

**EVALUACIÓN DE LAMINAS DE RIEGO POR GOTEO Y TRES DOSIS DE SILICIO  
EN LA PRODUCCIÓN DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) EN EL MUNICIPIO DE  
PASTO, NARIÑO.**

**EVALUATION OF DRIP IRRIGATION MEMBRANES AND THREE DOSES OF  
SILICON, IN POTATO (*Solanum tuberosum* L.) PRODUCTION, IN THE MUNICIPALY  
OF PASTO NARIÑO.**

**BRAYAN ALEXANDER GUEVARA ROSERO**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA  
SAN JUAN DE PASTO**

**2022**

**EVALUACIÓN DE LAMINAS DE RIEGO POR GOTEO Y TRES DOSIS DE SILICIO  
EN LA PRODUCCIÓN DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) EN EL MUNICIPIO DE  
PASTO, NARIÑO.**

**EVALUATION OF DRIP IRRIGATION MEMBRANES AND THREE DOSES OF  
SILICON, IN POTATO (*Solanum tuberosum* L.) PRODUCTION, IN THE MUNICIPALY  
OF PASTO NARIÑO.**

**BRAYAN ALEXANDER GUEVARA ROSERO**

**Director**

**Orlando Benavides Benavides I.A. M.Sc.**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título profesional como  
INGENIERO AGRÓNOMO**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA  
SAN JUAN DE PASTO**

**2022**

## **NOTA DE RESPONSABILIDAD**

Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo son responsabilidad exclusiva del autor.

Artículo 1ro del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966 emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

---

---

**Orlando Benavides Benavides I.A., MSC.**

Firma del Director del Trabajo de Grado

---

**Jairo Mosquera Guerrero I.A., Ph.D.**

Firma del Jurado del Trabajo de Grado

---

**Mauricio Ortiz Botina I.A., MBE.**

Firma del Jurado del Trabajo de Grado

**EVALUACIÓN DE LAMINAS DE RIEGO POR GOTEO Y TRES DOSIS DE SILICIO  
EN LA PRODUCCIÓN DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) EN EL MUNICIPIO DE  
PASTO, NARIÑO.**

**EVALUATION OF DRIP IRRIGATION MEMBRANES AND SILICON DOSAGE IN  
POTATO (*Solanum tuberosum* L.) PRODUCTION AT FINCA LOPE- SENA, PASTO,  
NARIÑO.**

**RESUMEN**

La papa (*Solanum tuberosum* L.), es un cultivo tradicional en la zona andina del Departamento de Nariño, considerado como el tercer productor de papa en Colombia, sin embargo, por ser un tubérculo suculento, en suelos con escasa humedad, resulta importante el aporte de agua de riego al consumo del cultivo. Lo anteriormente planteado, reviste una importancia real, que preocupa a los productores de papa, dada la creciente y marcada variabilidad climática y las posibles contingencias adversas, como plagas y enfermedades e incertidumbre, por resistir una situación negativa, que represente disminución en los ingresos familiares y deterioro de la producción.

En aras de buscar una solución en cuanto a variabilidad climática, se hizo un ensayo en las instalaciones del Centro Internacional de Producción Limpia Lope – SENA – Pasto (Nariño), en el cual se evaluó tres láminas de agua, a través de un sistema de riego por goteo, con tres dosis de silicio; se realizó un análisis económico, en donde se tomaron como referente de rentabilidad, tres indicadores económicos, para determinar la viabilidad de la implementación del sistema de riego por goteo, versus la forma convencional, es decir, el aporte hídrico de la precipitación y se evaluó el rendimiento y la calidad de producción. Se obtuvieron diferencias significativas en cuanto a la producción y calidad, respectivamente, teniendo mejores rendimientos en el ensayo, con rendimientos de hasta 30 t/ha<sup>-1</sup> y predominando la calidad tipo cero.

**Palabras clave:** Calidad, Viabilidad, Variabilidad, Rendimiento.

**EVALUATION OF DRIP IRRIGATION MEMBRANES AND SILICON DOSAGE IN POTATO PRODUCTION (*Solanum tuberosum* L.) IN THE AGRICULTURAL SENA OF THE MUNICIPALITY OF PASTO, NARIÑO**

**EVALUATION OF DRIP IRRIGATION MEMBRANES AND SILICON DOSAGE IN POTATO (*Solanum tuberosum* L.) PRODUCTION AT FINCA LOPE- SENA, PASTO, NARIÑO.**

**ABSTRACT**

The potato (*Solanum tuberosum* L.), is a traditional crop in the Andean zone of the Department of Nariño, considered the third potato producer in Colombia, however, as it is a succulent tuber, in soils with low humidity, it is important to contribution of irrigation water to crop consumption. The aforementioned is of real importance, which worries potato producers, given the growing and marked climatic variability and possible adverse contingencies, such as pests and diseases and uncertainty, for resisting a negative situation, which represents a decrease in family income. and deterioration of production.

In order to find a solution in terms of climate variability, a test was carried out at the facilities of "Centro Internacional de Producción Limpia Lope" - SENA - Pasto (Nariño), in which three sheets of water were evaluated, through a system of drip irrigation, with three doses of silicon; An economic analysis was carried out, where three economic indicators were taken as a benchmark of profitability, to determine the viability of the implementation of the drip irrigation system, versus the conventional form, that is, the water contribution of the precipitation and it was evaluated production yield and quality. Significant differences were obtained in terms of production and quality, respectively, having better yields in the trial, with yields of up to 30 t/ha-1 and type zero quality prevailing above all.

**Keywords:** Quality, Viability, Variability, Yield.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>11</b>
<b>Objetivo General.....</b>	<b>11</b>
<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>11</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>12</b>
LOCALIZACIÓN.....	12
MATERIALES .....	12
Semilla .....	12
LABORES CULTURALES .....	13
Preparación del suelo .....	13
Distancias de siembra .....	13
Siembra .....	13
Instalación del sistema de riego por goteo .....	13
Aporque.....	13
Manejo fitosanitario .....	14
Control de malezas.....	14
Cosecha.....	14
Diseño experimental .....	15
Diseño hidráulico .....	17
Fertilización .....	18
<b>APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS .....</b>	<b>18</b>
Aplicación del riego .....	18
Lámina de riego calculada .....	18

Métodos Estadísticos .....	21
<b>VARIABLES EVALUADAS.....</b>	<b>21</b>
Brotación de tubérculo - semilla .....	22
Rendimiento total.....	22
Clasificación por calidad.....	22
Análisis económico.....	23
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>24</b>
Brotación de tubérculo semilla .....	24
Rendimiento total.....	25
Clasificación por calidad.....	26
Análisis de Varianza Para tres dosis de Silicio con tres láminas de agua.....	28
Gasto de agua.....	33
<b>ANÁLISIS ECONÓMICO.....</b>	<b>34</b>
Indicadores Financieros .....	36
Tasa Interna de Retorno (TIR):.....	36
Tasa Interna de Oportunidad (TIO) .....	37
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>39</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>47</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Resultados de Rendimiento de papa de acuerdo a cada uno de los tratamientos .....	25
Tabla 2. Porcentaje de calidad de acuerdo al rendimiento obtenido por cada tratamiento aplicado .....	27
Tabla 4. Comparación de Promedios de Rendimientos Totales (ton/ha.) en papa Variedad Diacol .....	29
Tabla 5. Comparación de promedios de producción por tratamiento calidad tipo cero en papa..	31
Tabla 6. Comparación de promedios de tubérculos de calidad tipo primera.....	32
Tabla 7. Costos de implementación de un sistema de riego pot goteo para una hectárea papa en el municipio de Pasto.....	34

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Diseño hidráulico y medidas de la unidad experimental.....	<b>15</b>

## INTRODUCCIÓN

La papa, es el tercer cultivo alimenticio más importante del mundo, en términos de consumo humano después del arroz y del trigo (Bonnett, 2019); además, es uno de los cultivos más importantes de Colombia, con un consumo per cápita de 57Kg. El 93% de la producción del país, se destina a consumo en fresco y el 7% a procesamiento industrial. Las variedades más sembradas son: Pastusa Superior, Parda Pastusa, Diacol Capiro (R-12), Única, Rubí y Criolla. (Araque Barrera, 2018). El cultivo de papa en Colombia para el año 2019, alcanzó una producción de 3.694.789 ton., en un área total sembrada de 161.964 ha. (Sanabria, 2022).

La variedad de papa más utilizada en Colombia para procesamiento, es la Diacol Capiro, por sus apropiadas características industriales, como la concentración de azúcares reductores, el rendimiento y la gravedad específica. La variedad R12, además de cumplir los requerimientos exigidos por la industria, presenta características favorables en su comportamiento agronómico y en pos cosecha, según lo menciona (Silva, Albornoz, & Criollo, 2017). Para hacer frente a la escasez de agua, es necesario intervenir con el riego por goteo, el cual, permite un mejor control de la falta de agua y con esa técnica, obtenemos mayores rendimientos productivos y mejor calidad. Es muy importante también, controlar la profundidad de humidificación; con el riego por goteo, es fácil evitar estancamientos hídricos y desperdicio de agua que va en profundidad (Chuchón Prado, 2019).

Con el sistema de riego que se implementó en el ensayo realizado en el Centro Internacional de Producción Limpia Lope – SENA – Pasto (Nariño), se buscó determinar la lámina adecuada para aprovechar el máximo potencial del cultivo, con los requerimientos necesarios, tratando de ser más eficientes en la aplicación, buscando el mejor rendimiento y calidad.

Por otro lado, teniendo en cuenta a (Vieira, 2008) el uso de silicio, ha tenido resultados benéficos en diferentes cultivos, en los cuales se ha inyectado al suelo y de forma foliar, notándose que participa en reacciones químicas en el suelo y en reacciones fisiológicas en la planta.

Por lo expresado anteriormente, el presente proyecto, tuvo como objetivo general, contribuir al desarrollo de conocimientos, sobre el uso eficiente de agua para riego en el cultivo de la papa en el municipio de Pasto (Nariño), de tal forma, que esta investigación, contribuya a enriquecer los conocimientos técnico científicos sobre el desarrollo de este cultivo, bajo tres láminas de riego por goteo; además de conocer el efecto de la lámina de agua aplicada al cultivo, con el que mejor reaccione, su interacción con el nivel de silicio y el sistema de riego, en términos de rendimiento, producción y calidad de papa y por último realizar el análisis económico respectivo.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Enriquecer los conocimientos sobre el uso eficiente de agua a través de un sistema de riego por goteo en el cultivo de la papa en el municipio de Pasto.

### **Objetivos Específicos**

- Evaluar tres diferentes láminas de riego por goteo sobre componentes de rendimiento, producción y clasificación de papa de la variedad Diacol capiro.
- Evaluar el efecto de tres niveles de silicio sobre las mismas variables de producción y clasificación según el tamaño.
- Realizar un análisis de costos de producción con la utilización del sistema de riego por goteo. tecnologías propuestas anteriormente.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **LOCALIZACIÓN**

La investigación se realizó, en el Centro Internacional de Producción Limpia Lope – SENA – Pasto (Nariño), ubicado en el sector urbano de la ciudad en la salida oriente, en el Barrio La Estrella, el cual corresponde a un suelo Vitric Haplustands, con temperatura promedio en la región de 13°C, precipitación media anual de 910,3 mm, humedad relativa del 75% y altura de 2820 msnm (Instituto Geografico Agustin Codazzi, 2020); ubicado en un Bosque Seco Montano Bajo (Bs-mb).

### **MATERIALES**

#### **Semilla**

El material de propagación utilizado, correspondió a tubérculo semilla certificada de la Variedad Diacol Capiro o R12, adquirida en la empresa Semillas de Nariño. Para el sistema de riego, se utilizó cinta de riego con goteros auto compensados y tubería de PVC para la línea principal y laterales; al ser un área pequeña de la unidad experimental, los materiales utilizados fueron en pocas cantidades. Los materiales como tubería, uniones, racores, se compraron en una ferretería de la Ciudad de Pasto. La cinta de riego se adquirió en una empresa dedicada la comercialización de materiales para todo tipo de sistemas de riego.

Respecto a la aplicación del silicio, se utilizó un producto comercial (ver Anexo 1), el cual posee 32% de silicio total y 12.4 % de silicio soluble en agua y se aplicó mediante el Sistema de Ferdin, que consiste en inyectar sobre un punto específico el producto a aplicar. Se utilizó este método para suministrar el insumo y fue la mejor técnica después de descartar la técnica en Drench, aplicada por (Quijano L., 2010), junto a la Fundación Salvadoreña para Investigaciones del Café, significa “Mojado” (idioma inglés) y es una técnica de fertilización, que consiste en aplicar sobre la superficie del suelo, la mezcla de fertilizantes tradicionales disueltos en agua, es decir que, los fertilizantes a diferencia de la técnica Ferdin (que son inyectados), son colocados sobre el suelo, como si nada más se “mojara” el suelo y colocando la misma dosis de fertilizantes o insumos, que la utilizada con Ferdin.

## **LABORES CULTURALES**

### **Preparación del suelo**

Se preparó el terreno con tractor y arado de rastrillo. Se fumigo el área experimental con Glifosato, tres semanas antes del primer pase de tractor, el cual fue con el arado de discos, donde se hicieron dos pases: el primero fue en sentido horizontal y el segundo en sentido vertical. Posteriormente, se hicieron tres pases de rastrillo, dos en sentido vertical y uno en sentido horizontal, después de esto se surcó con cincel a una distancia de 120 cm entre surcos y a una profundidad de 15 cm de la superficie. Durante la etapa de fertilización, las labores para tapar el primer abono y el segundo también, se hicieron mecánicamente con tractor.

### **Distancias de siembra**

Se manejó distancias de siembra de 1.20 m entre surcos y 0.4 m entre plantas, para un total de 27 surcos, con sus respectivos tratamientos, correspondiente a una densidad de siembra de 20.833 plantas/ha.

### **Siembra**

La siembra se hizo de forma manual. Se colocó la semilla a 10 cm de profundidad y se fumigo para desinfección y prevención de *Rizhctonia solani*, bacterias y plagas, que pudieran atacar a los tubérculos-semilla sembrados, inmediatamente se procedió a taparlos.

### **Instalación del sistema de riego por goteo**

Una vez realizada la siembra y teniendo en cuenta el diseño experimental empleado, se procedió a instalar la cinta de riego sobre cada surco, calculando que cada cinta quede exactamente sobre la capa de tierra que se utilizó para tapar el tubérculo semilla.

### **Aporque**

El aporque se realizó con tractor, el cual tenía un apero de vertedera y de llantas angostas, por lo cual, no se presentaron problemas para que transiten en medio de los surcos, no habiendo necesidad de retirar las cintas de riego.

### **Manejo fitosanitario**

Se realizó de acuerdo a las etapas fenológicas del cultivo y de acuerdo a las condiciones climáticas, con aplicaciones por monitoreo y no aplicaciones calendario. En el manejo de plagas, se aplicó Clorpirifos, a los 5 días después de la siembra (dds) para el control de chizas (*Ancognatha scarabaeoides*), Imidacloprid + Cipermetrina a los 21 dds para el control de trosadores de hojas y trips, ente ellos, *Diabrotica sp.*, *Epitrix cucumeris*, *Franclinela occidentalis*.; también Lambdacialotrina + Thiametoxan a los 60 y 75 dds para el control de *Tecia solanivora* y *Premnotrypes vorax*. El manejo de arvenses se realizó a los 20 dds de forma manual y en medio del aporque a los 52 y 64 dds.

En estados iniciales, se aplicó Clorotalonil y Cymoxanil mas Mancozeb. Después de los tres meses se aplicó Difenconazole cada quince días, para el manejo de *Alternaria solani*. Junto con fungicidas para el control de *Phytophthora infestans*, se hicieron aplicaciones de Propineb mas Fluopicolide, Propamocarb, Dimetomorph, Metalaxil mas Mancozeb y Clorotalonil, durante el manejo se aplicaron tres ingredientes. Las aplicaciones de pesticidas, al igual que las de silicio, se hicieron con bomba de espalda de 20 litros inyectado al suelo, a cada planta.

### **Control de malezas**

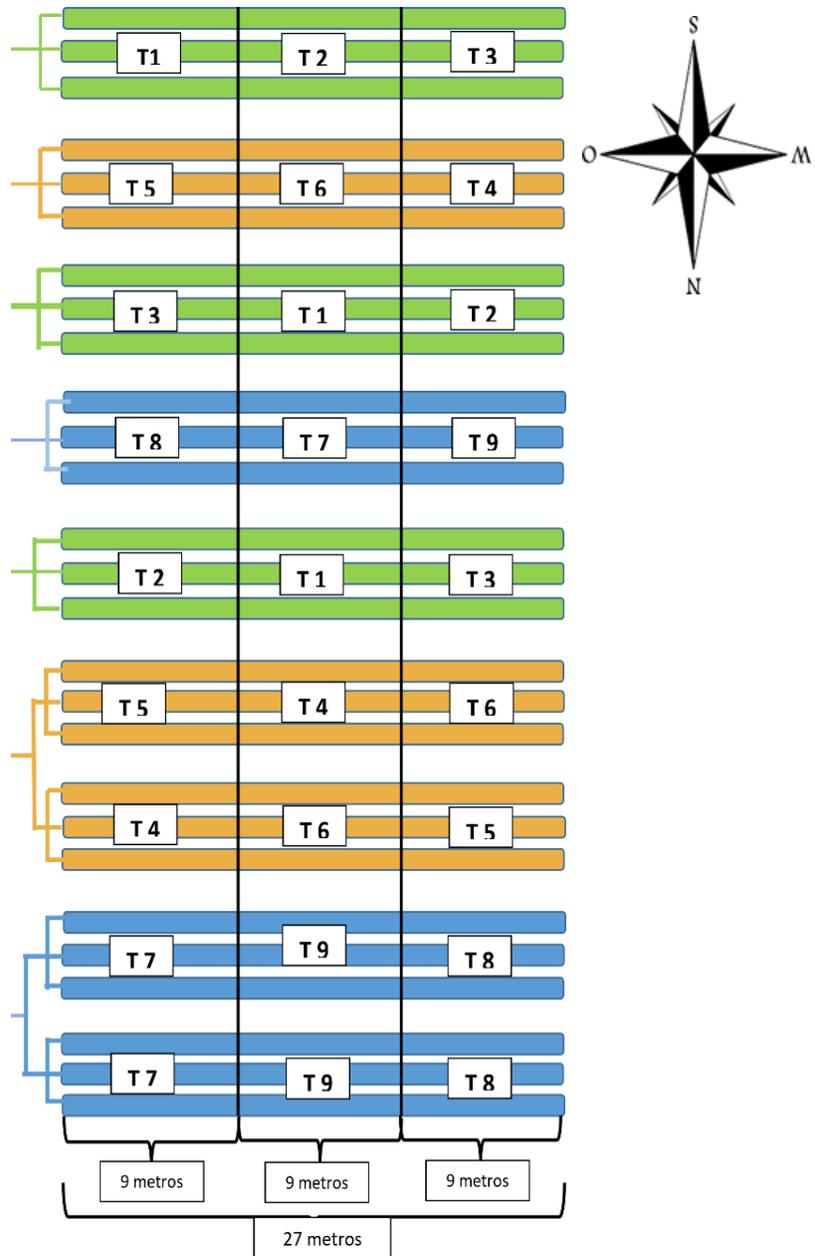
Se realizó control de arvenses, de forma manual, sobre las calles y los surcos a los 15 dds y 40 dds. Se controlaron arvenses como corazón herido (*Clerodendrum thomsoniae* Balf.f.) y lengua de vaca (*Rumex crispus* L) y arvenses de hoja angosta como kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov).

### **Cosecha**

Se llevó a cabo por cada bloque y unidades experimentales, para poder pesar y clasificar la producción obtenida y el respectivo registro y evaluación; se cosechó de forma manual, con herramienta convencional (Cute). Una vez clasificada de acuerdo a cada variable a evaluar, se procedió a empacar en costales de fibra de 50 kg.

### Diseño experimental

Se estableció en un área de 874 m<sup>2</sup>, con dimensiones de 32.4m de ancho por 27 m de largo en el Centro Internacional de Producción Limpia Lope – SENA – Pasto (Nariño). El área experimental correspondió a 27 surcos de 27mts de largo y de acuerdo al diseño experimental se obtuvieron 27 bloques, cada uno con su respectiva dosis de silicio y lámina de agua, cada bloque con 97,2 m<sup>2</sup>, conformado por 3 surcos a 1,2 m de distancia por 9 m de largo (Figura 1).



**Figura 1.** Diseño hidráulico y medidas de la unidad experimental.

**Fuente:** Esta investigación

Se utilizó un Diseño de Bloques Completos al Azar (BCA), representado por nueve tratamientos, correspondientes a tres láminas de agua aplicadas a cada tratamiento (Kc) más la dosis de silicio correspondiente, con tres repeticiones y denominados de la siguiente manera:

**Cuadro 1.** Distribución de tratamientos en campo.

<b>Bloque 1</b> <b>(Tres repeticiones)</b>	<b>Bloque 2</b> <b>(Tres repeticiones)</b>	<b>Bloque 3</b> <b>(Tres repeticiones)</b>
T1 - 100% Si 1 Kc1Si1	T4 - 90% Si 1 Kc2Si1	T7 - 80% Si 1 Kc3Si1
T2 - 100% Si 2 Kc1Si2	T5 - 90% Si 2 Kc2Si2	T8 - 80% Si 2 Kc3Si2
T3 - 100% Si 3 Kc1Si3	T6 - 90% Si 3 Kc2Si3	T9 - 80% Si 3 Kc3Si3

Kc1: 100% de lámina de riego aplicada con factor kc1

Kc2: 100% de lámina de riego aplicada con factor kc 0.9

Kc3: 100% de lámina de riego aplicada con factor kc 0.8

S1: dosis de silicio alta. 30 gr/m<sup>2</sup>

S2: dosis de silicio media. 20 gr/m<sup>2</sup>

S3: dosis de silicio baja 10 gr/m<sup>2</sup>

Cada bloque conformado por tres surcos a 1.20m de distancia y con 9 metros de largo conto con 67 plantas, y el área experimental con 1809 plantas en total.

T1	T2	T3	R1
T5	T6	T4	R1
T3	T1	T2	R2
T8	T7	T9	R1
T2	T1	T3	R3
T5	T4	T6	R2
T4	T6	T5	R3
T7	T9	T8	R2
T7	T9	T8	R3

**Figura 2.** Distribución de tratamientos en campo.

**Fuente:** Esta investigación.

### **Diseño hidráulico**

El diseño hidráulico, se hizo acorde al diseño experimental, en donde una vez realizada la siembra del cultivo de la papa, se procedió a colocar las cintas de riego sobre cada surco. Para llevar el agua hasta la unidad experimental, se utilizó tubería de dos pulgadas, que venía desde el reservorio para manejo agrícola, ubicado a 100 m. del lote hasta el cabezal en la entrada de la unidad experimental.

A partir del cabezal de riego, se redujo la tubería, con racores hasta media pulgada, de aquí se distribuyó la tubería para cada tratamiento, de acuerdo a la lámina de agua correspondiente; a cada surco, el agua se hizo llegar a través de cinta de riego estándar con goteros auto compensados, distanciados 20 cm entre ellos (Figura 1).

## **Fertilización**

Se realizó de acuerdo con antecedentes de respuesta agronómica de la fertilización en Colombia (Cáceres & González, 2015) aplicando  $1150 \text{ kg. ha}^{-1}$  de 15-15-15 más  $450 \text{ Kg. ha}^{-1}$  de Cloruro de Potasio (KCl) en forma fraccionada a la siembra y al aporque, que corresponde a un bulto de semilla por bulto de fertilizante.

Esta labor se realizó en dos aplicaciones: la primera a los 25 días después de la siembra y la segunda a los 60 días después de la siembra, es decir, antes del aporque, en una proporción de 70 % de abono al retape, que es después de la brotación y antes de la emergencia de brotes y 30% al reabone a los 45 dds., en donde la planta está en proceso de diferenciación de estructuras vegetativas. En la primera se utilizó fertilizante 15-15-15 y en el reabone fertilizante químico KCl.

## **APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS**

### **Aplicación del riego**

#### **Lámina de riego calculada**

Es la cantidad de agua aplicada por el sistema de riego por goteo implementado en el ensayo. Para cada tratamiento, se aplicó una lámina de riego distinta y se la determinó con la Fórmula de Uso Consuntivo (Meneses, 2018) Para el criterio de determinación de la lámina a aplicar, se partió de la demanda hídrica registrada para el cultivo de 600mm año.

Para hacer una reducción sustancial, se lo determino al 100% que es el registrado, al 90% que lo determinamos (Kc 2) y una reducción al 80% de la demanda del cultivo que se lo nombro (Kc 3), según lo anotado por (Sánchez-Delgado, 2020), quienes realizo ensayos con déficit hídrico, mediante sistema de fertirriego, donde se manejaron reducciones del 75 % y 50 % del requerimiento hídrico por ciclo, donde encontraron diferencias muy significativas, concluyendo que fueron reducciones muy drásticas de aporte hídrico, por lo tanto, en este ensayo, las reducciones fueron lo suficientemente moderadas, para que signifiquen en cantidad de aporte hídrico mas no arriesgar el rendimiento del cultivo.

**UC:** Agua consumida por el cultivo, para satisfacer la evapotranspiración y para la formación de tejidos vegetales de las plantas (Meneses, 2018) donde:

**Kc:** Coeficiente de cultivo.

**Eva:** evaporación de la zona donde se realizó el ensayo.

**Área:** área donde va a afectar el riego aplicado.

#### **Fórmula de uso consuntivo**

- **UC** = Uso consuntivo  
$$UC = \text{Eva} \times \text{Área} \times Kc$$
- **Eva** = Evaporación promedia de la zona 3 mm
- **Área** = Por surco útil para riego  
$$= (25 \times 0.60\text{m}) = 15\text{m}^2$$
- **Lm** = Lámina de agua a aplicar.  
$$Lm = 1; Lm = 0,90 \text{ y } Lm = 0.80$$

Para cada lamina de riego, se tuvo una llave de paso de agua; al ser tres láminas de agua distintas, se distribuyeron tres llaves de paso, cada llave repartía agua a nueve surcos, de esta forma se pudo modular, que el agua llegue a los respectivos tratamientos de acuerdo al tiempo de riego para cada uno. Las llaves de paso de agua, se activaban una por una, por cada tiempo de riego; una vez terminaba el tiempo de 20 minutos, se pasaba a 18 minutos para no perder presión en los goteros.

Las aplicaciones de riego, se hicieron cuando el tensiómetro de punta de cerámica, marcaba lectura inferior a 15 cbars; se tomaba registros todas las mañanas a partir del primer día de siembra, aunque el tensiómetro marcara menos humedad en el suelo, solo se aplicaba el tiempo determinado correspondiente para cada tratamiento; después de hacer la aplicación de riego, se tomaba lectura al siguiente día.

El riego por goteo en cada uno de los tratamientos, se aplicó, cuando se observó, que el suelo se encontraba en déficit hídrico, de acuerdo al cultivo de papa, es decir a menos de 30 cbars, (King,

Stark, & Neibling, 2020), debido a la profundidad de las raíces del suelo, que se estiman para entre 8 y 18 pulgadas, para esto se hizo uso de un tensiómetro de punta de cerámica fija de 21 pulgadas.

Se tomaron lecturas del tensiómetro, en mínimo 5 partes diferentes de la unidad experimental y si el tensiómetro marcaba menos de 15 cbars; se procedía a abrir las llaves de paso para cada tratamiento una a la vez, primero el T1 luego el T2 y por último el T3.

Se instaló un sistema de riego por goteo, con cintas de riego con goteros auto compensados, para suministrar tres láminas de riego con base en los  $K_c=1$ ;  $K_c=0.90$  y  $K_c= 0.80$  del requerimiento hídrico del cultivo partiendo de 600mm.

La presión de trabajo fue de 20psi, que se mantuvo durante todo el ensayo.

La lámina de riego, se calculó con base en la fórmula de uso consuntivo:

A) **Lámina 1**;  $k_c = 1.0$  (de la evaporación)

$$UC = 0.003 \times (25m \times 1m) \times 1.00 = 0.075m^3 = 75 \text{ mm}$$

#### **Tiempo de riego (Tr)**

Goteros útiles cada 0.20m (25m + 0.20m para un total de 125 goteros).

Emisión del gotero 2.0mm/hora de acuerdo a caudal del sistema de riego modulado por llaves de paso.

Caudal de los goteros  $125 \times 2.0 \text{ mm/hora} = 250 \text{ mm /por hora}$

$$Tr = 75 \times 60 / 250 = 18 \text{ minutos}$$

B) **Lámina 2**;  $k_c=0.90$  (de la evaporación)

$$UC = 0.003 \times (25m \times 1.00m) \times .90 = 0.0675m^3 = 67.5 \text{ m}$$

#### **Tiempo de riego (Tr):**

Goteros útiles cada 0.20m (25m + 0.20m para un total de 125 goteros).

Emisión del gotero 2.0mm/hora

Caudal de los goteros  $125 \times 2.0 \text{ mm/hora} = 250 \text{ mm /por hora}$

$$Tr = 67.5 \times 60 / 250 = 16.2 \text{ minutos}$$

C) **Lámina 3**  $k_c = 0.80$  (de la evaporación):

$$UC = 0.003 \times (25\text{m} \times 1.00\text{m}) \times .80 = 0.06\text{m}^3 = 60\text{mm}$$

### **Tiempo de riego (Tr)**

Goteros útiles cada 0.20m (25m + 0.20m para un total de 125 goteros).

Emisión del gotero 2.0mm/hora

Caudal de los goteros  $125 \times 2.0 \text{ mm/hora} = 250 \text{ mm /por hora}$

$$Tr = 60 \times 60 / 250 = 14.4 \text{ minutos}$$

### **Aplicación de Sí**

La aplicación de Silicio se realizó, utilizando el Sistema Ferdin, en la etapa de pre-floración y en la etapa de llenado, respectivamente, en cada tratamiento y de acuerdo al diseño experimental.

La dosis de Silicio se determinó, con base a la ficha técnica del producto y su formulación para el cultivo de papa. Las dosis utilizadas fueron: dosis alta  $30\text{gr/m}^2$ , dosis media  $20\text{gr/m}^2$  y dosis baja  $10\text{gr/m}^2$ . Se calibró la bomba de espalda para cada tratamiento de acuerdo al área de cultivo.

Las distribuciones de los bloques y las unidades experimentales, se ubicaron de acuerdo a un resultado obtenido por sorteo de papeletas, donde en una caja de cartón se colocó cada tratamiento y cada repetición y se ubicaron en el orden de salida.

### **Métodos Estadísticos**

Las evaluaciones sobre Componentes de Rendimiento, se sometieron a un Análisis de Varianza correspondiente al Diseño de Bloques Completos al Azar y en los tratamientos donde se obtuvo diferencias significativas, se les determinó con una Prueba de Significancia de Tukey; también se realizaron Correlaciones Lineales de Pearson, para determinar los efectos posibles entre los Componentes de Rendimiento.

### **VARIABLES EVALUADAS**

### **Brotación de tubérculo - semilla.**

Se evaluó en todos los tratamientos, a los 20 días después de la siembra. Se evaluó en cada bloque y repetición, contando número de sitios sembrados (67 por cada unidad experimental) y plantas emergidas por cada sitio (67sitios). Posteriormente, de acuerdo con cada tratamiento se aplicó la fórmula utilizada por (Materano, y otros, 2011).

$$\% = \frac{c}{b} 100$$

**%**= Porcentaje de brotación de tubérculos semilla.

**c**= Tubérculos – semillas sembrados.

**b**= Tubérculos – semillas brotados.

### **Rendimiento total**

Se valoró el rendimiento total de producción, en kilogramos para cada uno de los bloques y sus repeticiones según el tratamiento. Para mayor facilidad, se cosechó cada bloque para tener un solo resultado, se juntaron con el producto de las repeticiones para promediar y poder hacer el cálculo con regla de tres simple, para calcular el rendimiento por hectárea.

### **Clasificación por calidad**

Se clasificó la calidad, de forma manual, a través de la observación. Para cada tratamiento, la clasificación se hizo, previa inducción en cuanto a calidad de papa, utilizando el criterio de clasificación de acuerdo con (Buitrago & Peñuela, 2018)

Cero (mayor a 150 g) > a 8 cm de diámetro.

Primera (120-150 gramos) entre 8 y 6 cm de diámetro.

Segunda (70-119) entre 6 y 4 cm de diámetro.

Tercera (40-69 gramos) menor a 4 cm de diámetro.

Esta clasificación, se utiliza para almacenamiento y empaque, según los requerimientos del mercado, los cuales pueden ser, tubérculo para la industria y tubérculo de papa para consumo en fresco. La producción ideal para la industria, es la papa de primera clasificación, es decir entre 120

y 150 gramos y para tubérculo-semilla la papa de segunda, con la cual, se asegura uniformidad en el cultivo en desarrollo y en producción.

### **Análisis económico**

Para análisis económico y financiero, se tuvo en cuenta la Tasa Interna de Oportunidad (TIO), Tasa Interna de retorno (TIR). Con estos indicadores económicos, se determinó la viabilidad de implementar el sistema de riego por goteo, con relación al método tradicional, en donde se establecen dos periodos de siembra, buscando concordar con la precipitación según la región productora.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Brotación de tubérculo semilla

El porcentaje de brotación de tubérculos semilla, que se obtuvo en todo el ensayo, fue del 100% y fue evaluada a los 25 días después de siembra, según lo recomendado por (Solano G., 2018). El éxito de un cultivo, está determinado por la calidad del tubérculo semilla utilizado; en esta investigación, se utilizó tubérculo-semilla de calidad certificada, producida por la empresa nariñense, Semillas de Nariño.

$$\% = \frac{c}{b} 100$$

%= porcentaje de brotación de tubérculos - semilla.

**c**= tubérculos – semillas sembrados.

**b**= tubérculos – semillas brotados.

$$\% = \frac{50}{50} 100$$

$$\% = 100$$

La calidad del tubérculo - semilla utilizado, se ve reflejada, en el porcentaje de brotación, obtenido en el ensayo, puesto que de todos los tubérculos que se sembraron, brotaron y emergieron, lo que está relacionado con (Espitia M., y otros, 2021) quienes señalan que el material genético utilizado para la propagación (semillas o tallos subterráneos o tubérculos), es determinante en el rendimiento del cultivo. Aunque se mejore la producción mediante la implementación de diferentes prácticas agronómicas, si la semilla no es de calidad en cuanto a sanidad, pureza genética, ausencia de deformidades o daño mecánico y desarrollo fisiológico, los rendimientos se verán seriamente afectados.

Además, mencionan los mismos autores, que un buen rendimiento se puede obtener con una variedad productiva adaptada a la zona, un plan de fertilización acorde con la disponibilidad de nutrientes del suelo y los requerimientos del cultivo, un suministro de agua oportuno y ajustado a las necesidades de las plantas y un control adecuado de insectos-plaga y enfermedades, pero, ante todo con una semilla de calidad.

Por tal razón, se eligió la variedad Diacol Capiro, proveniente de tubérculo-semilla certificada, debido a que el proceso de producción de semilla certificada, garantiza la identidad genética de la variedad a lo largo de los ciclos del cultivo y previene la diseminación de plagas y enfermedades. Además, el objetivo, es que al final del proceso, el agricultor disponga de un material con la calidad genética, fitosanitaria, fisiológica y física exigida. Esta calidad debe ser declarada por quien produce la semilla. (Espitia M., y otros, 2021).

### **Rendimiento total**

Se presentan los resultados de los rendimientos obtenidos en cada uno de los tratamientos, los cuales se presentan en toneladas por hectárea; la producción obtenida, corresponde de acuerdo a la lámina de riego y la dosis de silicio aplicada a cada tratamiento. En la tabla 1, el tratamiento con mejor producción fue el tratamiento dos (T2), el cual contó con una lámina de riego de 75mm y una dosis de silicio media, es decir 20gr/m<sup>2</sup>.

**Tabla 1.** Resultados de Rendimiento de papa de acuerdo a cada uno de los tratamientos aplicados.

<b>Tratamiento</b>	<b>Lámina de riego</b>	<b>Dosis de Silicio</b>	<b>Producción en ton/ ha</b>
T1		Alto	22,94
T2	75 mm	Medio	27,17
T3		Bajo	22,49
T4		Alto	20,40
T5	68 mm	Medio	19,53
T6		Bajo	21,34
T7		Alto	20,09
T8	60 mm	Medio	18,72
T9		Bajo	20,09

**Fuente:** Esta investigación

Con la aplicación de 75 mm de lámina de riego y la dosis de silicio media (T2) se obtuvo un rendimiento de 27.17 ton/ha<sup>-1</sup>.

Los resultados afirman, que al aplicar silicio inyectado con bomba, mediante el método de Ferdin y con una lámina de riego de 75mm, presenta mayor número de tubérculos en la cosecha (27,17 ton/ha<sup>-1</sup>), lo cual es consecuente con los resultados de rendimiento de acuerdo con (Salazar, 2016), quien señala que, el silicio tiene acción sinérgica con el calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), zinc (Zn) y molibdeno (Mo). Los seis elementos, presentan una acción sinérgica, optimizando el desarrollo del cultivo y producción de cosecha, también mejorando la vida media de las cosechas percederas.

Los tratamientos (T5 y T8) con menor lamina de riego (68 mm y 60mm) y con dosis media de silicio (20gr/m<sup>2</sup>), mostraron los más bajos rendimientos. Con esto se deduce, que a medida que se disminuye la lámina de riego y la dosis de silicio aplicada, se reducen los valores promedio de productividad.

Así mismo, con los tratamientos T1,T3,T4,T6,T7 y T9, se demuestra la eficiencia de la planta, al obtenerse rendimientos similares entre tratamientos, teniendo en cuenta su condición hídrica en un rango de aplicación de riego por goteo de entre 60 y 75 mm.

El silicio, aunque no es considerado un elemento esencial en las plantas según lo manifiesta (Calderón Revelo, 2022), además señala que, sí se han manifestado respuestas negativas sin la aplicación de éste elemento en el desarrollo de las plantas, por lo tanto, en el ensayo con la aplicación de silicio, se atribuye resultados más altos de rendimiento, así como cantidad, calidad, diámetro y peso de tubérculos.

Varios ensayos experimentales en diferentes cultivos, han demostrado claramente los beneficios de la aplicación de silicio, para la productividad y calidad de los cultivos, (Datnoff, Snyder, & Korndorfer, 2001).

### **Clasificación por calidad**

De cada uno de los tratamientos del ensayo, se clasificó de acuerdo con las diferentes calidades. Dentro de la clasificación, se obtuvo papa tipo cero, de primera y de segunda; para cada uno de los

nueve tratamientos, se clasificó en porcentaje, las calidades de papa obtenidas. En la Tabla 2, se observa el rendimiento total de cada tratamiento y dentro de cada valor de producción, la calidad obtenida en cada uno de ellos.

**Tabla 2.** Porcentaje de calidad de acuerdo al rendimiento obtenido por cada tratamiento aplicado.

TRAT.	LM	DOSIS DE SILICIO	RENDIMIENTO (ton/ ha)	CLASIFICACIÓN DE PAPA					
				CERO Rto ton / ha	%	PRIMERA Rto ton / ha	%	SEGUNDA Rto ton / ha	%
T1		Alto	22,94	7,85	34,23	7,57	32,99	7,52	32,79
T2	75 mm	Medio	27,17	9,69	35,64	10,44	38,42	7,05	25,94
T3		Bajo	22,49	5,41	24,03	11,81	52,53	5,27	23,44
T4		Alto	20,40	6,72	32,96	8,26	40,48	5,42	26,56
T5	68 mm	Medio	19,53	5,32	27,24	7,66	39,19	6,56	33,56
T6		Bajo	21,34	6,17	28,93	8,66	40,59	6,51	30,49
T7		Alto	20,09	5,16	25,69	9,34	46,49	5,59	27,81
T8	60 mm	Medio	18,72	5,43	29,03	8,71	46,53	4,58	24,44
T9		Bajo	20,09	4,29	21,34	7,66	38,13	8,14	40,53

**Fuente:** Esta investigación

En los resultados, se observa, que todos los tratamientos ensayados, tuvieron producciones en todas las calidades que se evaluaron, aunque en los mejores rendimientos en calidad, se los presentaron en los primeros tratamientos, donde la lámina de riego fue la más alta, es decir 75mm. En la Tabla 3, se observan las diferencias significativas en este factor; de la misma forma en la Tabla 5 se menciona los resultados de clasificación tipo cero.

En la Tabla 2, se ilustra la distribución de los tubérculos en función de su tamaño, situación muy importante, observándose que el tamaño que predominó en el presente trabajo, fue el de primera categoría, siendo el tratamiento T8 con un porcentaje del 46.53% y un rendimiento bajo de 8,71 Ton/Ha<sup>-1</sup> (Primera:120-150 gramos y entre 8 y 6 cm de diámetro) y con una lámina de riego de 60 mm y una dosis de silicio media (dosis media 20gr/m<sup>2</sup>), considerándose el tamaño del tubérculo óptimo para su comercialización.

Se observa el promedio de la clasificación por categoría, demostrando que la categoría 1 predomina como la principal, en obtener mayor cantidad de tubérculos de acuerdo a su peso estándar de 120 a 150 gramos. En segundo lugar, categoría 2, se encuentra dentro del estándar aceptable como tubérculo con un de peso 119-70 gramos; independientemente del tratamiento, la calidad de primera categoría, predomina en porcentaje de rendimiento, es decir el porcentaje de papa de primera categoría, es más alto que la papa de categoría tipo cero y categoría de segunda. Lo anterior, es rectificado por lo que afirma (Landell, 2003) quien concluye, que aplicaciones con silicio tienen efecto en el sistema de la planta, ya que refuerza la capacidad de almacenamiento y distribución de los carbohidratos requeridos para el crecimiento y producción de cosecha.

### **Análisis de Varianza Para tres dosis de Silicio con tres láminas de agua.**

En la Tabla 3, se determina la diferencia significativa para los rendimientos totales, en lo que respecta a lámina de riego. Esta variable presentó diferencias significativas, con respecto a los demás tratamientos, donde se obtuvo un Rendimiento, que sobresalió con respecto a la Interacción Lamina de Riego y Dosis de Silicio. De esta misma manera, se determinó diferencias significativas para los Porcentajes de papa de primera, en la Correlación entre Intensidad de Riego y Dosis de silicio.

**Tabla 3. Análisis de Varianza Para tres dosis de Silicio con tres láminas de agua.**

<b>FUENTES DE VARIACIÓN</b>	<b>RTO. TON / HA</b>	<b>PAPA CERO %</b>	<b>PAPA PRIMERO</b>	<b>F TABULADA (0.05)</b>
Repeticiones	14.61 Ns	12.705 Ns	74.48 Ns	3.63
Tratamientos	19.43 Ns	59.67 Ns	79.53 Ns	2.59

Láminas de riego	58.23 *	37.815 Ns	66.37 Ns	3.63
Dosis de silicio	1.08 Ns	82.26 Ns	19.59 Ns	3.63
Intensidad X dosis	11.71 Ns	59.315 Ns	136.09 *	3.01
Error	8.39	57.16	32.64	

\*Diferencias significativas (P<0.05).

**Fuente:** Esta investigación

Para los factores donde presentan diferencias significativas, como Rendimientos y papa de Primera Calidad, en la (Tabla 4), se compara Rendimientos Totales, para determinar que tratamiento fue el de mejor resultado para la variable Rendimiento y en la Tabla 6 se presentan los promedios de papa calidad tipo primera, que también presento diferencias significativas.

**Tabla 4.** Comparación de Promedios de Rendimientos Totales (ton/ha.) en papa Variedad Diacol Capiro, con tres láminas de riego por goteo y tres dosis de Silicio.

Láminas de riego	(DOSIS DE SILICIO)			Prom. láminas de riego B
	ALTA	MEDIA	BAJA	
1; Lm=75mm	22.489 A	27.242 A	22.939 A	24.223 A
2; Lm=68mm	21.340 A	19.534 A	20.365 A	20.413 B
3; Lm= 60mm	20.189 A	18.716 A	20.085 A	19.663 B
<b>Promedio dosis de Silicio</b>	21.339 A	21.807 A	21.129 A	

Tukey láminas de riego 0.05 = 3.52

\*Letras iguales indican diferencias no significativas

**Fuente:** Esta investigación

En la Tabla 4, cuando la lámina de riego fue de 75mm/surco, las diferencias fueron significativas respecto a las láminas de 68 y 60mm. De acuerdo con (Haverkort, 2003) un buen cultivo de papa con un ciclo de 120 a 150 días, requiere entre 600 a 800 mm de agua, dependiendo de las condiciones climáticas y de la duración del periodo vegetativo, es decir se suplió el requerimiento hídrico del cultivo.

Teniendo en cuenta los resultados mencionados anteriormente, concuerdan con lo reportado por (Fageria, Baligar, & Clark, 2006) donde encontraron, que un adecuado suministro de agua antes de la tuberización, incrementa el número de tubérculos por planta y adicionalmente el tamaño del tubérculo. Así mismo, (Egúsqüiza, 2000) afirma que existe una relación positiva y directa entre la cantidad de agua que dispone la planta y el rendimiento comercial.

Lo anterior, concierda con investigaciones realizadas por (Teran, 2006), de la mano con la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – CORPOICA, donde, en condiciones de la Sabana de Bogotá, midieron un aumento proporcional de hasta un 125% en los rendimientos de las variedades Diacol Capiro e ICA Única, en función de la lámina de agua aplicada, determinando rendimientos óptimos para 461mm y 457mm de agua regada.

No obstante, Peña, (2013) hace hincapié, sobre la importancia del agua, como un elemento primordial para el crecimiento de la planta y que el agua es indispensable para la fotosíntesis, la respiración y otras funciones fisiológicas. De la misma forma, (Sepulveda R. & Lopez T., 2000), concuerdan, en que el agua, es el medio de transporte de minerales y productos de la fotosíntesis, necesarios para la turgencia de las células de la planta, transpiración y regulación de la temperatura de las hojas.

Además, el consumo de agua por parte del cultivo, es ampliamente influenciado por las condiciones climáticas, así como el rendimiento final, puede variar ampliamente de acuerdo a la disponibilidad de agua ya sea de precipitación o regadío (Peña, 2013), en la Tabla 5, se comparan porcentajes promedios de papa calidad tipo cero, donde no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos y las interacciones entre estos mismos.

**Tabla 5.** Comparación de promedios de producción por tratamiento calidad tipo cero en papa Variedad Diacol Capiro con tres láminas de riego y tres dosis de Silicio.

Láminas de riego	(DOSIS DE SILICIO)			Prom. láminas de riego B
	ALTA	MEDIA	BAJA	
1; Lm=75mm	34.66 A	31.16 A	24.33 A	30.88 A
2; Lm=68mm	31.33 A	27.00 A	30.66 A	29.66 A
3; Lm=60mm	26.00 A	32.66 A	22.00 A	26.88 A
<b>Promedio dosis de Silicio</b>	30.66 A	31.11 A	25.66 A	

\*Letras iguales indican diferencias no significativas

**Fuente:** Esta investigación

Así como la deficiencia del agua, el exceso de agua en el suelo, también puede comprometer el crecimiento vegetativo de las plantas de papa y de este modo causar pérdidas significativas en el rendimiento de tubérculos, concluye (Kang, Liang, Hu, & Zhang, 2004). Se sabe que la papa es muy sensible al encharcamiento, tal es que, un riego con aplicaciones muy frecuentes para mantener la disponibilidad de agua del suelo mayor que 90%, mostró una tendencia a disminuir la producción de este cultivo, según lo informado por (Woli, Hoogenboom, & Alva, 2016), destacando la importancia de controlar la humedad del suelo para obtener resultados positivos.

(Vallejo B. & Alvarado, 2011) indican que el uso de Silicio al suelo, optimiza la nutrición en elementos, como fósforo, potasio y zinc. De esta manera, se pudo interpretar, que, teniendo una mejor disponibilidad de elementos minerales en el suelo, las plantas pudieron expresar su potencial. (Debona, Rodrigues, & Datnoff, 2017), mencionan, que el efecto del Silicio al reducir enfermedades, provoca un aumento en el rendimiento.

En la Tabla 6, se determina, que con las láminas de riego de 75 y 68 mm no hubo diferencias significativas, pero ambos tratamientos mostraron mayor promedio respecto a la lámina de 60 mm, para los porcentajes de papa de primera, con la dosis baja de Silicio.

**Tabla 6.** Comparación de promedios de tubérculos de calidad tipo primera.

Láminas de riego	DOSIS DE SILICIO)			Prom. láminas de riego B
	ALTA	MEDIA	BAJA	
1; Lm=75mm	25.33 A	28.00 A	34.16 A	29.33 A
2; Lm=68mm	36.33 A	34.66 A	33.00 A	34.66 A
3; Lm=60mm	36.00 A	35.00 A	22.33 B	31.11 A
<b>Promedio dosis de Silicio</b>	32.55 A	32.55 A	30.00 A	

Tukey interacción A x B = 12.03

\*Letras iguales indican diferencias no significativas

**Fuente:** Esta investigación

En la investigación realizada por Sánchez-Delgado, (2020) se observaron resultados similares, donde también sometieron a plantas de papa en agua a diferentes tensiones en el suelo y verificó, que la reducción en el agua de riego, es decir, mayores tensiones, afectan negativamente el crecimiento de tubérculos.

(Benoit & Grant, 1985) concluyeron, que no siempre es la falta de lluvias la limitante para obtener rendimientos óptimos, sino el patrón de distribución irregular de las lluvias durante el año, lo que provoca que el cultivo pase por períodos tanto de exceso como de escasez de agua. La cantidad óptima de agua requerida por el cultivo, depende también de la variedad y 600 mm de agua distribuida en todo su ciclo vegetativo, pueden ser suficientes, teniendo en cuenta que las mayores demandas se dan en las etapas de brotación y crecimiento de los tubérculos, por lo que es recomendable, efectuar riegos suplementarios en los períodos críticos cuando no se presenten lluvias (Román & Hurtado, 2002).

Respecto al Silicio, se ve reflejado su efecto sobre la producción, dado que la aplicación exógena al suelo de productos a base de Silicio químicamente activo, restaura la degradación y optimiza la fertilidad del suelo, a través de mejorar sus propiedades físicas y químicas, al mantener los

nutrientes en forma disponible para la planta y mejorar la capacidad de intercambio catiónico. (Muñoz, 2020).

De esta manera, en el cultivo de papa, Muñoz, (2020) ha comprobado, que la fertilización con Silicio, presenta una excelente resistencia contra enfermedades del follaje. Por otra parte, al acumularse debajo de los tejidos epidérmicos de la planta, como la cutícula de las hojas, tallos y frutos, ofrece una “Resistencia Mecánica” al ataque de plagas como trips, áfidos y mosca blanca, ya que forma moléculas complejas, junto con otros elementos presentes en las plantas.

Lo anterior se corrobora, con estudios realizados por (Castellanos González, Mello Prado, & Silva Campos, 2015) donde además de lograr incrementos entre 2 y 3 toneladas por hectárea en la producción de papa en lotes experimentales y en lotes comerciales, evidenció un mejor comportamiento, frente al ataque de enfermedades como *Phytophthora infestans* y tolerancia a problemas de heladas y extrema sequía. Así, Muñoz, (2020) concluye, que el Silicio incrementa la resistencia de la planta a condiciones adversas del clima (estrés y heladas) y mejora el aprovechamiento del agua en un 30 a 40%.

(Nwugo & Huerta, 2008) destacan al Silicio, la característica de contribuir a reducir la pérdida de agua por transpiración y aumentar su eficiencia, dado a la formación de una capa densa de Sílice encontrada bajo la cutícula, además, sirviendo como una barrera mecánica a la penetración de patógenos y herbívoros masticadores.

### **Gasto de agua**

Durante el periodo del ensayo, de acuerdo con el comportamiento climatológico, referente a precipitación y evaporación, en todo el proceso de desarrollo del cultivo, hubo aplicación de agua, siempre como respuesta a la capacidad de campo del cultivo, monitoreado por tensiómetros colocados en cada tratamiento. En ese sentido, se aplicó agua, en las ocasiones en que, por necesidades del cultivo de acuerdo a su desarrollo fenológico, estaba programado dependiendo, del balance hídrico diario, donde en el primer semestre se aplicó agua durante 64 días y en el segundo semestre 62 días.

A continuación, se muestra el volumen total de agua (L/tratamiento), en los tres Kc evaluados durante el ciclo total del cultivo, observando el consumo de agua de las plantas en el ciclo de 180 días, discriminado en el semestre estudiado.

### Semestre A

Lámina 1 75 mm; volumen total  $75 \times 64 = 4992$  mm

Lámina 2 68mm; volumen total  $68 \times 64 = 4352$  mm

Lámina 3 60 mm; volumen total  $60 \times 64 = 3840$  mm

Como se puede observar, existió una gran diferencia entre los diferentes niveles de uso consuntivo (Kc) para cada uno de los tratamientos, observándose como era uno de los objetivos de la investigación, que se pudiera dilucidar la relación de volumen de agua y respuesta del cultivo, con en el volumen aplicado.

## ANÁLISIS ECONÓMICO

Para el análisis económico y con base en los indicadores (Tabla 7), se tomó como referente, el costo que implica un sistema de riego por goteo en una hectárea de papa, el cual es de \$ 2.460.500, a enero de 2022, donde el precio del dólar oscila en \$ 4000 M/Cte., sin embargo, este costo refiere para 3 ciclos de cultivo, por lo tanto, para un solo ciclo el costo corresponde a \$ 820.000 ajustados al 1000.

**Tabla 7.** Costos de implementación de un sistema de riego pot goteo para una hectárea papa en el municipio de Pasto.

Detalle	Unidades	Valor en pesos unidad	Valor total
Tubo de 1 "	26	15.000	390.000
Llaves de paso 2"	6	12.000	72.000
Tubo PVC 2"	13	40.000	520.000
Unión T de 1"	8	1.500	12.000

Reductor de 2" a 1"	4	7.500	30.000
Unión de 2"	8	3.500	28.000
Unión T de 2"	7	7.500	52.500
Codo de 2"	2	4.500	9.000
Codo de 1 "	8	1.500	12.000
Cinta de riego con goteros mt	8400	140	1.176.000
Jornales	4	25.000	100.000
Soldadura para PVC ¼	2	40.000	80.000
Limpiador par tubos PVC galón	3	25.000	75.000
		<b>Total</b>	<b>\$2.460.500</b>

---

**Fuente:** Esta investigación

Otro factor para tener en cuenta en los costos de producción, que, según (Rodríguez, Arrendondo, Anastacio, Aguirre, & Sonco, 2021) es la distancia de siembra utilizada, de 40 cm. entre planta, que produjo la mayor cantidad de tubérculos de papa tipo comercial (18.730 Kg/ha<sup>-1</sup>).

El tamaño del tubérculo-semilla, también influye en el costo de producción del cultivo, aunque en menor grado que la distancia de siembra, notándose su influencia, en el rendimiento de tubérculos tipo primera y cuarta. Se indica, que el mayor rendimiento de tubérculos de papa tipo comercial, se obtuvo cuando se utilizaron tubérculos-semilla de un peso de 45 g según lo señalan (Espitia M., y otros, 2021), existiendo cierta tendencia a disminuir los rendimientos, si se utiliza tubérculo-semilla por encima o por debajo de este gramaje.

Muñoz, (2020) determinó, que los costos de producción por hectárea para el Municipio de Pasto, figuran en \$12.519.000, donde comprende los costos, desde la preparación del terreno, la cosecha y el empaque, junto con transporte hasta el pie de finca, donde comúnmente se realiza la venta del producto, al igual que mano de obra e insumos. Con lo anterior, los costos de producción actuales con sistema de riego por goteo para una hectárea, son de \$13.339.000.

Con el panorama actual, se hace hincapié, a que gracias a los efectos de la crisis de la pandemia que se vivió a nivel mundial, se tuvieron consecuencias que repercutieron y se vieron reflejadas

en desequilibrio de la demanda de muchos productos de consumo, como es en este caso, el consumo de papa, ya que por la falta de demanda, los precios de venta se cayeron, llegando a costar \$ 200 el kilo de papa para el consumo, lo cual es un caso atípico y baja el promedio de utilidad; del mismo modo, en los primeros cuatro meses de año 2022, se presentó un pico atípico y elevado de acuerdo al valor de venta del kilo de papa, que fue hasta de \$ 3000; sumado a esto, también se enfrentó la crisis de la devaluación del peso colombiano, con respecto al valor del dólar, que si en nuestro análisis económico lo tuviéramos en cuenta, nuestros datos serían totalmente desfasados e incoherentes y de acuerdo con (Villegas Z. & Ramos S., 2014).

Estadísticamente, para cálculo de análisis de costos promedio, no se tiene en cuenta los picos en la toma de datos, tanto picos atípicos alto, como picos atípicos bajos, ya que en el procesamiento de datos, los resultados se sobrepasarían de los rangos.

### Indicadores Financieros

**Tasa Interna de Retorno (TIR):** Se calculó la rentabilidad de la inversión para sembrar papa variedad Diacol Capiro, con un sistema de riego por goteo.

**Tabla 8.** Cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR) en la producción de papa (*Solanum tuberosum* L.) con tres láminas de riego por goteo y tres dosis de silicio en el Centro Internacional de Producción Limpia Lope – SENA – Pasto (Nariño)

INVERSIÓN	VALOR (PESOS COL.)	RENDIMIENTO t/ha	V. VENTA (PESOS COL)	UTILIDAD	TIR
Sin riego	12.519.000	21,5	12.900.000	381.000	3%
Con riego	13.339.000	27,2	16.320.000	2.930.000	22%

**Fuente:** Esta investigación.

El valor tomado para la venta, se calculó, del promedio histórico de ventas en los últimos 5 años, \$ 600 por kilogramo en CORABASTOS, que es la plaza de mercado y centro de acopio más importante de Colombia, ubicada en la capital de país (Ramírez, Cristancho, & Cleves-Leguizamo, 2021).

La Tasa Interna de Retorno, con el sistema de producción convencional, arroja una cifra muy baja, es decir, con el valor de venta promedio y la producción promedio, el agricultor terminaría con una rentabilidad muy baja con respecto a su inversión, con una ganancia del 3%, mientras que, con el sistema de producción con riego por goteo, obtiene una TIR del 22%, es decir una rentabilidad de 3.14% mensual.

(Garcia-Santillán, 2014) contempla, que un proyecto es rentable, si su TIR es igual o superior al 10%, por lo tanto, es rentable invertir, sembrando papa con sistema de riego por goteo, ya que la rentabilidad es superior al 10%.

**Tasa Interna de Oportunidad (TIO):** La determinación de la Tasa Interna de Oportunidad, para el sistema de producción de papa, con riego por goteo, se realizó con base a la oferta de inversión del mercado, con respecto al Banco Agrario de Colombia.

**Tabla 9.** Tasa Interna de Oportunidad en la producción de papa (*Solanum tuberosum* L.) con tres láminas de riego por goteo y tres dosis de silicio en el Centro Internacional de Producción Limpia Lope – SENA – Pasto (Nariño)

INVERSIÓN	VALOR %	TIR	TIO	
			DTF 4,54	CDT 4,28
Sin riego	12.519.500	3	568.385	535.834
Con riego	13.339.500	22	605.613	570.930

**Fuente:** Esta investigación.

Desde el análisis de la TIO, se puede afirmar, que es más rentable invertir en la agricultura, sembrando papa con sistema de riego por goteo, ya que la utilidad es del 22% por ciclo de cultivo (Tabla 9), mientras que, si se invierte en la oferta de los bancos, la utilidad será más baja, independientemente del tipo de oferta que se tome, si es DTF o CDT. Aunque versus al sistema de producción convencional, cualquiera de las ofertas es más conveniente, sin embargo, cabe notar, que la rentabilidad del riego por goteo, supera exponencialmente las ofertas bancarias.

(Ducuara Parales & Ramírez, 2021) proyectando y estudiando las ofertas de inversiones bancarias en el Banco Agrario de Colombia, como es el DTF, manejó un plan de inversión a 90 días, es decir a tres meses, por lo tanto, su utilidad mensual fue de 1.51 % y la oferta de CDT ofrecida igualmente, por el Banco Agrario de Colombia, en el año (2021) a un término de 90 hasta 180 días, ofreció una rentabilidad mensual de 1.42 %; las dos ofertas, se superaron frente a la inversión de siembra de papa con implementación de sistema de riego por goteo, ya que por la misma inversión ofrece una rentabilidad de 3.42 % mensual.

Los aspectos positivos que respaldan la inversión ofrecida por los bancos, no es de fácil comparación, puesto que, invertir en ese mercado, no genera ningún tipo de riesgo de pérdidas, por el respaldo que ofrece dicha entidad, mientras que la otra opción, que es inversión en la agricultura, no tiene ninguna garantía, si en algún momento por alguna eventualidad, se llegue a perder absolutamente toda la inversión, ya que nada garantiza que puedan haber pérdidas por condiciones climáticas adversas que afecten al cultivo, es decir eventos externos al proceso productivo (Ghezzi, 2019). Por otro lado, problemas fitosanitarios, que reduzcan la producción o inclusive anulen la producción, donde el mismo autor, los clasifica como riesgos sistémicos; la rentabilidad, también puede ser afectada por el costo de venta de la producción. Se cuenta con la variable, que, aunque puede disminuir, también puede aumentar.

Aunque los puntos en contra de la inversión en la agricultura son innumerables, en el ámbito rural, los agricultores se inclinan por el lado de siembra por costumbre y tradición, ya que contribuyen al desarrollo de su región y a generar empleo (Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE, 2013). Por otro lado, solo los grandes terratenientes se inclinan por las inversiones bancarias, que no corren un riesgo de pérdidas de capital totales, como se puede dar en la agricultura.

## CONCLUSIONES

- El gasto de agua en la investigación con el que se obtuvo la mejor producción fue solo del 35% con respecto al requerimiento determinado para el cultivo de papa en Colombia.
- El mejor tratamiento en cuanto a producción fue el tratamiento dos T2, lamina 1 y dosis de silicio media.
- La interacción de Silicio con el requerimiento completo de agua, tuvo como efecto, un mayor rendimiento; además, un mayor porcentaje de producción de calidad tipo cero con el  $kc = 1$  y dosis de Silicio media.
- La implementación del sistema de riego por goteo tuvo mayor producción que la siembra convencional, además de una producción por encima del promedio nacional.
- Las ofertas comerciales de los bancos DTF y o CDT. para el año 2021 Fueron superadas por la rentabilidad obtenida con dosis de silicio y aplicaciones de riego por goteo.
- La inversión del sistema de riego por goteo, tiene como mínimo, vida útil para tres ciclos de producción.
- Las aplicaciones de silicio cuando se aplicó una lámina de riego con un factor de cultivo de 1 se obtuvo un porcentaje más alto de papa calidad tipo cero con respecto a la calidad comercial y de segunda.
- La interacción entre aplicaciones de silicio y aplicaciones de riego por goteo disminuyeron el porcentaje de papa semillera y richi en el rendimiento.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar aplicaciones de productos a base de Silicio de manera foliar como complemento del plan de fertilización.
2. Se recomienda implementar el sistema de riego por goteo con cintas de riego y modulando las líneas a aplicar de acuerdo a la presión del agua.
3. Se recomienda hacer el diseño en orientación para que la gravedad facilite la circulación del agua y la estabilidad de las cintas de riego.
4. Se recomienda manejar distancias de siembra de más de 1.30 m. para facilitar las labores como retape y reabone para no dañar las cintas de riego.
5. Se recomienda hacer la aplicación de la lámina de riego en las primeras horas de la mañana con el fin de evitar pérdidas por evaporación y evapotranspiración.

## BIBLIOGRAFÍA

- Araque Barrera, E. J. (2018). Propagación y tuberización in vitro de dos variedades de papa. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/cide/v9n1/0121-7488-cide-9-01-21.pdf>
- Benoit, G. R., & Grant, W. J. (1985). Excess and deficient water stress effects on 30 years of Aroostook County potato yields. *American Potato Journal*, 49-55. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02903462>
- Bonnett, V. D. (Junio de 2019). Resurgencia y recolonización de la papa. Del mundo andino al escenario alimentario mundial, siglos XVI-XX. *Anuario Colombiano de Historia Social y de la Cultura. Bogotá, Colombia.*, 27-57. Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-24562019000100027](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-24562019000100027)
- Buitrago, R. R., & Peñuela, M. L. (2018). La papa: un alimento de oportunidades con opciones de comercialización internacional. *Equidad y desarrollo*, 1-27. Obtenido de <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1277&context=eq>
- Cáceres, E. A., & González, J. (2015). Evaluación agronómica de papa, variedad superchola (*Solanum tuberosum*), con el uso de semilla prebásica, bajo dos modalidades de Fertilización Edáfica, complementada con Fertilización Foliar. Tabacundo. Pichincha. *Universidad Central del Ecuador*. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/4550>
- Calderón Revelo, J. J. (2022). Evaluación de la aplicación de silicio en el control de bactericera cockerelli (sulc) en el cultivo de pimiento (*capsicum annum l.*) en San Vicente de Pusir, Carchi. Obtenido de <http://201.159.223.64/handle/123456789/12500>
- Castellanos González, L., Mello Prado, R. d., & Silva Campos, C. N. (2015). El Silicio en la resistencia de los cultivos. *SCielo*, 1-9. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v36s1/ctr02s115.pdf>
- Chuchón Prado, R. (2019). Láminas de riego en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum L.*) variedad “única” mediante riego por goteo en La Molina. *Biblioteca Agrícola Nacional*. Obtenido de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4245>
- Colimba, J., & Morales, A. (2011). Efecto de la aplicación de silicio en el segundo año de producción en el cultivo de tomate de árbol. Obtenido de Universidad técnica del Norte:

<https://1library.co/document/qv8x0e0z-efecto-aplicacion-silicio-segundo-produccion-cultivo-tomate-arbol.html>

Datnoff, L., Snyder, G., & Korndorfer, G. (2001). Silicon in Agriculture. *University of Florida – IFAS. Belle Glade, FL. USA. Elsevier Science B.V.*, 371. Obtenido de

<https://www.elsevier.com/books/silicon-in-agriculture/datnoff/978-0-444-50262-9>

Debona, D., Rodrigues, F. A., & Datnoff, L. E. (2017). Silicon's Role in Abiotic and Biotic Plant Stresses. *Annual Review of Phytopathology*, 85-107.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE. (2013). El cultivo de la papa, *Solanum tuberosum*. *Boletín mensual: Insumos y factores asociados a la producción agropecuaria*, 1-92. Obtenido de

[https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/insumos\\_factores\\_de\\_produccion\\_sep\\_2013.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/insumos_factores_de_produccion_sep_2013.pdf)

Ducura Parales, J. A., & Ramírez, J. A. (2021). Análisis de indicadores de endeudamiento y solvencia en la convergencia a normas Internacionales de Información Financiera (Niif) en Colombia. *Conocimiento Global*, 89-102. Obtenido de

<https://conocimientoglobal.org/revista/index.php/cglobal/article/view/192/96>

Egúsquiza, B. (2000). *La Papa. Producción, Transformación y Comercialización*. Lima, Perú: Prisma - proyecto Prodecce. Obtenido de

[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=6ciGbBX0uFwC&oi=fnd&pg=PA167&dq=EGUSQUIZA,+B.+R.+2000.+La+Papa.+Producci%C3%B3n,+Transformaci%C3%B3n+y+Comercializaci%C3%B3n.+Primera+edici%C3%B3n.+Lima,+Peru.+192p.&ots=3c\\_b1VZ8J\\_&sig=P55b\\_DaPCQ8knFfxA4q79EWHIK0](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=6ciGbBX0uFwC&oi=fnd&pg=PA167&dq=EGUSQUIZA,+B.+R.+2000.+La+Papa.+Producci%C3%B3n,+Transformaci%C3%B3n+y+Comercializaci%C3%B3n.+Primera+edici%C3%B3n.+Lima,+Peru.+192p.&ots=3c_b1VZ8J_&sig=P55b_DaPCQ8knFfxA4q79EWHIK0)

Espitia M., E. M., Álvarez-Bernal, J. H., Sánchez L., G. D., Preciado M., Í. M., Uribe G., A. F., Rodríguez B., G. A., . . . Soto S., M. (2021). *Modo productivo de papa (Solanum tuberosum L.) de la variedad Tuquerreña para el departamento de Boyacá*. Mosquera, Colombia: AGROSAVIA. Obtenido de

<https://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/download/205/188/1331-1?inline=1?inline=1>

Fageria, N. K., Baligar, V. C., & Clark, R. B. (2006). *Physiology of Crop*. Binghamton, NY, Estados Unidos: Library of Congress Cataloging-in-Publication Data. Obtenido de

[10.1201\\_9781482277807\\_previewpdf.pdf](https://www.libraryofcongress.gov/lccn/2006010101/10.1201_9781482277807_previewpdf.pdf)

- Garcia-Santillán, A. (2014). Matemáticas financieras para la toma de decisiones. *Universidad de Málaga Edición*, 783. Obtenido de <https://www.eumed.net/libros-gratis/2014/1406/1406.pdf>
- Ghezzi, T. A. (2019). *Análisis de la pluriactividad de una empresa agropecuaria del departamento de Quemú Quemú (La Pampa)*. Obtenido de <https://repo.unlpam.edu.ar/handle/unlpam/1534>
- Haverkort, A. (2003). *Manejo de agua en la producción de papa*. (B. d. 15, Ed.) Montevideo, Uruguay: Editorial Agropecuaria Hemisferio Sur. S.R.L. . Obtenido de [https://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/pnabd608.pdf](https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/pnabd608.pdf)
- Instituto Geografico Agustin Codazzi. (12 de 2020). *Datos Abiertos Subdireccion De Cartografía y Geografía IGAC*. Obtenido de <https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-cartografia-y-geografia>
- Kang, S., Liang, Z., Hu, W., & Zhang, J. (2004). Water use efficiency of controlled alternate irrigation on root-divided maize plants. *Agricult Water Manag*, 69-76. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377498000481>
- King, B. A., Stark, J. C., & Neibling, H. (2020). Potato Irrigation Management. *Chapter 13*. Obtenido de <https://eprints.nwisrl.ars.usda.gov/id/eprint/1718/1/1681.pdf>
- Landell, J. (2003). Fertilización con silicio, cultivos más fuertes soluciones técnicas. *Innovación agrícola de Agroindustrias del Norte*. Obtenido de <https://www.innovacionagricola.com/blog/fertilizacion-con-silicio-cultivos-mas-fuertes/>
- Marschner, H. (1995). Mineral Nutrition of Higher Plants. *2nd ed. Academic Press*. Obtenido de <https://www.elsevier.com/books/mineral-nutrition-of-higher-plants/marschner/978-0-08-057187-4>
- Materano, W., Zambrano, J., Maffei, M., Valera, I., A., Q., & Torres, C. (2011). Influencia de la temperatura de almacenamiento. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*, 161-172. Obtenido de [http://www.revfacagronluz.org.ve/PDF/suplemento\\_diciembre\\_2011/v28sup11a2011pv\\_161.pdf](http://www.revfacagronluz.org.ve/PDF/suplemento_diciembre_2011/v28sup11a2011pv_161.pdf)
- Meneses, R. R. (2018). Análisis de información satelital y mediciones in-situ en el modelamiento de la evapotranspiración en cultivos andinos - Ayacucho 2017. *CIENCIAS AGRARIAS Y PECUARIAS*. Obtenido de <http://revistas.unsch.edu.pe/revistasunsch/index.php/investigacion/article/view/54/51>

- Muñoz, G. L. (2020). Fertilizantes foliares con contenido de sílice y calcio en la producción del cultivo de la lechuga varietal. Great Lakes 659 en la provincia de Lamas. *Repositorio Institucional Universidad Nacional de San Martín*. Obtenido de <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3653>
- Nwugo, C. C., & Huerta, A. J. (14 de junio de 2008). Effects of silicon nutrition on cadmium uptake, growth and photosynthesis of rice plants exposed to low-level cadmium. *Plant Soil* 311, 73-86. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9659-4>
- Peña, M. R. (2013). “EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE SEIS GENOTIPOS DE. Riobamba – Ecuador: Escuela de Ingeniería Agronómica.
- Quijano L., J. M. (2010). *TECNICA DRENCH 70 TECNICA DRENCH 70 “FERTILIZACION INNOVADORA FERTILIZACION INNOVADORA”*. Obtenido de AGRONOMIA Y SUELOS DE PROCAFE: [https://www.ipipotash.org/uploads/udocs/Landaverde\\_tecnica\\_drench\\_70\\_fertilizacion\\_innovadora\\_coffee.pdf](https://www.ipipotash.org/uploads/udocs/Landaverde_tecnica_drench_70_fertilizacion_innovadora_coffee.pdf)
- Ramírez, C. L., Cristancho, C. S., & Cleves-Leguizamo, J.-A. (2021). Modelos de fluctuaciones de precios agrícolas, estudio comparativo de frutas tropicales frescas en Colombia. *Revista de Ciencias Sociales Dialnet*, 197-212. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8145517>
- Rodríguez, D., Arrendondo, J., Anastacio, G., Aguirre, J., & Sonco, J. (24 de agosto de 2021). *Modelo arima aplicado a la producción de papa en el Perú para el periodo 1960-2019*. Obtenido de Universidad Nacional Mayor de San Marcos: <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-mayor-de-san-marcos/econometria-de-series-de-tiempo/econometr-a-20-modelo-arima/17238249>
- Román, M., & Hurtado, G. (2002). Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. *Cultivo de la papa*. Obtenido de <https://redepapa.org/roman.pdf>
- Salazar, G. (2016). Las virtudes del silicio. *Blog Cultivo de plátano. Fertilización*. . Obtenido de <https://cultivodeplatano.com/2011/05/18/las-virtudes-del-silicio/>
- Sanabria, H. C. (2022). *Evaluación de la sostenibilidad de cultivos de papa (páramo de Gámeza, Boyacá, sector Daita, Colombia)*. Obtenido de <https://revistas.utadeo.edu.co/index.php/mutis/article/view/Evaluacion-sostenibilidad-cultivos-papa-paramo-Gameza-Boyaca-sector-Daita-Colombia>

- Sánchez-Delgado, M. &.-M.-P.-T. (2020). Effect of the arrangement of drip irrigation laterals and partial soil. *Revista Ingeniería UC*. Obtenido de <http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/v27n2/art02.pdf>
- Sepulveda R., P., & Lopez T., H. Y. (2000). efecto de diferentes niveles de humedad en el suelo sobre el desarrollo del carbón de la papa (*angiosorus solani*) bajo condiciones de invernadero. *Agric. Téc. [online].*, 313-319. Obtenido de [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0365-28072000000400001&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072000000400001&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 0365-2807. <http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072000000400001>
- Silva, P. A., Albornoz, B. C., & Criollo, E. H. (2017). Efecto del potasio y la densidad de siembra en la producción de papa *Solanum tuberosum* Grupo Phureja var. Criolla Guaneña. San Juan de Pasto. Obtenido de <https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/temasagrarios/article/view/1145/1377>
- Solano G., E. A. (2018). Evaluación de cuatro densidades de siembra de papa (*solanum tuberosum* l.) variedad superchola, categoría básica, para la producción de semilla registrada, en el cantón Bolívar, Carchi. *Repositorio Digital Universidad Técnica del Norte*. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/8020/2/ART%c3%8dCULO.pdf>
- Teran, A. (2006). Determinación de los requerimientos hídricos para la producción de dos variedades de papa industrial en la Sabana de occidente de Bogotá. *Corporación Colombiana De Investigación Agropecuaria CORPOICA*.
- Vallejo B., L., & Alvarado, O. S. (2011). Rol del silicio en la fertilidad de los suelos y la nutrición vegetal. *Revista Rumipamba:1-14. 2011*, 1-14. Obtenido de <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2499>
- Vieira, d. C. (2008). Silicon alleviates the toxicity of cadmium and zinc for maize (*Zea mays* L.) grown on a contaminated soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 849-853. Obtenido de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jpln.200800147>
- Villegas Z., P. J., & Ramos S., F. (2014). *El Aprendizaje Cooperativo como Estrategia de Aprendizaje para la Estadística*. Obtenido de Universidad abierta y Innovación educativa y educación a distancia: <http://www.innovacioneducativa.unam.mx:8080/jspui/handle/123456789/4963>

Woli, P., Hoogenboom, G., & Alva, A. (2016). Simulation of potato yield, nitrate leaching, and profit margins as influenced by irrigation and nitrogen management in different soils and production regions. *Agricultural water management*, 120-130. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377416301068>

## ANEXOS

### Anexo A. Descripción HUMOSIL-S. registro de venta ICA No.10299

Enmienda inorgánica para aplicación al suelo por fertirriego, ideal como fuente de silicio soluble. Contiene silicio amorfo transformado (en nano partículas), mediante procesos especiales de nanotecnología, lo cual lo hace altamente soluble y disponible. Es una fuente ideal de silicio para ser aplicado al suelo, incrementando su pH y generando insolubilización de aluminio y hierro. Esto permite estimular el desarrollo radicular de los cultivos y protegerlos de los efectos adversos de cationes tóxicos, metales pesados y altas concentraciones de sales como el sodio. Además, mejora la capacidad de uso del agua por la planta al disminuir la evapotranspiración, ya que estimula la división y crecimiento celular del sistema radicular.

**Cuadro 2.** Composición HUMOSIL-S.

<b>INGREDIENTE ACTIVO</b>	<b>COMPOSICIÓN P/V (%)</b>
Silicio total (SiO <sub>2</sub> )	32%
Silicio soluble en agua (SiO <sub>2</sub> )	27.2%
Potasio soluble en agua (K <sub>2</sub> O)	16.2%
Carbono orgánico (C)	9.4%
Carbono orgánico de extracto húmico total (CEHT)	8.6%
Carbono de ácidos húmicos (CAH)	6.8%
Carbono de ácidos fúlvicos (CAF)	1.8%
Sodio total (Na)	0.4%

**Fuente:** Ficha técnica HUMOSIL-S, laboratorio IMBIOMA.