



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

MAESTRÍA EN RIEGO

**EVALUAR EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.)
CON APLICACIÓN DE FERTIRRIGACIÓN EN DOS SISTEMAS DE RIEGO POR
GOTEO, SUPERFICIAL Y SUBSUPERFICIAL.**

**Tesis Previa a la Obtención del Grado de
Magister en Riego.**

**Autor: Ing. José Lauro Conde Solano
Director: Edison Ramiro Vásquez, PhD.**

**LOJA – ECUADOR
Noviembre - 2013**

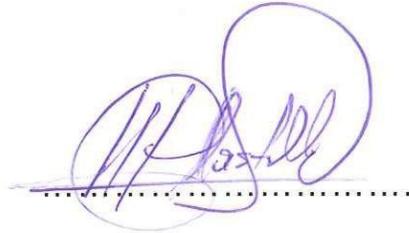
APROBACIÓN

EVALUAR EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) CON APLICACIÓN DE FERTIRRIGACIÓN EN DOS SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO, SUPERFICIAL Y SUBSUPERFICIAL

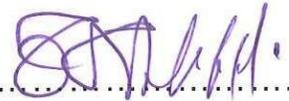
Tesis de postgrado presentada al Tribunal Calificador como requisito para obtener el Grado de Magister en Riego, Nivel de postgrado del Área Agropecuaria y Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja.

APROBADA

Dr. Héctor Castillo Castillo Mg. Sc.
Presidente del Tribunal



Ing. Temístocles Maldonado Rojas Mg. Sc.
Miembro Tribunal



Ing. Anibal González González Mg. Sc.
Miembro Tribunal



Edison Ramiro Vásquez, PhD.

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Haber revisado el informe de investigación **EVALUAR EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) CON APLICACIÓN DE FERTIRRIGACIÓN EN DOS SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO, SUPERFICIAL Y SUBSUPERFICIAL**, de autoría del Ing. José Lauro Conde Solano, egresado de la Maestría en Riego, mismo que se encuentra estructurado de acuerdo al Reglamento de Régimen Académico y de acuerdo a la lógica del método científico, reúne los requisitos de forma y fondo exigidos por la Universidad Nacional de Loja, en tal virtud, autorizo su presentación, sustentación y defensa pública.

Loja, Noviembre 2013



Edison Ramiro Vásquez, PhD.

DIRECTOR DE TESIS

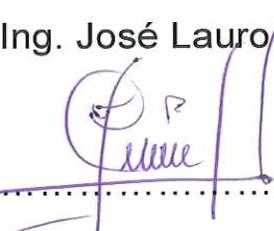
AUTORÍA

Yo, Ing. José Lauro Conde Solano, declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de la tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

Autor: Ing. José Lauro Conde Solano

Firma



Cédula 1102072343

Fecha 25/11/2013

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO

Yo, Ing. José Lauro Conde Solano, declaro ser autor de la tesis titulada “EVALUAR EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) CON APLICACIÓN DE FERTIRRIGACIÓN EN DOS SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO: SUPERFICIAL Y SUBSUPERFICIAL”, como requisito para optar al grado de: Magister en Riego, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los veinte y ocho días del mes de noviembre de 2013, firma el autor.

Firma

Autor

Ing. José Lauro Conde Solano

Número de cédula

1102072343

Dirección

Loja, Ciudad Victoria

Celular

0982515560

Correo electrónico

lconde62@yahoo.es

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Edison Ramiro Vásquez, PhD.

Tribunal de Grado: Dr. Héctor Castillo Castillo Mg. Sc.

Ing. Temístocles Maldonado Rojas Mg. Sc

Ing. Anibal González González Mg. Sc.

AGRADECIMIENTO

El autor deja constancia de gratitud a todos los profesores de la Maestría en Riego, de manera especial a Edison Ramiro Vásquez, PhD, profesor y director del trabajo, por su valioso y oportuno asesoramiento, al Ing. Temístocles Maldonado Mg. Sc., coordinador de la maestría que demostró preocupación por el desarrollo y culminación de la investigación. Así como a la Universidad Nacional de Loja, al Nivel de Postgrado del Área Agropecuaria y Recursos Naturales Renovables por haber permitido el inicio y culminación de esta maestría.

Lauro Conde

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mi familia, en especial a mi esposa Janet, a mis hijas Laura Vanessa y Anabelle Stefanía, que entendieron el esfuerzo y sacrificio de la superación profesional y académica.

Lauro Conde

INDICE

CONTENIDO.....	PÁGINA
APROBACIÓN TRIBUNAL.....	ii
CERTIFICACIÓN DIRECTOR DE TESIS	iii
AUTORÍA	vi
CARTA DE AUTORIZACIÓN Y CESIÓN DE DERECHOS	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE	viii
CONTENIDO DE CUADROS	xi
CONTENIDO DE TABLAS	xii
CONTENIDO DE FIGURAS	xiii
RESUMEN	xiv
SUMMARY	xv
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. RIEGO POR GOTEO.....	4
2.1.1. Humedecimiento Perfil del Suelo.	5
2.1.2. Ventajas y Desventajas del Riego por Goteo... ..	5
2.1.3. Criterios de Manejo del Sistema de Riego por Goteo.	6
2.1.4. Obturaciones Químicas.....	7
2.1.5. Obturaciones Físicas.....	7
2.1.6. Obturaciones Orgánicas.....	8
2.1.7. Riego por Goteo Subterráneo... ..	8
2.1.7.1. Ventajas y Desventajas del Riego por Goteo Subsuperficial.....	10
2.1.7.2. Profundidad de Instalación de los Emisores (goteros)... ..	12
2.2. LA FERTIRRIGACIÓN	13
2.2.1. Calidad del Agua de Riego.....	14

2.2.2. Ventajas y Limitaciones de la Fertirrigación	15
2.2.3. Fertirrigación Cuantitativa.....	16
2.2.4. Fertirrigación Proporcional	16
2.2.5. Fertilizantes Usados en la Fertirrigación	17
2.2.6. Compatibilidad de Productos.....	18
2.2.7. Solubilidad de los Productos	20
2.2.8. Preparación y Aplicación de la Solución Madre	22
2.3. Cultivo de la Papa	23
2.3.1. Generalidades del Cultivo de Papa	25
2.3.2. Estados de Desarrollo del Cultivo de Papa	27
2.3.3. Requerimientos Nutricionales Principales de la Papa	29
3. MATERIALES Y MÉTODOS	33
3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL CAMPO EXPERIMENTAL	33
3.2. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS	34
3.3. EQUIPOS DE RIEGO.....	34
3.4. METODOLOGÍA PARA EL PRIMER OBJETIVO	34
3.4.1. Diseño Experimental	34
3.4.2. Dosificación de la Fertirrigación	38
3.4.3. Rendimiento del Cultivo de Papa	40
3.5. Metodología para el Segundo Objetivo Específico.....	41
3.5.1. Uniformidad del Sistema de Riego por Goteo	41
3.5.2. Determinación del Bulbo Húmedo, en el Riego por Goteo Superficial	42
3.5.3. Determinación del Bulbo Húmedo, en el Riego por Goteo Subsuperficial.....	43
3.5.4. Disponibilidad de NPK a tres Profundidades: 10, 30 y 50 cm	43
3.5.5. Análisis de los Contenidos de NPK	44
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
4.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO ANTES DE LA SIEMBRA.....	45
4.2. ANÁLISIS QUÍMICO DEL SUELO ANTES DE LA SIEMBRA	45
4.3. ANÁLISIS QUÍMICO DEL AGUA PARA RIEGO	46

4.4. PROGRAMACIÓN DEL RIEGO	46
4.5. UNIFORMIDAD DEL SISTEMA DE RIEGO	48
4.6. FASES DEL CULTIVO DE PAPA.....	49
4.7. RENDIMIENTO DE LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE PAPA.....	51
4.7.1. Análisis Estadístico del Rendimiento del Cultivo de Papa.....	52
4.8. DETERMINACIÓN DEL BULBO HÚMEDO EN EL RIEGO POR GOTEO ...	53
4.9. DISPONIBILIDAD DE NITRÓGENO, FÓSFORO, Y POTASIO	56
4.9.1. Análisis Estadístico de la Disponibilidad de NPK	57
4.9.2. Balance de Sales	58
5 CONCLUSIONES	60
6 RECOMENDACIONES	61
7 BIBLIOGRAFÍA	62
8 ANEXOS	65

CONTENIDO DE CUADROS

Cuadro 3.1. Lecturas del contenido de humedad y lecturas de tensiómetros	37
Cuadro 4.1. Textura y PH del suelo, sector Los Molinos-La Argelia 2011	45
Cuadro 4.2. Análisis químico del suelo, sector Los Molinos-La Argelia 2011	45
Cuadro 4.3. Resultados del análisis químico del agua de riego	46
Cuadro 4.4. Calendario del ciclo vegetativo y de riego de la papa mayo-octubre 2012	47
Cuadro 4.5. Resultados de la uniformidad de riego (testigo)	48
Cuadro 4.6. Resultados de la uniformidad de riego (Riego por goteo superficial)	48
Cuadro 4.7. Resultados de la uniformidad de riego (Riego por goteo subsuperficial)	48
Cuadro 4.8. Rendimiento de tubérculos tratamientos: Testigo, goteo superficial, y goteo subsuperficial.....	51
Cuadro 4.9. Análisis estadístico	52
Cuadro 4.10. Medias y Pruebas de Dunnett al 5%.....	52
Cuadro 4.11. Profundidad y diámetro del bulbo húmedo (Primer ensayo).....	54
Cuadro 4.12. Profundidad, diámetro, área y volumen del bulbo húmedo (Primer ensayo).....	54
Cuadro 4.13. Profundidad y diámetro del bulbo húmedo (Segundo ensayo)	55
Cuadro 4.14. Profundidad, diámetro, área y volumen húmedo (Segundo ensayo)	55
Cuadro 4.15. Contenidos de NPK, en los tratamientos (Goteo superficial, y goteo subsuperficial.....	56
Cuadro 4.16. Balance de nutrientes (NPK) en el cultivo de papa.....	59

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 2.1. Calidad del agua de riego con relación a los posibles problemas de obturación en sistemas de riego localizado (Nakayama, 1991).	8
Tabla 2.2. Compatibilidad química de algunos fertilizantes.....	19
Tabla 2.3. Características de los fertilizantes usados en fertirriego (California Fertilizer Association 1980).....	21
Tabla 2.4. Densidad radicular de algunos cultivos.	26
Tabla 2.5. Nutrientes minerales y orgánicos esenciales requeridos por las plantas.....	29
Tabla 3.1. Grado de solubilidad de los fertilizantes aplicados.....	39

CONTENIDO DE FIGURAS

Fig. 1.1. Bulbos de humedecimiento en diferentes suelos.	4
Fig. 1.2. Simulación del riego por goteo superficial y subsuperficial.	12
Fig. 1.3. Simulación de la aplicación de la fertirrigación.	13
Fig. 1.4. Equipo fertilizador (tipo Vénturi).	22
Fig. 1.5. Principales países productores de papa, FAO (2008).	23
Fig. 1.6. Composición de la planta de papa.	26
Fig. 2.1. Ubicación del campo experimental.....	33
Fig. 2.2. Diseño del sistema de riego y distribución de los tratamientos en el campo experimental	35
Fig. 2.3. Instalación del sistema de riego... ..	36
Fig. 2.4a. Curva de tensión-humedad (tensiómetro de vacío).....	37
Fig. 2.4b. Curva de tensión-humedad (tensiómetro de mercurio, Hg).....	38
Fig. 2.5. Goteros seleccionados para medir la uniformidad de distribución	41
Fig. 2.6. Medición del bulbo de humedecimiento (riego por goteo superficial)	42
Fig. 2.7. Medición del bulbo de humedecimiento (riego por goteo subsuperficial). .	43
Fig. 2.8. Toma de muestras para determinar la concentración de NPK.....	44
Fig. 3.1. Fase de llenado de tubérculos	49
Fig. 3.2. Fase de maduración del cultivo (cosecha)	50
Fig. 3.3. Rendimiento promedio de papa por tratamiento (kg)	53
Fig. 3.4. Rendimiento promedio de papa por tratamiento (t/ha)	53
Fig. 3.5. Comportamiento de la disponibilidad de N, P ₂ O ₅ , y K ₂ O con la profundidad del suelo para el riego superficial	57
Fig. 3.6. Comportamiento de la disponibilidad de N, P ₂ O ₅ , y K ₂ O con la profundidad del suelo para el riego subsuperficial	58

RESUMEN

Se implementó un ensayo para evaluar el rendimiento del cultivo de papa a través de la fertirrigación en riego por goteo con NPK, suministrados superficialmente y a 25 cm de profundidad; determinar las características del bulbo húmedo en riego por goteo superficial y subsuperficial; y, determinar la disponibilidad de NPK a 10, 30 y 50 cm de profundidad. Con el riego por goteo subsuperficial y con fertilización se obtuvo un rendimiento de 16,97 t/ha; con riego por goteo superficial y con fertilización se obtuvo 14,44 t/ha; mientras que con el riego por goteo sin fertilización fue de 8,14 t/ha. En lo referente al bulbo húmedo, los goteros superficiales tienen mayor profundidad de 27,6% en un tiempo de prueba de 135 minutos, y 21% en un tiempo de 90 minutos con respecto al riego subsuperficial; en lo referente al diámetro el riego superficial fue mayor 13% en un tiempo de prueba de 135 minutos, y 4% en un tiempo de 90 minutos con respecto al riego subsuperficial; igual comportamiento se encontró en lo referente al área y volumen del bulbo húmedo, son mayores en el riego por goteo superficial, en las dos instancias analizadas. Referente a las concentraciones de NPK, se encontró mayor concentración de Nitrógeno (N) en 14,7%, fósforo (P) 56%, y potasio (K) 20% en el riego superficial.

Palabras claves: Irrigación superficial, irrigación subsuperficial, concentración de NPK, bulbo húmedo, fertirrigación.

SUMMARY

A rehearsal was implemented to evaluate the yield of potato's cultivation through the fertirrigación in watering for leak with NPK, given superficially and to 25 cm of depth; to determine the characteristics of the humid bulb in watering for superficial leak and subsuperficial; and, to determine the readiness from NPK to 10, 30 and 50 cm of depth. With the watering for leak subsuperficial and with fertilization a yield of 16,97 t/ha was obtained; with watering for superficial leak and with fertilization 14,44 t/ha was obtained; while with the watering for leak without fertilization was of 8,14 t/ha. regarding the humid bulb, the superficial droppers have bigger depth of 27,6% at one time at one time of test of 135 minutes, and 21% of 90 minutes with regard to the watering subsuperficial; regarding the diameter the superficial watering was at one time at one time bigger 13% of test of 135 minutes, and 4% of 90 minutes with regard to the watering subsuperficial; same behavior was regarding the area and volume of the humid bulb, they are bigger in the watering for superficial leak, in the analyzed two instances. With respect to the concentrations of NPK, it was bigger concentration of Nitrogen (N) in 14,7%, match (P) 56%, and potassium (K) 20% in the superficial watering.

Key words: Superficial irrigation, irrigation subsuperficial, concentration of NPK, humid bulb, fertirrigación.

1. INTRODUCCIÓN

La necesidad de suministrar cada vez más alimentos a una creciente población del mundo, estimuló el interés de aumentar la eficiencia del riego, en razón que el agua es un recurso cada vez más escaso y existe más competencia entre los diversos usos. La actividad agrícola consume más del 80% del agua disponible a nivel del mundo (Sánchez, 2002); esto obliga a utilizar de forma eficiente y a manejar con eficacia los mecanismos de gestión; y en esto la tecnología del riego por goteo es determinante para la competitividad de la actividad agraria en el futuro. Para el Ecuador el aprovechamiento de agua en irrigación constituye el 82% del consumo total de agua (Zapata y Gasselin, 2005).

Ecuador, es un país eminentemente agrícola en el cual más de un tercio de su superficie tiene un clima semi-árido, que necesariamente tendría que suministrarse riego, el área irrigada es alrededor de 853.332,00 ha, representando un poco más de la cuarta parte de la superficie que podría ser regada, la superficie potencialmente regable se estima en 3'130.000,00 ha. (Zapata y Gasselin, 2005). Unas 12.000,00 ha son regadas por goteo aplicando fertirrigación en invernaderos, y alrededor de 44.000,00 ha son regadas a campo abierto a través del goteo con fertirrigación (Calvache, 2006).

La rápida implementación del riego por goteo comenzó en los años setenta, como resultado de la invención de los tubos de plásticos. Tradicionalmente se ha asociado el empleo de riego localizado de alta frecuencia: al ahorro significativo de agua, la disminución de la erosión, aumento de la superficie cultivable, mayor eficiencia de riego. La adopción de métodos de riego por goteo con el mojado parcial del suelo, aceleró la transición hacia sistemas radiculares restringidos solamente a la zona de mojado, estos sistemas radiculares limitados modificaron considerablemente el manejo de la fertilización tradicional. Este cambio, desde la aplicación de fertilizantes al voleo en toda la superficie, a una fertilización en bandas y a fertilizantes agregados al agua de riego, conocido como fertirrigación, fue desarrollado para satisfacer las necesidades de nutrientes a cultivos regados por goteo. La fertirrigación es el

resultado del riego localizado, donde se pondera el control del agua y los fertilizantes a voluntad, como la principal ventaja.

El riego por goteo subterráneo es una alternativa válida, que se potencia por la mejor aprovechabilidad de los nutrientes al ser entregados directamente a la zona de raíces, lo que se traduce en un incremento de la eficiencia de riego, menor cantidad de agua con respecto al goteo superficial, a más de la reducción del impacto ambiental, Evett *et al.* (1995) y Rivera *et al.* (2004).

En este contexto se inscribe la investigación, que tuvo como propósito general incrementar la eficiencia del riego por goteo tradicional y goteo subterráneo con la aplicación de fertilización para que sea aprovechada eficientemente por la planta al ser aplicada a determinada profundidad, lo cual incide en incremento de la producción. Para esto se seleccionó el cultivo de papa por su importancia en la dieta alimenticia mundial, nacional y regional, llegando a considerarse como el tercer alimento mundial por su importancia, la FAO consideró el 2008 como el año internacional de la papa. Este cultivo produce en el mundo unas 315 millones de t/año, mientras que en Ecuador se produce alrededor de 409.773,00 t/año

El uso deficiente del riego y la fertilización ha sido muy frecuente en el tiempo, por lo que la presente investigación plantea una metodología para mejorar la eficiencia de aplicación del riego y los fertilizantes, para lo cual se experimentó con tres repeticiones y tres tratamientos: testigo (no se suministró fertilización); fertirrigación a través del goteo instalado superficialmente; y, fertirrigación a través del goteo instalado a 25 cm de la superficial del suelo. Al aplicar la fertirrigación en la zona donde se concentra la mayor cantidad de raíces, la planta puede aprovechar de mejor manera los fertilizantes e incrementar la eficiencia de absorción, especialmente fertilizantes fosforados, que se caracterizan por su inmovilidad como lo afirma (Phillips, y J. R. W. 1971). Las dosificaciones de NPK fueron las mismas para el goteo superficial y para el goteo subsuperficial.

En el presente trabajo, se plantearon los siguientes objetivos:

- Evaluar el rendimiento del cultivo de papa a través de la fertirrigación en riego por goteo con NPK, suministrados en forma superficial y subsuperficial a 25 cm de profundidad.

- Determinar las características del bulbo de humedecimiento en Riego por goteo, superficial, y subsuperficial a 25 cm de profundidad. Y determinar la disponibilidad de Nitrógeno, Fósforo, y Potasio (NPK), a 10 cm, 30 cm, y 50 cm de profundidad.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 RIEGO POR GOTEO

El riego por goteo es el suministro de agua constante y uniforme, gota a gota que permite mantener el agua de la zona radicular en condiciones de baja tensión, (Lecaros, 2011). Sus principales características son: emisión de pequeños caudales, baja presión, localización del agua en la proximidad de las plantas a través de un número variable de emisores. Al reducir el volumen de suelo mojado, y por tanto su capacidad de almacenamiento, se debe operar con alta frecuencia de aplicación a dosis pequeñas. Los caudales típicos de los emisores son de 0,6 a 16 l/h y los emisores más utilizados son de 1 a 4 l/h.

El área regada por este sistema, a nivel mundial en 1974 era cerca de 66.000 ha, las que aumentaron a 2,98 millones de ha en 1996, Magen (2003), y a 6 millones de ha en 2006 (Sne, 2006).

En riego por goteo, los emisores crean diferentes formas de bulbos húmedos. La textura del suelo determina la distribución vertical y horizontal del agua. En suelos de textura gruesa el agua tiende a extenderse más verticalmente, mientras que en suelos de textura fina, se extiende en forma lateral, lo que da como resultado un mayor radio de la zona humedecida, conforme la ilustración de Michi (2009) Fig. 2.1

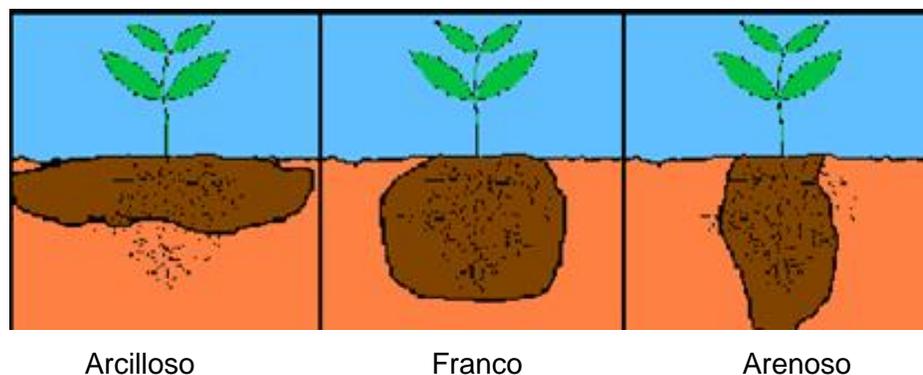


Fig. 2.1. Bulbos de humedecimiento en diferentes suelos.

2.1.1 Humedecimiento del Perfil del Suelo

El agua se distribuye a través del suelo debido a la acción de fuerzas gravitacionales y capilares, (Brooks et al. 1997). El movimiento vertical se efectúa debido a la fuerza de atracción gravitacional y tiende a ser dominante cuando el suelo alcanza su máxima capacidad de retención de humedad (Brady, 2000). El movimiento lateral del agua y parte del movimiento vertical cuando el suelo está seco ocurre debido a las fuerzas de capilaridad. Gavande (1979) y Brady (2000).

Brady (2000), expresa que, en el riego por goteo, el agua se aplica desde un emisor sobre una superficie generalmente no saturada lo que propicia la formación de un bulbo de humedecimiento cuya forma y dimensión dependerá del volumen de agua aplicado, de la textura del suelo y su estratificación

2.1.2 Ventajas y Desventajas del Riego por Goteo

Autores como López y Pérez (1992), Phene (1999) y Marhuenda (1999), se refieren a las ventajas y desventajas del riego por goteo, entre las bondades se citan:

Una importante reducción de la evaporación del suelo y de las pérdidas por percolación, que trae una reducción significativa de las necesidades de agua. La posibilidad de automatizar completamente el riego, con los consiguientes ahorros en mano de obra. El control de las dosis de aplicación es más fácil y completo. Existe la posibilidad de utilizar aguas más salinas que en riego convencional, debido a que el riego por goteo mantiene casi constante la humedad del bulbo húmedo en la zona radicular. Adaptable a todo tipo de suelo y clima. Al no verse afectado por condiciones de viento se puede aplicar a cualquier tipo de zona y pendiente, así mismo a cualquier textura de suelo. No se moja el tallo vegetal, lo que disminuye los riesgos de problemas fitosanitarios, reduce la proliferación de malas hierbas en las zonas no regadas, permiten la (fertirrigación). Baja presión de operación. Hay ahorro de energía no solo por la alta eficacia, sino también por la baja presión de trabajo y el menor caudal de manejo.

Algunas limitaciones se anotan a continuación.

Se necesita una inversión elevada debida a la cantidad importante de emisores, tuberías, equipamientos especiales en el cabezal de riego y la casi necesidad de un sistema de control automatizado (electroválvulas). El alto riesgo de obturación (clogging) en inglés de los emisores, y el consiguiente efecto sobre la uniformidad del riego. Esto puede ser considerado como el problema principal en riego localizado. Al haber la presencia de altas concentraciones de sales alrededor de las zonas regadas, es imperativo contar con un sistema adicional de lavado de sales. Sistema fijo. El sistema se diseña para una condición específica, por lo que no se puede trasladar.

2.1.3. Criterios de Manejo del Sistema de Riego por Goteo

Según Ferreyra, Sellés *et al.* (2005) los sistemas de riego localizados fueron concebidos para reponer el agua evapotranspirada por el cultivo de forma periódica con alta frecuencia. Sin embargo hay situaciones de suelo y cultivo en las cuales el riego localizado da mejores resultados cuando no se realiza en forma diaria, sino con riegos menos frecuentes. Criterio que también lo menciona los investigadores del instituto de Investigaciones Agropecuarias de Chile que investigan riego por goteo con diferentes frecuencias en el valle de Aconcagua.

Los primeros resultados indican que cuando se disminuye las frecuencias de riego se logra formar un bulbo de mayor tamaño, aumenta su desarrollo radicular, mejora el crecimiento vegetativo, y se incrementa la producción; mientras que con riegos más frecuentes se forman bulbos más pequeños y saturados con problemas de aireación. Además, mencionan que los riegos frecuentes se ajustan mejor a: suelos con baja capacidad de retención de humedad, suelos poco profundos, suelos de textura liviana y cultivos con arraigamiento superficial. Así mismo, los riegos menos frecuentes se ajustan mejor a: suelos con alta capacidad de retención de humedad; suelos profundos; suelos con texturas fina, suelos compactados; y cultivos con arraigamiento profundo.

2.1.4. Obturaciones Químicas

Según Abbott (1988) manifiesta que los emisores son los elementos más importantes y delicados de un sistema de riego localizado, que no solamente puede disminuir su distribución sino colapsarlo definitivamente. Los precipitados químicos se producen cuando se modifican las cualidades del agua de riego (temperatura, presión, PH) y cuando se evapora el agua del interior de los emisores una vez terminado el riego. Los precipitados de calcio se producen en función de la acidez del agua de riego; cuando el agua es poco ácida el calcio se precipita en los emisores provocando la disminución del diámetro de salida del agua de riego. La forma de prevenir y tratar este tipo de obturaciones es aplicando al agua de riego cierta dosis de ácido (normalmente ácido nítrico) que hace aumentar la acidez del agua, de esta forma el calcio del agua de riego se disuelve y no se presentan problemas.

Los precipitados de hierro, azufre, y manganeso se forman en los emisores al ponerse en contacto estos elementos con la atmósfera, ya que precipitan al oxidarse. Para evitar los problemas de obturaciones derivadas de esta oxidación puede airearse el agua de riego mediante agitadores o inyectores de aire antes de entrar a los filtros. De esta forma los precipitados se forman antes de que el agua pase por el filtro de arena

Los precipitados de los fertilizantes pueden producirse por la reacción entre los elementos de distintas formulaciones o por reacciones con los elementos del agua de riego. Para evitar estas reacciones hay que comprobar en primer lugar la solubilidad del fertilizante.

2.1.5 Obturaciones Físicas

Las obturaciones físicas se producen por la sedimentación de partículas tanto minerales como orgánicas que se encuentran en suspensión en el agua de riego; también se consideran obturaciones físicas las producidas por partículas que acceden al emisor desde el exterior. La prevención de este tipo de obturaciones pasa por la instalación de un buen sistema de filtrado en el cabezal de riego. Si el sistema de goteo está enterrado, se deberá instalar goteros especialmente para el caso.

Nakayama, y Bucks (1991) desarrolló una clasificación en relación con la calidad del agua y el potencial de obturación de goteros Tabla 2.1

Tabla 2.1 Calidad del agua de riego con relación a los posibles problemas de obstrucción en sistemas de riego localizado, (Nakayama, 1991).

Factores de obturación	Peligro de obturación		
	Bajo	Medio	Alto
Físico			
Sólidos en suspensión, mg/l.	<50	50 – 100	>100
Químico			
PH	<7,0	7 – 8	>8
Sólidos disueltos, mg/l.	<500	500 – 2000	>2000
Manganeso, mg/l.	<0,1	0,1 – 1,5	>1,5
Hierro total, mg/l.	<0,2	0,2 – 1,5	>1,5
H ₂ S, mg/l.	<0,2	0,2 – 2,0	>2,0
Población biológica, N° bacterias/ml.	<10.000	10.000 -50.000	>50.000

2.1.6 Obturaciones Orgánicas

Las obturaciones orgánicas se producen por el crecimiento de organismos dentro de los emisores, para prevenir este tipo de obturaciones lo más adecuado es la incorporación de biocidas (cloro) en el agua de riego. En todo caso cuando se detecte las obturaciones se pueden realizar tratamientos con hipoclorito, para prevenir el crecimiento de estos microorganismos en el agua de riego. Se usa hipoclorito sódico a una dosis de 15 a 20 cm³ por m³ de agua; se aplica al final del riego en los últimos 10 minutos para que la solución quede retenida en la tubería hasta el próximo riego, la solución se inyecta al sistema de riego antes de los filtros de arena. Los problemas más críticos de obturación de emisores son por causas biológicas y químicas, debido a que se presentan con posterioridad al establecimiento del sistema (Holzapfel, 2001)

2.1.7. Riego por Goteo Subsuperficial.

Investigadores del riego subsuperficial como Jorgensen (1993) y Phene (1999) conceptualizan al Riego subsuperficial como, el que los laterales porta-emisores están enterrados en el suelo a una determinada profundidad, entre 5 y 50 cm dependiendo de las características del cultivo (profundidad del sistema radicular) y de las características del suelo (capilaridad). En suelos arenosos las profundidades de

ubicación serán menores que en suelos arcillosos. En cultivos de hortalizas con sistema radicular superficial, enterraremos ligeramente los laterales; mientras que, en cultivos leñosos podemos sobrepasar los 50 cm. Por otra parte, la instalación puede permanecer durante años o recogerse e instalarse en cada cultivo. El sistema debe ser adaptado y diseñado según las características propias del cultivo y el lugar donde se va a desarrollar.

Las primeras referencias de éste tipo de riego datan desde 1860 como una idea surgida en Alemania, (Marhuenda, 1999). En Estados Unidos de América el riego por goteo subsuperficial fue parte del desarrollo del riego por goteo superficial iniciándose en 1959 en California, (Davis, 1967). El impacto que produjo ésta metodología, varios investigadores realizaron algunas investigaciones.

Rivera (2004) comparó el riego por goteo subsuperficial frente al riego por surcos, en alfalfa, encontraron en los 18 primeros meses que las producciones fueron 22% mayores, con una disminución del 6% de agua y en los años subsecuentes las producciones fueron del 26 a 35%. Estos mismos autores, en investigaciones realizadas algodón, reportan que de ocho métodos de riego, el riego por goteo subsuperficial tuvo la más alta eficiencia del uso del agua.

En trabajos experimentales en maíz grano (*Zea mays*) se encontró que la evapotranspiración del cultivo de riego por goteo subsuperficial se reduce hasta en un 14% en comparación con el goteo superficial, debido a una reducción de la evaporación directa del suelo (Evet, 1995).

Alam (2002) evaluó en alfalfa, dos profundidades de instalación de riego por goteo a 30,5 y 45 cm, respectivamente, no encontró diferencia significativa en la producción en los dos primeros años; sin embargo la profundidad de 5 cm a partir del segundo año presentó un incremento de materia seca de 700 kg/ha.

En investigaciones realizadas sobre el bulbo de humectación, Ben-Asher y Phene (1993) encontraron que aplicando la misma cantidad de agua en los sistemas de riego por goteo superficial y subsuperficial para un suelo franco arcilloso, el radio de

humedecimiento disminuyó en 10% con respecto al riego por goteo superficial. Sin embargo el área y volumen humedecido son un 62 y 46% mayor que el superficial.

Con respecto a este mismo tema el Departamento de Agricultura de los EE.UU, aplicando la misma cantidad de agua, el riego por goteo subsuperficial cubre un volumen de suelo mojado un 46 por ciento mayor que un sistema de riego por goteo superficial. Esto disminuye el punto de saturación del suelo más que un sistema de riego por goteo superficial, lo que no solo deja espacio para más aire, sino que también mejora el movimiento capilar del agua y disminuye el agua que se pierde por infiltración profunda.

2.1.7.1. Ventajas y desventajas del riego subsuperficial

Investigadores como Medina (1997) y Phene (1999) coinciden en mencionar las ventajas y desventajas del riego por goteo subsuperficial, y las comparaciones con el riego por goteo superficial, que son las siguientes:

Mayor duración de las instalaciones: No se destruyen por la acción de la radiación solar y sufren menos ataques indeseados de personas y animales.

Aumento de la eficiencia de riego: Por el hecho de estar enterrados los emisores, evita que el agua este en la superficie del suelo expuesta a la evaporación, es decir, mejor distribución del agua, menor escorrentía, mayor uniformidad; además está más cerca de las raíces que absorben el agua.

Mejor asimilación de los nutrientes: En el caso de elementos poco móviles como el fósforo o potasio los ponemos a disposición de la raíz, y ser aprovechados con mayor eficiencia.

Disminución de la presencia de malas hierbas: La superficie del suelo se mantiene seca y por lo tanto la germinación de semillas de malas hierbas disminuye considerablemente; repercute directamente en ahorro de herbicidas y mano de obra.

Facilita las labores del suelo: En cultivos que requieren laboreos superficiales del suelo eliminamos el obstáculo de la línea porta-goteros superficial. Incluso en cultivos hortícolas, si se entierra a cierta profundidad las líneas porta-goteros, se puede labrar y preparar el suelo para el próximo cultivo.

Entre las desventajas se mencionan las siguientes

Acumulación de sales en la superficie: En zonas con poca lluvia, se pueden acumular sales en la superficie, perjudicando la germinación del cultivo siguiente.

Dificultad de localizar fugas y averías: Por el hecho de estar enterradas las tuberías, es difícil de visualizar las fugas, y por lo tanto su arreglo.

Reducida actividad radicular: Existe poca actividad radicular en la superficie, por lo que los abonos de poca movilidad (potasio, fósforo) se deben aplicar obligatoriamente por fertirrigación.

Obturación de los goteros: La principal limitación que tiene el riego por goteo subsuperficial, es la obturación de los goteros, con el agravante de que el problema no se detecta hasta que sus efectos son muy aparentes, generalmente por sequía de las plantas afectadas. La obturación puede producirse por las partículas que lleva el agua de riego o por agentes externos; el suelo que rodea los goteros o las raicillas de las plantas. La obturación por agentes externos debido a partículas de suelo se controla mediante un blindado especial de los goteros.

Si se compara el sistema de riego localizado subsuperficial, con el riego por goteo superficial se pueden considerar según Phene (1999) que reúne las siguientes ventajas:

Al tener una profundidad de 15 a 20 cm de terreno seco no existirá evaporación. Cualquier superficie de tierra que normalmente tiene problemas de infiltración, tienen solución con este sistema. Los sistemas de riego por goteo subsuperficial no se cambian anualmente, ya que el sistema no está expuesto a la luz del sol, y no está sujeto al constante mojado y secado, por lo que se espera que el sistema dure más

tiempo que uno que está en la superficie y expuesto al ambiente cambiante. Los equipos que transitan en el campo, tendrán menos dificultades en su desplazamiento, porque todas las cañerías y laterales son enterradas. El agua y nutrientes son directamente aplicados a la zona radicular mejorando la eficiencia de utilización. La aplicación de fumigantes y / o pesticidas a través del sistema proporciona el uso eficiente de los químicos para el control de malezas.

2.1.7.2 Profundidad de instalación del emisor

Jorgensen (1993) indicó que la profundidad de instalación, reduce el potencial para la evaporación desde la tierra y también permiten una mayor facilidad para realizar prácticas de cultivo. Sin embargo las instalaciones más profundas pueden limitar la efectividad del sistema de riego subsuperficial en la germinación de semillas, restringiendo la disponibilidad de agua y nutrientes hacia la superficie, pudiendo provocar salinidad cuando se riega con agua con sales. El comportamiento del riego por goteo superficial, como subsuperficial, se observa en la figura 2.2

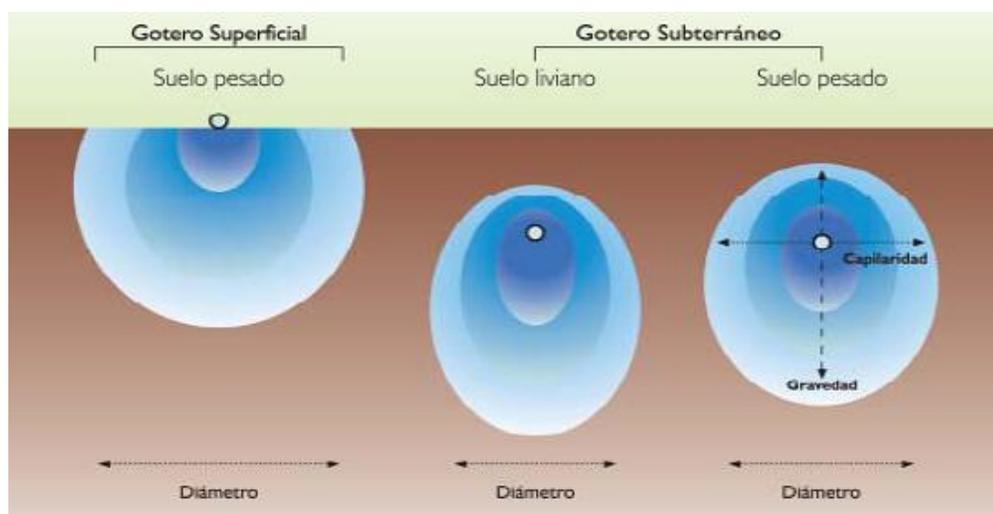


Fig. 2.2. Simulación del riego por goteo superficial y subsuperficial

Las profundidades de instalación típicas son 30 y 60 centímetros, pero la profundidad óptima es desconocida, y la experiencia dictará cuál es la mejor. Lo más probable, es que exista más de una profundidad óptima, (Burt, 1994).

2.2 LA FERTIRRIGACIÓN

La práctica de aplicar fertilizante a los cultivos por vía del agua de riego se llama Fertirrigación o Fertirriego, (Bar-Josef, 1992). La fertirrigación es una moderna técnica agrícola que provee la excelente oportunidad de maximizar los rendimientos y a la vez reducir la polución ambiental (Hagin, *et al* 2002). Al incrementar la eficiencia del uso de los fertilizantes, minimiza la aplicación de estos y aumenta los beneficios económicos de la inversión en fertilizantes. En la fertirrigación el momento, las cantidades y la concentración de los fertilizantes aplicados son fácilmente controlados. El fertirriego es el único método correcto de aplicar fertilizantes a los cultivos bajo riego (Calvache, 1998). La figura 2.3 indica como los fertilizantes llegan a través de los goteros.

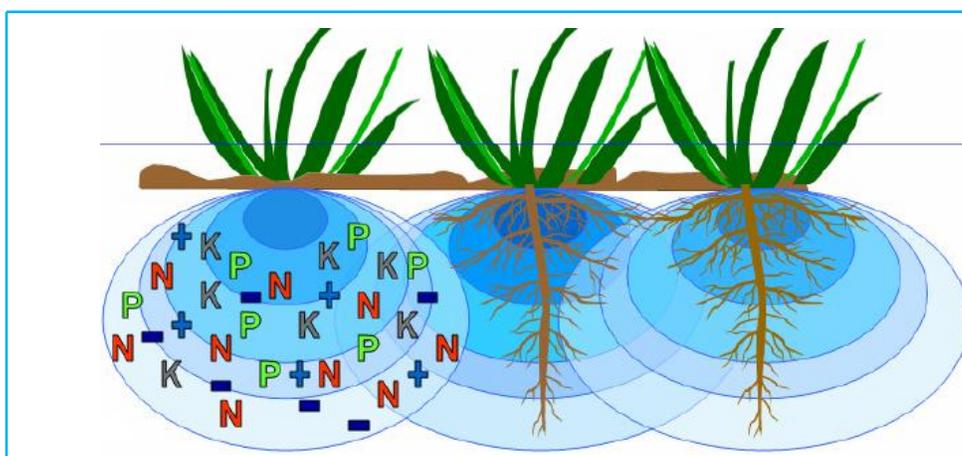


Fig. 2.3. Simulación de la aplicación de la fertirrigación.

Esta práctica se asocia especialmente con los sistemas de riego localizados de alta frecuencia. La fertirrigación, es la aplicación de fertilizantes con el agua de riego: Fertilización + Irrigación. Según Pacheco y Calvache (2006) en el Ecuador se riega utilizando la técnica de la fertirrigación unas 12.000,00 ha en invernaderos y 44.000,00 ha a campo abierto.

La proximidad de las raíces a los goteros y la limitada cantidad de agua en el suelo con raíces conduce a una rápida y sensible respuesta de las plantas a pequeñas cantidades de riego. Sin embargo el sistema falla si no se lo acompaña con una solución nutritiva aplicada frecuentemente, dado que la principal reserva de nutrientes

del suelo está muy lejos de las raíces de la planta (Carmi, 1992). Una de las mayores empresas dedicadas al mundo del riego como es la NaanDanJain, afirma que existe un mejor aprovechamiento de los fertilizantes, cuando estos son aplicados directamente a la zona de raíces a través del riego por goteo subsuperficial.

El riego por aspersión fue comparado con el riego por goteo superficial y subsuperficial con un rango de tratamientos de fertilizantes sobre el rendimiento y la calidad comercial de papas en Minisota; el riego por goteo subsuperficial y superficial estuvo entre los mejores sistemas con mayor rendimiento total y comercial, (Waddell, 2000).

La adopción de riego por goteo y fertirrigación en papas es un trabajo tedioso y continuo que se vuelve económico solo cuando existen grandes superficies y buenos mercados, y cuando el agua es un factor limitante (Shock, *et al.* 2003).

2.2.1 Calidad del Agua de Riego

Los objetivos de muestreo y análisis del agua de riego de acuerdo a Kafkafi y Tarchitzky (2012) son:

- Evaluar su adaptación a la combinación específica del cultivo, suelo, método de riego, grado de filtrado.
- Determinar el nivel de salinidad y concentración de elementos tóxicos en el agua para estimar su efecto en los cultivos.
- Determinar la concentración de sodio y la relación de absorción de sodio (RAS) para estimar el efecto potencial de largo plazo en la estructura del suelo y la infiltración del agua.
- Determinar el valor nutricional para considerar que nutrientes deberán agregarse al agua en el programa de fertirrigación.

Los principales componentes de la salinidad son los cationes calcio (Ca), magnesio (Mg), Sodio (Na), y los aniones cloruro (Cl⁻), sulfato (SO₄⁻) y bicarbonato (HCO₃⁻). El nitrato (NO₃) y el potasio (K) son componentes menores de la salinidad. El boro (B) y otros micronutrientes disueltos son despreciables para considerar la salinidad de agua

de riego. La salinidad se mide simplemente determinando la conductividad eléctrica (CE) del agua.

2.2.2. Ventajas y Limitaciones de la Fertirrigación

Muchos autores de libros e investigadores de la fertirrigación mencionan algunas ventajas como desventajas, aunque en su mayoría coinciden, para el presente trabajo se indicará las propuestas por (Martínez, 1998).

Mayor eficiencia en el uso de los fertilizantes: una mayor cantidad de fertilizante es utilizado por la planta en relación al total del fertilizante aplicado.

Existe una mejor distribución y uniformidad: mejor penetración en el suelo y menores pérdidas por volatilización debido a que penetra en el suelo disuelto en el agua de riego.

Adaptación de la fertilización a diferentes etapas de desarrollo del cultivo, las aplicaciones de fertilizante pueden hacerse al ritmo que el cultivo lo necesita en las fases de crecimiento vegetativo. Los fertilizantes pueden ser aplicados a través de mecanismos automáticos que permiten un control de la fertirrigación.

Ahorro de trabajo y comodidad: se requiere menos mano de obra en la aplicación de los fertilizantes.

Reducción de la compactación del suelo: no se utiliza maquinaria agrícola por lo tanto se reduce la compactación.

Reducción de pérdida por lavado y volatilización: según el Instituto De Investigaciones de Chile, hay un mejor aprovechamiento de los fertilizantes por los cultivos, pudiendo existir un ahorro del 30%.

Reducción del daño mecánico al cultivo: existe baja probabilidad de daño mecánico al cultivo, como rotura de raíces y follaje.

La mayoría de los inconvenientes asociados a la fertirrigación no se deben al método, sino al manejo incorrecto o al desconocimiento que existe acerca de los aspectos de la nutrición de las plantas. Por lo que se debe tener las siguientes precauciones:

Obturaciones por precipitados: causados por incompatibilidad de los distintos fertilizantes, con el agua de riego o bien debidas a una dilución insuficiente.

Dosificaciones: la aplicación de los fertilizantes y otros productos deben ser bien dosificados para no producir daño al cultivo. Un exceso de productos químicos puede causar toxicidad afectando los rendimientos.

2.2.3 Fertirrigación Cuantitativa

Basada en aplicación de cantidades específicas de fertilizantes a una determinada área a través del agua de riego. La fertirrigación cuantitativa es comúnmente utilizada para aplicar los fertilizantes a los suelos. En este método de fertirrigación, el productor decide en primer lugar la cantidad de fertilizantes que debe ser aplicada para cada área (por ejemplo kg/ha, lb/acre). Esta cantidad de fertilizantes es entregada a través del agua de riego.

Un tanque de fertilización es la forma más sencilla de aplicar fertilizantes a través del agua de riego. La inyección de los fertilizantes no es proporcional al flujo de agua. Puesto que la relación de dilución y el caudal de inyección no son constantes, la concentración de los fertilizantes es alta al principio y se disminuye a medida que avanza el riego.

2.2.4 Fertirrigación Proporcional

La aplicación de nutrientes es proporcional al caudal de riego. Por lo tanto, los requerimientos nutricionales y la dosis de fertilizantes pueden ser expresadas en concentraciones en el agua de riego. Por ejemplo, mg/litro (ppm), mmol/litro, etc.

La fertirrigación proporcional es utilizada sobre todo en medios sin suelos y en suelos arenosos. En este método de fertirrigación se inyecta una cantidad definida de

solución fertilizantes en cada unidad de agua que fluye a través del sistema de riego (por ejemplo, l/m³, lb/gal). Los niveles de nutrientes son determinados por su concentración en el agua de riego. La mayoría de los productores que utilizan la fertirrigación, utilizan las unidades de ppm (partes por millón) o mmol/l. En fertirrigación proporcional se utiliza inyectores de fertilizantes, tales como Venturi y bombas de desplazamiento positivo. La cantidad total de un nutriente aplicado por una unidad de área puede ser evaluada multiplicando la concentración del nutriente en el agua de riego por el volumen total de agua aplicado.

2.2.5. Fertilizantes Usados en Fertirrigación

Para utilizar un fertilizante a través del sistema de riego es necesario conocer la composición de los productos y la solubilidad de cada uno de ellos. Según la Asociación Internacional de la Industria de los fertilizantes IFA (2002) se utilizan los siguientes fertilizantes.

Nitrato de calcio Ca (NO₃)₂; [15,5 – 0 - 0]

Este fertilizante prácticamente ha sido abandonado en los programas de fertilización tradicional, debido al alto costo del nitrógeno. Este producto es utilizado en fertirrigación por su aporte de calcio.

Nitrato de potasio (salitre potásico) (KNO₃); [15 - 0 - 14]

El salitre potásico posee un 15% de nitrógeno y un 14% de potasa. Este fertilizante no se disuelve completamente, dejando impurezas no solubles en el fondo del recipiente.

Urea (CO (NH₂)₂); [46 - 0 - 0]

La urea se comercializa como fertilizante granulado con un 46% de nitrógeno, es de alta solubilidad y fácil de manejar, lo que la hace un producto muy utilizado en fertirrigación. No saliniza el agua por lo que resulta apropiado en el caso de aguas y suelos salinos.

Acido fosfórico (H_3PO_4); [0 – 51 - 0] verde; [0 – 54 - 0] blanco

El H_3PO_4 contiene entre un 51 y 54% de P_2O_5 . El ácido fosfórico blanco es utilizado preferentemente en la preparación de soluciones nutritivas para sistemas de riego localizado, pero su uso se ve limitado por su disponibilidad y precios.

Fosfato diamónico ($(NH_4)_2HPO_4$); [16 - 48 - 0]

Este fertilizante contiene una alta concentración de nitrógeno y P_2O_5 , tiene una reacción ligeramente alcalina, por lo tanto es necesario adicionar ácido nítrico para bajar el PH. La dosis adecuada es de 0,9 litros de ácido por kilo de fosfato diamónico.

Nitrato de potasio (KNO_3); [13 - 0 - 44]

El nitrato de potasio es de alto costo pero otorga beneficios al agricultor por ser un producto que contiene nitrógeno y potasio en forma simultánea. Esta es la segunda fuente de potasio en importancia después del cloruro de potasio (KCl); es muy utilizado por no tener iones cloruro.

Sulfato de potasio (K_2SO_4); [0 - 0 - 50]

El sulfato de potasio es una fuente en potasio y azufre, no es un producto popular en fertilización debido a su relativa baja de solubilidad en comparación al cloruro de potasio y nitrato de potasio.

2.2.6. Compatibilidad de Productos

Los fertilizantes son sales que en contacto con el agua se disocian formando iones (aniones y cationes), diferentes iones pueden interactuar en la solución y precipitar formando compuestos insolubles, con el riesgo de no estar disponibles para las raíces o con alto riesgo de taponar emisores disminuyendo la eficiencia de aplicación de los nutrientes. La mezcla de fertilizantes no compatibles y la interacción de los fertilizantes con el agua de riego, especialmente si son aguas duras y/o alcalinas, pueden ocasionar la formación de precipitados en el tanque de fertilización y la

obtención de goteros y filtros; se puede evitar por una elección correcta de los fertilizantes y un manejo adecuado, por Ej., el nitrato de calcio no puede ser mezclado con ningún fertilizante fosforado o sulfatado, como indica la tabla 2.2.

I = Incompatible C = Compatible L = Compatibilidad limitada											
	↑ NITRATO AMÓNICO										
		↑ UREA									
			↑ SULFATO AMÓNICO								
				↑ SUPERFOSFATO TRIPLE							
					↑ SUPERFOSFATO SIMPLE						
						↑ FOSFATO DIAMÓNICO					
							↑ FOSFATO MONOAMÓNICO				
								↑ CLORURO POTÁSICO			
									↑ SULFATO POTÁSICO		
										↑ NITRATO POTÁSICO	
											↑ NITRATO CÁLCICO

Tabla 2.2 Compatibilidad Química de algunos fertilizantes.

El ácido se aplica sobre el agua lentamente (nunca hay que aplicar agua sobre el ácido, en seguida se aplica los fertilizantes partiendo de los menos solubles. Se recomienda el uso de fertilizantes de reacción acida y/o la inyección de ácido en el fertirriego para disolver los precipitados y destapar los goteros. La inyección de ácido en el sistema de riego remueve bacterias y algas. Luego de inyectar el ácido el sistema de riego y de inyección deberá ser cuidadosamente lavado, (Calvache, 2004).

Se recomienda realizar la mezcla de fertilizantes en la mitad del volumen de agua a utilizar, agitar vigorosamente y luego agregar agua hasta completar el volumen total de agua. En general no se debe mezclar fertilizantes con alto contenido de calcio (nitrato de calcio) con ácido fosfórico, la reacción química de ambos productos puede formar fosfato de calcio, el cual obstruye los emisores, en la (tabla 1.2) se puede ver la compatibilidad química de la mezcla de fertilizantes (Sierra, et al. 2002).

2.2.7 Solubilidad de los Productos

Todos os fertilizantes utilizados en fertirrigación deben tener un grado de solubilidad que impida las obturaciones con partículas sólidas sin disolver. Interesa conocer el grado de solubilidad del fertilizante, con el fin de saber la cantidad máxima del mismo que se puede añadir a una determinada cantidad de agua.

La solubilidad de un fertilizante es una de las características principales a tener en cuenta en el fertirriego. Los fertilizantes deben ser muy solubles y selectos en cuanto a su composición respecto a los nutrientes que aportan. La solubilidad de un producto está influenciada por tres factores: temperatura, presión y pH.

La temperatura del agua juega un papel directo e importante en la solubilidad de un fertilizante (a mayor temperatura mayor solubilidad). Algunos fertilizantes al ser aplicados en el agua bajan la temperatura, si se quiere agregar otro fertilizante la solubilidad de éste último se verá afectado, siendo conveniente esperar restablecer la temperatura inicial. Los fertilizantes sólidos solubles empleados en fertirrigación pueden ser aplicados como un solo nutriente (urea), o como un compuesto de varios elementos (fosfato monoamónico, nitrato de potasio, nitrato de calcio). Los fertilizantes líquidos son simples o compuestos, pero debido a su solubilidad la concentración del elemento es menor especialmente de uno de sus elementos componentes (Sánchez, 2000), la tabla 2.3, indica los diferentes niveles de solubilidad de los fertilizantes.

Hay que tener en cuenta que al disolver un sólido en agua se produce una reacción endotérmica, con descenso de la temperatura en la disolución, lo que reduce la solubilidad. (Fuentes, J. 1998).

Tabla 2.3: Características de los fertilizantes usados en fertirriego (California fertilizer Association, 1980).

Fertilizante	Grado % E	Fórmula Química	Solubilidad g/l	Índice Salino	Índice (A) o (B)
Fertilizante N					
Nitrato de Amonio	33N	NH ₄ NO ₃	1920	105	60(A)
Sulfato de Amonio	21N	(NH ₄) ₂ SO ₄	730	69	110(A)
Amonio Anhidro	82N	NH ₃	Alta	--	148(A)
Nitrato de Calcio	15.5N-26CaO	CaO(NO ₃) ₂	1220	61	21(B)
Urea	46N	CO(NH ₂) ₂	1033	75	80(A)
Urea/ácidosulfúrico	15N	CO(NH ₂) ₂ H ₂ SO ₄	Alta	--	
Urea Nitrato Amonio	32N	CO(NH ₂) ₂ NH ₄ NO	Alta	--	
Fertilizante (P2O5)					
Polifosfato Amonio	10N,34P2O5	(NH ₄) ₅ P ₃ O ₁₀	Alta	--	55(A)
Fosfato monoamónico	12N-61P ₂ O ₅	NH ₄ H ₂ PO ₄	626	30	
Fosfato Mocropotásico	52P ₂ O ₅ ,34K ₂ O	KH ₂ PO ₄	230	8	
Acido fosfórico	61P ₂ O ₅	H ₃ PO ₄	Alta	--	
Fertilizante (K2O)					
Nitrato Potásico	13.5N,44K ₂ O	KNO ₃	316	74	23(B)
Cloruro de potasio	60K ₂ O	KCL	340	116	N
Sulfato de potasio	50K ₂ O	K ₂ SO ₄	110	46	N
Otros Fertilizantes					
Sulfato doble de potasio y manganeso	22K ₂ O,18MgO	K ₂ SO ₄ 2MgSO ₄	62	22	
Sulfato de magnesio	16MgO	MgSO ₄	77	44	
Nitrato de Magnesio	11N,10MgO	Mg(NO ₃) ₂	250	105	
Micronutrientes					
Borax	11%B	Na ₂ B ₄ O-10H ₂ O	2,10		
Acido bórico	17.5%B	H ₃ BO ₃	6.35		
Solubor	20%B	Na ₂ B ₈ O ₁₃ -4H ₂ O	22		
Sulfato cobre (acidi)	25%Cu	CuSO ₄ -5H ₂ O	22		
Sulfato de fierro (acidi)	20%Fe	FeSO ₄ -7H ₂ O	15,65		
Manganeso de sulfato	27%Mn	MnSO ₄ -4H ₂ O	105.3		
Molibdato de amonio	54%Mo	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ -4H ₂ O	43		
Molibdato de sodio	39%Mo	Na ₂ MoO ₄	56		
Sulfato de Zinc	36%Zn	ZnSO ₄ -7H ₂ O	96.5		
Quelato de Zinc	5%-14%Zn	DTPA & EDTA	sol		
Quelato de Manganeso	5%-12%Mn	DTPA & EDTA DTPA.	sol		
Quelato de Fierro	4%-14%Fe	HOEDTA-EDDHA	sol		
Quelato de Cobre	5%-14%Cu	DTPA & EDTA	sol		
Lignosulfato de Zinc	6%Zn	Lignosulfonato	sol		
Lignosulfato Mangane	5%-14%Mn	Lignosulfonato	sol		
Lignosulfato de Fierro	6%Fe	Lignosulfonato	sol		
Lignosulfato de Cobre	6%Cu	Lignosulfonato	sol		

- (A) Índice de acidez
 (B) Índice de Alcalinidad
 (N) Reacción Neutra

2.2.8. Preparación y Aplicación de la Solución Madre

Según Ferreyra, *et al.* (2005) del Instituto de Investigaciones de Chile, para la preparación y aplicación de la solución madre se debe seguir el siguiente proceso.

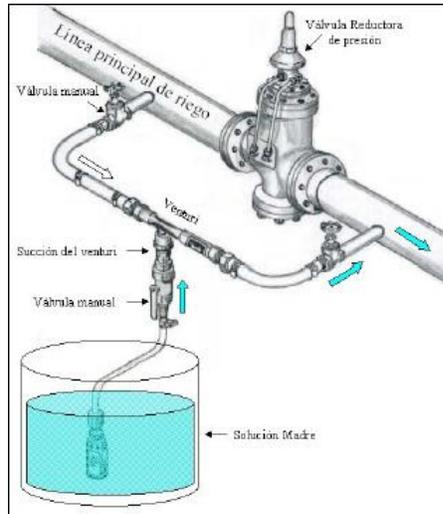


Fig.2.4. Equipo fertilizador (tipo Venturi)

- Preparar la solución madre teniendo en cuenta la solubilidad de cada uno de los elementos a aplicar. Cuando el programa considera la mezcla de dos o más fertilizantes, la disolución debe comenzar con el menos soluble, como la solubilidad de las mezclas es más baja que la de los productos individuales, se sugiere aumentar el volumen de agua de la solución madre un 20%.
- Mantener una agitación permanente mientras se disuelven los productos.
- Calcular el tiempo total de inyección en función de la tasa de inyección del equipo y el tamaño del recipiente mezclador.
- Aplicar la solución de fertilizante, debe realizarse unos 15 minutos después de iniciado el riego, a objeto que se haya estabilizado el flujo en el sistema, y debe finalizar unos 20 a 30 minutos antes de terminar el riego, con el fin de que las tuberías no permanezcan residuos de fertilizantes.
- La concentración total de elementos fertilizantes en el agua de riego no debe sobrepasar los 2 g/l de agua aplicada.

2.3 CULTIVO DE PAPA

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es un cultivo originario de los Andes, por su alto contenido de carbohidratos la convierte en una fuente de energía importante. En la actualidad existen diferentes variedades que se cultivan en todo el mundo desde el nivel del mar hasta altitudes que llegan a los 4000 m. Por ser un cultivo de importancia a nivel mundial, las Naciones Unidas declararon el 2008 como Año Internacional de la Papa, así se promovió proyectos encaminados a fortalecer la importancia como alimento de los países en desarrollo, (Muñoz, 2010).

Los países en desarrollo hoy son los principales productores e importadores de papa y la demanda está pasando del tubérculo fresco a los productos elaborados, la producción de papa en los países desarrollados, especialmente Europa, Rusia, EE.UU, ha disminuido en promedio un uno por ciento al año en los últimos 20 años. Sin embargo la producción en los países en desarrollo ha aumentado un 5 por ciento anual. Los países asiáticos, en particular China y la India han impulsado este crecimiento. Según la División de Comercio y Mercados de la FAO (2008), el comercio mundial de papa fue de 6.000,00 millones de dólares, con una producción de 315 millones de toneladas. Los principales países productores de papa se indican en la figura 2.5.

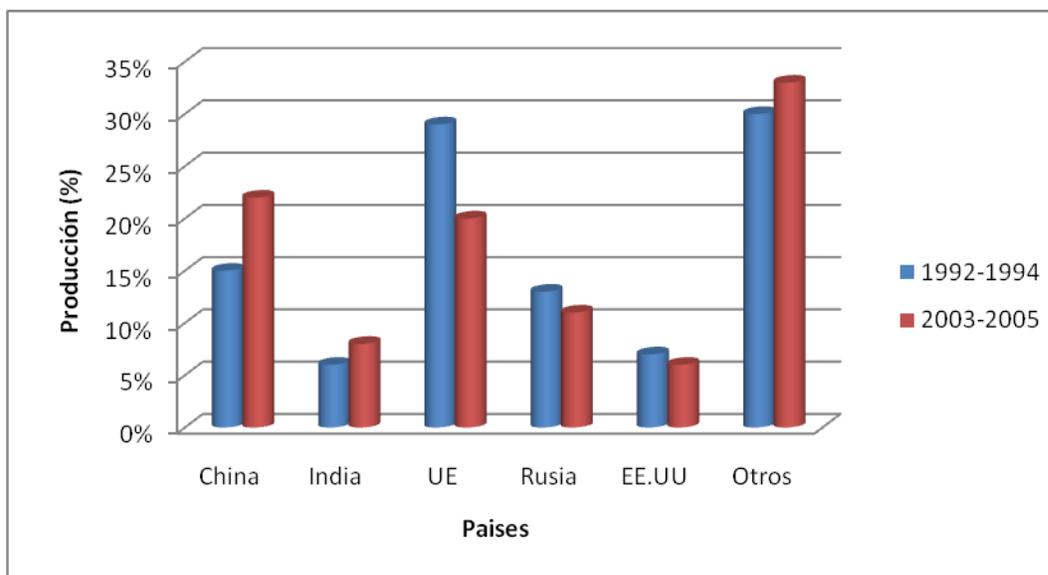


Fig. 2.5. Principales países productores de papa, FAO (2008)

En el 2005, la participación de los países en desarrollo en la producción mundial de papa fue del 52%, con lo que supero la del mundo desarrollado, hace 20 años los países en desarrollo apenas producían poco más del 20%. Por estos acontecimientos la FAO, declaró al 2008 año internacional de la papa, dando calificativos como un tesoro enterrado, fruto de la tierra.

Los rendimientos más altos, entre los principales productores, son de 43,7 t/ha en Alemania y de 42,8 t/ha en Estados Unidos, frente al promedio mundial de 16,4 t/ha. En América Latina, el principal productor es Perú con 3,4 millones de toneladas, Brasil con 3,3 millones de toneladas, Argentina ocupa el tercer puesto.

La población dedicada a la siembra del cultivo de papa en Ecuador según SICA-MAG (2008) es de 5,2% de la Población Económicamente Activa (PEA) agrícola y 0,4% de la Población Económicamente Activa (PEA) total que corresponde a 49.719 ha. La superficie cosechada de papa en Ecuador, alcanzó en el período 2002-2006, un promedio de 43.332 ha/año, como cultivo único, existiendo superficies en las que el cultivo de papa se intercala con otros cultivos de ciclo corto. Esta superficie generó una producción promedio de 409.773 t/año, lo que resulta en un rendimiento promedio en el mismo período de 9,5 t/ha. Este promedio esconde una gran variabilidad entre provincias, con un gradiente de mayor a menor desde el Norte (Carchi con 12,7 t/ha) hasta el Sur (Cañar y Azuay con un rendimiento de 8 t/ha inferior al promedio nacional) mientras que el resto de provincias productoras llegan a 7,1 t/ha. En la zona sur, Cañar, Azuay y Loja debido a las bajas precipitaciones, la producción de papa es baja y el cultivo resulta ser de poca importancia debido a su bajo nivel de productividad.

Los suelos de la Sierra Ecuatoriana presentan baja productividad causada por el uso intensivo del suelo, erosión, factores climáticos y aplicaciones inadecuadas de los fertilizantes. Los factores expuestos influyen en los bajos rendimientos del cultivo y a su vez repercuten en la baja rentabilidad, (Valverde, 1999).

2.3.1 Generalidades del Cultivo de Papa

La papa es una especie de alta respuesta a la aplicación de fertilizantes, debido a sus características de baja densidad radicular, lo que implica una baja capacidad de exploración del suelo. Según Curwen (1993) afirma que la papa es uno de los cultivos con menor relación raíz-follaje, poco más de 70% de su raíz crece en los primeros 20 cm de profundidad del suelo, por lo cual la superficie de exploración de nutrientes es baja. Esta característica del cultivo determina que responda de manera importante a dosis altas de elementos minerales aplicados al suelo. En lo referente a su desarrollo tiene un crecimiento rápido, la mayoría de las variedades alcanzan el estado de floración entre los 70 y 80 días después de la plantación. De acuerdo con la extensión de su período de crecimiento, Jackson y Haddock (1959) agruparon las diferentes variedades de papa en Tempranas (90 a 120 días), Intermedias (120 a 150 días), y Tardías (150 a 180 días).

El cultivo de papa requiere una gran preparación del suelo. Es necesario rastrillar el suelo hasta eliminar todas las raíces de la maleza. Por lo general es necesario arar tres veces, rastrillar con frecuencia, para que el suelo adquiera la condición adecuada: suave, bien drenado y bien ventilado. La siembra por lo general se lleva a cabo con papas semillas, que son pequeños tubérculos o fragmentos de éstos, los cuales se introducen a una profundidad de 5 a 10 cm, en la tierra. La pureza de los cultivares y la salud de los tubérculos semilla son esenciales para obtener una buena cosecha. El tubérculo semilla debe estar libre de enfermedades, tener buenos brotes y pesar de 30 a 40 g. La semilla comercial de buena calidad puede aumentar la producción del 30% al 50%, en comparación con la semilla del agricultor

La densidad de cada hilera de papas depende del tamaño de los tubérculos, y el espacio entre las hileras debe permitir el aporque del cultivo. Por lo general se siembran unas dos toneladas de papas semillas por hectárea. Los camellones se deben formar dos o tres veces, con intervalos de 15 a 20 días. La primera vez se hará cuando las plantas hayan alcanzado de 15 a 25 cm de altura.

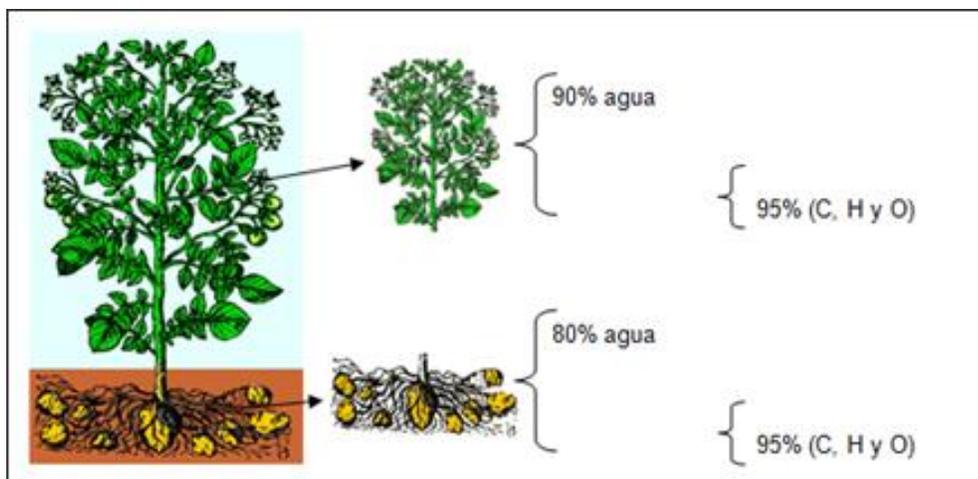


Fig. 2.6. Composición de la planta de papa

Cuando las hojas de papa se ponen amarillas y los tubérculos se desprenden con facilidad de sus estolones, significa que la papa está madura. Si las papas van a almacenarse en vez de consumirse enseguida, se dejan en el suelo para que la piel se haga más gruesa. Para facilitar la cosecha, el follaje de la planta de papa se deberá eliminar dos semanas antes de sacar los tubérculos de la tierra.

Tabla 2.4. Densidad Radicular de algunos Cultivos

Cultivo	Densidad Radicular (cm/cm³)
Alfalfa	10
Cebada	5,5
Trébol	5,0
Avena	5.0
Trigo	5.0
Maíz	3.0
Papa	1.7
Remolacha	1.5
Cebolla	0.5

Fuente: Universidad Católica de Chile

Al utilizar un sistema de riego por goteo no solo se satisfacen las necesidades hídricas, sino que también contribuirá a una mayor productividad, mejor uso del agua de riego, reducción de la evaporación del suelo y de la pérdida por percolación, lo que trae una reducción significativa de las necesidades de agua, ahorros en mano de obra y se reduce la proliferación de malas hierbas en las zonas no regadas, (Huanca, 2009).

2.3.2 Estados de Desarrollo del Cultivo de Papa

Los estados de desarrollo del cultivo de papa fases fenológicas según Sierra y col (2002) son las que se mencionan a continuación.

➤ Plantación a Emergencia

El estado de plantación a emergencia dura entre 15 a 30 días, dependiendo de la humedad, temperatura del suelo, y grado de brotación de los tubérculos. Se debe realizar control de malezas y favorecer rápida emergencia de los tallos. Porque son menos susceptibles a rizoctonia cuando se ha formado tejido verde, se recomienda sembrar con suelo húmedo, mantener humedad adecuada, para evitar proliferación de hongos.

➤ Crecimiento Vegetativo

Esta etapa de crecimiento del cultivo dura entre 45 y 50 días, se inicia formación de hojas y tallos en la parte aérea, mientras que en el suelo se inicia formación de raíces y estolones (Rowe, 1993). En esta etapa comienza la absorción de nutrientes, y es cuando la planta se independiza del tubérculo en cuanto a la nutrición. En esta etapa se debe aplicar la segunda dosis de Nitrógeno, generalmente un tercio de la dosis total junto con el aporque. Esto no debe aplicarse más allá de 90 días después de la plantación, además se debe aplicar herbicida cuando el cultivo recién esté emergiendo. Es recomendable primero aplicar tempranamente herbicida de preemergencia y luego de tres semanas aporcar con plantas entre 15 y 20 cm de

altura. Esto evita el verdeo de los tubérculos superficiales y además permite realizar un nuevo control de malezas.

➤ **Inicio de Tuberización**

Es un período corto de 10 a 14 días de duración, en la cual se inicia la formación de tubérculos. En el inicio de la tuberización se debe monitorear sacando plantas y examinando los estolones. En la mayoría de las variedades el fin de este estado de crecimiento coincide con el inicio de la floración. También se recomienda al inicio de floración el muestreo de peciolo para diagnóstico foliar. El resultado del análisis de peciolo puede sugerir la aplicación de micronutrientes

➤ **Llenado de Tubérculos**

Después de terminado el proceso de tuberización, se inicia el llenado de los tubérculos, esto ocurre continuamente en el tiempo, por lo tanto, en este estado se deben proveer todas las condiciones para lograr el óptimo crecimiento de los tubérculos. Particular importancia cobra el adecuado suministro de agua, Nitrógeno y potasio. La mayor parte de todos los nutrientes absorbidos ocurre en esta etapa.

➤ **Maduración de los Tubérculos**

Este período se inicia con la senescencia de tallos y hojas, este proceso es lento pero sostenido en el tiempo. En muchas variedades este proceso culmina con la caída de las plantas. Sin embargo, después de la caída, el tejido aéreo puede mantenerse parcialmente verde y activo. Una madurez definitiva de los tubérculos se logra cuando gran parte de los tallos y hojas están secos y los tubérculos presentan piel firme.

2.3.3 Requerimientos Nutricionales Principales del Cultivo de Papa

Tabla 2.5: Nutrientes Minerales y Orgánicos esenciales Requeridos por las plantas

Elemento	Símbolo	Forma iónica	% P.S.	Fuente	Clasificación
Carbono	C			Aire	Macronutriente
Oxígeno	O	89		Aire	Macronutriente
Hidrógeno	H			Aire	Macronutriente
Nitrógeno	N	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺	4.0	Suelo/aire	Macronutriente
Fósforo	P	HPO ₄ ⁻ , H ₂ PO ₄ ⁻	0.5	Suelo	Macronutriente
Potasio	K	K ⁺	4.0	Suelo	Macronutriente
Azufre	S	SO ₄ ⁻ , SO ₃ ⁻	0.5	Suelo	Secundario
Magnesio	Mg	Mg ⁺⁺	0.5	Suelo	Secundario
Calcio	Ca	Ca ⁺⁺	1.0	Suelo	Secundario
Boro	B	BO ₃ ⁻ , HBO ₃ ⁻	0.006	Suelo	Micronutriente
Fierro	Fe	Fe ⁺⁺ , Fe ⁺⁺⁺	0.02	Suelo	Micronutriente
Manganeso	Mn	Mn ⁺⁺	0.02	Suelo	Micronutriente
Molibdeno	Mo	MoO ₄ ⁻	0.0002	Suelo	Micronutriente
Cobre	Cu	Cu ⁺⁺	0.001	Suelo	Micronutriente
Zinc	Zn	Zn ⁺⁺	0.003	Suelo	Micronutriente
Cloro	Cl	Cl ⁻	0.1	Suelo	Micronutriente
Sodio	Na	Na ⁺	0.03	Suelo	Micronutriente

% P.S. = Típico contenido de nutrientes en la planta expresado en % del peso seco

El cultivo requiere de 16 elementos nutritivos esenciales, los que aparecen en la (tabla 2.5) pero se hablará solamente de los principales, razón del trabajo de investigación.

Cuantitativamente los tres más importantes son el Carbono, Hidrógeno y Oxígeno. El primero alcanza el 44% aproximadamente de la materia seca, y el resto corresponde a H y O que forman las estructuras carbonadas como carbohidratos, ácidos orgánicos, etc. Los otros 13 nutrientes minerales aportan el 6% aproximadamente.

➤ Nitrógeno

Este elemento esencial primario forma parte de las estructuras proteicas en la planta y se considera un elemento estructural que estimula el crecimiento especialmente hojas y tallos. El déficit de nitrógeno produce una clorosis o amarillez de las hojas debido a la traslocación del elemento hacia la parte superior de la planta por ser este un nutriente móvil dentro de la planta. El exceso de Nitrógeno produce una coloración verde intensa de las plantas y un tono brillante y verde muy oscuro determinando un

retraso de la madurez del cultivo. Por el contrario una deficiencia tiende a producir un adelantamiento de la madurez del cultivo. El exceso de Nitrógeno produce diversos efectos negativos sobre el desarrollo del cultivo, lo hace más susceptible a enfermedades como el oidio, además los tubérculos producidos con exceso de Nitrógeno se pudren más fácilmente en las bodegas y toleran menos al maltrato, (Wasterman y Davis, 1992). En suelos arenosos y arcillosos, la distribución de nitratos es similar a la del agua (Bar-Josef y Sheikolslami, 1976).

Las necesidades de N de un cultivo de papas requieren un cuidadoso manejo. Un elevado suministro de N durante el periodo inicial de crecimiento demora la formación de tubérculos y deriva el crecimiento a las partes aéreas vegetativas. La mejor decisión sobre la conveniencia de aplicar N durante la estación de crecimiento se realiza sobre la base de un análisis de tejido. El análisis del peciolo es una herramienta efectiva para manejar los requerimientos de N de la papa, en especial para realizar ajustes con aplicaciones suplementarias a través de la fertirrigación. Los valores de $N-NO_3^-$ del peciolo en papa deberían mantenerse en las 25000 ppm hasta la iniciación de los tubérculos, y en el rango de 13000 a 15000 ppm durante su período de engrosado, (Shang, 1996).

➤ **Fósforo**

El fósforo es un elemento primario esencial que es determinante del crecimiento inicial de los tejidos vegetales especialmente de las raíces. Es absorbido desde la solución suelo como $H_2PO_4^-$ o $HPO_4^{=}$ según el PH del suelo, especialmente por difusión y contacto directo. Se requiere en cantidades muy inferiores al Nitrógeno. Su déficit produce plantas pequeñas de color violáceo o amarado por efecto de la acumulación de antocininas, debido a la detención del crecimiento celular, (Marschner, 1986). Una elevada concentración de fósforo en el suelo durante el estado inicial estimula el aumento de tubérculos al inicio, (Jenkins y Ali, 2000). La planta absorbe P durante todo el período de crecimiento de los tubérculos, desde los días 35 a 95, a una tasa constante diaria de 51 mg de P por planta, (Carpenter, 1957).

El movimiento del fósforo está restringido a una distancia aproximada de 11 cm y 6 cm de suelos arenosos y arcillosos respectivamente desde el emisor reportado por (Bar-Josef y Sheikolslami, 1976). Igualmente estos mismos autores manifiestan que la fertirrigación con fósforo en riego por aspersión debería evitarse, debido a que el movimiento de este nutriente es más limitado aún que en el riego por goteo. Casi todo el fósforo aplicado en riego por aspersión se acumula en los primeros centímetros superiores del perfil del suelo que se seca rápidamente entre ciclos del riego.

Las plantas absorben solo el P monovalente $H_2PO_4^-$ (Marschner, 1995). La disponibilidad del P en la solución disminuye a medida que el PH de la solución aumenta, por ejemplo, si un recipiente contiene 1g de fósforo en solución a PH =5, todo el fósforo está plenamente disponible (100%) para las plantas. Sin embargo si el PH del recipiente aumenta cerca de ocho, solo 0,1g de P (10%) estará disponible, a pesar de que la cantidad total de P en el recipiente no ha cambiado.

Para estudiar el fósforo en riego por goteo, Papadopoulos (1992) utilizó una concentración constante de 40 mg de P/litro en el agua de riego por goteo, a través de todo el periodo de crecimiento; así mantuvo el nivel de P en los peciolos y aseguró un alto rendimiento buena calidad.

➤ **Potasio**

Este elemento se considera de gran importancia en la nutrición de las plantas, especialmente en su aspecto sanitario. El potasio es un elemento responsable de más de 48 funciones distintas en las plantas, desde regulador de cierre estomático de las hojas en las células oclusivas, hasta principal activador de la síntesis de carbohidratos. Esta última función es muy importante en cultivos como la papa debido al gran contenido de carbohidratos que debe formar la planta y almacenar en los tubérculos.

El potasio es un macronutriente esencial y se encuentra en varias partes de la planta. Está siempre presente en la planta en forma iónica K^+ que nunca se modifica (Ben-Zioni y Vaadia, 1971). Una vez que la concentración externa en la solución de suelo

aumenta por la adición de fertilizantes, los iones K^+ se dividen en tres fases: (1) en la solución de suelo, (2) en el reservorio de cationes intercambiables de las arcillas y (3) y en el espacio interlaminar de las arcillas, donde se fija. La tasa de intercambio entre el K^+ de la solución y el K^+ adsorbido es alta obteniéndose un equilibrio inmediato. Sin embargo, la fijación y liberación del K del suelo son lentas y no pueden alcanzar la tasa de absorción de potasio por las raíces Kafkafi y Bar-Josef (1978) dado que la tasa de liberación desde las posiciones de K fijadas es más lenta que la tasa de demanda de k por las plantas, el agregado de k de los fertilizantes es necesario para sincronizar la absorción de K por las plantas. Esto es especialmente importante cuando se usa riego por goteo, dado que el volumen de suelo ocupado por las raíces activas es pequeño, y no todo el volumen de suelo contribuye con K para las plantas.

Bar-Josef y Sheikolslami (1976) reportaron, que el potasio es fuertemente retenido en suelos arcillosos en especial en illita.

El potasio se acumula principalmente en las hojas superiores y ramas hasta el fin del estadio de crecimiento II a una tasa de 128 mg de K por día. Durante el período de crecimiento III, los tubérculos absorben K del suelo e importan K de las ramas para el desarrollo de los tubérculos, a una tasa de 60 mg por planta por día (Carpenter, 1957). De este modo el K se acumula en los tubérculos durante el periodo de crecimiento completo. Siendo alimentado tanto desde las partes vegetativas como por la absorción directa del suelo.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL CAMPO EXPERIMENTAL

La investigación se desarrolló en el sector Los Molinos, de la Estación Experimental y Docente “La Argelia”, parroquia San Sebastián, Cantón Loja, propiedad de la Universidad Nacional de Loja, entre las coordenadas N: 9553240 m, E: 699900 m, y N: 9553200 m E: 699920 m. Coordenadas geográficas: 79°11'57,83" W; 4°2'23,66" S y 79°11'57,18" W, 4°2'24,96" S; Zona Geográfica 17 S; altitud: 2138 msnm.

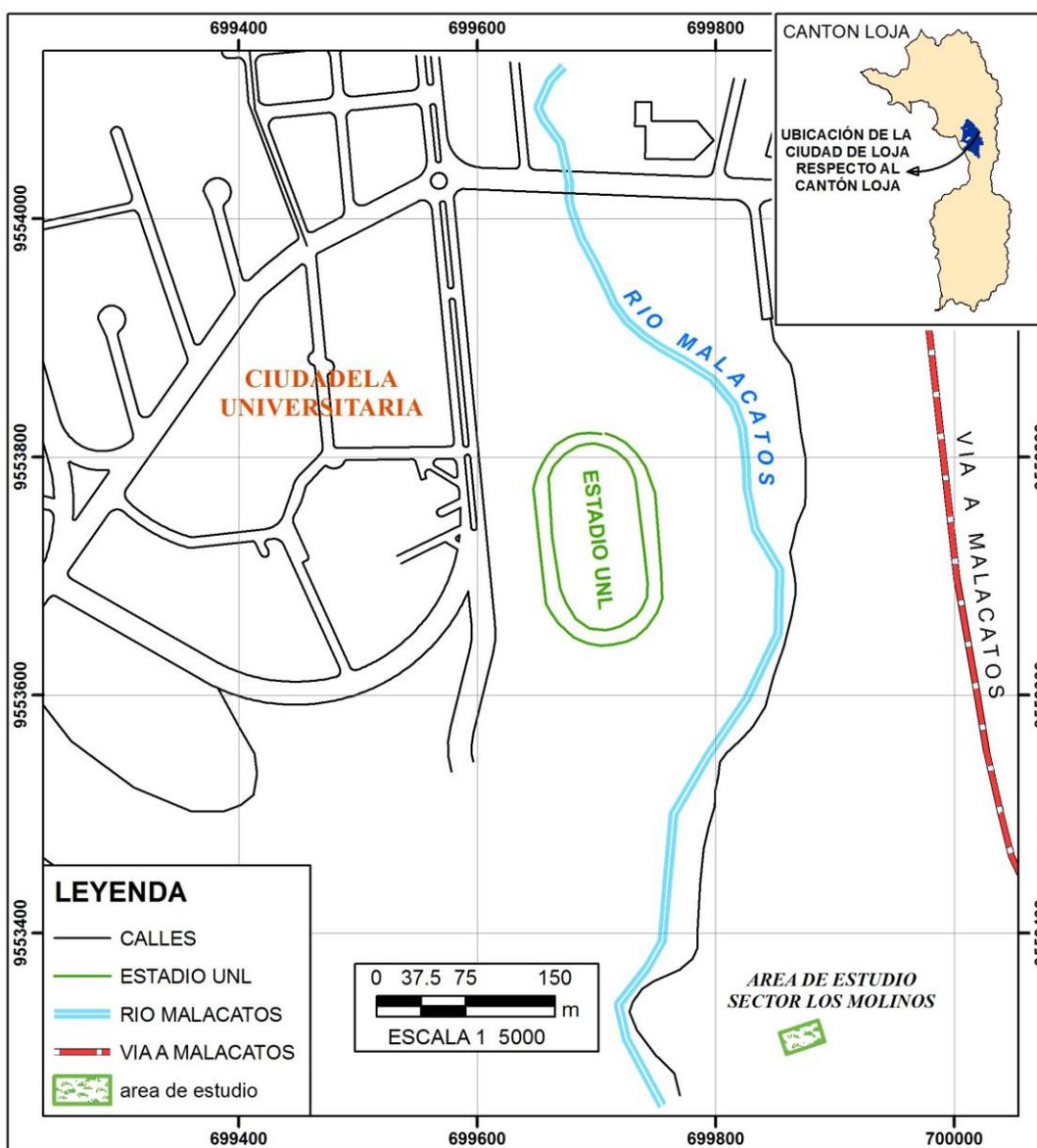


Fig. 3.1. Ubicación del Campo experimental

3.2 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

Según Holdridge (1967), la Argelia corresponde a una zona de vida de Bosque Seco Montano Bajo (bs-MB). Según Köppen (1936), pertenece a un clima templado lluvioso, mesotérmico, frío e isotermal, siendo los datos climáticos los siguientes, según el INAMHI (2012) correspondientes a la serie 1984-2009.

Precipitación promedia anual	906,9 mm
Temperatura media anual	15°C
Humedad Relativa media	74%
Velocidad media del viento	3,1 m/s

3.3. EQUIPO DE RIEGO

Los materiales y equipos de riego utilizados en la instalación del riego por goteo fueron: tuberías de polietileno, goteros tipo botón (vortex), filtros de malla, válvulas de control, tanque fertilizador, y tensiómetros para controlar el riego. Las tubería principal fue de 32 mm, y los laterales de riego de 16 mm., el caudal de los goteros fue de 2,0 l/h e instalados a 0,50 m, el filtro utilizado fue tipo malla. La altura piezométrica del tanque fertilizador fue de 1,85 m; mientras que la altura piezométrica entre el sitio del experimento y el reservorio fue de 2,0 m.

3.4 METODOLOGÍA PARA EL PRIMER OBJETIVO ESPECÍFICO

- Evaluar el rendimiento del cultivo de papa a través de la fertirrigación en riego por goteo con NPK, suministrado en forma superficial y subsuperficial a 25 cm de profundidad.

3.4.1 Diseño Experimental

Se utilizó un diseño experimental de Bloques al Azar con tres tratamientos y tres réplicas. Se implementó nueve unidades experimentales de cultivo de papa: tres unidades experimentales testigos, a las que se suministró riego por goteo superficial sin fertilización; tres unidades experimentales se regaron por goteo superficial y con fertilización; tres unidades experimentales fueron regadas por goteo subsuperficial a

25 cm de profundidad y con fertilización, Fig. 3.2. La superficie por unidad experimental fue de 48 m² (6 m x 8 m), con un área total del experimento de de 432 m². El modelo matemático utilizado fue.

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

y_{ij} Observación de la unidad experimental sometida al i-ésimo tratamiento y j-ésima réplica.

μ Media General del experimento.

α_i Efecto del i-ésimo tratamiento

β_j Efecto de la j-ésima réplica.

ε_{ij} Error Experimental.

Factores:

- Riego por goteo superficial
- Riego por goteo Subsuperficial a 25 cm de profundidad.

Variables respuesta:

- Contenidos de NPK
- Rendimiento en kg/ha

Para realizar la prueba de significancia se utilizo el método de Dunnett (1955).

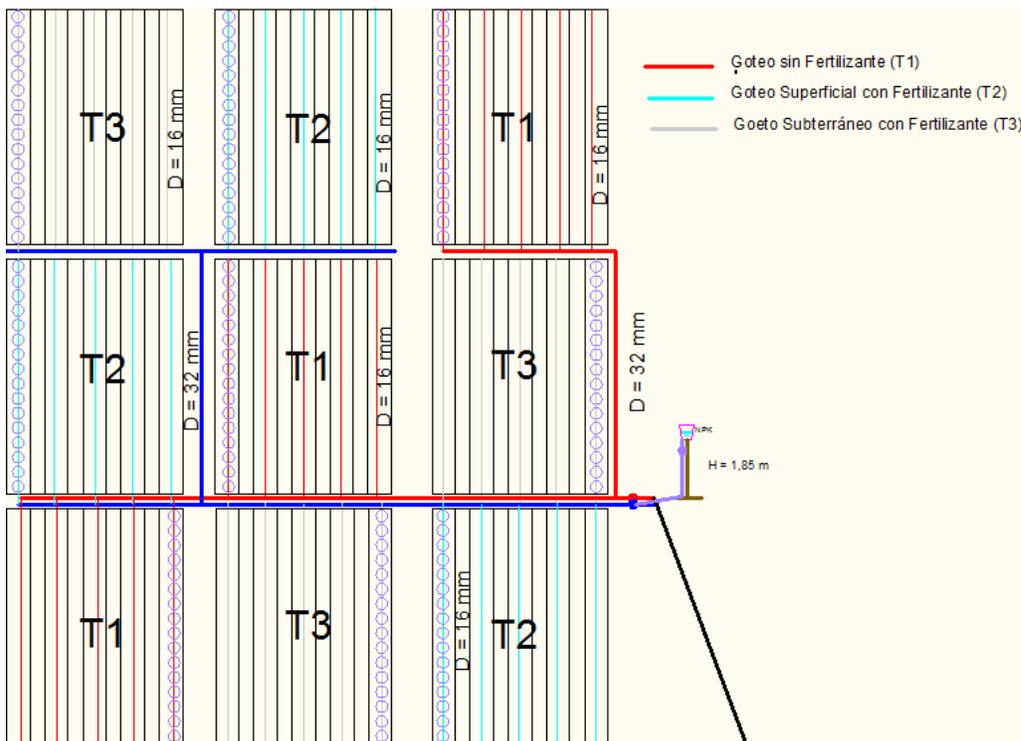


Fig. 3.2. Diseño del sistema de riego y distribución de los tratamientos en el campo experimental.

Análisis de fertilidad del suelo, antes de la siembra del cultivo, se tomó muestras de suelo para realizar el análisis de fertilidad NPK, Anexo 1

Calidad del agua de riego, previo a la instalación del sistema de riego por goteo se realizó el análisis químico del agua, Anexo 2

Instalación del sistema de riego, una vez arado y rastrillado el suelo, se procedió a la instalación del sistema de riego por goteo, incluido el tanque fertilizador Fig. 3.3, 3.4



Fig. 3.3. Instalación del sistema de riego



Fig. 3.4. Riego por goteo subterráneo

La programación del riego se realizó en función de las lecturas del tensiómetro, que de acuerdo a la curva de humedad-tensión fue de 25 cb. Para la calibración se procedió a saturar el suelo, se tomaron muestras por el lapso de seis días consecutivos, en cada muestra se registró lecturas del tensiómetro de vacío (vacuómetro). En el Laboratorio del Área Agropecuaria y Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja, se determinó el contenido de humedad a través del método gravimétrico. Finalmente, se procedió a plotear los datos para obtener la curva de calibración del tensiómetro Fig. 3.5 y los datos de humedad del suelo y lecturas del tensiómetro, Cuadro 3.1.

Cuadro 3.1: Lecturas del contenido de humedad y lecturas de los tensiómetros.

Curva Tensión – Humedad	
Tensión (cb)	Humedad (%)
4	36.15
7	32.61
12.5	26.69
19.5	20.85
32	20
35	19.51

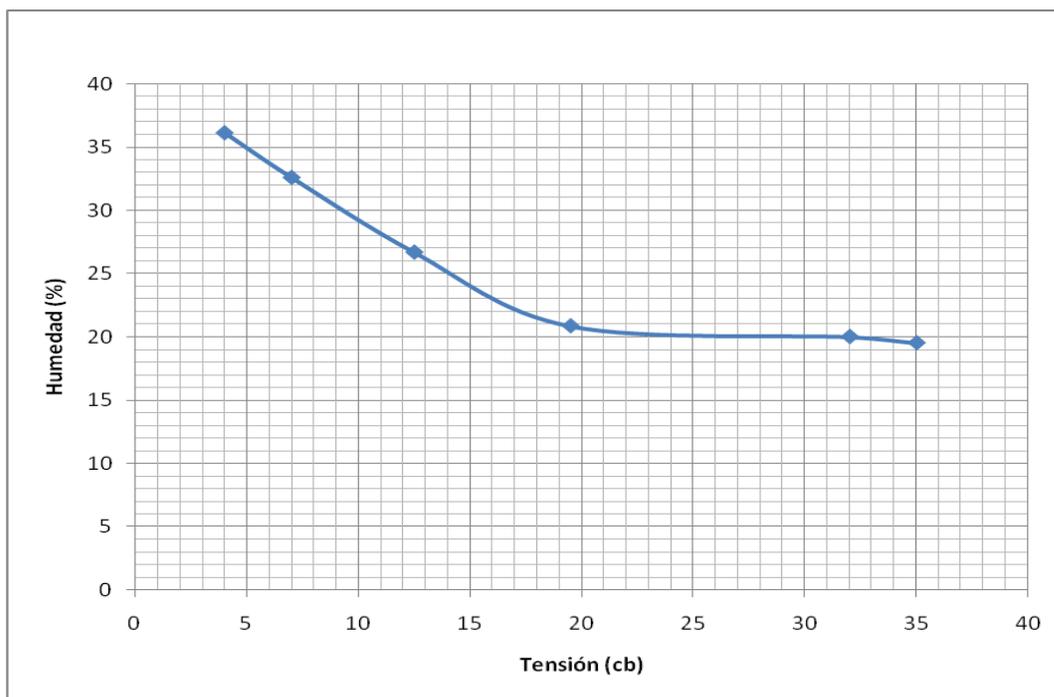


Fig. 3.5: Curva tensión-humedad (Tensiómetro de vacío)

Para conocer el potencial matricial del suelo (Ψ_m) en función de las lecturas del tensiómetro se utilizó la siguiente expresión:

$\Psi_m = \text{Longitud tensiómetro} - \text{lectura del manómetro}$

$\text{Lectura manómetro} = \text{Longitud tensiómetro} - \Psi_m$

$\text{Lectura manómetro} = 30 \text{ cm} * (1 \text{ cb}/10 \text{ cm}) - (- 22 \text{ cb}) = 25 \text{ cb}$

Esto indica que el riego se debe suministrar cuando el tensiómetro marque 25 cb que corresponde a un contenido de humedad de 20%; es de remarcar que, a los 22 cb, la curva se vuelve constante, lo que indica que el suelo deja de estar a capacidad de campo, el agua es cada vez más difícil de ser tomada por la planta.

3.4.2 Dosificación de la Fertirrigación.

La dosificación de NPK se realizó conforme a la FAO (2002), a través de la Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes IFA (2002), que recomienda: 175 kg/ha de N, 80 kg/ha de P_2O_5 y 310 kg/ha de K_2O .

La disponibilidad de los macronutrientes NPK, según el análisis de laboratorio fueron: 0,10% de Nitrógeno, que significa casi nula disponibilidad; 3 ppm de fósforo que significa también bajo contenido; y 0,74 cmol/kg de potasio que significa alto contenido. En función de estos resultados de laboratorio se suministró las dosificaciones: 150 kg/ha de N; 80 kg/ha de P_2O_5 ; y 100 kg/ha de K_2O .

La fertirrigación se realizó con: Urea (46 – 0 – 0); Ácido Fosfórico Líquido (0 – 85 – 0); y Nitrato de potasio (13 – 0 – 46).

Como la superficie neta del cultivo de experimentación, irrigada con fertirrigación fue de 192 m², producto de 6 unidades experimentales. Las dosificaciones de los fertilizantes fueron las siguientes: 0,21 kg de Nitrato de potasio; 0,09 kg de ácido fosfórico líquido; 0,26 kg de úrea, que da un total de fertilizante de 0,56 kg. Dosificaciones que fueron suministradas por riego (cada 6 días), ver anexo 11.

Preparación de la solución

Una vez que se determinó el tipo de fertilizante y la cantidad a emplear, se preparó la solución en un recipiente de 20 litros. El volumen de agua que se utilizó estuvo en función de la solubilidad del producto se utilizó la siguiente expresión.

$$V_{\text{agua}} = \frac{W_{\text{disolver}} * 1200}{S_{\text{producto}}}$$

V_{agua}	Mínimo volumen de agua para solubilizar una determinada cantidad de fertilizante (litros).
W_{disolver}	Cantidad de fertilizante a disolver (kg)
S_{producto}	Solubilidad del producto (g/l), ver tabla 3.1
1200	Número que considera el cambio de unidades (gramos a kilos).

Para determinar la solubilidad de la urea, nitrato de potasio y ácido fosfórico se utilizó los valores dados por California fertilizer Association (1980), tomado de Burt, O'Konnor, *et al.* (1998) que se presenta en la, Tabla 3.1

Tabla 3.1. Grado de solubilidad de los fertilizantes aplicados.

Tipo de Fertilizante	Solubilidad
Urea	1033
Nitrato de Potasio	316
Acido Fosfórico	460

Los 0,26 kg de urea se disolvió en 0,30 litros de agua, 0,21 kg de nitrato de potasio se disolvió en 0,80 litros de agua, y 0,09 kg de ácido fosfórico se disolvió en 0,23 litros de agua.

Cantidad máxima de abono en cada riego

Para determinar la cantidad de abono para cada riego se utilizó la siguiente expresión:

$$A = \frac{V * ta(Sc - Sr)}{tr}$$

Donde:

A = Cantidad máxima de abono en cada riego (kg).

V = Volumen de agua aplicado en cada riego (m³).

ta = Tiempo de abonado (horas).

tr = Tiempo de riego (horas).

Sc = Valor umbral de salinidad del cultivo (g/l).

Sr = Salinidad del agua de riego (g/l).

Para determinar el valor umbral de salinidad del cultivo se utilizó la siguiente expresión:

$$Sc = 0,64 * Ce$$

Donde:

Sc = Valor umbral de salinidad del cultivo (g/l).

Ce = 1,7 ds/m, para el caso de la papa riego de alta frecuencia (Pizarro, 1987)

La cantidad máxima de NPK por cada riego fue de 0,48 kg y se aplicó 0,56 kg por semana. Con estos valores, se elaboró el calendario del ciclo vegetativo de la papa, Cuadro 4.4.

3.4.3 Rendimiento del Cultivo de Papa

La cosecha de la papa se realizó a los 153 días después de la siembra, en cada unidad experimental se registro el peso total de los tubérculos de 10 plantas de todos los surcos: Anexos 5a, 5b, 5c, 6a, 6b, 6c, 7a, 7b, y 7c.

3.5 METODOLOGÍA PARA EL SEGUNDO OBJETIVO ESPECÍFICO.

- Determinar las características del bulbo de humedecimiento en Riego por goteo, superficial, y subsuperficial a 25 cm de profundidad. Y determinar la disponibilidad de Nitrógeno, Fósforo, y Potasio (NPK), a 10 cm, 30 cm, y 50 cm de profundidad.

3.5.1 Uniformidad del Sistema de Riego por Goteo

En cada unidad experimental, se midió el caudal de nueve goteros, tres por cada lateral, lo que da un total de 81 goteros, Fig. 3.5

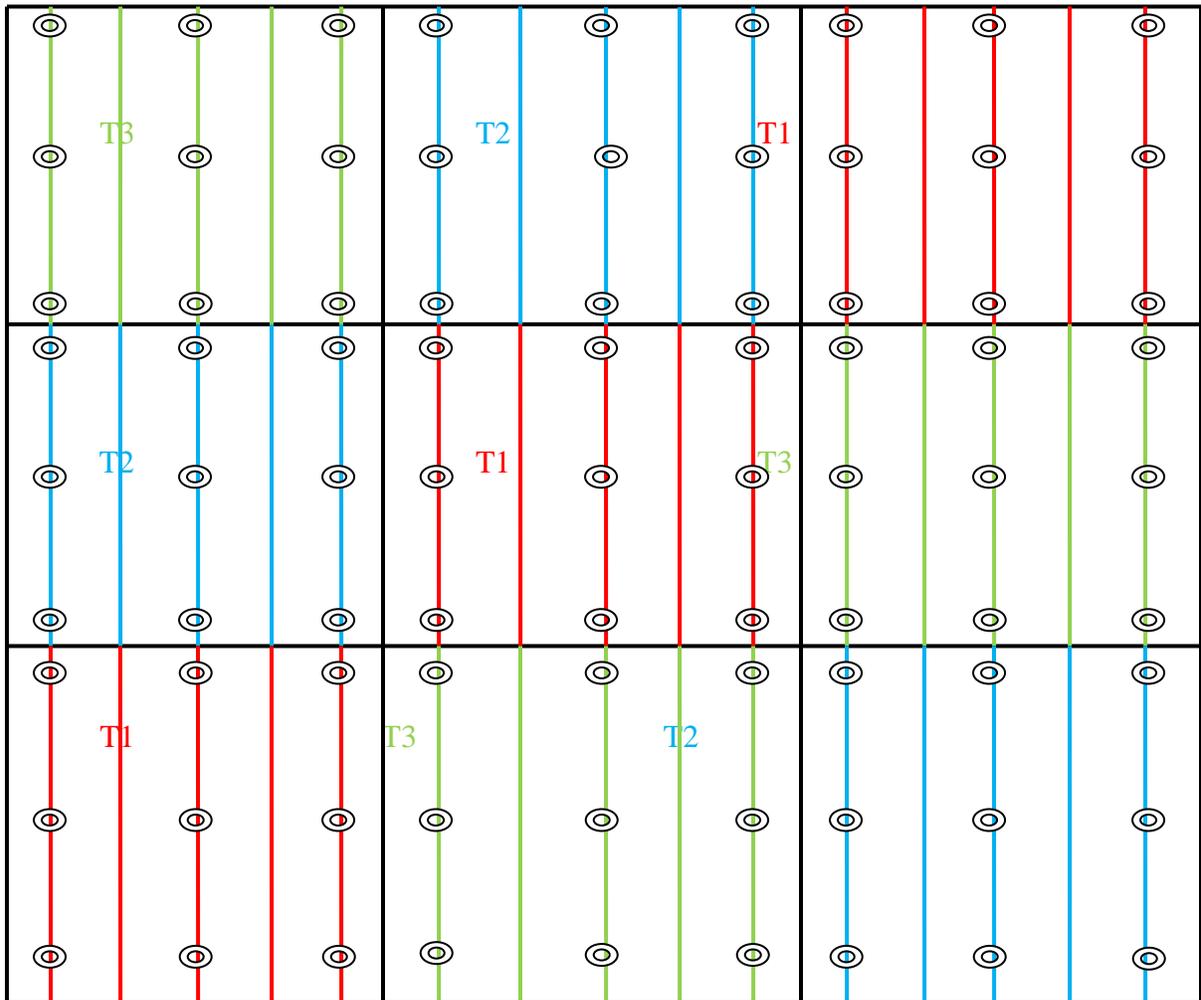


Fig. 3.6. Goteros seleccionados para medir la uniformidad de distribución

La expresión utilizada para la evaluación de la uniformidad de riego por goteo fue:

$$CU = 100 * \frac{Q_m(25\%)}{Q_n}$$

CU Coeficiente de uniformidad de distribución (porcentaje).

Qm Caudal promedio del 25 % de emisores con caudal más bajo, (l/h).

Qn Caudal promedio de todos los emisores (l/h).

Los criterios utilizados para cuantificar la Uniformidad de distribución fueron los de Pitts 1997.

3.5.2 Determinación del Bulbo Húmedo en Riego por Goteo Superficial

Para determinar el comportamiento de los góteros, referente a la profundidad y al ensanchamiento del bulbo húmedo en el riego por goteo superficial, se llevó a cabo dos ensayos en tiempos diferentes: Siendo estos a 45, 90 y 130 minutos; y, a 30, 60 y 90 minutos. En la figura 3.7 y 3.8, se indica el proceso como se hizo la medición de la profundidad y el diámetro del bulbo humedecido por los góteros superficiales y subsuperficiales.

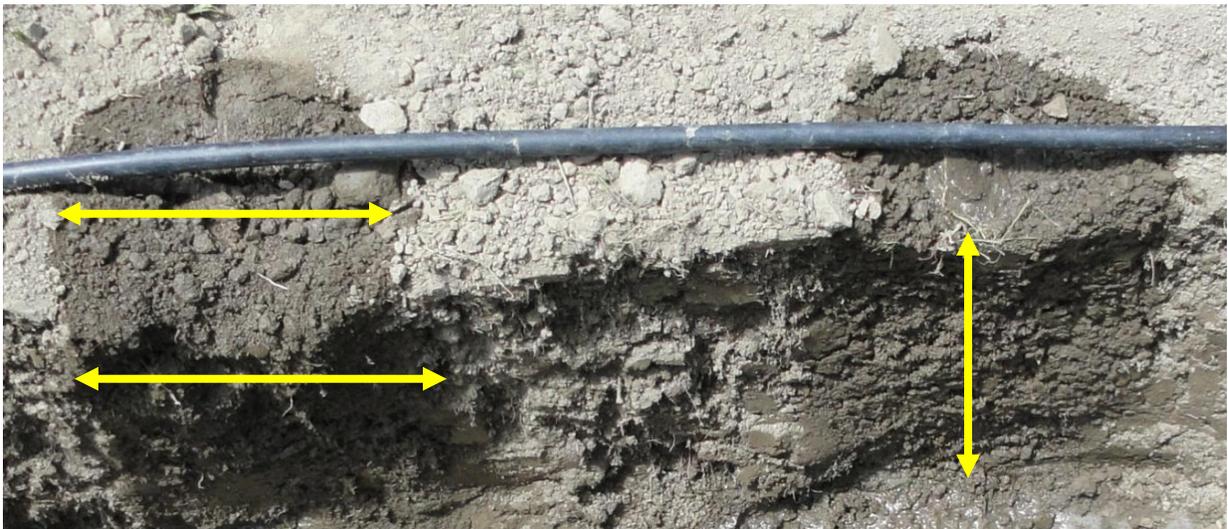


Fig. 3.7. Medición del bulbo de humedecimiento (riego por goteo superficial)

3.5.3 Determinación del Bulbo Húmedo en Riego por Goteo Subsuperficial

Para determinar el comportamiento de los góteros referente a la profundidad y al ensanchamiento del bulbo húmedo en el riego por goteo subsuperficial, se llevó a cabo ensayos en dos momentos: a 45, 90 y 130 minutos; y, a 30, 60 y 90 minutos. En cada unidad experimental se tomaron las mediciones de profundidad y ancho de humedecimiento del bulbo, a través de un corte transversal practicado en el perfil del suelo (Fig. 3,7 y 3,8).

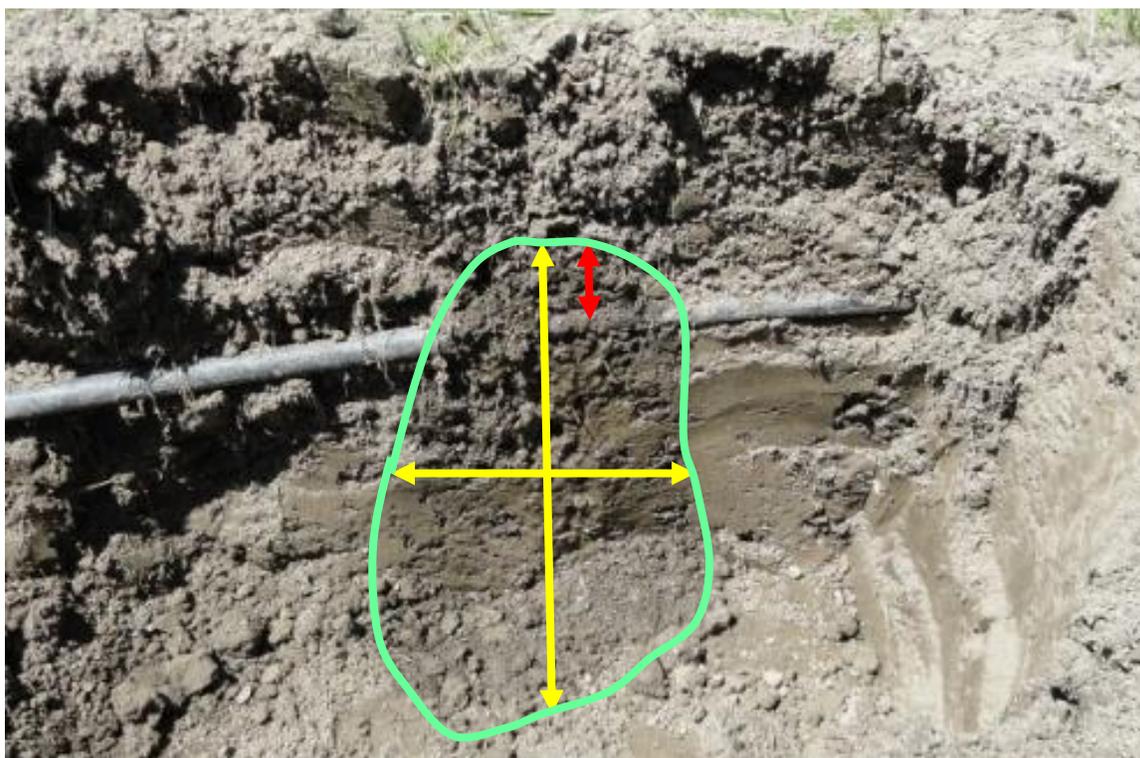


Fig. 3.8. Medición del bulbo de humedecimiento (riego por goteo subsuperficial).

3.5.4 Disponibilidad de NPK a tres Profundidades: 10, 30 y 50 cm

La razón principal de la investigación es determinar el aprovechamiento de los nutrientes principales, por parte del cultivo de papa entregado en forma superficial, y subsuperficial. Para esto se utilizó dos sistemas de riego por goteo; tres unidades experimentales se regó con goteo superficial, tres unidades experimentales se regó con goteo subsuperficial, enterrado a 25 cm de profundidad. Las dosificaciones de

fertirrigación fueron las mismas tanto para el riego por goteo superficial como para el riego por goteo subsuperficial.

Las muestras se tomaron para cada profundidad en los dos surcos centrales (B, D) de la misma unidad experimental, para de éstas homogenizar una sola muestra y llevarlas al laboratorio para su análisis químico de NPK. Por lo que al laboratorio se llevó 18 muestras de suelo (nueve muestras de suelo correspondientes a tres unidades experimentales de riego por goteo superficial, y nueve muestras de suelo correspondientes a tres unidades experimentales de riego por goteo subsuperficial), en la fase de llenado de los tubérculos; y al final del ciclo del cultivo se llevó 12 muestras de suelos (seis muestras de suelo correspondiente a dos unidades experimentales de riego por goteo superficial, y seis muestras de suelo correspondiente a dos unidades experimentales de riego por goteo subsuperficial).

Las profundidades a las que se tomaron las muestras fueron 10, 30, y 50 cm. Es importante remarcar que por confusión de muestras en la segunda toma de estas no se pudo llevar las 18 muestras de suelo al laboratorio, sino solamente 12.



Fig. 3.9. Toma de muestras para determinar la concentración de NPK

3.5.5. Análisis de los Contenidos de NPK

Las 18 muestras de suelo de la primera oportunidad como las 12 muestras de la segunda oportunidad fueron llevadas al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Loja para su respectivo análisis, anexo 9a y 9b.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO.

En el Cuadro 4.1, se presentan los resultados del análisis físico del suelo realizado en el Laboratorio de la UNL, donde se aprecia que la textura del suelo corresponde a Franco-Arcilloso en los primeros 30 cm. Al respecto, Alonzo (2002), indica que la textura preferida por la papa es la Arenosa-Limosa, en tanto que Sifuentes, *et al.* (2010), manifiesta que la papa prefiere suelos de textura Franco-arcillo-limoso. Si bien la textura del suelo donde se desarrolló el experimento, no corresponde a las mencionadas por los mencionados autores, tampoco son inapropiadas para el cultivo, pues con una adecuada fertilización, se pueden lograr resultados favorables. En este sentido Aguilar, *et al.* (2003), reportan rendimientos de 26,75 t/ha en suelos con 39% de arcilla, con respecto al Ph, el suelo es ácido.

Cuadro 4.1: Textura y PH del suelo, sector Los Molinos-La Argelia-Loja, 2011

Bloque	Profund. (cm)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Textura	pH
1	0 a 30	32	43,6	24,4	Fo	5,0
2	0 a 30	32	41,6	26,4	FoAc	5,1
3	0 a 30	28	45,6	26,4	FoAc	5,2

4.2 Análisis Químico del Suelo Antes de la Siembra

Los resultados del análisis químico del suelo realizado por la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro “AGROCALIDAD”, se exponen en el Cuadro 4.2 y Anexo 1. Las muestras fueron tomadas así mismo de 0 a 30 cm de profundidad.

Cuadro 4.2: Análisis químico del suelo, sector Los Molinos-La Argelia-Loja, 2011.

PH	N.To	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al
	%	Ppm	cmo/kg	cmol/kg	cmol/kg	ppm	ppm	ppm	Ppm	Meq/100g
5.51	0.10	3	0.74	2.9	1.15	414	13.7	4.6	1.8	0.5

El contenido de nitrógeno y fósforo es bajo, en tanto, que el potasio presenta valores altos, parámetros que coinciden con la normativa del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas de la Estación Experimental Pichilingue del (INIAP, 2002). No obstante, en lo relacionado al Nitrógeno y Fósforo, los valores son bajos; en tanto el Potasio, se acerca a lo recomendado por la Asociación Internacional de la Industria de los fertilizantes (IFA, 2002).

4.3 Análisis Químico del Agua para Riego.

El resultado del análisis de sales del agua de riego realizado por Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro “AGROCALIDAD”, se presenta en el Cuadro 4.3 y Anexo 2, agua que se puede considerar apta para riego, por tener baja salinidad, es decir se encuentra dentro de los parámetros recomendados por la FAO como lo menciona Fuentes (1998), al referir que cuando el agua de riego tiene una CE menor a 0,7 dS/m, no presenta riesgo alguno; con respecto a cloruros el agua de riego tiene 1,65 meq/litro, no presenta ninguna restricción de uso.

Cuadro 4.3: Resultados del análisis químico del agua de riego.

PH	C.E (Conduc. Eléctrica) ds/m 25°C	CO3 Cl meq/litro
6,2	0,09	1,65

4.4 PROGRAMACIÓN DEL RIEGO.

La programación del riego se realizó en función de las lecturas del tensiómetro alrededor de 25 cb, ver Figura 3.5. Para esto se elaboró un calendario del ciclo vegetativo del cultivo de papa, indicando el respectivo calendario de riego, cuadro 4.4. Para los tres tratamientos se utilizó la misma frecuencia de riego (3 días), y tiempo de riego (135 minutos); esto significa que lecturas de 25 cb se dio alrededor de 3 días, y a los 135 minutos de riego, el suelo su contenido de humedad está a capacidad de campo); el tiempo de suministro de la fertirrigación fue de (30 minutos) que está en función de la concentración del fertilizante, que culminó 15 minutos antes que finalice el riego con fines de evitar residuos de fertilizantes en las tuberías.

En todo el ciclo del cultivo se suministró 21 riegos, 13 riegos más fertilización (fertirrigación), y dos solo fertirrigación, aplicando un volumen aproximado de 86 m³ de agua en todo el ciclo.

4.5 UNIFORMIDAD DEL SISTEMA DE RIEGO

Los resultados de la uniformidad del sistema de riego por goteo en lo referente a caudales, se puede ver en los cuadros 4.5; 4.6; 4.7.

Cuadro 4.5: Resultados de la Uniformidad de Riego (Testigo)

Laterales	Descarga de los emisores (l/h) en las Unidades experimentales 1, 2 y 3								
	Inicio			L/2			Final		
	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1
1	1,45	1,66	2,30	2,16	1,66	1,62	0,80	2,06	2,20
2	1,71	1,70	2,14	1,21	1,74	2,26	0,95	1,20	1,93
3	2,11	1,38	1,99	2,07	1,66	1,86	2,20	1,56	1,81

Q_{medio}: 1,76 l/h Q_{25 %}: 1,22 l/h CU: 69 % pobre uniformidad (Pitts, 1997).

Cuadro 4.6: Resultados de la Uniformidad de riego (Riego por Goteo Superficial)

Laterales	Descarga de los emisores (l/h) en las unidades experimentales 4, 5, 6								
	Inicio			L/2			Final		
	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2
1	2,00	1,15	0,90	1,81	1,00	1,20	1,35	1,35	1,38
2	0,87	1,03	1,03	1,62	1,20	1,35	1,56	1,29	1,41
3	2,50	0,96	0,95	1,00	0,88	0,75	1,05	1,08	1,10

Q_{medio}: 1,25 l/h Q_{25 %}: 0,90 l/h CU: 72 % regular uniformidad (Pitts, 1997).

Cuadro 4.7: Resultados de la Uniformidad de Riego (Riego por Goteo Subsuperficial)

Laterales	Descarga de los emisores (l/h) en las unidades experimentales 7, 8, 9								
	Inicio			L/2			Final		
	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3
1	2,48	2,14	2,38	2,40	1,55	2,10	2,36	1,75	2,32
2	2,20	2,36	2,46	2,40	1,30	2,42	1,25	1,20	2,36
3	2,34	1,60	2,44	2,55	1,50	2,00	1,20	1,40	2,40

Q_{medio}: 2,01 l/h Q_{25 %}: 1,34 l/h CU: 67 % pobre uniformidad (Pitts, 1997).

De acuerdo a los criterios de Pitts (1997) para el caso del riego por goteo superficial que es del 72%, corresponde a una regular uniformidad de distribución; y, para el tratamiento testigo y riego por goteo subsuperficial, respectivamente, corresponde una pobre uniformidad de distribución, lo que probablemente se debe a cierto grado de distorsión en las concentraciones de NPK, la uniformidad de distribución según Pitts, valores mayores a 87% se considera excelentes, y entre 75 y 87% buenos.

4.6 FASES DEL CULTIVO DE LA PAPA

Según Sierra, *et al.* (2002) Las fases de desarrollo del ciclo del cultivo de papa, la establecen en cinco etapas, las cuales se pudo identificar de la siguiente manera:

Fase inicial: Plantación a emergencia: Comprende la germinación y el crecimiento inicial, esta fase fue desde los 18 hasta 48 días.

Crecimiento vegetativo: Se inicia con la formación de tallos y hojas en la parte aérea, mientras que en el suelo se inicia la formación de raíces y estolones. Aquí comienza la absorción de nutrientes, en esta etapa la planta se independiza del tubérculo en lo referente a la nutrición. En esta fase se debe aporcar el cultivo, se nota un crecimiento rápido del cultivo como de las raíces. Esta etapa fue desde los 48 a los 85 días. La figura 4.1 indica que el cultivo está en la fase de llenado de tubérculos.



Fig. 4.1. Fase de llenado de tubérculos (goteo subsuperficial).

Inicio de tuberización: Es un período corto de 10 a 15 días, para el cultivo en mención esta fase inició a los 25 días después de la emergencia. Al final de esta fase inició la floración.

Llenado de tubérculos: Después de terminado el proceso de tuberización, se inicia el llenado de los tubérculos. Esto ocurre continuamente en el tiempo, por lo tanto, en este estado se debe proveer todas las condiciones para lograr el óptimo crecimiento de los tubérculos.

Maduración de los Tubérculos: Este período inicia con la senescencia de tallos y hojas; y, termina con la caída de la planta. Para el caso en particular comenzó a los 128 y terminó a los 153 días.



Fig. 4.2. Fase de maduración del cultivo (cosecha)

4.7 RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE LA PAPA.

Se realizó el peso de los tubérculos de 10 plantas por surco, la producción se clasificó en grandes, medianas y pequeñas, los resultados se presenta en los Anexos 5a, 5b, 5c, 6a, 6b, 6c, 7a, 7b, 7c. En el cuadro 4.8 se encuentran los valores promedios de los rendimientos de los diferentes tratamientos, disgregados en grandes, medianos y pequeños.

Cuadro 4.8. Rendimiento de tubérculos tratamientos: Testigo, goteo superficial, y goteo subsuperficial

Tratamiento	Tubérculos Grandes (kg)	Tubérculos Medianos (kg)	Tubérculos Pequeños (kg)	Peso Total (kg)
Testigo	10,55	20,31	17,98	48,84
Riego por goteo superficial	42,63	25,66	18,35	86,65
Riego por goteo subsuperficial	47,17	33,99	20,67	101,81

El rendimiento del cultivo irrigado por goteo superficial sin fertilización fue de 48,84 kg, que equivale a una producción de 8,14 t/ha. El rendimiento del cultivo irrigado por goteo superficial con fertirrigación fue de 86,65 Kg, que corresponde a una producción de 14,44 t/ha. Y el rendimiento del cultivo irrigado por goteo subsuperficial con fertirrigación fue de 101,82 kg que corresponde a una producción de 16,97 t/ha, ver Cuadro 4.8.

Los resultados del rendimiento de papa indican que el tratamiento irrigado por goteo subsuperficial fue mayor en 52% con respecto al testigo; y en 14,9% con respecto al cultivo irrigado por goteo superficial. Estos resultados tienen similitud con lo manifestado por los investigadores de la empresa de riego NaanDanJain Iberica (2013), quienes aseveran que, con el riego por goteo subsuperficial hay un mejor aprovechamiento de Nitrógeno, Fósforo, y Potasio por la planta, incrementando los rendimientos de la cosecha y un menor gasto de agua en el riego. Es preciso mencionar que Aguilar, et al. (2003) obtuvieron un rendimiento de 13,4 t/ha con aplicaciones de 80 kg/ha de N, 200 kg/ha de P, y 80 kg/ha de K.

4.7.1 Análisis Estadístico del Rendimiento del Cultivo de Papa

Cuadro 4.9. Análisis Estadístico

FV	GL	CME	PROBABILIDAD
Bloques	2	29,40	0,036
Tratamientos	2	247,89	0,0007
Error Exp.	4	3,40	
Coeficiente			
Uniformidad	5 %		

Cuadro 4.10. Medias y Prueba de Dunnett al 5 %

Tratamiento	Medias	
Testigo	16,28	A
Riego por Goteo Superficial	28,88	A
Riego Por goteo Subsuperficial	33,93	B

Riego por goteo superficial \neq Testigo

Riego por goteo Subsuperficial \neq Testigo

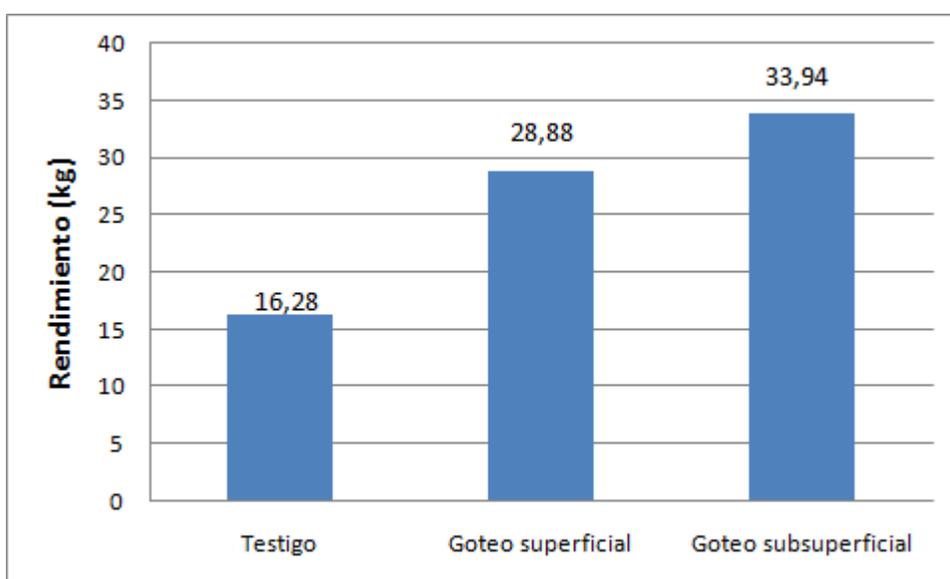


Fig. 4.3. Rendimiento promedio de papa por tratamiento (kg)

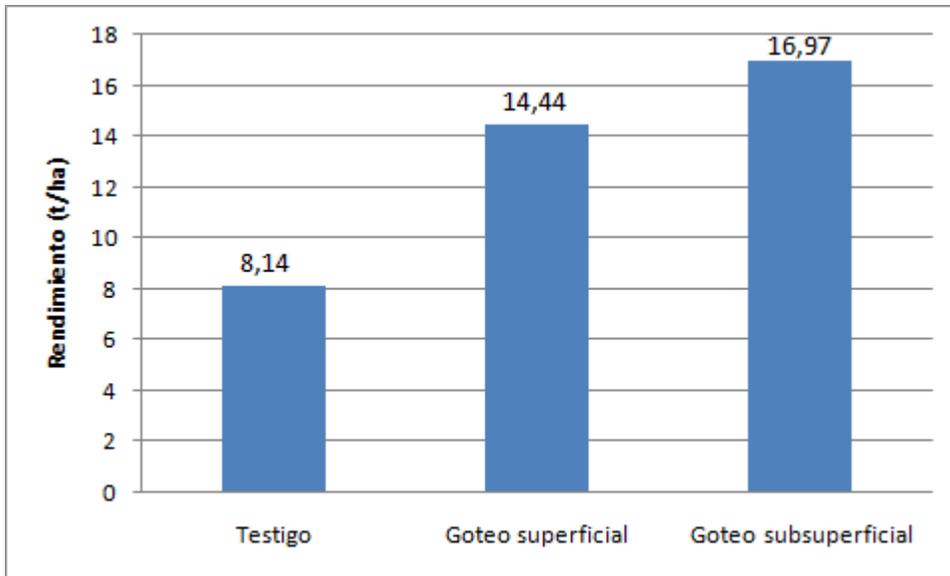


Fig. 4.4. Rendimiento de papa por tratamiento (t/ha).

Los resultados coinciden con los obtenidos por Sammis (1980) en Nuevo México, donde comparó el riego por aspersión con el riego por goteo superficial, goteo subsuperficial y el riego por surcos en cultivo de papa; encontrando que el riego por goteo subsuperficial fue el más productivo. El presente resultado también guarda correspondencia con lo encontrado por Alam (2002) en cultivo de alfalfa, que obtuvo mejor rendimiento con el riego subterráneo. De igual forma Sánchez (2002) afirma que de ocho métodos de riego investigados en cultivo de algodón, el riego por goteo subsuperficial tuvo la más alta eficiencia de uso de agua. El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias de México INIFAP (2006) investigó el riego subterráneo en maíz, encontrando producciones máximas con el 75% de evapotranspiración.

4.8 DETERMINACIÓN DEL BULBO HÚMEDO EN EL RIEGO POR GOTEO.

Los resultados correspondientes en el primer ensayo fueron tomados a 45, 90, y 135 minutos, y en el segundo ensayo se tomó a 30, 60 y 90 minutos.

Los resultados del comportamiento del bulbo de humedecimiento por parte de los goteros, ubicados tanto en la parte superior del suelo, como enterrados a 25 cm de profundidad son los que se observa en los Cuadros 4.11, 4.12, 4.13 y 4.14.

Cuadro 4.11. Profundidad y diámetro del bulbo húmedo (primer ensayo)

Tiempo (minutos)	Gotero superficial		Gotero subterráneo	
	Profundidad (m)	Diámetro (m)	Profundidad (m)	Diámetro (m)
45	0,16	0,23	0,11	0,20
90	0,36	0,26	0,25	0,24
135	0,47	0,30	0,34	0,26

Por capilaridad subió 0,05 m

De los resultados de profundidad y diámetro humedecido se tiene valores del área y volumen humedecido por los goteros ubicados en la parte superior del suelo, así como de los goteros enterrados en los cuales se tomó la información.

Cuadro 4.12. Profundidad, diámetro, área y volumen del bulbo húmedo (primer ensayo).

	Gotero Superficial	Gotero Subsuperficial
Profundidad, m	0,47	0,34
Diámetro, m	0,30	0,26
Área, m ²	0,0706	0,053
Volumen, m ³	0,033	0,018

En el primer ensayo el gotero superficial tiene una profundidad mayor del 27%, y el diámetro mayor en 13% con respecto al gotero subsuperficial. Consecuentemente el área y volumen del bulbo húmedo también son mayores, Cuadro 4.12.

Cuadro 4.13. Profundidad y diámetro del bulbo húmedo (segundo ensayo)

Tiempo (minutos)	Gotero superficial		Gotero subsuperficial	
	Profundidad (m)	Diámetro (m)	Profundidad (m)	Diámetro (m)
30	0.12	0.17	0,10	0.15
60	0.22	0.21	0,21	0.18
90	0.38	0.26	0,30	0.25

Por capilaridad subo 0,005 m

Cuadro 4.14. Profundidad, diámetro, área y volumen del bulbo húmedo (segundo ensayo).

	Gotero Superficial	Gotero Subsuperficial
Profundidad	0,38	0,30
Diámetro	0,26	0,25
Área	0,053	0,049
Volumen	0,020	0,015

En el segundo ensayo se observa igual comportamiento que en el primer ensayo. El gotero superficial tiene mayor profundidad y mayor diámetro con respecto al gotero subsuperficial en 21%, y 4% respectivamente, Cuadro 4.13. En lo referente al área y volumen del bulbo húmedo, el gotero superficial tiene mayor área y volumen mojado que el gotero subterráneo, Cuadro 4.14.

Resultados que guardan correspondencia, en lo referente al diámetro del bulbo húmedo, con los reportados por Ben-Asher y Phene (1993). Pero es diferente al área y volumen húmedo encontrado por los mismos autores. Es de recalcar que los trabajos de investigación de (Ben-Asher y Phene, 1993) coinciden con los encontrados por el departamento de Agricultura de los EE.UU, en lo referente al volumen de suelo mojado, que fue 46% mayor en el riego por goteo subterráneo. Es de mencionar que los suelos donde se realizó el experimento son poco profundos, a 50 cm de profundidad se encontró mantos endurecidos, que seguramente influyeron en la profundidad del bulbo húmedo especialmente en el goteo subsuperficial.

4.9 DISPONIBILIDAD DE NITRÓGENO, FÓSFORO, Y POTASIO.

Para determinar la disponibilidad de Nitrógeno, fósforo, y Potasio se tomó muestras de suelo a 10, 30, y 50 cm de profundidad. Las muestras se tomaron el día 152 del ciclo vegetativo. Los resultados promedios de las concentraciones de NPK, en el riego por goteo superficial, y en el riego por goteo subsuperficial corresponde a los siguientes valores, Cuadro 4.15, los resultados de laboratorio ver anexo 9a y 9b.

Cuadro 4.15. Contenidos de NPK, en los tratamientos (Riego por goteo superficial, y Riego por goteo subsuperficial).

Tratamiento	Profundidad (cm)	N (ppm)	P ₂ O ₅ (ppm)	K ₂ O (ppm)
Riego por goteo Superficial	10	63,9	101,3	214,5
Riego por goteo Subsuperficial	30	54,5	48,9	170,8

Los resultados de disponibilidad de NPK, indican que en el riego subsuperficial se encontró, nitrógeno 15% menor, fósforo 52% menor, y potasio 20% menor; mientras que el rendimiento fue mayor; para este análisis se tomaron los valores de NPK a 10 cm de profundidad para el riego superficial, y 30 cm para el riego subsuperficial, esto por cuanto a 30 cm de profundidad fue suministrado la fertirrigación, Cuadro 4.15.

Situación similar encontraron Aguilar, *et al.* (2001) en cultivo de chile, donde el ensayo fertirrigado con NPK en forma subterránea (20 cm de profundidad) produjo un 16% y 18% de rendimiento mayor al ensayo fertirrigado en forma superficial, manifestando que esto pudo deberse a que el fertilizante se aplicó más cerca del volumen radicular donde la adquisición de nutrientes es mayor afirmado por Rauschkolb, *et al.* (1976) y Martínez (1991).

4.9.1. Análisis Estadístico de la Disponibilidad de NPK.

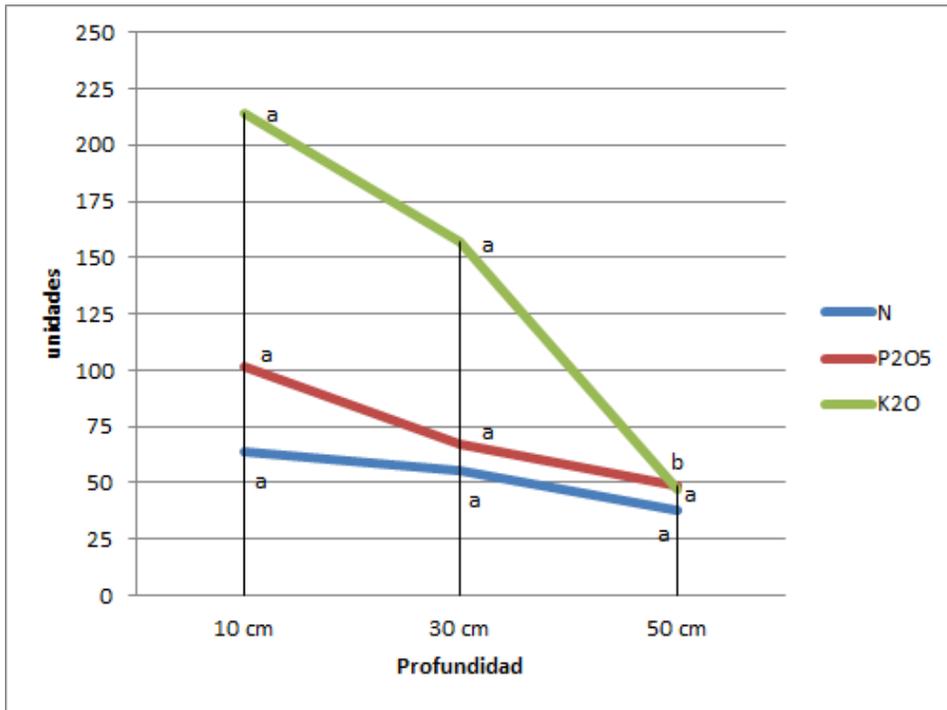


Fig.4.5 Comportamiento de disponibilidad de N, P y K con la profundidad del suelo, para el tratamiento Riego superficial.

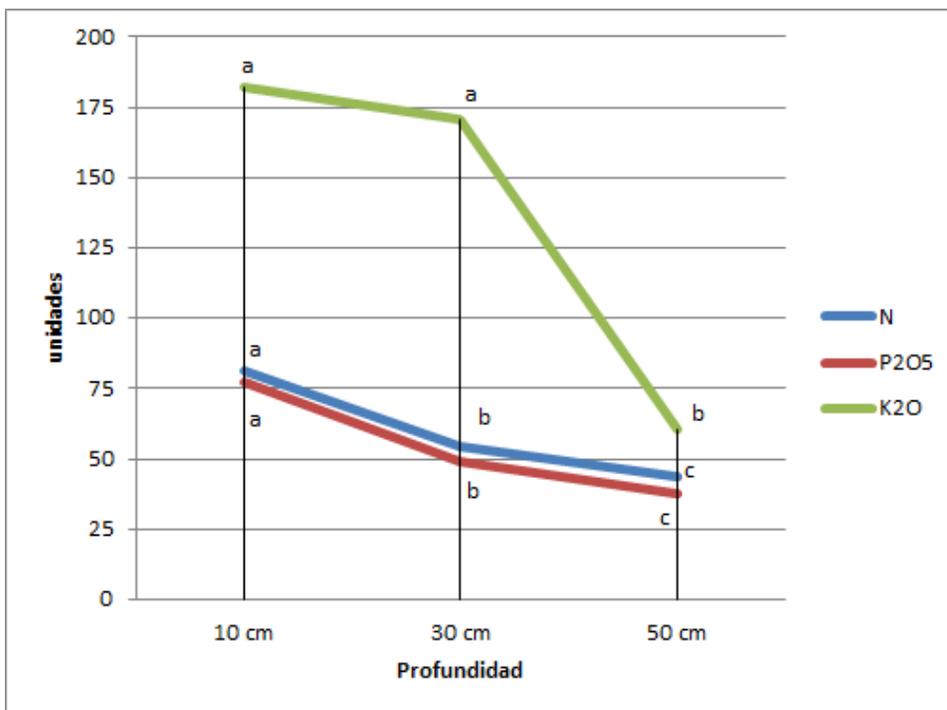


Fig. 4.6 Comportamiento de la disponibilidad de N, P₂O₅ y K₂O con la profundidad del suelo, para el tratamiento Riego subterráneo.

El análisis estadístico de las concentraciones de NPK. Indican que el tratamiento riego por goteo superficial, al 5% de significancia, no hay diferencia significativa entre 10 cm y 30 cm de profundidad; mientras que el tratamiento riego por goteo subsuperficial indica una diferencia significativa de concentración de N y P, excepto el K, no se nota diferencia, figuras 4,5 y 4,6

Esto indica que en el riego superficial las plantas no aprovecharon adecuadamente los fertilizantes por que se los encontró en mayor cantidad de acuerdo a los resultados de laboratorio; mientras que en el riego subsuperficial fueron mejor aprovechados por la misma razón que se los encontró en menor cantidad de acuerdo a los resultados de laboratorio. Esto guarda similitud con lo publicado por la empresa israelí NaanDanJain Iberica (2013), que afirma que existe mayor aprovechamiento de fertilizantes, al estar directamente aplicados a la zona radicular de la planta

En los dos tratamientos se encontró que a profundidades entre 10 y 30 cm existe un descenso en la concentración de NPK, tal como lo afirman Aguilar, *et al.* (2003) que encontraron mayor disponibilidad de Fósforo (13,6 mg/kg) entre 0 y 20 cm de profundidad y 5,61 mg/kg entre 20 y 40 cm de profundidad.

4.9.2. Balance de Sales

De los resultados de disponibilidad de NPK, tanto al inicio del ciclo del cultivo (sin fertilizar) como de la fase final del ciclo y con las respectivas aplicaciones de fertilizantes (NPK) se obtuvo el balance de sales ver Cuadro 4.16.

Cuadro 4.16. Balance de Nutrientes (NPK), en el cultivo de papa

	Riego por Goteo Superficial (T2)					Riego por Goteo Subterráneo (T3)				
	N (kg/ha)	P (kg/ha)	P ₂ O ₅ (kg/ha)	K (kg/ha)	K ₂ O (kg/ha)	N (kg/ha)	P (kg/ha)	P ₂ O ₅ (kg/ha)	K (kg/ha)	K ₂ O (kg/ha)
Antes de ser Fertilizado	5	0,75	1,71	72,2	86,6	5	0,75	1,71	72,2	86,6
Fertilizante Aplicado	135	20,4	46,5	90	108	135	20,4	46,5	90	108
Dosificación Recomendada IFA	175	35	80	257	310	175	35	80	257	310
Disponibilidad fase final	15,9	11	25,2	44,5	53,4	13,5	5,3	12,1	35,42	42,5

Del Cuadro 4.16, se puede deducir que el nitrógeno, fósforo, y el potasio se encuentra en menor concentración de en el cultivo irrigado por goteo subsuperficial ó subterráneo, lo que significa que hubo un mayor aprovechamiento de los nutrientes por el cultivo, tal como lo afirma (Sammis, 1980), y (Alam, 2002).

5. CONCLUSIONES

- El rendimiento del cultivo de papa irrigado con riego por goteo subsuperficial fue 14,9% mayor al riego por goteo superficial; y 52% mayor al testigo.
- El diámetro y profundidad del bulbo húmedo del riego por goteo superficial, fue mayor al diámetro y profundidad del bulbo húmedo del riego por goteo subsuperficial ó subterráneo en un 13%, y 27% respectivamente. Así mismo el área y volumen del bulbo húmedo en el riego por goteo superficial fue mayor al riego por goteo subterráneo.
- En un tiempo de 135 minutos de riego, para el riego subsuperficial, el agua subió por capilaridad 5 cm.
- Se puede concluir que el Nitrógeno, Fósforo y Potasio fueron mejor aprovechados por la planta, cuando la fertirrigación se aplicó en forma subsuperficial.
- A mayor profundidad se encontró un descenso de disponibilidad de NPK, tanto en el riego por goteo superficial como en el subsuperficial.

6. RECOMENDACIONES

- Los laterales de riego por goteo para el cultivo de papa deben ser instalados entre 10 y 20 centímetros de profundidad, dependiendo de la profundidad y textura del suelo agrícola, alrededor de 10 cm para suelos arenosos, y alrededor de 20 cm para suelos con tendencia arcillosa. Por cuanto la planta de papa tiene una escasa densidad de raíces.
- Para los sistemas de riego por goteo subsuperficial ó subterráneo, no se debe utilizar el gotero tipo vortex que se utilizó para este trabajo.
- Se recomienda utilizar el gotero “VIP underground”, que consta de una membrana de silicona que realiza funciones de autocompensación y autolimpieza, y de una esfera situada en el orificio de salida del agua. En el momento que existe succión en el sistema, la esfera cierra el orificio de salida y evita la entrada de partículas del suelo al interior del tubo.
- Los programas de fertirrigación pueden ser aplicados a todo tipo de cultivo que puedan ser irrigados por goteo.
- Los programas de fertirrigación se recomienda su aplicación hasta 10 a 15 minutos antes de terminar el suministro de riego, con el fin de evitar que queden residuos de fertilizantes en las tuberías que puede causar acumulación de precipitados, y por lo tanto obturación de goteros.
- Para implementar un sistema de riego por goteo subterráneo, se recomienda utilizar material de riego de larga duración por los costos que conlleva al inicio de la instalación.

7. BIBLIOGRAFÍA

- 1 Abbott, J.S. 1988. *Microirrigation-world wide usage report by microirrigation working group*. Drainage.
- 2 Aguilar Acuña, J.L., Mratínez, J., Volke, V. y col 2001. *Acumulación y Distribución de la materia Seca en papa cultivada con Fertirrigación por Goteo Superficial y Subsuperficial*. Vol. 1. México. 22 p.
- 3 Aguilar, J., Vuelvas, M., Arreola, J. y col 2003. *Generación y validación de tecnologías en los cultivos de Chile, Jitomate y papa con fertirrigación en el Bajío*. Bajío-México.
- 4 Alam, M., T. P. Trooien, D. H. Rogers y J. Dumler. 2002. *An Efficient Irrigation Technology for Alfalfa*. Extensión. Vol.40 (3).
- 5 Alonzo, A.F. (Ed.). 2002. *El Cultivo de papa*. Barcelona.
- 6 Bar-Josef, B. 1992. *Fertilization under Drip Irrigation*. Nueva York.
- 7 Bar-Josef, B. y Sheikolslami, M. 1976. *Distribution of water and ions in soils irrigated y fertilized from a trickle source*.
- 8 Ben-Asher, J. y Phene, C.J. 1993. *Analisis of surface and subsurface drip irrigation using a numerical model*.
- 9 Ben-Zioni, A. y Vaadia, Y. 1971. *Nitrate uptake by roots as regulated by nitrate reduction products in the Shoot*.
- 10 Brady, N.C.R.R.W. 2000. *Elements of the nature and properties of soil*. New Jersey-USA.
- 11 Brooks, K.N.P.F.F., H. M. Gregersen, L. F. DeBano. 1997. *Hidrology and the Management of Watersheds*. Iowa.
- 12 Burt, C., O'Konnor, K. y Ruehr, T. 1998. *Fertirrigation*. University, C.P.S. (Ed.). California.
- 13 Burt, C.S., S. 1994. *Drip and Microirrigation for trees, Vine, and row crops*. California.
- 14 Calvache, M. 1998. *Manejo del agua en fertilización* En: Primer Seminario Internacional de fertirrigación (1998: Quito).
- 15 Calvache, M. 2004. *Acumulación de nutrientes en tre variedades de rosas con fines de fertirrigación* En: IX Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del suelo (2004: Loja).
- 16 Calvache, M. 2006. *Fertirrigación en Ecuador, presente y futuro* En: X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. (2006).
- 17 Carmi, A., Z. Plaut, B. Heur y A. Grava. 1992. *Establishment of shallow and restricted root system in cotton abd its impact on plant response to irrigation*.
- 18 Carpenter, P.N. 1957. *Mineral accumulation in potato plants*. Maine.
- 19 Curwen, D. 1993. *Water Management*. USA.
- 20 Davis, S. 1967. *Subsurface Irrigation-How soon a Reality?*Vol. 48 (11).
- 21 Evett, S.R., T. A. Howel and A. D. Schneider. 1995. *Energy and Water Balances for Surface and Subsurface Drip Irrigated Corn* En: 5to Microirrigation Congrss (1995).
- 22 FAO. 2008. *Año Internacional de la papa 2008*.
- 23 Ferreyra, R., Sellés, G., Ahumada, R. y col 2005 *Manejo del Riego Localizado*. In: Agropecuarias, I.d.I., editor. Volume 126. La Cruz-Chile. p.

- 24 Fuentes, J.L. 1998. *Técnicas de Riego*. Madrid-España.
- 25 Gavande, S.A. 1979. *Física de suelos, principios y aplicaciones*.
- 26 Hagin, J., M. Sneh y A. Lowengart-Aycicegi. 2002 *Fertigation-Fertilization Through Irrigation*. In: International Potash Institute, editor. Basilea-Suiza. p.
- 27 Holzapfel, E. 2001. *Efecto del agua y fertilización en el desarrollo y producción de naranjo*.
- 28 Huanca, A.W. 2009. *Riego por goteo y Fertirrigación*.
- 29 IFA. 2002 *Los fertilizantes y su uso*. In: FAO, editor. Roma. p.
- 30 INIAP. 2002 *Manual de Laboratorio*. In: aguas, D.d.s.y., editor. Quito. p.
- 31 Jackson, R. y Haddock, J. 1959. *Growth and nutrient uptake of Russet burbank potatoes*.
- 32 Jenkins, P. y Ali, H. 2000. *Phosphate supply and progeny tuber numbers in potato crops*.
- 33 Jorgensen, G.N., K. 1993. *Subsurface Drip Irrigation*. En: Practices y applications(1993: California).
- 34 Kafkafi, U. y Bar-Josef, B. 1978. *Fertilization decision model*. Science, S. (Ed.).
- 35 Kafkafi, U. y Tarchitzky, J. 2012. *Fertirrigación na herramienta para una eficiente fertilización y manejo del agua*. **Basilea-Suiza**. [Consultado: Disponible en:
- 36 Lecaros, J. 2011. *El Riego por Goteo* En: Seminario Internacional de Riego y Fertilización (2011: Chiclayo-Perú).
- 37 López, R.H., J. M. Pérez, A. 1992. *Riego Localizado*. Madrid-España.
- 38 Magen, H.y.P.I. 2003 *Fertigation, the Global View*. In: Institute, I.P., editor. Basilea-Suiza.
- 39 Marhuenda, B., J. A. . 1999. *Ventajas y Beneficios del Riego por Goteo Subterráneo* En: Primer Simposium Internacional de Irrigación y Nutrición Vegetal, Tecnología para el Ahorro de Agua y energía (1999: León-México).
- 40 Marschner, H. 1986 *Mineral Nutrition of Higher plants*. In: Hohenhein, I.o.p.N.U.o., editor. Hohenhei-Germany. p.
- 41 Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher plants*. Londres.
- 42 Martínez Hernández, J.J., B. Bar-Yosef y U. Kafkafi. 1991. *Effect of surface and subsurface drip fertirrigation on sweet corn rooting, uptake, dry matter production and yield*.
- 43 Martínez, L. 1998 *Manual de Fertirrigación*. In: Instituto de Investigaciones Agropecuarias, c.R.d.I.I., editor. p.
- 44 Medina, J. 1997. *Riego por goteo*. Madrid-España.
- 45 Michi, U. 2009. *Sistemas de Riego Tecnificado* En: Seminario de Riego tecnificado (2009: Guayaquil-Ecuador).
- 46 Muñoz, A. 2010. *Cultivo de papa*.
- 47 Nakayama, F.S., y D. A. Bucks. 1991. *Water quality in drip-trickle irrigation*. A review irrigation science.
- 48 Pacheco, E. y Calvache, M. 2006. *Estudio de distribución técnica del agua*. Rumipamba.
- 49 Papadopoulos, I. 1992. *Phosphorus Fertigation of Trickle-Irrigation Potato*.

- 50 Phene, C.J. 1999. *Producción de Alfalfa con Riego por Goteo* En: Primer Simposium Internacional de Irrigación y Nutrición Vegetal (1999: León- México).
- 51 Phillips, A.B.y.J.R.W. 1971. *Production, marketing and use of phosphorus fertilizer technology and use*. America, S.s.s.o. (Ed.). Madison-USA.
- 52 Pitts, D.J. 1997. *Evaluation of Micro-Irrigation Systems*.
- 53 Pizarro, F. 1987. *Riego localizado de alta frecuencia*. Madrid-España.
- 54 Rauschkolb, R.S., Rolston, D. E. Miller, R. J., Carlton, A. B. 1976. *Phosphorus Fertilization with drip irrigation*.
- 55 Rivera, G., M., y J. Estrada A., I. Orona C. y González C. 2004. *Funciones de Producción Hídrica para la Alfalfa en Riego por Goteo Subsuperficial* En: XVI Semana Internacional de Agronomía (2004).
- 56 Rowe, R.C. 1993. *Potato Health Management*.
- 57 Sammis, T.W. 1980. *Comparison of Sprinkler, trickle, subsurface and furrow irrigation methods for row crops*.
- 58 Sánchez, I. 2002. *Fundamentos para el diseño de sistemas de riego presurizado*. CENID-RASPA-INIFAP (Ed.). México.
- 59 Sánchez, J. 2000. *Fertirrigación, principios, factores y aplicaciones* En: Seminario de fertirrigación (2000: Lima-Perú).
- 60 Shang, H., D. Smeal, R. N. Arnold y E.J. Gregory. 1996. *Potato Nitrogen management by monitoring petiole nitrate level*.
- 61 Shock, C.C., E. B. Feibert, L. D. Saunders y S. R. James. 2003. *Umatilla Russet and Russet Legend Potato Yield and Quality Response to Irrigation*.
- 62 SICA-MAG. 2008 *XXX Censo Nacional Agropecuario*. In: Central, B., editor. p.
- 63 Sierra, C., Santos, J. y Kalazich, J. 2002 *Manual de Fertilización del cultivo de papa*. In: Agropecuarias, I.d.I., editor. Volume 76. Santiago-Chile. p.
- 64 Sifuentes, I.E., Macias, C. J., Quintana, Q. J. G. y Waldo O. B. 2010. *Jornada sobre impacto y adaptación al cambio climático de la agricultura del estado de Sinaloa*.
- 65 Sne, M. 2006 *Micro Irrigation in Arid and Sem-arid Regions*. Nueva Delhi-India. p.
- 66 Valverde, F., J. Córdova y R. Parra. 1999 *Fertilización cultivo de papa*. In: Agropecuarias, I.A.d.I., editor. Quito. p.
- 67 Waddell, T., S. C. Gupta, J.F. Moncrief, C. J. Rosen y D. D. Steele. 2000. *Irrigation and Nitrogen-Management Impacts on Nitrate Leaching under Potato*.
- 68 Wasterman, D. y Davis, J. 1992. *Potato nutritional management changes and challenges*.
- 69 Zapata, A. y Gasselin, P. 2005 *El Riego en el Ecuador Problemática, Debate y Políticas*. In: CAMAREN, C., editor. La superficie bajo riego. Quito-Ecuador. p.
- 70 Zartman, R.E., Rosado-Carpio y R. H. Ramsey. 1992. *Influence of trickle irrigation emitter placement on yield and grade distribution of potatoes*.

Cita Internet

www.naandanjain.es

Anexo 1. Análisis Químico NPK del Suelo (antes de la siembra)



INFORME DE ANALISIS
LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS

Vía Interoceánica Km 14 Granja del MAGAP Tumbaco Teléfono 2 372-844 Telefax 2 372-845

Remitente: Sr Lauro Conde S.
Propietario :
Fecha de ingreso: 12/11/2011
Fecha de informe: 17/10/2011

No de informe : 1522 FACTURA NO:
9166

PROVINCIA: LOJA LOJA

# de Lab.	# de Campo	pH	M.O.	N Total	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	C.E.	Al
			%	%	ppm	cmol/kg	cmol/kg	cmol/kg	ppm	ppm	ppm	ppm	Ds/m	meq / 100 g
2950	LOTE – 1	5.51	2.06	0.10	3	0.74	2.9	1.15	414	13.7	4.6	1.8	0.14	0.5

El resultado corresponde únicamente a las muestras entregadas por el cliente

Se prohíbe la reproducción parcial del informe

Método utilizado Al: YUAN - EXTRACCION KCL

INTERPRETACION DE RANGOS DE CONTENIDO (SIERRA)

pH	
Acido	5.5
Ligeramente	5.6-
Acido	6.4
Practicamente	6.5-
Neutro	7.5
Ligeramente	7.6-
Alcalino	8.0
Alcalino	8.1

M.O.	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
Mat.Org.	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Hierro	Manganeso	Cobre	Zinc
%	%	ppm	cmol/kg	cmol/k g	cmol/kg	ppm	ppm	ppm	ppm
< 1.0	0 - 0.15	0 - 10	< 0.2	< 1	< 0.33	0 - 20	0 - 5	0 - 1	0 - 3
1 - 2.0	0.16 - 0.3	11 - 20	0.2 - 0.38	1.0 - 3.0	0.34 - 0.66	21 - 40	6 - 15	1.1 - 4	3.1 - 6
> 2.0	> 0.31	> 21	> 0.4	> 3	> 0.66	> 41	> 16	> 4.1	> 6.1

Interpretación - Sierra

ALUMINO (Al)	
< 0.5	BAJO
0.5 - 1.0	MEDIO
> 1.0	ALTO

C.E. (dS/m)			
No salino (NS)	Lig. salino (LS)	Salino(S)	Muy salino(ms)
< 2.0	2.0 – 3.0	3.0 – 4.0	4.0 – 8.0
BAJO			
MEDIO			
ALTO			

Ing. Carlos Muñoz

Anexo 2. Análisis de la Conductividad eléctrica del agua de riego



MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERIA, ACUACULTURA Y PESCA AGROCALIDAD

LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS INFORME DE ANALISIS

RESULTADO DEL ANÁLISIS DEL AGUA

INFORME # 39

PROPIETARIO: Sr. Lauro Conde S. **FACTURA:** 9166
LOCALIZACIÓN: LOJA LOJA
FECHA DE INGRESO: 11 DE NOVIEMBRE DEL 2011
FECHA DE INFORME: 16 DE NOVIEMBRE DEL 2011

# LAB	# CAMPO	PH	<u>C.E (COND.EL)</u> dS/m 25°C	<u>CO₃</u>	<u>Cl</u> meq/L
39	Muestra 1	6.2	0.09	---	1.65

El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente

INTERPRETACION DE RESULTADOS

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (C. E.)

< 0.7 dS/m	BAJO	dS/m= decisiémenes/ metro
0.7 – 3 dS/m	MEDIO	meq/l= miliequivalentes/ litro
> 3 dS/m	ALTO	mg/l = miligramos/ litro o partes por millón

VALORES NORMALES

CO ₃ ⁼ (CARBONATOS)	>0 – 0.1 meq/l
Cl ⁻ (CLORUROS)	>0 – 3 meq/l
B (BORO)	>0 – 2 mg/l

ING. CARLOS MUÑOZ

RESPONSABLE TECNICO

Anexo 3: Información meteorológica (precipitaciones)

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA				
				
ESTACIÓN METEOROLOGICA: LA ARGELIA - LOJA				
Precipitación Diaria (mm)				
AÑO	2012	2012	2012	2012
DÍA	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO
1	3,8	3,6	0,3	0,0
2	0,6	2,3	0,4	0,0
3	0,0	0,0	0,2	0,0
4	0,0	0,0	1,1	0,0
5	6,6	0,5	0,2	0,7
6	1,1	0,0	0,0	0,5
7	0,2	0,0	0,1	0,0
8	0,8	0,0	0,4	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0
11	0,7	0,0	0,0	0,0
12	0,0	0,0	0,0	0,0
13	1,9	0,0	0,0	0,8
14	15,4	0,2	0,0	1,2
15	9,3	0,0	0,0	3,6
16	5,8	0,0	0,0	3,1
17	0,8	0,0	4,4	0,4
18	0,2	0,3	1,1	1,0
19	4,0	0,4	0,0	0,0
20	1,6	0,0	0,0	0,0
21	1,1	0,0	0,0	0,3
22	0,3	13,2	0,2	0,0
23	0,0	20,6	2,1	0,2
24	0,0	12,1	0,0	1,5
25	0,3	13,1	0,2	1,2
26	5,2	6,2	0,1	0,3
27	10,8	1,8	1,2	10,5
28	9,2	6,2	3,4	6,3
29	2,3	0,6	1,4	0,4
30	0,0	1,1	0,0	0,0
31	0,1		T	0,0
TOTAL	82,1	82,2	16,8	32,0

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA



ESTACIÓN METEOROLOGICA: LA ARGELIA - LOJA
Precipitación Diaria (mm)

ANO	2012	
DIA	SEPTIEMBRE	OCTUBRE
1	0,0	0,6
2	0,0	0,0
3	0,2	0,0
4	0,3	3,6
5	0,1	2,6
6	0,0	2,4
7	0,0	2,0
8	0,7	0,5
9	16,8	0,2
10	0,6	0,0
11	0,0	0,0
12	0,0	0,0
13	1,3	0,0
14	1,2	0,2
15	0,0	0,0
16	0,0	3,3
17	0,0	4,2
18	0,0	5,2
19	0,0	29,6
20	0,0	0,0
21	0,0	1,8
22	8,5	15,0
23	1,8	36,2
24	0,7	2,1
25	0,0	0,0
26	0,4	T
27	0,2	0,0
28	0,0	0,0
29	0,0	1,1
30	0,0	5,8
31		0,0
TOTAL	32,8	116,4

Anexo 4: Descarga de los emisores ordenados en forma descendente (l/h).

Testigo	Riego goteo Superficial	Riego goteo subterráneo
Descarga (l/h)	Descarga (l/h)	Descarga (l/h)
2.3	2.5	2.48
2.26	2	2.46
2.2	1.81	2.44
2.2	1.62	2.42
2.16	1.56	2.4
2.14	1.41	2.4
2.11	1.38	2.4
2.07	1.35	2.38
2.06	1.35	2.38
1.99	1.35	2.36
1.96	1.29	2.36
1.93	1.2	2.36
1.81	1.2	2.34
1.74	1.15	2.32
1.71	1.1	2.25
1.7	1.08	2.14
1.66	1.05	2.1
1.66	1.03	2
1.66	1.03	1.75
1.62	1	1.6
1.56	1	1.55
1.45	0.96	1.5
1.38	0.95	1.4
1.21	0.9	1.3
1.2	0.88	1.25
0.95	0.87	1.2
0.8	0.75	1.2
47.49	33.77	54.74
1.76	1.25	2.03

Anexo 5a: Rendimiento Testigo (unidad experimental 1) kg.

	Surco A			Surco B			Surco C			Surco D			Surco E		
	G	M	P	G	M	P	G	M	P	G	M	P	G	M	P
1	0	0.1	0.25	0.3	0.2	0.05	0	0.2	0.1	0.3	0	0	0	0.15	0
2	0.4	0	0	0.15	0.05	0.05	0.2	0	0.02	0	0.25	0.05	0.3	0	0
3	0	0.15	0.2	0.15	0	0.05	0.2	0	0	0	0.2	0.1	0	0.2	0.1
4	0.3	0.15	0.05	0	0	0.25	0	0	0.2	0.4	0	0.05	0	0.2	0.15
5	0	0.2	0.1	0.45	0	0.1	0	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.45	0	0.05
6	0.1	0.1	0.1	0.25	0.2	0.05	0	0.25	0.1	0.4	0.15	0.05	0.15	0.1	0.05
7	0.2	0.1	0.05	0.3	0	0.02	0.2	0	0.1	0	0.1	0.1	0.5	0	0
8	0.35	0.1	0.05	0.3	0.25	0.15	0.1	0.15	0.1	0.8	0.3	0.2	0.8	0.35	0.2
9	0	0.1	0.25	0.15	0	0.15	0.4	0.35	0.15	0	0.25	0.1	0	0.4	0
10	0	0.2	0.05	0.25	0.15	0.05	0	0.1	0.25	0	0.2	0.05	0	0.2	0.1
	1.35	1.2	1.1	2.3	0.85	0.92	1.1	1.35	1.12	2	1.55	0.8	2.2	1.6	0.65

Peso Unidad Experimental 1. 20.09 kg

Número plantas Unidad experimental 1 50

Anexo 5b: Rendimiento del Testigo (unidad experimental 2) kg

	Surco A			Surco B			Surco C			Surco D			Surco E		
	G	M	P	G	M	P	G	M	P	G	M	P	G	M	P
1	0	0.24	0.1	0	0.28	0	0	0.3	0.05	0	0.3	0	0	0.24	0.24
2	0	0.25	0	0	0.25	0	0	0.2	0.1	0	0.2	0.18	0	0.38	0.04
3	0	0.18	0.12	0	0.25	0	0	0.24	0.12	0	0.24	0.24	0	0.45	0.15
4	0	0.1	0	0	0.3	0	0	0.1	0.24	0	0.16	0.18	0	0.32	0.1
5	0.38	0	0	0	0.32	0	0	0.32	0.14	0.24	0.1	0.2	0	0.15	0.06
6	0.38	0	0	0	0	0.19	0	0.2	0.2	0	0.35	0.08	0	0.18	0.1
7	0	0	0.1	0	0.25	0	0	0.34	0	0	0.3	0.1	0	0.25	0.15
8	0	0.35	0	0	0.28	0	0	0.2	0.16	0	0.16	0.2	0	0.32	0
9	0	0.45	0	0	0.11	0.11	0	0.18	0.12	0	0.3	0.15	0	0.25	0
10	0	0.39	0	0	0.15	0	0	0.24	0.16	0	0.24	0.14	0	0.25	0
	0.76	1.96	0.32	0	2.19	0.3	0	2.32	1.29	0.24	2.35	1.47	0	2.79	0.84

Peso Unidad Experimental2 16.83 kg

Número plantas Unidad experimental 2 50

Anexo 5c: Rendimiento Testigo (unidad experimental 3) kg

Orden	Surco A			Surco B			Surco C			Surco D			Surco E		
	G	M	P	G	M	P	G	M	P	G	M	P	G	M	P
1	0	0	0.18	0	0.075	0.38	0	0	0.25	0	0	0.125	0	0	0.25
2	0	0	0.08	0	0	0.28	0	0.2	0	0	0	0.175	0	0	0.225
3	0	0	0.23	0	0	0.2	0	0	0.2	0	0	0.225	0	0	0.175
4	0	0	0.08	0	0.15	0.03	0	0.3	0.08	0	0	0.1	0	0	0.3
5	0	0	0.08	0	0.125	0.23	0	0	0.18	0.25	0	0	0	0	0.175
6	0	0	0.05	0	0.175	0.1	0	0	0.15	0	0	0.125	0	0	0.25
7	0	0	0.25	0	0.1	0.13	0	0.325	0	0.35	0	0	0	0	0.325
8	0	0.1	0.38	0	0	0.18	0	0	0.28	0	0	0.325	0	0	0.325
9	0	0	0.15	0	0	0.18	0	0.1	0.25	0	0	0.125	0	0	0.325
10	0	0	0.1	0	0.225	0.38	0	0.275	0.08	0	0	0.25	0	0	0.325
	0	0.1	1.55	0	0.85	2.05	0	1.2	1.45	0.6	0	1.45	0	0	2.675

Peso Unidad Experimental 3

11.93 kg

Número plantas Unidad experimental 3

50

Anexo 6a: Rendimiento Riego por goteo superficial (unidad experimental 4) kg

	Surco A			Surco B			Surco C			Surco D			Surco E		
	G	M	P	G	M	P	G	M	P	G	M	P	G	M	P
1	0.3	0.11	0	0.28	0.16	0.12	0.7	0.06	0.03	0.68	0.6	0.38	0.35	0	0.35
2	0.2	0.1	0.15	0.28	0	0.14	0.36	0	0.1	0.19	0	0.03	0.2	0.3	0.05
3	0.25	0.14	0.05	0.3	0	0.15	0.4	0	0.11	0.5	0	0.04	0.3	0.2	0.12
4	0.27	0	0.06	0.16	0.06	0.09	0.35	0	0.06	0	0.55	0.25	0.4	0.15	0.2
5	0.29	0	0.06	0.15	0.1	0.1	0.24	0.18	0.05	0.45	0.45	0.02	0.1	0.25	0.21
6	0.1	0.2	0.13	0.22	0.1	0.02	0.48	0	0.25	0.42	0.65	0.3	0	0.36	0.14
7	0.2	0.1	0.14	0.41	0.05	0	0.15	0.28	0.08	0.75	0.38	0.15	0.3	0.18	0.25
8	0.2	0.19	0.16	0.35	0.24	0	0.65	0.2	0.04	0	0.45	0	0	0.2	0.4
9	0.4	0.1	0.06	0.33	0	0.04	0.34	0.28	0.2	0.1	0.35	0.35	0.4	0	0.14
10	0.24	0.15	0.04	0.34	0.25	0.05	0.46	0.14	0.24	0.55	0	0.33	0.5	0.2	0.24
	2.45	1.09	0.85	2.82	0.96	0.71	4.13	1.14	1.16	3.64	3.43	1.85	2.55	1.84	2.1

Peso Unidad Experimental 4

30.72 kg

Número plantas Unidad experimental 4

50

Anexo 6b: Rendimiento riego por goteo superficial (unidad experimental 5) kg

	Surco A			Surco B			Surco C			Surco D			Surco E		
	G	M	P	G	M	P	G	M	P	G	M	P	G	M	P
1	0.5	0.15	0.1	0.1	0.1	0.05	0	0.25	0.15	0.55	0.2	0.1	0.47	0.09	0.14
2	1.25	0.15	0.15	0.3	0	0.1	0.15	0.1	0.02	0.4	0	0.1	0.45	0.25	0.1
3	0.3	0.45	0.35	0.2	0.05	0	0.3	0.2	0.2	0.6	0.25	0.1	0.55	0	0
4	0.45	0.1	0.05	0.65	0.1	0	0.25	0.15	0	0.45	0	0.1	0.4	0	0.1
5	0.45	0.25	0.1	0	0.35	0.2	0.25	0.05	0	0.75	0	0	0.75	0	0.1
6	0.2	0.05	0.1	0.2	0.35	0.15	0.3	0.15	0.05	0.25	0.2	0.1	0.5	0.1	0.1
7	0.1	0.25	0.2	0.1	0.25	0.15	0	0.4	0.2	0.3	0.25	0.2	0.75	0	0.02
8	0.1	0.1	0.05	0.15	0.1	0.1	0.35	0.25	0.2	0.85	0.25	0.2	0	0.5	0.3
9	0.8	0.4	0.1	0.15	0.05	0.05	0	0.25	0.05	0	0.4	0.3	0	0.45	0
10	0	0.25	0.05	0.1	0.1	0.05	0	0.3	0.02	1.15	0	0.1	0.65	0.25	0.25
	4.15	2.15	1.25	1.95	1.45	0.85	1.6	2.1	0.89	5.3	1.55	1.3	4.52	1.64	1.11

Peso Unidad experimental 5 31.81 kg

Número plantas Unidad experimental 5 50

Anexo 6c: Rendimiento Riego por goteo superficial (unidad experimental 6) kg

	Surco A			Surco B			Surco C			Surco D			Surco E		
	G	M	P	G	M	P	G	M	P	G	M	P	G	M	P
1	0.2	0.5	0.25	0.3	0.45	0.1	0.2	0	0	0.3	0.3	0.25	0.12	0.05	0
2	0.1	0	0.05	0	0.25	0.05	0.25	0.1	0.1	0	0.35	0.35	0	0.35	0.15
3	0	0.05	0.1	0.35	0.15	0.1	0.1	0.3	0	0	0.2	0.1	0.5	0.15	0.2
4	0.6	0.25	0.3	0	0.25	0.1	0.15	0	0.1	0.3	0	0.05	0	0.45	0.05
5	0.2	0	0.02	0.2	0.2	0.05	0.25	0	0	0.15	0.1	0	0.1	0.15	0.15
6	1.45	0.2	0.1	0.2	0	0	0	0.1	0.05	0	0.2	0.05	0.25	0.25	0.15
7	0.75	0.39	0.1	0.45	0.25	0.1	0	0	0.2	0.25	0.3	0.02	0.25	0.4	0.4
8	0	0	0.2	0.2	0.35	0.2	0	0	0.1	0	0.25	0.2	0.25	0.03	0.1
9	0	0.05	0.1	0	0.25	0.1	0.05	0	0.4	0	0.04	0.4	0.3	0.15	0.1
10	0.3	0.25	0	0	0.15	0.05	0.05	0	0.15	0	0	0.2	0.4	0.1	0.2
	3.6	1.69	1.22	1.7	2.3	0.85	1.05	0.5	1.1	1	1.74	1.62	2.17	2.08	1.5

Peso Unidad experimental 6 24.12 kg

Número plantas Unidad experimental 6 50

Anexo 7a: Rendimiento Riego por goteo subterráneo (unidad experimental 7) kg

orden	Surco A			Surco B			Surco C			Surco D			Surco E		
	G	M	P	G	M	P	G	M	P	G	M	P	G	M	P
1	0.45	0.36	0.11	0	0.1	0.15	0	0.2	0	0	0.35	0.05	0.35	0.2	0.1
2	0.55	0	0.05	0.42	0.1	0.1	0.45	0.25	0.2	0.4	0.15	0.25	0.36	0.2	0.1
3	0.35	0.2	0.02	0.2	0.15	0.1	0.2	0	0	1.05	0.6	0.2	0.54	0.2	0.2
4	0.2	0	0.05	0.22	0.1	0.1	0.7	0.35	0.1	0.35	0.51	0.05	0.44	0.1	0.1
5	0.15	0.1	0.05	0	0.05	0.1	0	0.2	0.05	0.55	0.35	0.2	0.38	0.3	0.2
6	0.62	0.51	0.2	0	0.15	0.15	0.3	0.1	0.1	0.65	0.45	0.35	0.55	0.15	0.1
7	0	0.25	0.05	0.8	0.3	0.2	0.65	0.15	0.05	0.5	0.1	0.1	0.45	0.51	0.05
8	0	0.15	0.05	0	0.05	0.05	0.55	0.51	0.02	0.43	0.2	0.05	0.2	0	0
9	0.2	0.1	0.05	0	0.05	0.05	0.2	0.1	0.05	0	0.35	0.1	1.8	0.65	0.5
10	0.35	0.2	0.1	0.35	0.45	0.2	0.52	0.05	0.05	0.6	0.52	0.15	0	0.2	0.1
	2.87	1.87	0.73	1.99	1.5	1.2	3.57	1.91	0.62	4.53	3.58	1.5	5.07	2.51	1.45

Peso Unidad Experimental 7 34.9 kg

Número plantas Unidad experimental 7 50

Anexo 7b: Rendimiento Riego por goteo subterráneo (unidad experimental 8) kg

orden	Surco A			Surco B			Surco C			Surco D			Surco E		
	G	M	P	G	M	P	G	M	P	G	M	P	G	M	P
1	0.43	0.75	0.15	0.23	0.18	0.225	0	0.075	0.325	0.3	0	0	0.4	0.14	0.14
2	0.43	0.08	0.025	0.4	0	0.1	0.75	0.175	0.15	0.25	0	0.15	0	0.3	0.325
3	0	0.15	0.15	0.33	0.2	0.001	0	0.425	0.125	0	0.15	0.125	0.3	0.325	0.075
4	0.65	0	0.125	0.15	0.38	0.55	0.4	0.125	0.225	1.5	0.4	0.175	0.175	0.175	0.15
5	0	0.3	0.05	0	0.35	0.175	0	0.175	0.2	0	0.25	0	0.725	0.65	0.3
6	0.15	0.13	0.02	0.65	0	0.025	0	0.325	0.175	0	0.4	0.375	0	1	0.6
7	0.13	0.1	0.1	0.43	0	0.375	0	0.275	0.2	0	0.125	0.525	0.3	0	0.3
	0.33	0.1	0.1	0.43	0.68	0.32	0	0.7	0.975	0.5	0	0.125	0.25	0	0.275
9	0.28	0.08	0.125	0	0.18	0.15	0.73	0.65	0.075	0	0	0.35	0.5	0	0
10	0	0.35	0	0	0.58	0.15	0.23	0.15	0.225	0	0	0.6	0.225	0	0.375
	2.38	2.03	0.845	2.6	2.53	2.071	2.11	3.075	2.675	2.55	1.325	2.425	2.875	2.59	2.54

Peso Unidad Experimental 8 34.6 kg

Número plantas Unidad experimental 8 50

Anexo 7c: Rendimiento Riego por goteo subterráneo (unidad experimental 9) kg

orden	Surco A			Surco B			Surco C			Surco D			Surco E		
	G	M	P	G	M	P	G	M	P	G	M	P	G	M	P
1	0.35	0.3	0	0.4	0.33	0.1	0.9	0.42	0	0.48	0.15	0	0	0.1	0.2
2	0.34	0.32	0.1	0	0.38	0.18	0	0	0.3	0.52	0.3	0.08	0	0.2	0
3	0	0.18	0.05	0.3	0.32	0	0.38	0.2	0	0	0.2	0.15	0	0.2	0
4	0.62	0.21	0	0	0.2	0.38	0	0.25	0	0.8	0	0	0.44	0.15	0
5	0.37	0	0	0.54	0.63	0.24	0.45	0	0.2	0	0.14	0.25	0.7	0.3	0
6	0	0.3	0.14	0.32	0.2	0.22	0	0.25	0.08	0.42	0	0	0.1	0.3	0.08
7	0.44	0.26	0.19	0	0.39	0	0.4	0.6	0.08	0.7	0	0	0.7	0.25	0
8	0.35	0	0.05	0.36	0.26	0	0.5	0.2	0.1	0.44	0	0.34	0.6	0.51	0
9	0	0	0.14	0.52	0.2	0.05	0.2	0.41	0.1	0.26	0	0.18	0.48	0.2	0
10	0.54	0.42	0.08	0	0.3	0.25	0.53	0.25	0	0.53	0	0.3	0.65	0.3	0
	3.01	1.99	0.75	2.44	3.21	1.42	3.36	2.58	0.86	4.15	0.79	1.3	3.67	2.51	0.28

Peso Unidad Experimental 9 32.3 kg

Número plantas Unidad experimental 9 50

G Grandes
M Medianas
P Pequeñas

Anexo 8a. Pruebas de humedecimiento del bulbo del gotero (primer ensayo)

Tiempo (minutos)	Gotero superficial T2		Gotero subterráneo T3	
	Profundidad (m)	Diámetro (m)	Profundidad (m)	Diámetro (m)
45	0,16	0,23	0,31	0,20
90	0,36	0,26	0,45	0,24
135	0,47	0,30	0,54	0,26

Por capilaridad subió 0,05 m

Anexo 8b. Pruebas de humedecimiento del bulbo del gotero (segundo ensayo)

Tiempo (minutos)	Gotero superficial T2		Gotero subterráneo T3	
	Profundidad (m)	Diámetro (m)	Profundidad (m)	Diámetro (m)
30	0.12	0.17	0.30	0.15
60	0.22	0.21	0.41	0.18
90	0.38	0.26	0.50	0.25

Anexo 9a: Resultados de Laboratorio de NPK (primer análisis)



LABORATORIO DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE SUELOS, AGUAS Y BROMATOLOGIA
AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

LASAB

Provincia:	Loja	FECHA DE I:	14 septiembre - 2012
Cantón:	Loja	FECHA DE E:	04-diciembre-2012
Parroquia:		RESPONSABLE:	Ing. Lauro Conde
Sector o Proyecto:			

1. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS

LAB.	CAMP.	Macronutrientes		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
ppm				
621	T4-10	54,5	74,3	219,1
622	T5-10	67,9	113,9	203,7
623	T6-10	69,4	115,6	220,6
624	T7-10	74,5	78,8	165,1
625	T8-10	82,1	59,9	153,3
626	T9-10	88,1	92,1	227,9
627	T4-30	41,8	52,8	114,0
628	T5-30	70,6	76,0	196,4
629	T6-30	53,2	71,6	160,1
630	T7-30	52,4	45,0	176,7
631	T8-30	54,7	55,9	156,2
632	T9-30	56,3	45,7	179,5
633	T4-50	25,5	24,8	45,2
634	T5-50	41,0	32,4	47,2
635	T6-50	48,0	88,8	48,1
636	T7-50	43,2	41,8	81,5
637	T8-50	38,7	36,7	57,0
638	T9-50	48,8	33,8	42,2

Ing. Omar Ojeda Mg. Sc
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Ing. Jackeline Castillo
TÉCNICA LABORATORISTA



Anexo 9b: Resultados de Laboratorio de NPK (segundo análisis)



LABORATORIO DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE SUELOS, AGUAS Y BROMATOLOGIA
AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

LASAB

Provincia:	Loja	FECHA DE I:	22-octubre-2012
Cantón:	Loja	FECHA DE E:	04-diciembre -2012
Parroquia:		RESPONSABLE:	Ing. Lauro Conde
Sector o Proyecto:			

1. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS

LAB.	CAMP.	Macronutrientes		
		N	P	K
		ppm		
663	T4-10	67,9	133,9	455,4
664	T4-30	64,7	72,2	152,5
665	T4-50	52,5	21,8	47,2
666	T5-10	92,9	53,0	220,6
667	T5-30	80,2	43,6	113,0
668	T5-50	72,6	38,1	95,3
669	T7-10	62,0	69,5	190,3
670	T7-30	61,0	45,7	138,1
671	T7-50	52,9	28,9	45,1
672	T8-10	79,5	42,1	167,3
673	T8-30	72,0	39,3	113,0
674	T8-50	55,4	24,9	81,7

Ing. Omar Ojeda Mg. Sc
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Ing. Jackeline Castillo
TÉCNICA LABORATORISTA



Anexo 10: Galería de fotos



Fig. 1: Instalación del cabezal de riego (estudiantes ingeniería agrícola)



Fig. 2: Etapa de floración del cultivo (riego por goteo superficial)



Fig. 3: Cultivo de papa irrigado con riego por goteo subterráneo



Fig. 4: Medición del caudal de los goteros (l/h)



Fig. 4: Medición de la profundidad y diámetro del bulbo húmedo (riego por goteo subterráneo)



Fig. 5: Medición de la profundidad y diámetro del bulbo húmedo (riego por goteo superficial)



Fig. 6: Cosecha de la papa



Fig. 7: Cosecha del cultivo de papa

Anexo 11: Cálculos de las dosificaciones de los fertilizantes

Cálculo de la fertilización para el cultivo de papa

$$N = 150 \text{ kg/ha} \times \text{ciclo} = 30 \text{ kg/ha} \times \text{mes} = 7,5 \text{ kg/ha} \times \text{semana}$$

$$P_2O_5 = 80 \text{ kg/ha} \times \text{ciclo} = 16 \text{ kg/ha} \times \text{mes} = 4 \text{ kg/ha} \times \text{semana}$$

$$K_2O = 100 \text{ kg/ha} \times \text{ciclo} = 20 \text{ kg/ha} \times \text{mes} = 5 \text{ kg/ha} \times \text{semana}$$

Aportación de Nitrato de potasio (KNO_3) (13 – 0 – 46)

$$1 \text{ kg de Nitrato de potasio aporta:} \quad 0,46 \text{ kg de } K_2O$$

$$X = ? \quad 5 \text{ kg de } K_2O$$

$$X = 10,87 \text{ kg de Nitrato de potasio}$$

Aportación de Acido Fosfórico líquido (H_3PO_4) (0 – 85 – 0)

$$1 \text{ kg de ácido fosfórico aporta:} \quad 0,85 \text{ kg de } P_2O_5$$

$$X = ? \quad 4 \text{ kg de } P_2O_5$$

$$X = 4,7 \text{ kg de Acido fosfórico.}$$

Aportación de Nitrógeno N.

$$\text{Aportado por el nitrato de potasio:} \quad 10,87 \text{ kg} * 0,13 = 1,4 \text{ kg de N.}$$

$$\text{La urea debe aportar (46 – 0 – 0)} \quad 7,5 \text{ kg} - 1,4 \text{ kg} = 6,1 \text{ kg de N.}$$

$$1 \text{ kg de urea aporta:} \quad 0,46 \text{ kg de N.}$$

$$X = ? \quad 6,1 \text{ kg de N}$$

$$X = 13,3 \text{ kg de urea}$$

Por semana se debe aportar: 10,87 kg de Nitrato de potasio + 4,7 kg de ácido fosfórico + 13,3 kg de urea por hectárea.

Como la superficie neta del cultivo de experimentación, irrigada con fertirrigación fue de 192 m², producto de 6 unidades experimentales. Las dosificaciones de los fertilizantes son los siguientes:

Nitrato de potasio

10,87 kg/ha de nitrato de potasio * 0,0192 ha = 0,21 kg de Nitrato de potasio

Acido fosfórico

4,7 kg/ha de acido fosfórico * 0,0192 ha = 0,09 kg de ácido fosfórico

Urea

13,3 kg/ha de urea * 0,0192 ha = 0,26 kg de úrea

Es de recalcar que el aporte de fertilizante a través de la fertirrigación por semana es: 0,21 kg de Nitrato de potasio + 0,09 kg de acido fosfórico líquido + 0,26 kg de úrea, que da un total de fertilizante de 0,56 kg.

3.4.9 Preparación de la Solución

Urea

Vagua = (0,26 kg * 1200) / 1033 g/l

V agua = 0,30 litros

Nitrato de Potasio

V agua = (0,21 kg * 1200) / 316 g/l

V agua = 0,80 litros

Acido fosfórico

V agua = (0,09 kg * 1200) / 460 g/l

V agua = 0,23 litros

Cantidad Máxima de Abono en cada Riego

$$A = \frac{V * t_a (S_c - S_r)}{tr}$$

A = Cantidad máxima de abono en cada riego (kg).

V = Volumen de agua aplicado en cada riego (m³).

ta = Tiempo de abonado (horas).

t_r = Tiempo de riego (horas).

S_c = Valor umbral de salinidad del cultivo (g/l).

S_r = Salinidad del agua de riego (g/l).

Volumen de riego

$$Q_d = 960 \text{ l/h} = 0,96 \text{ m}^3/\text{h}$$

$T_r = 135 \text{ minutos} = 2,25 \text{ h}$ (tiempo asumido en base a lecturas del tensiómetro)

$$V = Q_d * t_r = 0,96 \text{ m}^3/\text{h} * 2,25 \text{ h}$$

$$V = 2,16 \text{ m}^3$$

Tiempo de abonado

Para el suministro del fertilizante (fertirrigación), se tomó los últimos 30 minutos

$$T_a = 30 \text{ minutos} = 0,5 \text{ h.}$$

Valor umbral de salinidad del cultivo

Para determinar el valor umbral de salinidad del cultivo se utilizó la siguiente expresión:

$$S_c = 0,64 * C_e$$

S_c = Valor umbral de salinidad del cultivo (g/l).

$C_e = 1,7$ (ds/m), para el caso de la papa (Riego de alta frecuencia, (Pizarro, 1987)

$$C_e = 0,64 * 1,7$$

$$C_e = 1,09 \text{ (g/l).}$$

Salinidad del agua de riego.

El valor de la salinidad del agua de riego, fue de 0,09 g/l, (valor dado por el análisis de laboratorio). La cantidad máxima de abono suministrado por cada riego fue de:

$$A = (2,16 * 0,5) (1,09 - 0,09) / 2,25$$

$$A = 0,48 \text{ kg de fertilizante}$$

Fertilización por Semana

0,56 kg por semana / 0,48 kg por riego = 1 vez por semana