermedades. *En: Nuevos Enfoques para el Mejoramiento Genético En Papa Para La Subregión Andina*, Quito, Ecuador. p. 20

Gregorio G, Senadhira D, Htut H, Graham R. 2000. Breeding for trace mineral density in rice. *Food and Nutrition Bulletin* p. 382-6.

Herrera, M.; Carpio, H.; Chávez, G. 1999. Estudio Sobre el Subsector de la Papa en el Ecuador. INIAP-PNRT. Quito, Ec. 140 p.

Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (INEC), 2010. Visualizador de Estadísticas Agropecuarias del Ecuador, ESPAC. Quito. Ec. Consultado el 22 de febrero del 2012. Disponible en:

http://www.inec.gov.ec/estadisticas/?option=com_content&view=article&id=103&Itemid=75

Piñeiro, R. 2010. Nutrición y rendimiento escolar (En línea). Congreso mundial de neuroeducación. Lima, Perú. Consultado el 10 de enero del 2012. Disponible en: http://www.ciberdocencia.gob.pe/archivos/conferencia_nutricion_rendimiento_escolar.pdf

Quilca, N., 2007. Caracterización física, morfológica, organoléptica, química y funcional de papas nativas para orientar sus usos futuros. Tesis Ing. Agroindustrial. Escuela Politécnica Nacional. Quito- Ecuador. 94 p.

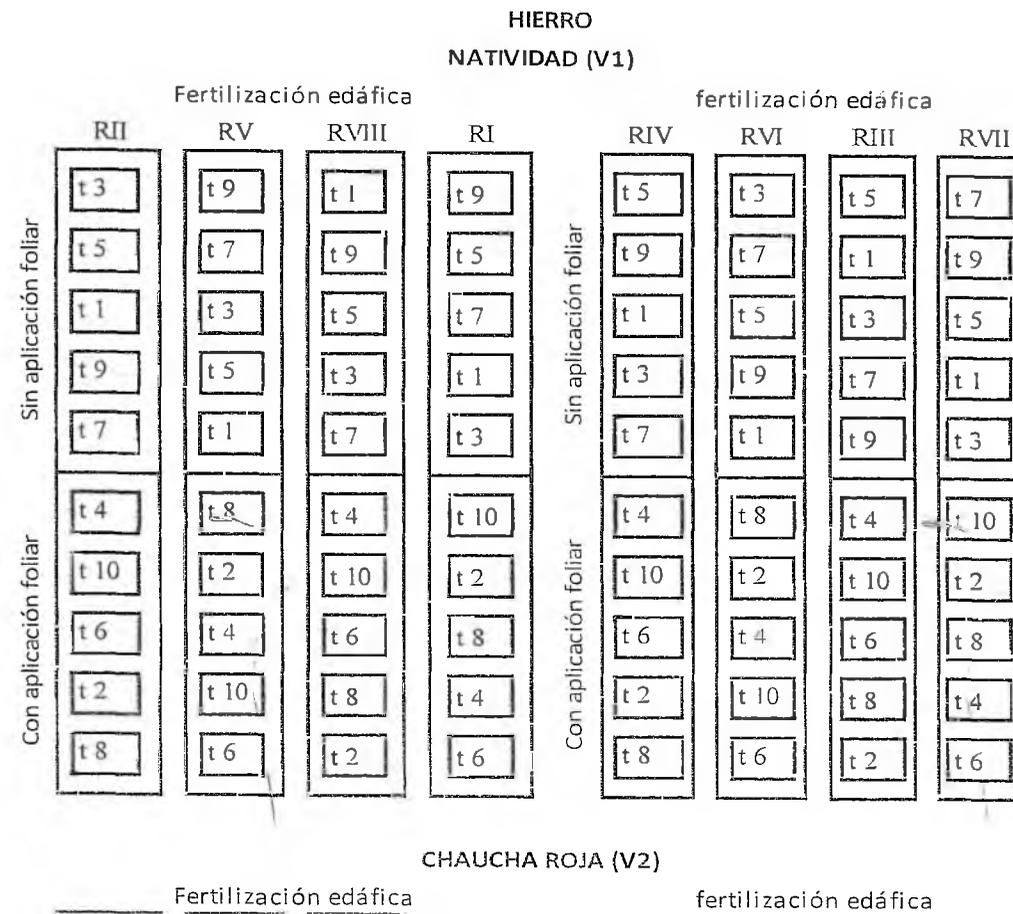
Universidad de Alicante. 2010. Espectroscopía De Emisión Por Plasma De Acoplamiento Inductivo. España. Consultado el 05 de marzo del 2012. Disponible en http://www.ua.es/es/investigacion/sti/servicios/analisis_instrumental/analisis/icp_oes.html

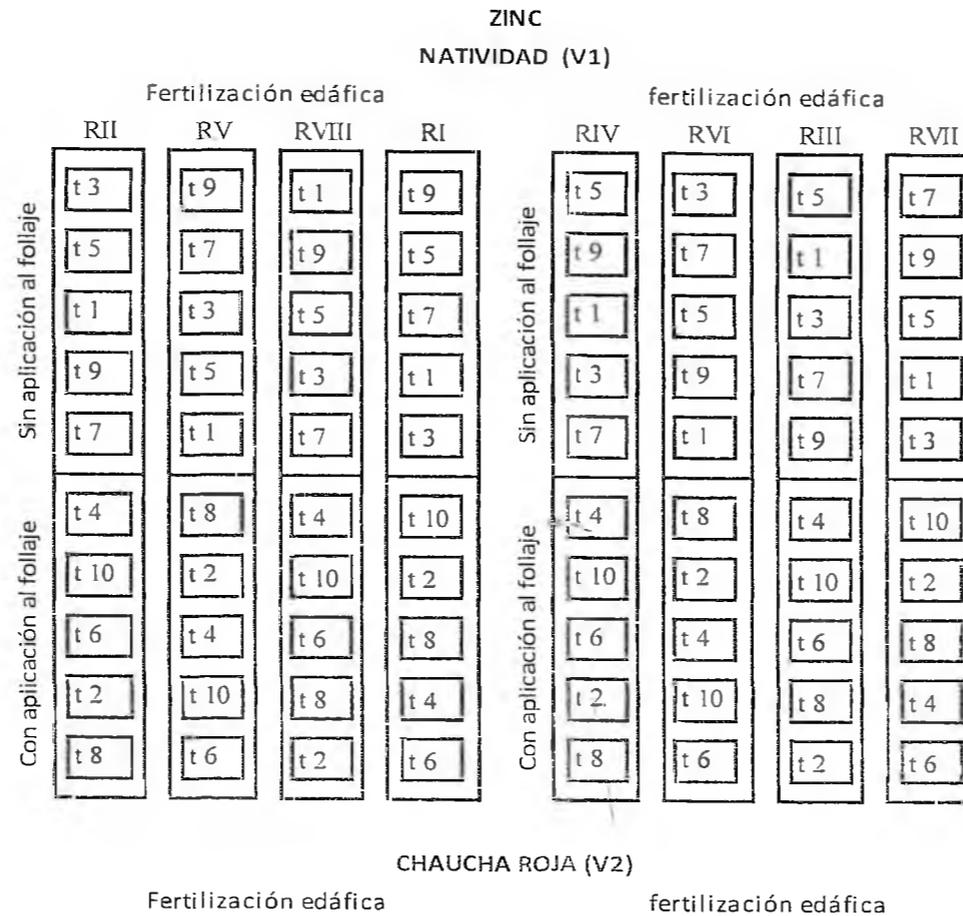
Villagarcía, S.; Ramírez. 1991. Fertilización y Nutrición Mineral en papa ADIFAL (Perú). p. 33-39

Welch RM, Graham RD. 1999. A new paradigm for world agriculture: Meeting human needs- productive, sustainable, nutritious. Field Crops Res. p. 1-10.

ANEXO 1.

Croquis para la aplicación de hierro el ensayo de biofortificación de papa bajo invernadero, Cutuglagua, Pichincha. 2012.





Significado	Suave
Destino de la producción	Mercado, autoconsumo
Rango de adaptación (m.s.n.m.)	3 000 a 3 200
Zona de producción	Chimborazo
Rendimiento (qq sembrados/qq cosechados)	1 : 5 a 10
Usos	Papas con cáscara, locros
Tiempo de cocción	Rápida
<i>Resistencia a factores abióticos</i>	
Helada	Susceptible
Sequía	
Lancha	Susceptible
Pudrición	Susceptible
Almacenamiento (meses)	1
CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA	
Rendimiento (kg por planta)	1.2
No. De tubérculos por planta	21
Senescencia (días)	120 a 149
Brotación (días)	5
CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA	
Hábito de crecimiento	Postrado
Tallo	Pigmentado con abundante verde y alas rectas
Hoja	Disectada con 3 pares de folíolos laterales y 2 pares de interhojuelas
Flor	Muy rotada, lila intermedio con acumen blanco en el haz y envés
Grado de floración	Profusa
Baya	Ovoide, verde con áreas pigmentadas
Forma del tubérculo	Elíptico con ojos medios
Piel del tubérculo	Rojo claro
Pulpa del tubérculo	Amarillo intenso
Brote	Rojo con manchas blancas a lo largo
CARACTERIZACIÓN FÍSICA	
Tiempo de cocción (min)	21
Textura	4.2 (Arenosa)
Oxidación (horas)	2
Verdeamiento (días)	90
Materia seca (%)	21.3
Gravedad específica	1.0
Hojuelas buenas (%)	90
Sabor	4.4 (bueno)

Fuente: Programa Nacional de Raíces y Tubérculos - Rubro papa

ANEXO 4.

INIAP-NATIVIDAD

Autor: Programa Nacional de Raíces y Tubérculos - Rubro papa

La variedad I-Natividad es una variedad mejorada por el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) con el apoyo del Centro Internacional de la Papa (CIP), desarrollo un programa de mejoramiento genético donde se combinaron especies silvestres (*S. acroglossum*, *S. Microdintum* y *S. pausissectum*) con resistencia a lancha con variedades mejoradas y nativas de mayor demanda y calidad (Super chola, INIAP-Gabriela, Capiro, Bolona, Suscaleña y Yema de Huevo). Se realizaron los cruzamientos y la descendencia fue evaluada por varios ciclos en la estación experimental Santa Catalina y con agricultores en las provincias de Carchi, Pichincha y Bolívar, sobresaliendo el clon 179-19 denominada INIAP-Natividad.

CARACTERÍSTICAS DE LA VARIEDAD DE INIAP-NATIVIDAD

CARACTERIZACIÓN ETNOBOTÁNICA	
Origen Genético	I-Gabriela con un híbrido entre Yema de Huevo (<i>Solanum phureja</i>) y la especie silvestre <i>S. pausissectum</i> .
Subespecie	
Zonas Recomendadas	Sierra Centro-Norte
Altitud	2800 a 3200 msnm
Follaje	
Tubérculos	Oblongos alargados
Maduración	
Rendimiento potencial	45 a 55 t/ha
Reacción a enfermedades	Resistente a la lancha (<i>Phytophthora infestans</i>)
Usos	Consumo en fresco:
CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD	
Materia seca%*	20.41
Azúcares totales%*	0.051
Azúcares reductores%*	0.020
Almidón%*	69.27
Gravedad específica g/cm ³ *	1.089
Proteína%*	10.03
Tiempo de cocción (minutos)	20.00
Color de papa cocida	Crema

(Fuente Dpto. de Nutrición y Calidad del INIAP, 2011)

* Datos en base seca

ANEXO 5.

Metodología de análisis de nutrientes

Espectroscopía de Emisión por Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-OES)

Cuadro 10. Método que se utilizará para la extracción y determinación de nutrientes para la biofortificación agronómica de tubérculos de papa en invernadero. Pichincha, Ecuador. 2012.

Parámetro	Medio o extracción	Técnica de Detección
Hierro	Digestión ácida vía húmeda-Bloque	ICP-OES
Zinc	Digestión ácida vía húmeda-Bloque	ICP-OES

Fuente: INIAP - Cenipalma. 2004. Laboratorio de Análisis Foliar y de Suelo.

Fundamentos de la técnica

Mediante la espectroscopia de emisión con plasma de acoplamiento inductivo es posible determinar de forma cuantitativa la mayoría de los elementos de la tabla periódica a niveles de traza y ultratrazas, partiendo de muestras en disolución acuosa. La muestra, en forma líquida, es transportada por medio de una bomba peristáltica hasta el sistema nebulizador donde es transformada en aerosol gracias a la acción de gas argón. Dicho aerosol es conducido a la zona de ionización que consiste en un plasma generado al someter un flujo de gas argón a la acción de un campo magnético oscilante inducido por una corriente de alta frecuencia. En el interior del plasma se pueden llegar a alcanzar temperaturas de hasta 8000 K. En estas condiciones, los átomos presentes en la muestra son ionizados/excitados. Al volver a su estado fundamental, estos iones o átomos excitados emiten radiaciones de una longitud de onda que es característica de cada elemento. Esta radiación pasa a través de un sistema óptico que separa la radiación según su longitud de onda. A continuación un detector mide la intensidad de cada una de las radiaciones relacionando ésta con la concentración de cada elemento en la muestra (Universidad de Alicante, 2010).