

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**Departamento Académico de Ciencias Agrarias**



**“EFECTO DE LA RELACIÓN Ca/K EN LA CALIDAD Y  
PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE SANDÍA ODEM  
(*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai), BAJO UN  
SISTEMA DE FERTIRRIEGO POR MICROTUBOS EN  
TINGO MARÍA”**

**TESIS**

**Para optar el título de**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**DEYVER SALGADO VERAMENDI**

**Tingo María – Perú**

**2017**

## **DEDICATORIA**

A Dios por darme fuerza y sabiduría para enfrentar obstáculos y seguir adelante aún en los momentos más difíciles.

A mis queridos padres: Pedro Salgado Tarazona y Noemí Veramendi Hurtado, mi más profundo agradecimiento y eterna gratitud por sus consejos y esfuerzos para la culminación de mi carrera profesional.

A mi amada esposa Mariela Angélica Guevara Panduro, por su apoyo en la culminación de mi carrera profesional.

A mis hermanos por su apoyo incondicional en la ejecución y desarrollo del presente trabajo.

## **AGRADECIMIENTO**

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a los docentes de la Facultad de Agronomía que contribuyeron a mi formación profesional.
- Al Fondo de la Facultad de Agronomía por su cooperación para la instalación de la tesis.
- Al Ing. Carlos Miguel Miranda Armas, por su valiosa orientación y supervisión de la tesis como asesor.
- Al Ing. Juan Mártires Ccoycca Fernández, por su valiosa orientación, colaboración y supervisión de la tesis.
- A los miembros del jurado: Ing. M. Sc. Jorge Luis Adriazola del Águila, al Dr. Gilberto Medina Díaz y al Ing. M. Sc. José Dolores Lévano Crisóstomo, por su contribución en la redacción de la presente tesis.
- A todas aquellas personas que directa o indirectamente hicieron posible la culminación del presente trabajo.

## ÍNDICE

	<b>Págs.</b>
I. INTRODUCCIÓN.....	12
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	14
2.1 Descripción del cultivo de sandía.....	14
2.1.1 Clasificación taxonómica de la sandía.....	14
2.1.2 Propiedades y beneficios de la sandía .....	15
2.2 Sandía híbrida tipo Odem .....	16
2.3 Manejo del cultivo de sandía.....	18
2.3.1 Preparación del suelo.....	18
2.3.2 Siembra .....	18
2.3.3 Riego .....	19
2.3.4 Fertilización .....	20
2.3.5 Control de malezas.....	21
2.3.6 Cosecha .....	21
2.4 Producción y rendimiento de la sandía .....	22
2.5 Hidroponía.....	24
2.6 Sustratos para el cultivo hidropónico .....	24
2.6.1 Sustrato sintético .....	25
2.6.2 Sustrato orgánico .....	25
2.6.3 Sustrato inorgánico.....	26
2.7 Solución nutritiva.....	26
2.7.1 Aplicación de la solución nutritiva.....	28
2.7.2 Factores que afectan la solución nutritiva.....	29

2.8	Fertirrigación .....	30
2.8.1	Ventajas de la fertirrigación .....	31
2.8.2	Sistemas de riego .....	31
2.8.3	Fertilizantes apropiados para la fertirrigación .....	33
2.9	Nutrición mineral .....	35
2.9.1	Macronutrientes .....	37
2.9.2	Micronutrientes .....	40
2.9.3	Efecto del potasio (K) en la planta .....	42
2.9.4	Efecto del calcio (Ca) en la planta .....	43
2.9.5	Efecto de la relación calcio - potasio .....	46
III.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	47
3.1	Ubicación del campo experimental .....	47
3.2	Materiales.....	48
3.2.1	Equipos.....	48
3.2.2	Insumos.....	48
3.3	Componentes en estudio .....	48
3.3.1	Componente A.....	48
3.3.2	Componente B.....	49
3.3.3	Tratamientos en estudio .....	49
3.4	Diseño experimental .....	49
3.4.1	Modelo estadístico.....	49
3.4.2	Análisis de variancia.....	50
3.5	Características del campo experimental .....	50
3.5.1	Parcelas.....	50

3.5.2	Del campo experimental .....	51
3.6	Ejecución del experimento .....	51
3.6.1	Limpieza y acondicionamiento del área experimental ....	51
3.6.2	Obtención y preparación de los sustratos.....	51
3.6.3	Llenado y colocación de las bolsas en el área experimental .....	52
3.6.4	Acondicionamiento e Instalación del sistema de riego por microtubos .....	52
3.6.5	Fórmula para la preparación de la solución.....	53
3.6.6	Formulación de las soluciones nutritivas .....	53
3.6.7	Frecuencia de riego.....	54
3.6.8	Germinación de semillas y trasplante a los cartuchos de papel.....	54
3.6.9	Trasplante al campo experimental.....	55
3.6.10	Aplicación de agroquímicos.....	55
3.7	Características a evaluar .....	55
3.7.1	Número de frutos.....	56
3.7.2	Longitud del fruto.....	56
3.7.3	Circunferencia ecuatorial del fruto .....	56
3.7.4	Peso del fruto .....	56
3.7.5	Solidos solubles.....	56
3.7.6	Rendimiento por hectárea .....	57
3.7.7	Análisis de tejidos.....	57
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	58

4.1	Número de frutos .....	58
4.2	Longitud de fruto .....	61
4.3	Circunferencia ecuatorial del fruto.....	63
4.4	Peso de fruto.....	65
4.5	Solidos solubles .....	67
4.6	Rendimiento estimado por hectárea .....	72
4.7	Análisis de tejidos .....	73
V.	CONCLUSIONES.....	75
VI.	RECOMENDACIONES.....	76
VII.	RESUMEN.....	77
VIII.	BIBLIOGRAFÍA.....	78
IX.	ANEXO .....	85

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Págs.</b>
1. Composición y valor nutricional de la sandía.....	15
2. Características generales de la sandía híbrida tipo Odem. ....	17
3. Antagonismo y sinergismo entre los elementos nutritivos. ....	27
4. Principales fertilizantes usados en una solución nutritiva. ....	27
5. Niveles aceptables de cada elemento en una solución nutritiva y principales formas de absorción. ....	28
6. Compatibilidad e incompatibilidad de fertilizantes. ....	34
7. Forma de absorción de los elementos esenciales en las plantas. ....	36
8. Movilidad de los iones dentro de la planta. ....	37
9. Características de macronutrientes principales y secundarios. ....	38
10. Características de los micronutrientes. ....	41
11. Datos meteorológicos enero - agosto 2013. ....	47
12. Descripción de los tratamientos. ....	49
13. Análisis de variancia. ....	50
14. Formulación de fertirrigación de sandía (ppm). ....	53
15. Fertilizante utilizado para la preparación de la solución nutritiva. ....	54
16. Análisis de variancia del número de frutos por planta. ....	58
17. Prueba de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) para el número de frutos por planta. ....	59
18. Análisis de variancia para la longitud de fruto. ....	61
19. Prueba de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) para la longitud del fruto. ....	61
20. Análisis de variancia para la circunferencia ecuatorial del fruto. ....	63
21. Prueba de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) para la circunferencia ecuatorial del fruto. ....	64



22. Análisis de variancia para el peso del fruto.....	65
23. Prueba de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) para el peso del fruto.....	66
24. Análisis de variancia para sólidos solubles disueltos en el fruto.....	68
25. Prueba de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) para los sólidos solubles disueltos en el fruto. ....	69
26. Rendimientos de frutos comerciales y comparación entre tratamientos.	72
27. Porcentaje de K y Ca, presente en la planta de sandía híbrida tipo Odem.....	73
28. Datos originales del número de frutos de sandía híbrida tipo Odem ....	86
29. Datos originales de la longitud de fruto de sandía híbrida tipo Odem....	86
30. Datos originales de la circunferencia ecuatorial de los frutos de sandía híbrida tipo Odem .....	87
31. Datos originales del peso del fruto de la sandía híbrida tipo Odem .....	87
32. Datos originales de los sólidos solubles en los frutos de híbrida tipo sandía Odem .....	88
33. Datos originales de las lecturas de potasio del análisis de tejidos.....	88
34. Datos originales de las lecturas de calcio del análisis de tejidos .....	88

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Págs.</b>
1. Tipos de sistemas de riego: a) Inundación b) Aspersión c) Sub-irrigación d) Goteo e) Capilaridad .....	32
2. Efecto de la relación Ca/K en el número de frutos por planta.....	60
3. Efecto de la relación Ca/K en la longitud de frutos .....	63
4. Efecto de la relación Ca/K en la circunferencia ecuatorial de los frutos.	65
5. Efecto de la relación Ca/K en el peso de los frutos. ....	67
6. Efecto de la relación Ca/K para sólidos solubles disueltos en el fruto. ...	70
7. Comparación de los sólidos solubles disueltos en los frutos de sandía híbrida tipo Odem con sandías de diferentes procedencias. ....	71
8. Curva estándar de potasio.....	89
9. Curva estándar del calcio .....	89
10. Fotografía referencial de la sandía híbrida tipo Odem en condiciones óptimas .....	90
11. Sobre de semilla sandía híbrida tipo Odem (100 g).....	90
12. Confección de las bolsas (90 x 60 cm) .....	91
13. Preparación del abono orgánico .....	91
14. Germinación de las plántulas de sandía Odem .....	92
15. Repique de las plántulas de sandía Odem .....	92
16. Brixómetro manual (izquierda); lectura de sólidos solubles (derecha)...	93
17. Trasplante y crecimiento vegetativo de la sandía Odem .....	93
18. Floración de la sandía Odem.....	94
19. Flor masculina (izquierda) y femenina (derecha) de la sandía Odem....	94

20. Fructificación de la sandía Odem .....	95
21. Calcinación para el análisis de tejidos .....	95
22. Croquis de distribución del campo experimental .....	96

## I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de sandía (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai) se está desarrollando aceleradamente, siendo las zonas costeras las más relevantes. Las razones principales de la expansión de este cultivo son su alto consumo como fruta fresca y las oportunidades de exportación en forma creciente diversos países.

Sin embargo, actualmente existe una clara tendencia de los consumidores hacia productos más sanos y naturales, al mismo tiempo que aumentan las exigencias sobre la calidad organoléptica y la seguridad de los alimentos que se consumen. Esto obliga a los productores a atender los requerimientos y exigencias de cultivo y manejo de los nuevos productos, así como a garantizar sus características diferenciales de calidad (aroma, jugosidad, textura, sabor, dulzor, etc.).

No obstante este cultivo no tiene representación económica para los agricultores de Tingo María, debido a que no se ha obtenido una respuesta satisfactoria, siendo el problema central, la baja fertilidad de los suelos sumándose la alta precipitación pluvial de la zona; lo cual provoca la excesiva retención de agua afectando los procesos de absorción de nutrientes y estimulando alta incidencia de enfermedades, teniendo como resultado una producción de sandía con pésima calidad y rendimientos debajo del esperado.

Por ello, es necesaria la búsqueda de alternativas que disminuyan estos riesgos en los suelos, más aún en la selva, donde los sistemas de producción en la mayoría de los casos son de carácter artesanal, planteando como una alternativa, la producción de sandía bajo un sistema de fertirriego: donde el

sustrato, la fertilización y la práctica de riego serán controladas favoreciendo el desarrollo y así lograr una mayor producción, minimizando el estrés hídrico en la planta favoreciendo la absorción de nutrientes en forma más eficiente.

Así mismo, teniendo en cuenta lo mencionado por RETAMALES (2011), la calidad del fruto está íntimamente relacionada con el potasio; señalando que, al aumentar los niveles de potasio en el fruto, se logran aumentar también el peso del fruto, color y el dulzor.

Teniendo en cuenta que el nivel del potasio en la planta es altamente dependiente del crecimiento y vigor de las raíces, especialmente de las raíces finas, siendo el calcio responsable de mantener el buen estado de las raíces en la planta. Sin embargo, el suministro excesivo de uno de estos nutrientes, puede afectar la absorción del otro.

Por todo lo indicado se planteó la hipótesis de que, por lo menos con una relación de Ca/K en estudio se obtendrá un mayor rendimiento, con alta calidad de fruta; bajo un sistema de fertirriego por microtubos. Para probar la hipótesis planteada en el presente trabajo de investigación se tiene los siguientes objetivos:

- Determinar la relación Ca/K que mejor calidad del fruto nos ofrece.
- Determinar la relación Ca/K que mejor rendimiento ofrece.
- Determinar el porcentaje de Ca y K presente en las plantas de sandía.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Descripción del cultivo de sandía

La sandía es una planta de la familia de las cucurbitáceas. Es originaria de África, pero de gran difusión en el mundo. Es herbácea, áspera, con tallo rastrero piloso provisto de zarcillos y hojas de cinco lóbulos profundos, flores amarillas, unisexuales: las femeninas tienen el gineceo con tres carpelos, la masculina con cinco estambres; fruto grande en pepónide: carnoso y jugoso (más del 90% de la sandía es agua), con numerosas semillas, casi esférico, verdoso, pulpa de color rosado o rojo, generalmente de sabor muy apreciado por ser refrescante y rica en agua y sales.

#### 2.1.1 Clasificación taxonómica de la sandía

Según BARREIRO (1998), la sandía es una planta que pertenece a las angiospermas y taxonómicamente se encuentra ubicada en:

- Clase : Dicotyledonae
- Orden : Cucurbitales
- Familia : Cucurbitaceae
- Género : Citrullus
- Especie : *Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai.

Hasta 1963 se clasificaba a la sandía como *Citrullus vulgaris* Schard, pero a partir de entonces el nombre *Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai se considera como el nombre correcto (BARREIRO, 1998).

### 2.1.2 Propiedades y beneficios de la sandía

Está formada principalmente por agua (93%); por lo tanto, su valor nutritivo es poco importante. Las principales bondades de esta fruta es que tiene propiedades antioxidantes y depurativas, es rica en vitamina A, además de ser utilizada a nivel medicinal para curar diversos tipos de cáncer, como también la disminución de colesterol (AGENCIA ANDINA, 2010). A continuación, se presenta un cuadro con la composición nutricional del fruto de sandía.

**Cuadro 1.** Composición y valor nutricional de la sandía.

<b>Componente</b>	<b>En 100 g de sustancia comestible</b>
Agua (%)	93
Energía (kcal)	25 - 37.36
Proteínas (g)	0.40 - 0.60
Grasas (g)	0.2
Carbohidratos (g)	6.4
Vitamina A (U.I.)	590
Tiamina (mg)	0.03
Riboflavina (mg)	0.03
Niacina (mg)	0.2
Ácido ascórbico (mg)	7
Calcio (mg)	7
Fósforo (mg)	10
Hierro (mg)	0.5
Sodio (mg)	1

Fuente: SIICEX (2011)

El contenido de licopeno, beta caroteno y otros antioxidantes aumenta conforme la sandía madura, por eso para obtener la mayor nutrición, es necesario comer la sandía bien madura (SIICEX, 2011).

Lo más destacable en su composición es su contenido en carotenoides sin actividad pro vitamínica (luteína y licopeno), entre los que destaca el licopeno, ya que se encuentra en una elevada cantidad, siendo este alimento una de las principales fuentes dietéticas del fitoquímico.

Numerosos estudios han asociado el consumo de licopeno con un menor riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares, ya que disminuye los niveles de colesterol sanguíneo (por disminución de la síntesis de colesterol endógeno) e inhibe la oxidación de la fracción LDL-colesterol, y con la protección frente algunos tipos de cáncer como el de cérvix, próstata, pulmón, mama y tracto digestivo (colon, recto, esófago, estómago, faringe, etc.).

## **2.2 Sandía híbrida tipo Odem**

SAKATA (2008) menciona que, la sandía híbrida tipo Odem es ideal para usar como un polinizador, debido a su color único, es fácil para distinguir entre el triploide y variedades diploides. Debido a su tamaño, atractivo color interno y el sabor dulce de la fruta, Odem es adecuado para las sucursales de cadena de tiendas de perfil alto.

En el Cuadro 2 se presenta las características más resaltantes de la sandía híbrida tipo Odem.



**Cuadro 2.** Características generales de la sandía híbrida tipo Odem.

<b>Características</b>	<b>Sandía híbrida tipo Odem*</b>
Tipo	Sandía híbrida F1.
Clasificación	Diploide, piel oscura,
Madurez	70 - 75 días después de la siembra (aprox.).
Hábito de crecimiento	Rastrera.
El vigor de la planta	Mediano.
Estación	Verano.
Peso de la fruta	6 - 9 kg.
Forma de la fruta	Oblongo.
Color interno de la pulpa	Rojo oscuro.
Dimensión de la fruta	30 x 20 cm aproximadamente.
Color de la cáscara	Verde muy oscuro.
Grados Brix	Muy alto, hasta 15%.
Sabor	Excelente.
Uniformidad	Muy buena.
Cubierta de la hoja	Muy buena.
Resistencia	Alta: a marchitez de <i>Fusarium</i> raza 1.
Número promedio de semillas	25 - 27 semillas por gramo.
Densidad	4500 - 6000 plantas/ha (0.6 - 1 cm x 3 m).
Características especiales	Sabor muy bueno y alto contenido de azúcar.

\* Las características dadas es afectado por los métodos de producción como el tipo del terreno, nutrición, densidad de planta, fecha de siembra y las condiciones climáticas.

Fuente: SAKATA (2008)

## **2.3 Manejo del cultivo de sandía**

### **2.3.1 Preparación del suelo**

Según ALVARADO *et al.* (2003), consiste principalmente en la limpieza de terreno, la cual se efectúa inmediatamente después de la cosecha del cultivo anterior con el fin de desmenuzar y distribuir los residuos y facilitar la rotura. Se lleva a cabo con rastra de discos. Esta labor depende de la consistencia del suelo y el cultivo que fue instalado anteriormente en el terreno (ACOSTA *et al.*, 2011).

### **2.3.2 Siembra**

ALVARADO *et al.* (2003), recomiendan sembrar entre el 25 de febrero y el 15 de marzo, en el ciclo otoño - invierno, siendo este más productivo y de menor riesgo que el de primavera - verano. Sin embargo, para ACOSTA *et al.* (2011) la mejor época de siembra directa comprende de mediados de marzo a mediados de abril, con mayores rendimientos en las siembras de marzo. Sin embargo, en siembras más tempranas o más tardías es posible tener mejor precio en el mercado, aunque existen rendimientos en las primeras y daños del fruto por la incidencia de plagas y enfermedades en las segundas. Y de preferencia emplear híbridos de sandía adaptados a la región y sus características.

La sandía se puede establecer bajo siembra directa o trasplante. Según ACOSTA *et al.* (2011) y ALVARADO *et al.* (2003), la siembra directa se realiza depositando las semillas en el suelo a una profundidad de 5 cm en seco, en húmedo o a tierra removida; sin embargo, ACOSTA *et al.* (2011) recomiendan

realizar en camas de 4 - 5 m de ancho y a doble hilera de plantas, dejando un espaciamiento entre plantas de 0.80 a 1.00 m. El espaciamiento entre hileras es de 3.3 a 4.3 m según el ancho de cama, de manera que la distancia de la parte baja de la cama a la hilera de plantas debe ser de 30 - 35 cm. La densidad de siembra es de 1.5 - 2.5 kg/ha de semilla.

Cuando se utiliza el método de trasplante, ACOSTA *et al.* (2011), recomiendan producir las plántulas con cepellón o sustrato adherido a las raíces, lo cual, permite una mayor sobrevivencia y recuperación al trasplante.

La siembra se hace en charolas, utilizando de 0.5 a 0.6 kg/ha de semilla. Se recomienda realizar el trasplante de las charolas de germinación al suelo, cuando las plántulas tengan de 25 a 30 días de nacidas (ALVARADO *et al.*, 2003).

Con el arreglo de plantas antes descrito, se tendrá una densidad de población estimada de 4830 plantas por hectárea. Esto se logra con un lote de aproximadamente 0.45 kg la cual contiene 5000 semillas, considerando un mínimo de 97% de germinación (ALVARADO *et al.*, 2003).

### **2.3.3 Riego**

El número de riegos varía de acuerdo con el tipo de suelo y el intervalo de tiempo entre ellos depende de la etapa de desarrollo del cultivo. Se recomienda un riego de pre-siembra con lámina de 20 cm y 6 - 8 riegos de auxilio con lámina de 12 cm cada uno. Se sugiere aplicar los primeros riegos cada 15 días y a partir del inicio de la floración femenina (50 - 85 días después de la siembra según la fecha de siembra y la variedad) cada 8 - 10 días de acuerdo a la demanda del cultivo. En caso de utilizar cintilla se aplican de 2 - 3 riegos por

semana, según el desarrollo del cultivo, gasto de la cintilla y tiempo de riego (ACOSTA *et al.*, 2011).

#### **2.3.4 Fertilización**

ALVARADO *et al.* (2003), sugieren la aplicación en pre siembra, aplicando 100 kg/ha de la fórmula 0-46-0 y el resto de la fertilización para llegar a 130-80-110 se realiza mediante el riego. Una adecuada nutrición de las plántulas en las charolas, permitirá que después del trasplante en campo tengan una rápida recuperación al mismo y un buen desarrollo vegetativo (ACOSTA *et al.*, 2011).

Una formulación balanceada, para hacer una solución para el riego de las plántulas es 230.5 N, 59.4 P, 229.9 K, 160 Ca, 50 Mg, 66 S, 5 Fe, 0.05 Zn, 0.5 Mn, 0.02 Cu y 0.5 B en ppm; dicha solución se aplica de tres a cuatro veces por semana, a partir de los 8 - 10 días después de la emergencia de las plántulas.

Posterior usar la fórmula 150-60-8, aplicando todo el fósforo, una tercera parte del nitrógeno y una tercera parte del potasio al momento de la siembra o trasplante. El resto del nitrógeno y potasio dividirlo de la siguiente forma: Una tercera parte 30 - 40 días después de la primera aplicación y una tercera parte al inicio de la floración femenina (ACOSTA *et al.*, 2011).

Los fertilizantes que se utilizan en la preparación de la solución nutritiva, deben ser compatibles, de alta solubilidad, de cierto pH. Este último depende del tipo de suelo, si el suelo es alcalino ( $\text{pH} > 7$ ); Es conveniente que primero se disuelvan los fertilizantes sólidos más solubles (Covarrubias, 2003 citado por ALVARADO *et al.*, 2003 y HAGIN *et al.*, 2002).

### **2.3.5 Control de malezas**

El cultivo debe permanecer libre de maleza a lo largo de su ciclo, principalmente los primeros 50 días, ya que en esta etapa la competencia por luz, agua y nutrimentos es mayor. La sandía bajo el sistema de fertirrigación, presenta maleza entre las hileras de plantas (calles), ya que escasamente llegan a humedecerse, salvo con la presencia de lluvias. Por lo cual el control se puede realizar con una aplicación (ALVARADO *et al.*, 2003).

### **2.3.6 Cosecha**

Se recomienda efectuar el volteado de frutos con un intervalo de 3 - 5 días (o cuando tengan una longitud de 10 - 15 cm), con la finalidad de evitar ablandamientos o decoloraciones de los mismos. Inclusive, cuando la superficie del suelo está demasiado húmeda se acuñan los frutos, lo cual consiste en poner piedras, pedazos de madera o hierba seca debajo de ellos para evitar que estén en contacto directo con el suelo.

La sandía es un fruto no climatérico (no desarrolla sus propiedades organolépticas una vez separada de la planta) motivo por el cual, para que sea de buena calidad ha de recolectarse cuando esté totalmente madura (MAG, 2010).

No es fácil determinar cuándo se debe cosechar la fruta. Sin embargo, existen varios métodos para determinar con exactitud la madurez y el momento oportuno de cosechar el fruto (ALVARADO *et al.*, 2003).

- Cuando el zarcillo que crece en la axila de la hoja que da a la fruta se seca hasta la base (si las plantas se han estresado por sequía este método no es muy satisfactorio).

- Cuando se observan unas líneas finas abultadas sobre la cáscara a lo largo del fruto.
- Algunos cosechadores juzgan la madurez golpeando con los nudillos el fruto y se produce un sonido seco y hueco.
- La parte del fruto que está en contacto con la tierra, se vuelve de color cremoso y de consistencia dura.
- Los frutos pierden su cubierta cerosa y se vuelven brillantes.
- Cuando los frutos alcanzan su tamaño normal del híbrido, lo cual ocurre entre los 90 - 100 días.

La cosecha se realiza en forma manual, se corta el pedúnculo con una tijera de podar o con un cuchillo afilado. Luego se saca a un lugar accesible para el transporte, que debe ser un lugar seco y sombreado, donde se procede a la selección por tamaño, sanidad y madurez, desechando las frutas afectadas por plagas y enfermedades (MAG, 2010).

#### **2.4 Producción y rendimiento de la sandía**

La sandía es un producto que se cultiva en un gran número de países, por la buena aceptación que ha recibido entre los consumidores finales del mundo.

Un total de 15 países pertenecientes al continente Americano, Asiático y Europeo, generan 2,670,470 has, cifra que equivale al 80.0% del total de la superficie mundial; obviamente China, Turquía, Irán, Rusia, Brasil, Ucrania, Egipto, Estados Unidos, Argelia, Tailandia, México, Uzbekistán, Kazajistán, Iraq e Indonesia se constituyen como los principales en el cultivo mundial de la sandía, con una superficie de 3,333,907 has, sobresaliendo china con 1,719,912

has y tiene rendimientos de 35.9 t/ha, y el segundo siembra 142,273 has con rendimientos muy variados desde 7.8 hasta 28.6 t/ha (DE LA ROSA, 2012).

Según el Ministerio de Agricultura, el principal destino de la producción peruana es Holanda, donde se envía el 75% de la producción, seguido de Ecuador (11.2%) e Inglaterra (10.7%).

En el Perú la producción de sandía se concentra en los departamentos de La Libertad (23%), Ancash (17%), Loreto (14%), Lima (12%) e Ica (11%). Sin embargo, la producción de los departamentos de Piura (4%) y Tacna (5%) son las que abastecen el mercado exterior, sobre todo en el caso de Holanda (AGENCIA ANDINA, 2010).

CARRASCO (2013), explicó que las variedades de sandía con pepa que más se siembran en la Costa Peruana, de acuerdo a los datos obtenidos por el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), son la “Huaralina”, de forma ovalada, carca verde y buena calidad de pulpa; y la “Atigrada”, con cáscara rayada de color verde claro y oscuro intercalado.

En cuanto al área instalada, indica que existen alrededor de 800 hectáreas de sandía a lo largo de la costa, con un rendimiento promedio nacional de 30 t/ha. Las áreas productoras por excelencia son Huaral, Barranca y Cañete.

Mientras que, en condiciones de Selva; SANTILLAN (2003) reporta un rendimiento de 36.56 t/ha con la variedad Peacock WR60 y con la variedad Picurino solo 24.05 t/ha, en la localidad de Bello Horizonte departamento de San Martín.

Sin embargo, GARCÍA (1999) en condiciones de Costa obtuvo un rendimiento promedio 69.44 t/ha, con la sandía variedad Royal Sweet; así

mismo, PAHUACHO (1999) obtuvo un rendimiento comercial entre 103.5 t/ha - 114.3 t/ha, con la sandía cv. Emperor; siendo las dos variedades probadas en La Molina departamento de Lima. Así mismo, la AGENCIA ANDINA (2010), indica que a nivel nacional la producción promedio de sandías con manejo tradicional es de 40 - 45 t/ha.

RECHE (2008) menciona que, a nivel mundial con la introducción de variedades más selectas y productivas, tomando en cuenta la fecha de siembra o plantación, se pueden alcanzar rendimientos de hasta 80 t/ha, aunque el rendimiento medio, en la actualidad, oscila entre 40 - 60 t/ha.

## **2.5 Hidroponía**

Hidroponía es la técnica de producción o cultivo sin suelo, en la cual se abastece de agua y nutrientes a través de una solución nutritiva completa y brindándole las condiciones necesarias para un mejor crecimiento y desarrollo de la planta (SMITHERS-OASIS, 2014).

El diccionario de la Real Academia Española de la Lengua lo define como el cultivo de plantas en soluciones acuosas; sin embargo, actualmente la palabra involucra todas aquellas formas en que se cultivan plantas con algún soporte o sustrato (arena, grava, carbón, etc.), sin el uso de suelo, en donde son alimentadas mediante una solución de nutrimentos minerales que se les suministra por medio del agua de riego (GUZMÁN, 2004).

## **2.6 Sustratos para el cultivo hidropónico**

Los sustratos son materiales distintos al suelo que permite la germinación y el anclaje de las raíces de la planta.



Existen una serie de sustratos que pueden ser empleados para el desarrollo de cultivos hidropónicos, estos se utilizan solos o en mezclas, en busca de obtener las mejores condiciones para el desarrollo de las plantas y asimilación de solución nutritiva. En términos generales GUZMÁN (2004) menciona que, los sustratos se pueden clasificar en tres grupos:

### **2.6.1 Sustrato sintético**

Se utiliza como soporte de las raíces permitiendo de esta manera el establecimiento del cultivo como, es el caso de las espumas.

El sustrato tiene varias funciones: no solo sirve de anclaje a las plantas, también protege a las raíces de la luz solar; retiene cierta cantidad de solución nutritiva (agua con nutrientes) y permite el suministro de oxígeno a las raíces por medio de los espacios aéreos entre las partículas (GUZMÁN, 2004).

### **2.6.2 Sustrato orgánico**

Estos grupos regularmente son productos de desecho de alguna actividad agropecuaria o industrial, así como de productos importados de otros países. Comunes son el aserrín, cascarilla de arroz, fibra de coco, el carbón vegetal entre otros; todos materiales biodegradables.

Relativamente no duran mucho tiempo si son comparados con los sustratos inorgánicos; principal inconveniente si se pretende establecer una producción comercial continuo a largo plazo. Además, deben de lavarse y desinfectarse muy bien para eliminar toda clase de residuos junto con los microorganismos que causan pudriciones (GUZMÁN, 2004).

### **2.6.3 Sustrato inorgánico**

En este grupo se incluyen los sustratos que tengan partículas mayores a 2 mm de diámetro. Tenemos a la roca volcánica, piedra pómez, arena de río, grava, y otras, son materiales mucho más duraderos que los orgánicos. Tienen también la ventaja de ser más fáciles de desinfectar, pero su inconveniente es el manejo, debido al peso. Se puede sembrar en forma directa o indirecta según el cultivo seleccionado (GUZMÁN, 2004).

Según SMITHERS-OASIS (2014), define al sustrato ideal como un material inerte y estéril, el cual debe proporcionar a la planta un balance adecuado de agua y oxígeno ideal para su mejor crecimiento.

Un buen sustrato debería tener un comportamiento similar a una esponja: porosidad alta, buena capacidad de retención de agua fácilmente disponible, drenaje rápido, buena aireación, adecuada distribución del tamaño de las partículas, baja densidad aparente y estabilidad. Existe en el mercado una nueva generación de sustratos que recrean la gran mayoría de las características deseadas, son los sustratos de espuma fenólica (SMITHERS-OASIS, 2014),

## **2.7 Solución nutritiva**

SMITHERS-OASIS (2014) menciona que, la nutrición de las plantas en hidroponía, se brinda a través de una solución nutritiva balanceada y equilibrada que se formula a partir de un análisis de agua, la especie vegetal a cultivar, su etapa fenológica y las condiciones ambientales que se tengan.

BARBADO (2005), indica que la solución nutritiva es agua más los elementos esenciales que necesitan las plantas disueltos en ella y las burbujas de aire que permiten la respiración de las raíces. Esta es la parte fundamental

de la hidroponía, ya que de ella depende, tanto la cantidad como la calidad de la producción que se pueda obtener. Además, es recomendable tener en cuenta el antagonismo y sinergismo entre los elementos (Ver Cuadro 3), también es importante escoger un buen tipo de fertilizante a usar debemos conocer la riqueza del nutriente deseado (Ver Cuadro 4).

**Cuadro 3.** Antagonismo y sinergismo entre los elementos nutritivos.

Antagonismo		Sinergismo	
Ca	Mg; K	P	Mg
K	Mg	N	Mg
N	K	K	Mn
K	B	N	P <sup>+</sup>
Cu	Fe	N	K <sup>+</sup>
P	Zn		
P	K		

Fuente: GUZMÁN (2004)

**Cuadro 4.** Principales fertilizantes usados en una solución nutritiva.

Fertilizante	Fórmula	Porcentaje
Fosfato mono potásico	$\text{KH}_2\text{PO}_4$	55% $\text{P}_2\text{O}_5$ ; 30% $\text{K}_2\text{O}$
Nitrato de potasio	$\text{KNO}_3$	46% $\text{K}_2\text{O}$ ; 13% $\text{NO}_3$
Sulfato de magnesio	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	9% Mg; 12% $\text{SO}_4$
Nitrato de calcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	23.5% Ca; 16.5% N
Ácido bórico	$\text{H}_3\text{BO}_3$	16.4% B

Fuente: GUZMÁN (2004)

Según GUZMÁN (2004), las sales o compuestos químicos que son requeridos por los cultivos para su nutrición, depende la mayor parte del éxito de la actividad y en ella se ha basado el desarrollo de esta técnica.

### 2.7.1 Aplicación de la solución nutritiva

Según GUZMÁN (2004), es importante respetar los rangos mínimos y máximos de concentración de los elementos a aplicar (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Niveles aceptables de cada elemento en una solución nutritiva y principales formas de absorción.

Elemento	ppm	Peso molecular	Forma de absorción
N	150 – 250	14.01	$\text{NH}_4^+$ , $\text{NO}_3^-$
P	20 – 60	30.97	$\text{H}_2\text{PO}_4$ , $\text{H}_2\text{PO}_4^-$
K	200 – 300	39.10	$\text{K}^+$
Ca	120 – 200	40.08	$\text{Ca}^+$
Mg	30 – 50	24.31	$\text{Mg}^{++}$
S	50 – 100	32.06	$\text{SO}_4^-$
B	0.3 – 0.6	10.81	$\text{H}_3\text{BO}_3$
Cu	0.5 – 2	63.54	$\text{Cu}^{++}$
Fe	0.5 – 0.8	55.85	$\text{Fe}^{++}$
Mn	0.01 – 0.06	54.94	$\text{Mn}^{++}$
Mo	0.1 – 0.3	95.94	$\text{MoO}_4$ , $\text{HMoO}_4$
Zn	0.1 – 0.3	65.37	$\text{Zn}^{++}$
Cl	50 – 100	35.45	$\text{Cl}^-$
Na	<50	22.99	$\text{Na}^-$

Fuente: GUZMÁN (2004)

Sin embargo, no existe una solución ideal para un cultivo en particular, y que los rangos o concentraciones de nutrientes a suministrar a las especies vegetales dependen más bien de la etapa de desarrollo en que se encuentre el cultivo, de la parte de la planta a cosechar, de la calidad del agua, o de las condiciones climáticas del momento; sin embargo, es posible encontrar soluciones nutritivas ya preparadas, con diferentes niveles de sales minerales (BARBADO, 2005 y GUZMÁN, 2004).

### **2.7.2 Factores que afectan la solución nutritiva**

Según SMITHERS-OASIS (2014), para asegurar resultados satisfactorios con la solución nutritiva se debe controlar:

**a.- Calidad del agua:** Todas las fuentes de agua naturales contienen algunas impurezas, algunas buenas para el crecimiento de las plantas y otras perjudiciales; al iniciar, SMITHERS-OASIS (2014) recomienda hacer un análisis químico del agua a usar para evitar posibles problemas nutricionales.

**b.- Temperatura de la solución:** La temperatura radicular es muy importante para la mayoría de cultivos; ya que, si no se encuentra en su temperatura ideal, la planta detendrá su crecimiento y en algunos casos, se puede manifestar deficiencias nutricionales.

**c.- Oxigenación:** En la zona radicular se debe tener muy buena oxigenación, ya que los pelos radiculares requieren  $O_2$  para realizar sus procesos fisiológicos.

**d.- pH:** Según SMITHERS-OASIS (2014), el rango que debe manejarse es de 5.5 - 6; aunque GUZMÁN (2004), lo maneja entre 6,0 - 6.5.

**e.- Conductividad eléctrica (CE):** Es una medida indirecta de cuantificar la concentración de aniones (nitratos, fosfatos sulfatos, etc.) o cationes (potasio, calcio, magnesio, etc.).

**f.- Control del volumen de la solución:** El fenómeno de evapotranspiración ocasiona que las plantas tomen proporcionalmente mucha más agua que elementos nutritivos de la solución nutritiva, haciendo que con el paso del tiempo se vaya haciendo más concentrada, lo que hace que el pH y la presión osmótica de la solución se incrementen progresivamente dificultando con esto la absorción de agua por las raíces.

## **2.8 Fertirrigación**

La práctica de aplicar fertilizantes a los cultivos por vía del agua de riego se llama fertirrigación o fertirriego. Mientras que HAGIN *et al.* (2002); lo definen como una moderna técnica agrícola que provee la excelente oportunidad de maximizar los rendimientos y a la vez reducir la polución ambiental, al incrementar la eficiencia de uso de los fertilizantes, minimizar la aplicación de éstos y aumentar los beneficios económicos de la inversión en fertilizantes.

Así, KAFKAFI y TARCHITZKY (2012), afirman que el momento, las cantidades y la concentración de los fertilizantes aplicados son fácilmente controlados en la fertirrigación. Según SMITHERS-OASIS (2014), el objetivo central del riego como componente de los sistemas hidropónicos es poner la solución nutritiva a disponibilidad de las raíces y satisfacer las necesidades hídricas y de nutrientes de los cultivos, en el momento adecuado y con la cantidad necesaria.

### **2.8.1 Ventajas de la fertirrigación**

Según FLORIÁN *et al.* (2010), las principales ventajas de llevar un sistema de fertirrigación son:

- Mayor disponibilidad de nutrientes a lo largo del tiempo.
  - Niveles de pH optimizados para la absorción de nutrientes.
  - Respuesta inmediata a la fertilización (nutrientes ya disueltos).
  - Menos pérdidas por lavado y por escorrentía superficial: Menor impacto ambiental.
- Programas de fertilización frecuentes sin incremento de costes y el cambio de formulado según necesidad.
  - Reducción de costes en la distribución de abonos y productos fitosanitarios.

### **2.8.2 Sistemas de riego**

SMITHERS-OASIS (2014), clasifica los sistemas de riego dependiendo si las cantidades del drenaje en exceso de la solución nutritiva aplicada en el riego, son recuperadas y reusadas o no.

De este modo los sistemas pueden clasificarse en: sistemas abiertos en los que no recircula la solución nutritiva y los sistemas cerrados en los que si hay recirculación de la solución nutritiva.

Sin embargo, para KAFKAFI (2005) los sistemas de riego por superficie pueden clasificarse en dos grandes grupos: los que cubren completamente la superficie con agua, como es el caso del riego en melgas, o cuando ésta se cubre sólo parcialmente, como es el caso de riego en surcos.

Los métodos que incluyen el cubrir toda la superficie del suelo son el riego de inundación de campo a partir de un canal y el riego por melgas.

Mientras que, para ESPINOSA y ESPINOSA (2013), los sistemas de riego se pueden clasificar en: si son superficiales tradicionales o son superficiales tecnificados y si son de gravedad o son presurizados. Así, los principales tipos de riego en hidroponía pueden ser: Inundación, aspersión, sub-irrigación, goteo y capilaridad (Figura 1).

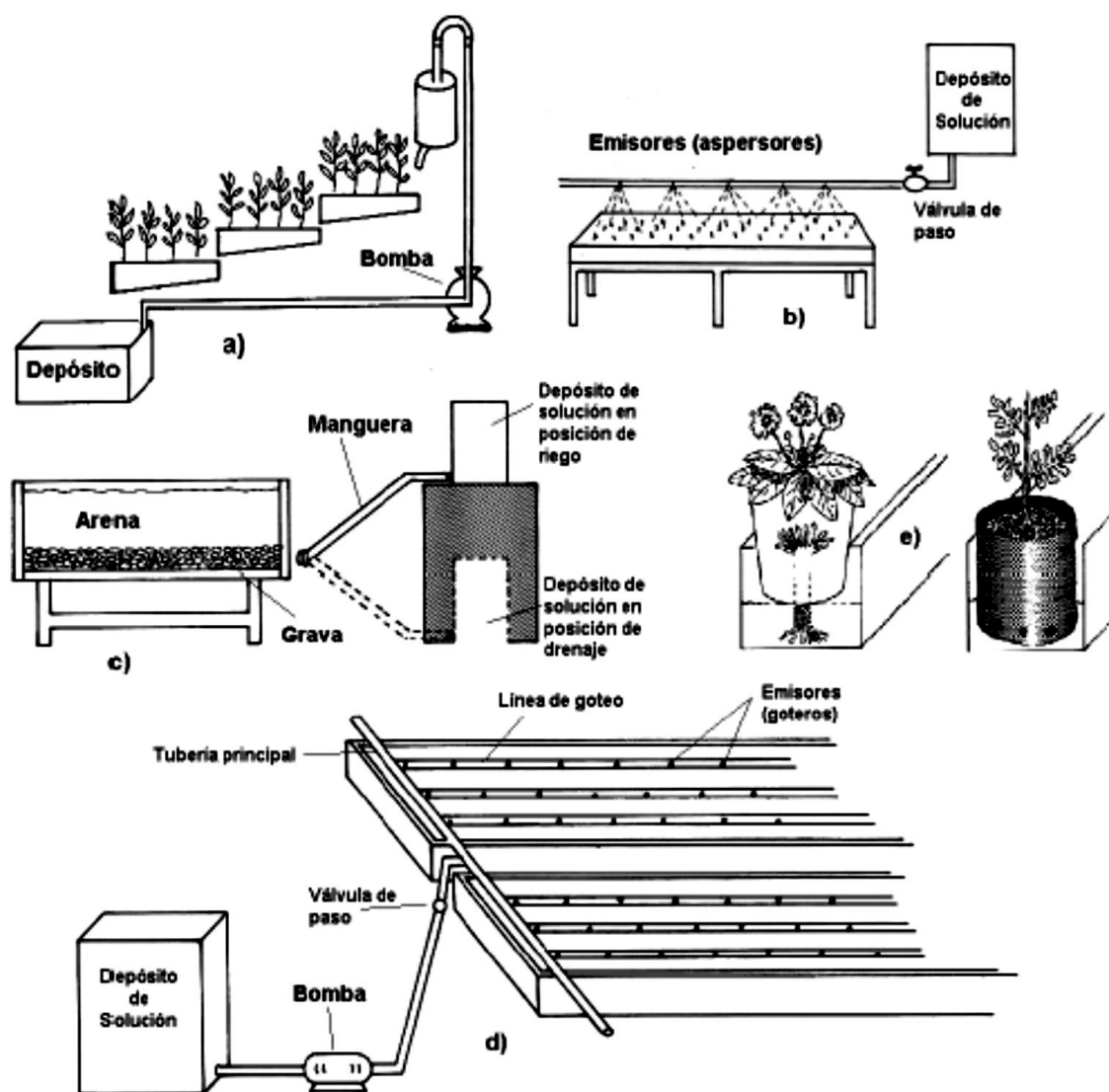


Figura 1. Tipos de sistemas de riego: a) Inundación b) Aspersión c) Sub-irrigación d) Goteo e) Capilaridad



**a. Inundación.-** La solución es vertida directamente a la superficie del sustrato, para que después drene libremente y/o recircule según el sistema utilizado.

**b. Sub-irrigación.-** La solución es aplicada por la parte inferior del recipiente que contiene al sustrato.

**c. Aspersión.-** La aplicación de la solución se da con atomizadores sobre la parte superior del cultivo y se utiliza principalmente para cultivos ornamentales, en la obtención de plántula y enraizamiento de esquejes.

**d. Capilaridad.-** El sistema consiste en colocar una fuente de agua y por un medio poroso buscar el ascenso capilar. Para la conducción de la solución hasta las raíces se emplea una mecha de tela mercerizada con propiedades capilares.

**e. Goteo.-** En este sistema la solución se conduce en tuberías principales y secundarias de plástico, que descargan el agua por medio de goteros o dispositivos de goteo que de manera dosificada proporcionan el riego en la cantidad necesaria por día y por unidad de superficie (m<sup>2</sup>).

### **2.8.3 Fertilizantes apropiados para la fertirrigación**

Un amplio rango de fertilizantes, tanto sólidos como líquidos, es adecuado para la fertirrigación, dependiendo de las propiedades fisicoquímicas de la solución fertilizante. Para operaciones de gran escala a campo, las fuentes de fertilizantes sólidos son normalmente una alternativa menos cara que las formulaciones líquidas (KAFKAFI y TARCHITZKY, 2012). Según KAFKAFI (2005), antes de elegir fertilizantes para fertirrigación, se deben considerar: Tipo

de cultivo y estadio de crecimiento; condiciones del suelo; calidad de agua; disponibilidad y precio del fertilizante.

KAFKAFI y TARCHITZKY (2012), recomiendan que el fertilizante para fertirrigación debe ser de alta calidad, elevada solubilidad y pureza, contener bajos niveles de sales, un pH aceptable y adecuarse al programa de manejo del establecimiento. Teniendo en cuenta siempre la compatibilidad e incompatibilidad entre fertilizantes (Ver Cuadro 6)

**Cuadro 6.** Compatibilidad e incompatibilidad de fertilizantes.

	Urea	Nitrato de calcio	Nitrato de potasio	Cloruro de potasio	Sulfato de potasio	Fosfato de amonio	Sulfato de magnesio
<b>Urea</b>	C						
<b>Nitrato de calcio</b>	C	C					
<b>Nitrato de potasio</b>	C	C	C				
<b>Cloruro de potasio</b>	C	C	C	C			
<b>Sulfato de potasio</b>	C	I	C	R	C		
<b>Fosfato de amonio</b>	C	I	C	C	C	C	
<b>Sulfato de magnesio</b>	C	I	C	C	R	I	C

C : Compatible      I : Incompatible      R : Compatibilidad reducida

HAGIN *et al.* (2002), enumeraron las principales propiedades relacionadas con la conveniencia de los fertilizantes para el método de inyección:

**a. Forma.-** Los fertilizantes sólidos solubles y líquidos son adecuados para la fertirrigación, dependiendo de la disponibilidad, precio y conveniencia.

**b. Solubilidad.-** Alta y completa solubilidad son prerequisites para los fertilizantes usados en la fertirrigación. La solubilidad de los fertilizantes en general aumenta con la temperatura, dependiendo del fertilizante.

**c. Interacción entre fertilizantes en la solución.-** Cuando un tipo de fertilizante o más son preparados y mezclados, debe chequearse la compatibilidad entre ellos. Y asegurarse de que los fertilizantes que se utilizarán sean compatibles para prevenir la precipitación. Evitar especialmente mezclar soluciones fertilizantes que contengan calcio con soluciones que contengan fosfatos o sulfatos cuando el pH en la solución no sea suficientemente ácido.

**d. Corrosividad.-** Pueden ocurrir reacciones químicas entre los fertilizantes y las partes metálicas del sistema de riego.

## 2.9 Nutrición mineral

Según AZCÓN y TALÓN (2013), existen 16 elementos que son esenciales para el desarrollo y producción en la mayoría de las especies vegetales, ellos son: carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdeno (Mo) y cloro (Cl) (Cuadro 7).

La absorción de todos los nutrientes minerales a lo largo del desarrollo de la planta debe ser adecuada para nutrientes específicos durante momentos determinados de crecimiento para satisfacer la demanda del cultivo (KAFKAFI y TARCHITZKY, 2012).

GUZMÁN (2004) menciona que, las plantas obtienen el carbono del CO<sub>2</sub> del aire, mientras que el oxígeno y el hidrógeno lo aprovechan principalmente del agua (H<sub>2</sub>O). Es así que, de los 16 elementos requeridos, solo 13 deben ser

agregados al agua para formar la solución nutritiva o sólo 12 si es utilizada agua clorada.

**Cuadro 7.** Forma de absorción de los elementos esenciales en las plantas.

Elemento	Símbolo químico	Forma de absorción
Hidrógeno	H	H <sub>2</sub> O
Oxígeno	O	O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O
Carbono	C	CO <sub>2</sub>
Nitrógeno	N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
Fósforo	P	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , HPO <sub>4</sub> <sup>=</sup>
Potasio	K	K <sup>+</sup>
Calcio	Ca	Ca <sup>2+</sup>
Magnesio	Mg	Mg <sup>2+</sup>
Azufre	S	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>
Manganeso	Mn	Mn <sup>2+</sup>
Zinc	Zn	Zn <sup>2+</sup>
Boro	B	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>
Hierro	Fe	Fe <sup>3+</sup> , Fe <sup>2+</sup>
Cobre	Cu	Cu <sup>+</sup> , Cu <sup>2+</sup>
Cloro	Cl	Cl <sup>-</sup>
Molibdeno	Mo	MoO <sub>4</sub>

Fuente: AZCÓN y TALÓN (2013)

SIERRA (2014), manifiesta que cuando más alto es el contenido del elemento nutritivo en forma asimilable, tanto más bajo será el coeficiente de aprovechamiento por la planta; este aprovechamiento por parte de la planta

también está sujeto de la movilidad del ion dentro de la planta, tal como se muestra en el Cuadro 8.

**Cuadro 8.** Movilidad de los iones dentro de la planta.

<b>Muy móvil</b>	<b>Móvil</b>	<b>Semi-móvil</b>	<b>Inmóvil</b>
Nitrógeno	Fósforo	Zinc	Boro
Potasio	Cloro	Cobre	Magnesio
Sodio	Azufre	Manganeso	Calcio
		Hierro	
		Molibdeno	

Fuente: SIERRA (2014)

### **2.9.1 Macronutrientes**

Gran parte de ellos, aunque no de forma exclusiva, están implicados en la estructura de las moléculas, y su nombre hace referencia a que se necesitan en grandes cantidades; su presencia en los tejidos esta siempre por encima del 0.1% de peso seco (MARTÍNEZ, 2009).

Los macronutrientes se caracterizan por sus concentraciones superiores al 0.1% de la materia seca. Los tres elementos que se encuentran en mayor concentración son el carbono, el hidrógeno y el oxígeno; los cuales se toman del agua y de la atmósfera.

El nitrógeno, el fósforo y el potasio son llamados macronutrientes primarios y es muy frecuente fertilizar con esos nutrientes. Los macronutrientes secundarios son el calcio, el magnesio y el azufre MARTÍNEZ (2009). En el Cuadro 9, se presenta las principales características de los macronutrientes en la planta.

**Cuadro 9.** Características de macronutrientes principales y secundarios.

Nutrimento	Características
Nitrógeno (N)	Compuesto móvil en la solución del suelo y en la planta. Se lixivia con gran facilidad con lluvias fuertes. En forma de amonio puede quemar la raíz si está muy cerca.
Fósforo (P)	Inmóvil en solución suelo, pero móvil dentro de la planta, la raíz debe llegar al nutrimento. No se lixivia con lluvia pesada.
Potasio (K)	Es importante para la calidad de frutos (tamaño y calidad). Se mueve lentamente en la solución del suelo y móvil en la planta. No se lixivia con lluvia.
Calcio (Ca)	De gran importancia en la pared celular de frutos. Se mueve en la solución del suelo, pero no en la planta.
Magnesio (Mg)	Se presenta con mayor frecuencia en suelos arenosos y/o ácidos. Móvil entre la planta.
Azufre (S)	Se encuentra la deficiencia en suelos ácidos. Inmóvil dentro de la planta.

Fuente: MARTÍNEZ (2009)

**a. Nitrógeno.-** Las plantas obtienen el nitrógeno principalmente del suelo, donde se encuentra bajo la forma orgánica, la que no es disponible inmediatamente para la planta, sino después de un proceso de mineralización catalizada por los microorganismos del suelo, el cual procede en la dirección siguiente:



La cantidad de nitrato producida finalmente depende de la disponibilidad de material orgánico por descomponer (HERNÁNDEZ, 2002). ANDRADE y CEDEÑO (2009), mencionan que el nitrógeno es necesario para la síntesis de la clorofila y como parte de la molécula de la clorofila está involucrado en el proceso de la fotosíntesis. Por lo tanto, la carencia de nitrógeno y en consecuencia la carencia de clorofila no permite que la planta utilice la luz solar como fuente de energía en el proceso de la fotosíntesis, pierde la habilidad de ejecutar funciones esenciales como la absorción de nutrientes.

**b. Fósforo.-** AZCÓN y TALÓN (2013), mencionan que el fósforo se encuentra disponible para la planta como ion fosfato, y se absorbe preferentemente como  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  en suelos con un pH inferior a 7, y como anión divalente  $\text{HPO}_4^{2-}$  en suelos básicos, con un pH por encima de 7. Por lo tanto, KAFKAFI y TARCHITZKY (2012) afirman que el ion  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  permanece estable en la solución dentro de la línea de riego en tanto el pH se mantenga bajo.

El fósforo actúa como transportador de energía, tanto en la fotosíntesis como en la degradación de los carbohidratos. En virtud de estas reacciones favorece el desarrollo radicular y otros procesos como maduración, movilización de reservas nutritivas y transmisión de los caracteres hereditarios. Una adecuada aplicación de fósforo es esencial para obtener frutos de sandía de buena calidad comercial (POMARES *et al.*, 2002).

**c. Potasio.-** Su comportamiento, a pesar de su naturaleza catiónica, es muy similar al que presentan el fósforo y el nitrógeno: se distribuye con suma facilidad de los órganos maduros a los juveniles, dada su solubilidad

y su baja afinidad por los compuestos orgánicos, con los que se intercambia fácilmente (AZCÓN y TALÓN, 2013)

**d. Calcio.-** El calcio se absorbe como ion divalente,  $\text{Ca}^{2+}$ . Es abundante en la mayoría de los suelos, y rara vez se comporta como un factor limitante, salvo en suelos ácidos con lluvias abundantes, donde resulta necesario el aporte de sales cálcicas, principalmente carbonatos, que elevan el pH (AZCÓN y TALÓN, 2013).

**e. Magnesio.-** Se absorbe y permanece como catión  $\text{Mg}^{2+}$  y no suele ser limitante. En caso contrario, la deficiencia produce clorosis, al no encontrarse en el anillo porfirínico de la clorofila (ANDRADE y CEDEÑO, 2009).

**f. Azufre.-** La raíz lo absorbe en forma de anión sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) aunque los estomas pueden absorber el contaminante dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), que reacciona con el agua para formar bisulfito ( $\text{HSO}_3^-$ ) que desplaza al Mg de la clorofila y disminuye, en consecuencia, la fotosíntesis (AZCÓN y TALÓN, 2013). Las oleaginosas, leguminosas, forrajes y algunas hortalizas requieren azufre en cantidades considerables. En muchos cultivos su cantidad en la planta es similar a la del fósforo.

### 2.9.2 Micronutrientes

Los micronutrientes son igual de importantes que los macronutrientes, todos ellos son esenciales en el desarrollo de las plantas. Los efectos de las deficiencias de micronutrientes pueden ser muy severos. Algunos no son aparentemente esenciales en sí mismos en la nutrición vegetal, pero pueden afectar indirectamente (SANZANO, 2014). Según KAFKAFI y



TARCHITZKY (2012), se considera micronutrientes a los elementos esenciales cuya concentración en planta es menor a 0.1% en peso seco.

**Cuadro 10.** Características de los micronutrientes.

<b>Elemento</b>	<b>Características</b>
Fe	La cantidad de Fe disponible para las plantas depende del potencial redox del suelo.
Mn	Se considera que existe en el suelo en tres estados de oxidación: $Mn^{2+}$ ; $Mn^{3+}$ y $Mn^{4+}$ . Las dos últimas formas son muy insolubles, siendo el $Mn^{2+}$ el aprovechable.
B	Está presente en los suelos tanto en forma orgánica como inorgánica.
Cu	Se presenta en los suelos principalmente como ion $Cu^{2+}$ , adsorbido por los minerales arcillosos y ligados por la materia orgánica que tiene una gran capacidad para combinarse fuertemente con el metal.
Zn	Generalmente está más disponible en los suelos ácidos que en los alcalinos. Las deficiencias de Zn se dan con más frecuencia en suelos arenosos y en suelos calcáreos. Altos niveles de P provocan deficiencias de Zn.
Cl	Su rol es todavía poco claro, sin embargo, se conoce que interviene en la fotosíntesis y en el desarrollo de las raíces. La mayor parte del cloro en el suelo está como ion $Cl^-$ , que se lava fácilmente en los suelos de las regiones húmedas. Excepto en los suelos salinos que tienen cantidades tóxicas de cloro, en los suelos normales no hay condiciones que reduzcan su disponibilidad.
Mo	Se encuentra en el suelo como anión molibdato. El pH es el principal regulador de la disponibilidad de Mo. Se hace cada vez más disponible al aumentar el pH.

Fuente: SANZANO (2014.)

### **2.9.3 Efecto del potasio (K) en la planta**

Según HERNÁNDEZ (2002), el potasio es generalmente considerado como el "nutriente de calidad". El potasio afecta la forma, tamaño, color y sabor de la planta y a otras medidas atribuidas a la calidad del producto. El potasio en la planta se encuentra en forma iónica  $K^+$ , que nunca se modifica y no forma parte en la composición de los compuestos orgánicos de las células (HERNÁNDEZ, 2002).

El potasio se caracteriza por su contribución a aumentar la resistencia a la sequía favoreciendo el mejor aprovechamiento del agua por las plantas, debido a que contribuye a mantener la turgencia celular, lo que trae como consecuencia una disminución de la transpiración cuando el agua escasea; también incrementa la resistencia de las plantas al frío, la salinidad, plagas y enfermedades (ANDRADE y CEDEÑO, 2009).

Según ALLGANIC (2015), los roles esenciales del potasio se encuentran en la síntesis de la proteína, los procesos fotosintéticos y el transporte de azúcares de las hojas a las frutas. Un buen suministro de potasio sustentará, por consiguiente, desde el principio la función de la hoja en el crecimiento de la fruta y contribuirá al efecto positivo del potasio en el rendimiento y en el alto contenido de sólidos solubles (más azúcares) en la fruta en el momento de la cosecha. Además, el potasio está involucrado en procesos de maduración de la fruta. El potasio promueve un contenido alto de ácido, lo cual es esencial para un buen sabor de la fruta.

Según HERNÁNDEZ (2002), el potasio se halla, principalmente en el citoplasma y en las vacuolas, mientras que está ausente en el núcleo. Así

RETAMALES (2011) afirma que, el potasio es importante para la expansión de las células; por ello, el crecimiento es muy sensible a la deficiencia de potasio. El crecimiento de las células requiere la formación de una gran vacuola central, que en el caso de las células de los frutos puede ocupar más de 90% del volumen de la célula. Se sabe que la expansión de las células es consecuencia de la acumulación de potasio dentro de las vacuolas de las células; por ello se señala que el potasio es necesario para el crecimiento de la fruta.

ALLGANIC (2015) menciona que, aproximadamente entre 60 - 66% de potasio absorbido por la planta, se encuentra en la fruta. La acción del potasio en la síntesis de la proteína refuerza la conversión del nitrato absorbido en proteínas, contribuyendo a una mejor eficiencia del fertilizante nitrogenado proporcionado. El potasio es un catión que está involucrado en el mantenimiento del potencial osmótico de la planta (turgencia de la célula), una implicación de esto es el movimiento del estoma, la apertura estomática permite a las plantas intercambiar gas y agua con la atmósfera. Esto permite a las plantas mantener un estado adecuado de hidratación bajo las condiciones de stress como salinidad o escasez de agua. Un cultivo con un contenido alto de potasio generalmente muestra una eficiencia mayor de uso de agua, o sea, este consume relativamente menos agua que cultivos deficientes de potasio para producir la misma cantidad de biomasa.

#### **2.9.4 Efecto del calcio (Ca) en la planta.**

Se absorbe como catión  $\text{Ca}^{2+}$ . Forma parte de la matriz de la pared celular. Actúa como cofactor de algunas enzimas, como las ATPasas. Además, como segundo mensajero está implicado en la fosforilación de proteínas.

En general, los procesos fisiológicos de la planta que están reguladas por el calcio (Ca) son abscisión, maduración, senescencia, control de la pared celular, tropismo, germinación de esporas, crecimiento de la punta del polen, movimiento del cloroplasto, división celular, movimiento de hojas, hinchamiento de la célula guardián de los estomas, control del daño por frío y acción hormonal.

El calcio retrasa la senescencia de los tejidos, la cual está asociada a la degradación de los polímeros pécticos en la pared celular (MOLINA, 2006).

Según SQM-VITAS (2015), la función principal de calcio en las plantas es la estabilización de las membranas celulares. El calcio tiene un papel importante por ser un componente de las membranas celulares. Facilita la cohesión celular por la acción del pectato de calcio que fija la celda en la lámina intermedia mantener juntos.

Se sabe que el calcio estabiliza el pH de la solución celular para mantener el equilibrio con otros iones y ácidos orgánicos. El papel del calcio en la translocación hidratos de carbono y en el cultivo de raíz también es significativo.

Es esencial para las paredes celulares y estructuras de la planta. Aproximadamente el 90% del calcio se encuentra en las paredes celulares. Actúa como un factor de cohesión que junta las células y apoya su estructura en los tejidos de la planta. El calcio es un factor clave responsable de la firmeza de la fruta. Se retrasa la senescencia resultando en hojas durables poder continuar con el proceso de la fotosíntesis, conformado por MOLINA (2006). Sin embargo, es particularmente notorio el papel que juega el calcio en el control de varios

desórdenes fisiológicos que se presentan en pre y pos cosecha en frutas y hortalizas

El mejoramiento de la firmeza y la resistencia al ablandamiento de la fruta de melón logrado con aplicaciones de calcio se atribuye a la estabilización de la membrana celular y la formación de pectatos de calcio, que incrementan la rigidez de la lámina media y la pared celular. El calcio también reduce la tasa respiratoria y la producción de etileno durante el almacenamiento lo que hace que la fruta se madure más lentamente, prolongando así la vida en anaquel. En cucurbitáceas como el melón es donde más se enfatiza el uso de calcio como fertilizante (MOLINA, 2006).

WALLACE *et al.* (1968), indican que entre los varios agentes que afectan la superficie de la célula, el calcio es el más común y altera las propiedades de las barreras celulares de una forma particular. Inhibe la penetración por los poros de cationes altamente hidratados como Li, Na y probablemente H, pero estimula la penetración de potasio. Por tanto, el principal papel del calcio es que elimina los efectos tóxicos de otros elementos.

También se encuentra en el centro de los mecanismos de defensa de las plantas, que ayudan a detectar y reaccionar contra el estrés externo. Ambas funciones en la defensa de la planta y en la firmeza de los tejidos son importantes para la resistencia contra el ataque de los patógenos y el deterioro durante el almacenamiento de la fruta. Sólo el 5% de calcio va a la fruta. Entonces, una transitoria deficiencia de calcio puede ocurrir fácilmente en los frutos y sobre todo en el período en que la tasa de crecimiento es alta. Esto produce una necrosis de la fruta extrema apical (SQM-VITAS, 2015).

### **2.9.5 Efecto de la relación calcio - potasio**

La concentración de calcio en las hojas está determinada, no sólo por el nivel de calcio en la solución; sino, el equilibrio catiónico juega un papel principal, especialmente las interacciones que se produce entre Ca, Mg y K. Es decir, un exceso de potasio produce bloqueos de magnesio, calcio, hierro, boro y zinc (SINGH, 1962).

Confirmado por BARBER y HUMBERT (1963), afirmando la acción unilateral excesiva del potasio, como ion hidrófilo, puede verse atenuada por acción del calcio; además, el calcio reduce grandemente la lixiviación del potasio. A diferencia del potasio, el calcio es relativamente inmóvil en la planta, sin embargo, es necesario para el crecimiento de los meristemas apicales.

En condiciones de exceso de potasio su consumo en la planta se incrementa, salvo en las semillas, y ese exceso de consumo puede interferir en la absorción y la disponibilidad fisiológica de Ca y Mg (AZCÓN y TALÓN, 2013).

La interacción Ca/K tiene importancia, pues la aplicación de ambos elementos favorece el desarrollo de raíces y hojas. La relación recíproca del Ca/K en las plantas parece ser controlada primeramente por el suministro de potasio disponible en el sustrato, aunque no hay evidencia de una influencia depresiva del calcio sobre la absorción de potasio; sin embargo, hubo efecto marcado del potasio en reducir la absorción de calcio en las plantas (ARMIJOS, 1972). NAVARRO y NAVARRO (2003) sostienen que los antagonismos entre  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{K}^{+}$ , no suelen presentarse cuando existe una correcta proporción entre estos. Si las relaciones Ca/K son superiores a la unidad es frecuente que aparezcan.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Ubicación del campo experimental

El presente trabajo de investigación se desarrolló en fundo de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicada en el km 1.5 carretera Tingo María - Huánuco, distrito de Rupa-Rupa, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco, cuyas coordenadas geográficas (UTM) son:

- 8970048.3926 Norte.
- 390514.9524 Este.
- 673 msnm de Altitud.

De acuerdo al mapa ecológico del Perú, Tingo María se encuentra en la formación vegetal de bosque muy húmedo sub tropical (INRENA, 1995)

**Cuadro 11.** Datos meteorológicos enero - agosto 2013.

Meses	Temperatura (°C) (max)	(min)	H. R. (%)	Precipitación (mm/mes)	Horas sol
Enero	21.1	26.0	84	189.0	147.6
Febrero	20.7	28.9	87	448.5	93.2
Marzo	21.2	29.3	87	561.6	108.3
Abril	20.6	30.8	84	201.6	165.9
Mayo	20.7	29.9	85	206.7	141.4
Junio	20.1	29.6	85	130.6	157.8
Julio	19.2	29.5	86	130.4	191.5
Agosto	19.8	30.1	84	243.9	181.8
Promedio	20.4	29.3	85.3	264.0	148.4

Fuente: Estación Meteorológica José Abelardo Quiñonez.

### 3.2 Materiales

- Bolsas de polietileno color negro (90 x 60 cm).
- 3 tanques de 220 L.
- 150 m de manguera de PVC (1.5")
- 120 m de microtubos (0.6 - 0.8 mm de diámetro)
- 3 Tubos de PVC (2")
- 3 filtros, 3 llaves de paso, 3 codos y 3 tapones.

#### 3.2.1 Equipos

- Balanza.
- Fumigadora de 15 L, marca SOLO.
- Moto guadaña.

#### 3.2.2 Insumos

- Fertilizantes (Cuadro 15).
- Herbicida y fungicidas.

### 3.3 Componentes en estudio

#### 3.3.1 Componente A

Relación calcio/potasio (ppm)

- $\text{Ca/K (100\%/100\%)} = \text{Ca/K (1)} : 130 \text{ ppm Ca/160 ppm K}$
- $\text{Ca/K (100\%/140\%)} = \text{Ca/K (0.71)} : 130 \text{ ppm Ca/224 ppm K}$
- $\text{Ca/K (120\%/140\%)} = \text{Ca/K (0.86)} : 156 \text{ ppm Ca/224 ppm K}$



### 3.3.2 Componente B

Sandía híbrida tipo Odem, con las siguientes características: porcentaje de germinación (90%), pureza (99%) y humedad (8%).

### 3.3.3 Tratamientos en estudio

**Cuadro 12.** Descripción de los tratamientos.

Tratamiento	Relación Ca/K (%)	Calcio (ppm)	Potasio (ppm)
T <sub>1</sub>	100% Ca / 100% K = 1	130	160
T <sub>2</sub>	100% Ca / 140% K = 0.71	130	224
T <sub>3</sub>	120% Ca / 140% K = 0.86	156	224

### 3.4 Diseño experimental

Se usó el Diseño Experimental Completamente al Azar (DCA), con 3 tratamientos y 10 repeticiones cada una, con un total de 30 unidades experimentales.

Las características evaluadas fueron sometidas a un análisis de variancia y a la Prueba de comparación de medias de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ).

#### 3.4.1 Modelo estadístico

El modelo estadístico es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

$Y_{ij}$  : Respuesta obtenida en la j-ésima repetición sujeto a la aplicación de i-ésimo tratamiento.

$\mu$  : Efecto de la media general.

$T_i$  : Efecto del i-ésimo tratamiento.

$\varepsilon_{ij}$  : Efecto aleatorio del error experimental obtenido en la j-ésima repetición sujeto a la aplicación de i-ésimo tratamiento.

Para:

i : 1, 2, 3 tratamientos

j : 1, 2, ..., 10 repeticiones

### 3.4.2 Análisis de variancia

**Cuadro 13.** Análisis de variancia.

<b>Fuente de variabilidad</b>	<b>GL</b>
Tratamiento	2
Error experimental	27
Total	29

## 3.5 Características del campo experimental

### 3.5.1 Parcelas

- Total de plantas por tratamiento = 19
- Distancias entre plantas = 2.5 x 3.5 m.
- Distancia entre parcelas = 1 m.
- Largo de las parcelas = 30 m.
- Ancho de la parcela = 2.5 m.

### **3.5.2 Del campo experimental**

- Ancho = 9.5 m.
- Largo = 35 m.
- Área total = 332.5 m<sup>2</sup>
- Número de parcelas = 3
- Número de plantas = 57

## **3.6 Ejecución del experimento**

### **3.6.1 Limpieza y acondicionamiento del área experimental**

El área experimental correspondiente a 332.5 m<sup>2</sup> ubicada en la Facultad de Agronomía, a un costado del vivero productivo; fue limpiada manualmente todo tipo de maleza, luego se procedió a aplicar un herbicida post-emergente de acción sistémica para el control no selectivo (Glifosato 1%). Posteriormente se colocaron las bolsas previamente confeccionadas con sustratos compuestos de arena y compost.

### **3.6.2 Obtención y preparación de los sustratos**

El sustrato estuvo conformado por arena gruesa más abono orgánico la cual solo sirvió para retener la humedad. La arena gruesa se obtuvo de la orilla del río Huallaga.

Mientras que la preparación del abono orgánico consistió en la mezcla de 20 carretillas de aserrín, 20 sacos de gallinaza, microorganismos eficientes (aeróbicos y anaeróbicos).

Aplicándose primero cuatro carretilladas de aserrín (como una cama uniforme), luego se cuatro sacos de gallinaza (en forma uniforme) y por último se adiciono los microorganismos eficientes formando así la primera capa; repitiéndose el proceso hasta completar cinco capas.

Finalmente se removió para dejarlo como una mezcla uniforme; removiéndolo uniformemente por el lapso de un mes hasta que esté completamente descompuesto listo para su uso.

Esta mezcla fue removida a diario durante un mes hasta completar la descomposición, quedando listo para el uso en la instalación en el campo definitivo; en cada remoción se añadió los microorganismos eficientes, agentes que facilitaron su descomposición.

### **3.6.3 Llenado y colocación de las bolsas en el área experimental**

Las bolsas de polietileno color negro, cuyas dimensiones fueron 90 x 60 cm; fueron llenadas de arena. Posteriormente fueron colocadas a la distancia y a los tratamientos establecidos en el área experimental.

### **3.6.4 Acondicionamiento e Instalación del sistema de riego por microtubos**

Se acondicionó el soporte (1.7 m de altura) para los tanques de la solución nutritiva; para lograr obtener una buena presión del agua. Luego se instaló el sistema de riego por goteo con microtubos; constituido por 3 recipientes de capacidad de 220 L a una altura de 1.7 m del suelo aproximadamente, cada recipiente contenía una solución nutritiva diferente correspondiente a cada uno de los tratamientos de las relaciones calcio/potasio en estudio.

### 3.6.5 Fórmula para la preparación de la solución

Para determinar la preparación de la solución nutritiva en sistema de cultivo hidropónico, se utilizó la siguiente fórmula general:

$$W = \frac{C * PM}{PA} * \frac{100}{P}$$

- W : Peso del compuesto necesitado.
- C : Concentración del elemento deseado (ppm).
- PM : Peso molecular del fertilizante usado.
- PA : Peso atómico del elemento.
- P : Porcentaje de pureza del fertilizante.

### 3.6.6 Formulación de las soluciones nutritivas

La solución nutritiva se preparaba cada cuatro días (tiempo que se terminaba la solución nutritiva del recipiente de 220 L); usando la formulación indicada en el Cuadro 14, teniendo en cuenta la riqueza del elemento deseado en cada fertilizante (Cuadro 15).

La solución era renovada constantemente durante el total de días que duró la ejecución del experimento.

**Cuadro 14.** Formulación de fertirrigación de sandía (ppm).

N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Fe	Cu	Zn	B	Mo
230	65	*	*	56	75	0.04	0.04	0.015	0.015	0.005	0.001

\* La concentración varía de acuerdo a los tratamientos en estudio (Ver Cuadro 12).

**Cuadro 15.** Fertilizante utilizado para la preparación de la solución nutritiva.

Fertilizante	Fórmula	Fuente
Urea	$\text{NH}_2 \text{ CO } \text{NH}_2$	N (46%)
Fosfato monoamónico	$\text{NH}_4 \text{ HPO}_4$	N (12%); P (61%)
Cloruro de potasio	$\text{K Cl}$	K (60%)
Nitrato de potasio	$\text{K NO}_3$	N (46%); K (13%)
Nitrato de calcio	$\text{Ca (NO}_3)_2 + 4 \text{ H}_2 \text{ O}$	N (15%); Ca (27%)
Sulfato de magnesio	$\text{SO}_4 \text{ Mg} \cdot 7 \text{ H}_2 \text{ O}$	S (32%); Mg (16%)
Fetrilon® Combi	*	Mn (4.0%), Fe (4.0%), Cu (1.5%), Zn (1.5%), B (0.5%) y Mo (0.1%)

\* Completamente quelatizados con EDTA

### 3.6.7 Frecuencia de riego

El riego era aplicado seis veces al día en los siguientes horarios: 8 am, 10, am, 12 m, 1 pm, 2 pm y 4 pm; para ello, se abría la llave de paso de cada tratamiento, la solución nutritiva circulaba primero por las mangueras de polietileno de color negro (1.5" de diámetro) luego la distribución continuaba por los microtubos (0.6 mm de diámetro) para así llegar a cada planta de sandía.

El tiempo de aplicación de cada riego era de dos minutos (aproximadamente 250 ml de la solución nutritiva llegaba a cada planta).

### 3.6.8 Germinación de semillas y trasplante a los cartuchos de papel

Se utilizó bandejas de almácigo, con sustrato de bosque (la primera capa del suelo) previamente desinfectado, donde se colocó una semilla por cada

tubete. Luego se confeccionó cartuchos con papel periódico adicionándole tierra para su desarrollo hasta que las plántulas tengan las condiciones para su trasplante al campo definitivo.

### **3.6.9 Trasplante al campo experimental**

Cuando las plántulas tuvieron tres a cuatro hojas verdaderas, se realizó el trasplante a las bolsas; para ello se hizo un hoyo en el sustrato donde fue colocada cada plántula.

Se instalaron un total de 57 unidades experimentales en el área experimental, de los cuales para la evaluación solo se tomaron al azar 10 unidades experimentales por tratamiento, siendo solamente las plantas evaluadas 30 para la recolección de datos y su comparación correspondiente.

### **3.6.10 Aplicación de agroquímicos**

Para el control preventivo contra las enfermedades que atacan a la sandía, se utilizaron: Isoprotiolano; Carbendazim, Dithiocarbamato + Cyanoacetamide oxime, Kasugamicina y Benomyl; adicionando siempre un adherente + humectante.

## **3.7 Características a evaluar**

Con la finalidad de cumplir los objetivos de este trabajo experimental se realizaron diferentes evaluaciones de los frutos que eran cosechados semanalmente, a partir de la cuarta semana después del trasplante:

### **3.7.1 Número de frutos**

Se contaron número de frutos comerciales por planta de todas las cosechas, únicamente se tomaron en cuenta los frutos en buen estado y maduros fisiológicamente.

### **3.7.2 Longitud del fruto**

Este dato se tomó de los frutos cosechados, con la ayuda de una cinta métrica midiendo desde la base del pedúnculo de la fruta hasta la parte terminal de la misma y transformado a cm.

### **3.7.3 Circunferencia ecuatorial del fruto**

A cada fruto cosechado se le midió la circunferencia ecuatorial para determinar la calidad y forma del fruto. Se usó una cinta métrica rodeando a la fruta en la parte central y luego fue transformado a cm.

### **3.7.4 Peso del fruto**

Se determinó el peso fresco del fruto con una balanza electrónica digital; de cada cosecha solo se tomaron en cuenta para la evaluación los frutos comerciales.

### **3.7.5 Sólidos solubles**

Se tomó la lectura de la cantidad de sólidos solubles en el fruto (°Brix), variable medida con un refractómetro manual, del Laboratorio de Análisis Sensorial de la Facultad de Industrias Alimentarias de la UNAS; escogiendo los frutos al azar, extrayendo la parte de la pulpa y su jugo. Los cuales se



compararon con los frutos comercializados en el mercado local procedentes de diferentes zonas.

### **3.7.6 Rendimiento por hectárea**

El rendimiento promedio era calculado en base a los resultados obtenidos del número de frutos por planta y peso de fruto; así comparar el tratamiento que mejor respuesta proporcionó.

### **3.7.7 Análisis de tejidos**

Entre el periodo de floración e inicio de fructificación se tomó una planta al azar y se realizó el análisis de tejidos (de toda la planta). Para determinar la cantidad de calcio y potasio presente en la planta se usó el método de espectrofotometría de absorción atómica, obteniendo finalmente la cantidad del elemento presente en toda la planta en porcentaje.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Número de frutos

El análisis de variancia (Cuadro 16), para el número de frutos por planta, muestra que no existen diferencias estadísticas para los tratamientos es estudio. También podemos observar que el coeficiente de variabilidad fue de 26.53% indicando variabilidad de los datos obtenidos, en el número de frutos por planta.

**Cuadro 16.** Análisis de variancia del número de frutos por planta.

Fuentes de variación	GL	Cuadrado medio	Significación
Tratamiento	2	0.233	NS
Error experimental	27	1.089	
Total	29		

CV : 26.53%

NS: No existe diferencia estadística significativa.

En el Cuadro 17, la prueba de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) muestra que no existen diferencias estadísticas entre los tratamientos en estudio; sin embargo, el tratamiento T<sub>1</sub> (Ca 100% /K 100%), fue el tratamiento que presentó el mayor promedio en cantidad de frutos con 4; mientras que el tratamiento T<sub>2</sub> (Ca 100% / K 140%), fue el que presentó el menor promedio en cantidad de frutos con solo 3.8.

Esta respuesta la consideramos como un comportamiento normal, ya que la sandía emite un alto número de flores, además SAKATA (2008) indica que la sandía híbrida tipo Odem es usada como polinizadora por un alto índice de flores masculinas facilitando la fecundación. CÁRDENAS (2001) menciona que, la sandía cultivada bajo riego tiene tendencia, frecuentemente, a desarrollar una

buena floración y fecundación. En la sandía, las primeras flores en aparecer son las masculinas, y a continuación las femeninas, éstas suelen aparecer en todas las ramas, cuajando, normalmente, las flores femeninas de las ramas principales.

**Cuadro 17.** Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para el número de frutos por planta.

Tratamiento	Descripción	Número de frutos	Significación
T <sub>1</sub>	100% calcio / 100% potasio	4.100	a
T <sub>3</sub>	120% calcio /140% potasio	3.900	a
T <sub>2</sub>	100% calcio /140% potasio	3.800	a

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no existe diferencia estadística significativa.

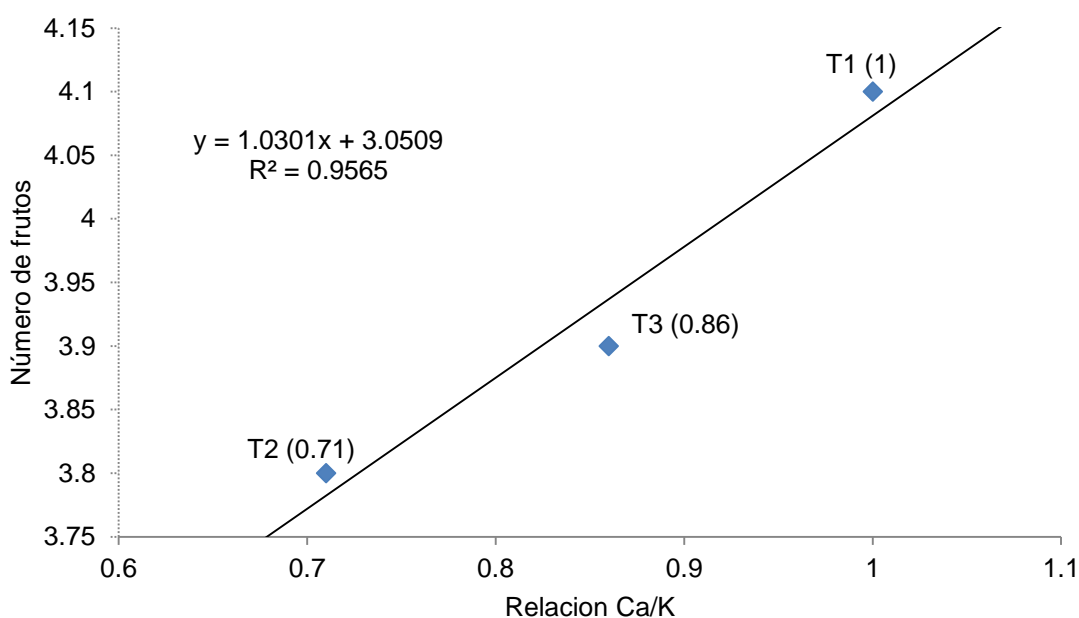
Según CÁRDENAS (2001), el número de frutos se debe también a la adaptación de la sandía al clima y a las condiciones de humedad del medio. La polinización también es muy decisiva en un buen cuajado de los frutos y hay que asegurarse que exista una adecuada proporción de abejas y plantas en un invernadero.

Teniendo en cuenta que durante la ejecución del experimento las condiciones fueron normales, siendo los promedios de temperatura y precipitación de 24.84 °C y 264 mm/mes respectivamente (Cuadro 11), proporcionando así un ambiente favorable para para los agentes polinizadores como mariposas y abejas, los cuales ayudaron el transporte del polen para la fecundación de las flores femeninas; teniendo en cuenta que la sandía es una planta alógama y su tipo de polinización es principalmente entomófila.

Los números de frutos obtenidos en el experimento son valores que podríamos considerar como normales; así lo reportan ANDRADE y CEDEÑO

(2009), 2.56 frutos comerciales por planta; de igual manera DAZA (2006), 1.81 frutos comerciales por planta. Mientras que RODRÍGUEZ (2007), 2.45 frutos comerciales por planta. Sin embargo, BRIONES (1997) indica 1.82 frutos comerciales por planta.

La Figura 2, muestra una tendencia creciente entre la relación Ca/K y el número de frutos por planta, sujeta a una ecuación lineal positiva o directamente proporcional; dando a entender que a medida que la relación Ca/K se incremente, entonces el número de frutos se también se incrementará.



**Figura 2.** Efecto de la relación Ca/K en el número de frutos por planta

Según MAHIA (2010), los valores aceptables para  $R^2$  dependen de varios factores, pero, en términos generales, una  $R^2$  aceptable oscila entre el 0.75 - 0.8 como valor mínimo; a medida que el valor de  $R^2$  se encuentre más cerca a la unidad, el ajuste de la recta a los datos es mejor, puesto que la variación explicada es mayor; así, el desajuste provocado por la sustitución de los valores observados por los predichos es menor.

## 4.2 Longitud de fruto

El análisis de variancia (Cuadro 18), para longitud de fruto, muestra que existen diferencias estadísticas altamente significativas para los tratamientos es estudio. También podemos observar que el coeficiente de variabilidad fue de 5.35% indicando excelente homogeneidad de los datos obtenidos.

**Cuadro 18.** Análisis de variancia para la longitud de fruto.

Fuentes de variación	GL	Cuadrado medio	Significación
Tratamiento	2	48.632	AS
Error experimental	27	2.857	
Total	29		

CV : 5.35%

AS: Existe diferencias estadísticas altamente significativas.

En el Cuadro 19, la prueba de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) muestra que existen diferencias estadísticas entre los tratamientos en estudio, siendo el tratamiento T<sub>2</sub> (Ca 100% / K 140%), la que presentó la mayor longitud de fruto (34.04 cm); sin embargo, los tratamientos T<sub>3</sub> y T<sub>1</sub> (120 / 140 y 100 /100 % de Ca y K respectivamente) se observaron estadísticamente similares (31.09 cm y 29.7 cm respectivamente), siendo esta última el tratamiento con menor promedio.

**Cuadro 19.** Prueba de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) para la longitud del fruto.

Tratamiento	Descripción	Longitud de fruto (cm)	Significación
T <sub>2</sub>	100% calcio /140% potasio	34.020	a
T <sub>3</sub>	120% calcio /140% potasio	31.090	b
T <sub>1</sub>	100% calcio /100% potasio	29.700	b

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no existe diferencia estadística significativa.

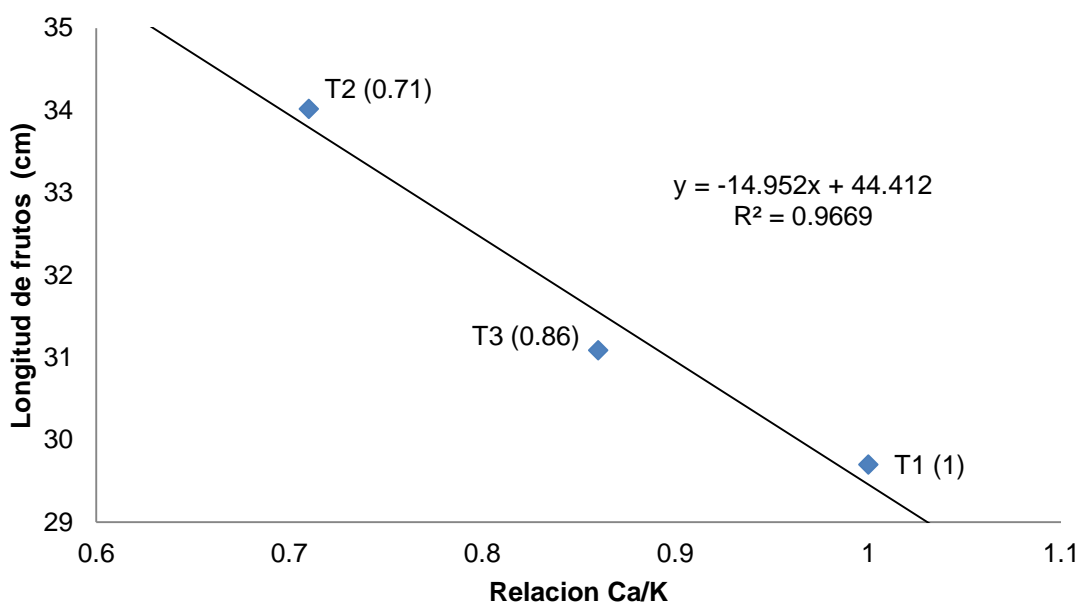
Esta característica de calidad está íntimamente relacionada con las características genéticas de la variedad, siendo esta característica para la sandía híbrida tipo Odem de 30 cm en promedio. Sin embargo, estas características también pueden ser afectadas por los métodos de producción, fecha que siembra y las condiciones climáticas (SAKATA, 2008).

Tomando lo indicado por SAKATA (2008), la longitud de frutos obtenidos en el experimento son valores que podríamos considerar como normales: tal como reportan ANDRADE y CEDEÑO (2009), 30.14 cm longitud de fruto; confirmado por BRIONES (1997), 30.30 cm; mientras que MAHIA (2010), reporta 27.01 cm en longitud de fruto. Sin embargo, QUILAMBAQUI y IDROVO (2009) indican 49.38 cm en longitud de fruto; mientras que MARCILLO (2003), obtuvo 39.04 cm en longitud del fruto.

La Figura 3, muestra una tendencia decreciente entre la relación Ca/K y la longitud de fruto; sujeto a una ecuación lineal negativa; es decir, mientras la relación Ca/K vaya incrementándose entonces la variable longitud de los frutos se verá afectada reduciéndose.

Es decir, el efecto de la relación Ca/K influye negativamente o inversamente proporcional en la longitud de fruto; el potasio tiene efecto en mejorar el rendimiento incrementando el tamaño y el peso de los frutos.

Sin embargo, NAVARRO y NAVARRO (2003) afirman que existe antagonismo en la absorción del calcio y potasio; cuando hay un exceso de calcio en la solución limita la absorción del potasio, siendo una explicación de lo que sucede con la longitud de los frutos de sandía.



**Figura 3.** Efecto de la relación Ca/K en la longitud de frutos

#### 4.3 Circunferencia ecuatorial del fruto

El análisis de variancia (Cuadro 20), para el diámetro ecuatorial del fruto, muestra que no existen diferencias estadísticas para los tratamientos es estudio. También podemos observar que el coeficiente de variabilidad fue de 4.53%, indicando excelente homogeneidad de los datos obtenidos, en la circunferencia ecuatorial del fruto.

**Cuadro 20.** Análisis de variancia para la circunferencia ecuatorial del fruto.

Fuentes de variación	GL	Cuadrado medio	Significación
Tratamiento	2	29.052	NS
Error experimental	27	9.282	
Total	29		

CV : 4.53%

NS: No existe diferencia estadística significativa.

En el Cuadro 21, la prueba de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) muestra que existen diferencias estadísticas entre los tratamientos en estudio, siendo el tratamiento T<sub>2</sub> (Ca 100% / K 140%), la que presentó la mayor circunferencia ecuatorial del fruto (69.07 cm); además que el tratamiento T<sub>1</sub> (Ca 100% / K 100%) tuvo la menor circunferencia ecuatorial (65.70 cm).

Esta característica de calidad está íntimamente relacionada con las características genéticas de la variedad. De igual manera, también pueden ser influenciadas positivamente o negativamente por los diferentes métodos de producción, fecha que se realiza la siembra y las condiciones climáticas a la que se encuentre expuesta la planta durante el desarrollo de su periodo fenológico, desde la siembra hasta la cosecha de los frutos (SAKATA, 2008).

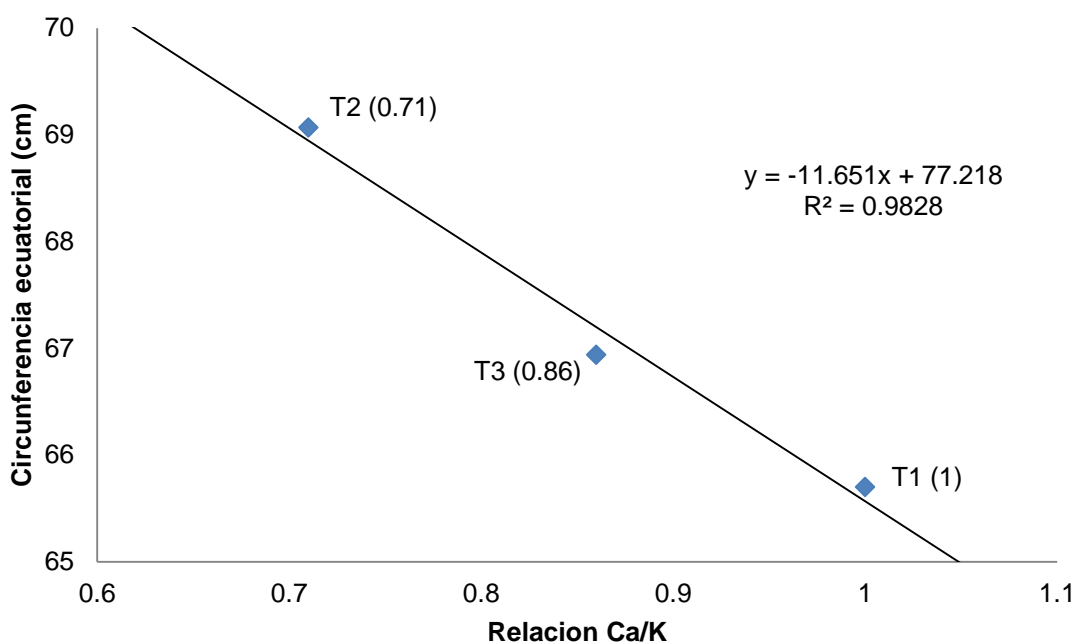
**Cuadro 21.** Prueba de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) para la circunferencia ecuatorial del fruto.

Tratamiento	Descripción	Circunferencia del fruto (cm)	Significación
T <sub>2</sub>	100% calcio /140% potasio	69.070	a
T <sub>3</sub>	120% calcio /140% potasio	66.940	a b
T <sub>1</sub>	100% calcio /100% potasio	65.700	b

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no existe diferencia estadística significativa.

La Figura 4, nos muestra que al igual que la longitud del fruto, también la circunferencia del fruto será menor a medida que la relación Ca/K se incremente; es decir hay una tendencia decreciente entre la relación Ca/K y la circunferencia ecuatorial del fruto, sujeta a una ecuación lineal negativa o inversamente proporcional.





**Figura 4.** Efecto de la relación Ca/K en la circunferencia ecuatorial de los frutos.

#### 4.4 Peso de fruto

El análisis de variancia (Cuadro 22), para el peso del fruto, muestra que no existen diferencias estadísticas para los tratamientos es estudio. También podemos observar que el coeficiente de variabilidad fue de 13.89% indicando muy buena homogeneidad de los datos obtenidos, en el peso de fruto.

**Cuadro 22.** Análisis de variancia para el peso del fruto.

Fuentes de variación	GL	Cuadrado medio	Significación
Tratamiento	2	0.406	NS
Error experimental	27	1.217	
Total	29		

CV : 13.89%

NS: No existe diferencia estadística significativa.

En el Cuadro 23 la prueba de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) muestra que no existen diferencias estadísticas entre los tratamientos en estudio, siendo el tratamiento T<sub>3</sub> (Ca 120% / K 140%), la que presentó el mayor peso de fruto (8.075 kg).

Sin embargo, el tratamiento T<sub>1</sub> (Ca 100% / K 100%) tuvo el menor peso de fruto (7.709 kg). Seguramente se explica en el hecho de que el potasio y calcio de los fertilizantes son mejor aprovechado por las plantas, cuando estos elementos se encuentran en mayor disposición por medio del agua de riego.

En esta característica de calidad, el fruto de la sandía híbrida tipo Odem genéticamente puede llegar a pesar entre 6 - 9 kg, siempre que las condiciones de producción y demás factores sean favorables para el cultivo (SAKATA, 2008).

**Cuadro 23.** Prueba de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) para el peso del fruto.

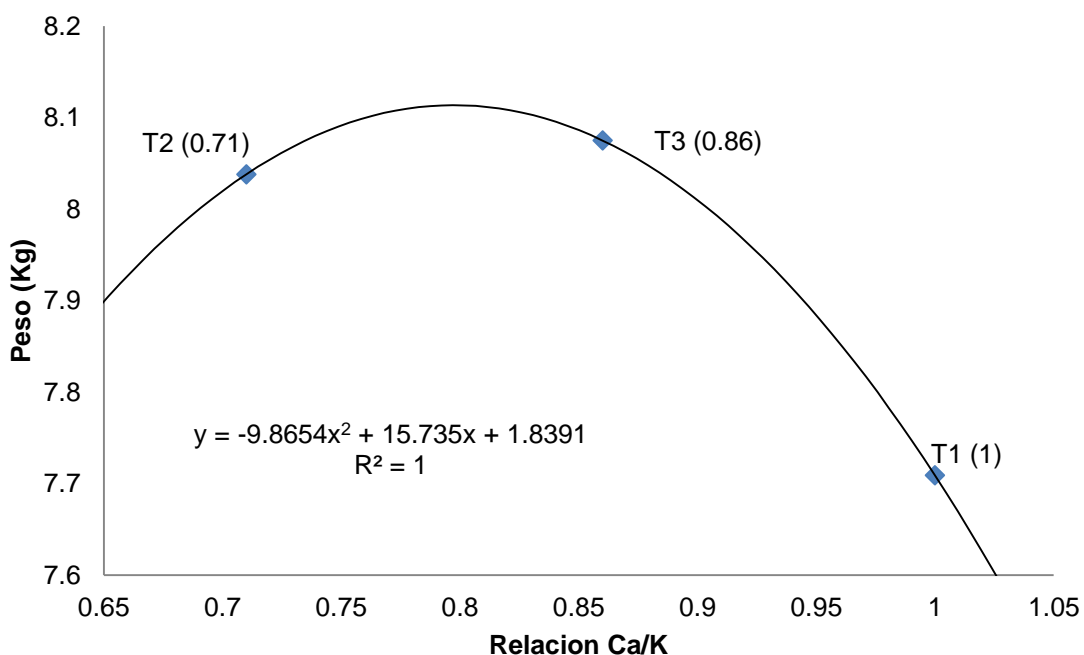
Tratamiento	Descripción	Peso del fruto (kg)	Significación
T <sub>3</sub>	120% calcio /140% potasio	8.075	a
T <sub>2</sub>	100% calcio /140% potasio	8.038	a
T <sub>1</sub>	100% calcio /100% potasio	7.709	a

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no existe diferencia estadística significativa.

Hoy en día el concepto del peso ideal de la sandía en el mercado ha cambiado mucho, siendo los frutos pequeños y redondos los más aceptados, ya que su manejo a nivel personal y familiar es más práctico, en comparación con variedades muy grandes. CÁRDENAS (2001), afirma que las sandías de los nudos más bajos (más cercanos al cuello de planta) y que cuajaron primero son las más grandes y pesadas, ya que tienen mayor tiempo para acumular agua y nutrientes.

El peso de los frutos obtenidos en el experimento, los podríamos considerar como normales: así lo indican ANDRADE y CEDEÑO (2009), 6.16 kg, de igual manera DAZA (2006), 6.20 kg en peso por fruto. Sin embargo, MARCILLO (2003) menciona 5.93 kg por fruto, mientras que RODRÍGUEZ (2007), indica un peso de 4.97 kg.

La Figura 5, muestra una tendencia parabólica positiva entre la relación Ca/K y el peso de fruto; dando a entender que un incremento o disminución de la relación Ca/K solo provocaría pérdida de peso en los frutos de sandía; teniendo probablemente los mayores pesos cuando la relación Ca/K oscile dentro del intervalo 0.75 - 0.85.



**Figura 5.** Efecto de la relación Ca/K en el peso de los frutos.

Esto puede ser por lo mencionado por NAVARRO y NAVARRO (2003), quienes explican que las alteraciones por exceso de potasio en la planta se presentan con menos frecuencia, y están basadas en el antagonismo K/Ca.

Dando a entender que la relación Ca/K puede elevarse y la planta lo podrá aprovechar eficientemente, hasta llegar a un punto óptimo, el cual oscila entre 0.75 - 0.85 kg, donde muestran los mayores pesos de frutos. Sin embargo, seguir incrementando la relación Ca/K puede provocar efectos desfavorables ya que el exceso de calcio puede provocar un déficit de potasio, lo cual provocaría la reducción del tamaño de los frutos.

#### 4.5 Sólidos solubles

El análisis de variancia (Cuadro 24), para sólidos solubles disueltos en el fruto, muestra que existen diferencias estadísticas significativas para los tratamientos es estudio. También podemos observar que el coeficiente de variabilidad fue de 2.28% indicando excelente homogeneidad de los datos obtenidos, en la cantidad de sólidos solubles disueltos en el fruto.

**Cuadro 24.** Análisis de variancia para sólidos solubles disueltos en el fruto.

<b>Fuentes de variación</b>	<b>GL</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>Significación</b>
Tratamiento	2	0.723	S
Error experimental	12	0.039	
Total	14		

CV : 2.28%

S: Existe diferencia estadística significativa.

En el Cuadro 25, la prueba de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) muestra que existen diferencias estadísticas entre los tratamientos en estudio, siendo el tratamiento T<sub>3</sub> (Ca 120% / K 140%), la que presentó el mayor contenido de sólidos solubles (9.10 °Brix); sin embargo, el tratamiento T<sub>1</sub> (Ca 100% / K 100%) tuvo la menor cantidad de sólidos solubles (8.34 °Brix).

**Cuadro 25.** Prueba de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) para los sólidos solubles disueltos en el fruto.

Tratamiento	Descripción	Sólidos solubles (°Brix)	Significación
T <sub>3</sub>	120% calcio /140% potasio	9.100	a
T <sub>2</sub>	100% calcio /140% potasio	8.700	b
T <sub>1</sub>	100% calcio /100% potasio	8.340	c

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no existe diferencia estadística significativa.

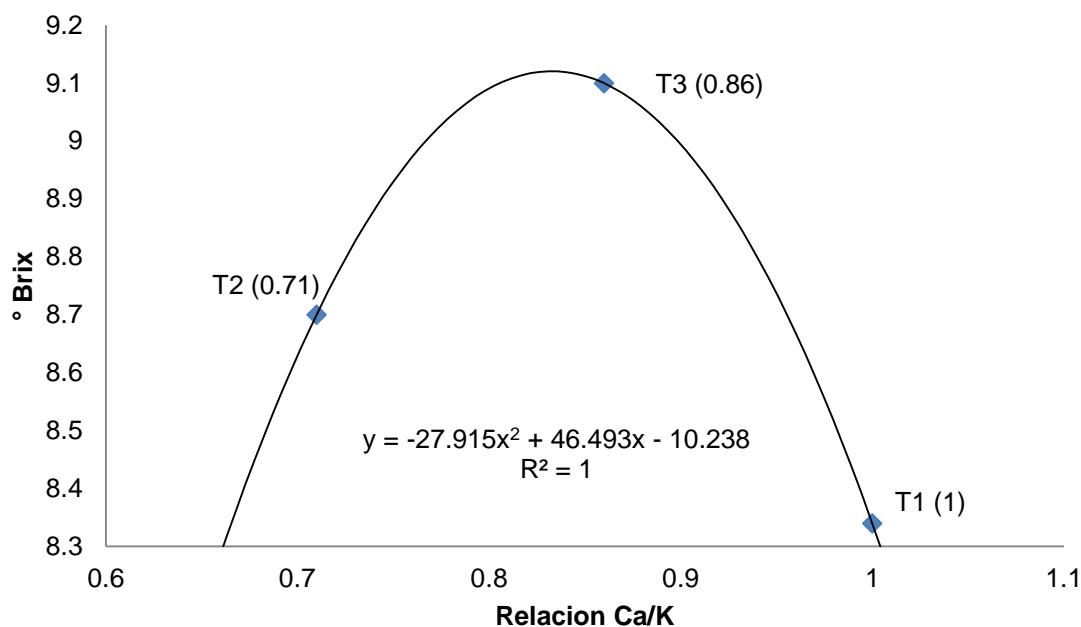
En esta característica de calidad; según SAKATA (2008), el porcentaje de azúcar del fruto de la sandía híbrida tipo Odem genéticamente puede llegar hasta 15 °Brix, teniendo condiciones óptimas en los métodos de producción, fecha que siembra y las condiciones climáticas. Además, CÁRDENAS (2001), afirma que a medida que el nudo se encuentre más lejano al suelo, los frutos van a ser más dulces.

La evaluación de los sólidos solubles disueltos en el fruto (porcentaje de dulzor del fruto), obtenidos en el experimento son valores que podríamos considerar relativamente bajos; comparando con lo reportado por ANDRADE y CEDEÑO (2009), una máxima de 11.18 °Brix y una mínima de 9.93 °Brix; sin embargo, DAZA (2006) indica 10.8 °Brix.

ACOSTA *et al.* (2011), mencionan el rango comprendido entre 9 - 11 °Brix como los valores frecuentes de sólidos solubles presentes en la sandía.

La Figura 6, muestra una tendencia parabólica positiva entre la relación Ca/K y el porcentaje de sólidos solubles (°Brix); es decir los azúcares disueltos en el fruto aumentarán a medida que aumente la relación Ca/K, llegando hasta

un punto máximo; asumiendo que cuando la relación Ca/K oscile dentro del intervalo 0.8 - 0.9 los grados Brix serán los más altos.

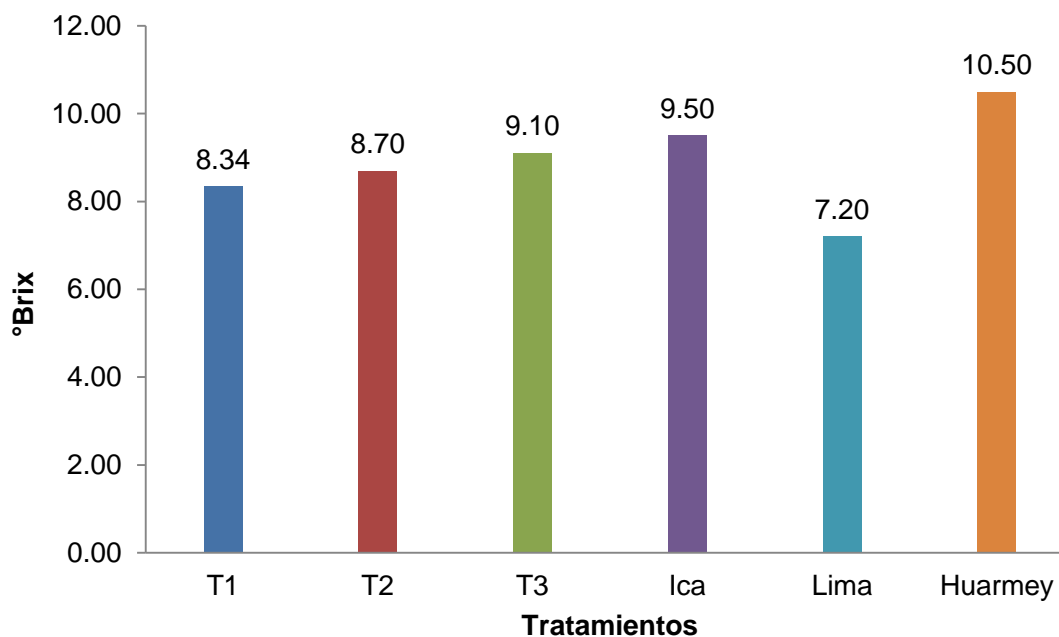


**Figura 6.** Efecto de la relación Ca/K para sólidos solubles disueltos en el fruto.

Sin embargo, si la relación Ca/K sigue incrementando provocaría efectos inversos, reduciendo los grados Brix del fruto, debido al antagonismo que provoca el exceso de calcio en la absorción de potasio en la planta.

Con estos rangos, es posible acogerse a lo señalado por APONTEL (1999), quien dice que el potasio es un catalizador de las reacciones vitales, interviene en el almacenamiento de azúcares, produciendo frutos de alto grados Brix (% de azúcares), más dulces y de mejor aroma. Por lo tanto, una adecuada fertilización potásica es crucial para la obtención de frutos de alta calidad.

La Figura 7, muestra que los valores obtenidos de la sandía híbrida tipo Odem entre 8.3 - 9.0 °Brix durante la época de cosecha.



**Figura 7.** Comparación de los sólidos solubles disueltos en los frutos de sandía híbrida tipo Odem con sandías de diferentes procedencias.

Comparando con los frutos de sandía proveniente de Huarmey posee sólidos solubles 10.5 °Brix, mientras que los procedentes de Ica tienen sólidos solubles (9.5 °Brix). Siendo superiores a los obtenidos en investigación realizada. Sin embargo, los sólidos solubles procedentes de Lima tienen 7.2 °Brix, siendo inferiores a los frutos obtenidos en los tratamientos de la investigación.

También estos resultados pueden ser influenciados por la cantidad de precipitación presente. Según el Cuadro 11, durante los meses desde la floración hasta la cosecha fueron las más secas en Tingo María, es decir con menor precipitación en comparación con los demás meses.

Siendo un factor determinante en los grados Brix; ya que la cantidad de azúcares presentes se encuentran más concentrados ayudando a que los grados Brix se eleven; como es el caso de las zonas costeras, donde la

precipitación es menor en las épocas de producción de sandía, facilitando así el incremento de los grados Brix en los frutos.

#### 4.6 Rendimiento estimado por hectárea

El Cuadro 26, nos muestra una tendencia creciente, es decir, mientras la relación Ca/K se incrementa el rendimiento del cultivo se incrementará.

**Cuadro 26.** Rendimientos de frutos comerciales y comparación entre tratamientos.

Tratamiento	Descripción	Rendimiento (t/ha)
T <sub>1</sub>	100% calcio /100% potasio	36.122
T <sub>3</sub>	120% calcio /140% potasio	35.991
T <sub>2</sub>	100% calcio /140% potasio	34.908

Siendo así, el tratamiento T<sub>1</sub> (Ca 100% / K 100%), el que mayor rendimiento estimado presento con 36.122 t/ha, mientras que el tratamiento T<sub>2</sub> (Ca 100% / K 140%) solo obtuvo un rendimiento estimado de 34.908 t/ha; siendo valores aceptables en condiciones de Selva, ya que los rendimientos en condiciones costeras son superiores.

Es así, que, los rendimientos obtenidos en el experimento son parecidos a los obtenidos por SANTILLAN (2003), 36.56 t/ha y 24.05 t/ha con las variedades Peacock WR60 y Picurino respectivamente en Bello Horizonte, departamento de San Martín. Sin embargo, ANDRADE y CEDEÑO (2009) reportan rendimientos que oscilan entre 29.87 - 58.06 t/ha; siendo entonces considerado valores normales los rendimientos estimados obtenidos en el experimento, en condiciones de selva.



Por su parte GARCÍA (1999), obtuvo un rendimiento promedio de 69.44 t/ha, con la sandía variedad Royal Sweet; así mismo PAHUACHO (1999), obtuvo un rendimiento comercial entre 103.5 t/ha - 114.3 t/ha, con la sandía cv. Emperor, siendo las dos variedades probadas en La Molina departamento de Lima bajo condiciones de costa.

ANDRADE y CEDEÑO (2009); indican que el nitrógeno interviene directamente en el desarrollo de la planta de sandía e incrementa la producción al aumentar el número de flores femeninas y por tanto el número de frutos. Sin embargo, un exceso de nitrógeno o una relación N/K no adecuada puede ser el causante del rajado del fruto y un desarrollo vegetativo excesivo.

#### 4.7 Análisis de tejidos

De acuerdo al Cuadro 27, el tratamiento T<sub>2</sub> (Ca 100%/ K 140%); puede encontrarse aproximadamente 14.7% de potasio; mientras que el tratamiento T<sub>3</sub> (Ca 120%/ K 140%) solo se un 6.2% de potasio; esto puede ser probablemente porque el calcio en exceso provoca un antagonismo en la absorción de potasio tal como menciona GUZMÁN (2004); indicando que, al incrementar la concentración de calcio, provocaría una deficiente absorción del potasio.

**Cuadro 27.** Porcentaje de K y Ca, presente en la planta de sandía híbrida tipo Odem.

Tratamiento	Descripción	Ca (%)	K (%)
T <sub>1</sub>	100% calcio /100% potasio	0.52	0.79
T <sub>2</sub>	100% calcio /140% potasio	0.67	14.73
T <sub>3</sub>	120% calcio /140% potasio	0.86	6.23

Las concentraciones de estos minerales pueden variar; de acuerdo a la edad de la planta u órgano; es así como BARREIRO (1998) menciona, hay aproximadamente 14.7% de potasio y 0.8% de calcio presente en la planta de sandía.

Sin embargo, RAW (2011), establece un 0.1% de potasio en los frutos de sandía; mientras que WHFOODS (2012), afirma que un fruto de sandía puede contener hasta 4.8% de potasio de acuerdo a las condiciones para la buena absorción de este elemento y también comenta que en las hojas recolectadas desde el inicio de la floración se encuentra de 4.0 - 5.0% de potasio y 1.7 - 3.0% de calcio.

La disponibilidad de calcio y potasio para las plantas, no solo depende de su contenido en el complejo de cambio y en la solución, sino también de la competencia que se puede presentar entre estos elementos; comportamiento que varía de acuerdo a la selectividad catiónica (SADEGHIAN, 2012).

## V. CONCLUSIONES

1. La mayor concentración de sólidos solubles, 9.1 °Brix se logró con el tratamiento T<sub>3</sub>; siendo el promedio entre todos los tratamientos 8.71 °Brix.
2. Los frutos más grandes se lograron con el tratamiento T<sub>2</sub>, 34.02 cm de longitud y 69.07 cm de circunferencia ecuatorial de fruto.
3. Se lograron los mayores rendimientos estimados con el tratamiento T<sub>1</sub>, 36.122 t/ha; por tener el mayor número de frutos/planta, con 4.1 frutos comerciales.
4. Con el tratamiento T<sub>1</sub> se logró la mayor absorción de la relación Ca/K; con 0.67% de calcio y 14.73% de potasio.

## **VI. RECOMENDACIONES**

De las conclusiones obtenidas se recomienda:

1. Utilizar la relación calcio (100%)/ potasio (100%), para la producción hidropónica de sandía híbrida tipo Odem en un sistema de riego por microtubos en Tingo María, ya que con este tratamiento se obtuvo mejor rendimiento y frutos de tamaños medianos los cuales son óptimos para una facilidad en cosecha, transporte y comercialización.
2. Realizar el experimento en otras partes de la zona; y en épocas diferentes.
3. Realizar un nuevo experimento incrementando el número de dosis de potasio y calcio usando un diseño con arreglo factorial.

## VII. RESUMEN

El presente trabajo se llevó a cabo en las extensiones del fundo facultad de agronomía-UNAS de la ciudad de Tingo María, el cual es una zona de vida con bosque muy húmedo sub tropical. Características del campo experimental; 332.5 m<sup>2</sup>, el diseño estadístico empleado fue el diseño completamente al azar (DCA), con 3 tratamientos y 10 repeticiones, las características evaluadas fueron sometidas en análisis de variancia y a la prueba de comparación de medias de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ).

Se evaluó la mejor relación Ca/K en la sandía híbrida tipo Odem bajo fertirrigación en lo cual se sembró en bolsas de 90 x 60 cm, utilizándose como sustrato arena. La siembra fue en almácigos y una vez realizado el trasplante se condujo bajo un sistema de fertirrigación por microtubos de polipropileno color negro.

Obteniendo los siguientes resultados; con el T<sub>1</sub>: número de frutos 4.1; longitud de fruto 29.7 cm; circunferencia ecuatorial del fruto 65.7 cm y peso de fruto 7.7 kg; mientras que con el T<sub>2</sub>: número de frutos 3.8; longitud de fruto 34.0 cm; circunferencia ecuatorial del fruto 69.0 cm y peso de fruto 8.0 kg. Finalmente, con el T<sub>3</sub>: número de frutos 3.9; longitud de fruto 31.0 cm; circunferencia ecuatorial del fruto 66.9 cm y peso de fruto 8.0 kg. En cuanto a los sólidos solubles, se observó diferencias significativas entre los tratamientos, siendo el T<sub>3</sub> con 9.1 °Brix. Siendo parecidas o superiores a los que son comercializados procedentes de diferentes zonas. Sin embargo, los mejores rendimientos obtenidos fueron con el T<sub>1</sub> siendo de 36.1 t/ha aproximadamente.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. ACOSTA G.; GALVÁN R.; LUJAN M.; QUIÑONES F. y CHÁVEZ N. 2011. Sandía. INIFAP. Chihuahua. México. 35 p.
2. AGENCIA ANDINA. 2010. Exportación de sandía en Perú aumentó en 103,8%. [En línea]: América Economía. Lima. Perú. (<http://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/exportacion-de-sandia-en-peru-aumento-en-1038>, visitado el 12 de octubre del 2015).
3. ALLGANIC. 2015. Potasio. [En línea]: SQM-Organic. South Africa. (<http://www.allganic.net/en-us/nutrientes/potasio.aspx>, visitado el 12 de octubre del 2015).
4. ALVARADO C.; DÍAZ F. Y MORALES B. 2003. Tecnología para producir sandía con fertirriego en el norte de Tamaulipas. CERIB. INIFAP. México. 23 p.
5. ANDRADE B. y CEDEÑO D. 2009. Efecto de NPK y enmiendas en la producción de *citrullus vulgaris* en Río Verde, Cantón Santa Elena, provincia de Santa Elena. Tesis Ing. Agropecuario. Universidad Estatal Península de Santa Elena. Ecuador. 111 p.
6. APONTEL A. 1999. Cultivos protegidos con técnicas hidropónicas y biológicas. Agrovereda. Colombia. 77 p.
7. ARMIJOS E. 1972. Efecto de cinco niveles de potasio, calcio y magnesio sobre la producción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis M. Sc. Scientiae. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Turrialba. Costa Rica. 71 p.

8. AZCÓN J. y TALÓN. M. 2013. Fisiología y bioquímica vegetal. Segunda Edición. Editorial Mc-Graw Hill Interamericana. Barcelona. España. 651 p.
9. BARBADO J. 2005. Hidroponía. Su empresa de cultivos en agua. Editorial Albatros. Argentina. 79 p.
10. BARBER S. y HUMBERT R. 1963. Advances in knowledge of potassium relationships in the soil and plant. Fertilizer Technology and Usage. Nac-Vicker Edic. New York. EEUU. Pp. 231-268.
11. BARREIRO P. 1998. La sandía, una tradición exportadora. Revista mensual - Claridades Agropecuaria. México. 40 p.
12. BRIONES D. 1997. Evaluación agronómica de trece cultivares de sandía (*Citrullus vulgaris*) en el valle del Río Portoviejo. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Técnica de Manabí. Ecuador. 30 p.
13. CÁRDENAS M. 2001. Evaluación agro económica de siete materiales genéticos de sandía con tres niveles de poda vegetativa bajo condiciones protegidas en Zamorano. Zamoempresa de Cultivos Intensivos de Zamorano. Honduras. 47 p.
14. CARRASCO L. 2013. INIA podría producir sandía sin semilla. [En línea]: Agraria.pe. Lima (<http://agraria.pe/noticias/inia-podria-producir-sandia-sin-semilla-4373>, visitado el 21 de diciembre del 2015)
15. DAZA R. 2006. Comportamiento agronómico de 15 híbridos de sandía en el valle del Río Portoviejo. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Técnica de Manabí. Ecuador. 32 p.

16. DE LA ROSA P. 2012. Producción de sandía (*Citrullus lanatus*) en el estado de Veracruz. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Veracruzana. México. 118 p.
17. ESPINOSA P. y ESPINOSA M. 2013. Hidroponía rústica. Secretaria de agricultura, ganadería, desarrollo rural pesca y alimentación. México. 12 p.
18. FLORIÁN P.; ROCA D. y BELDA R., 2010. El control del fertirriego en los cultivos sin suelo. Horticultura global. España. Vol. 290. Pp. 12-19.
19. GARCIA B. E. I. 1999. Efecto de la relación potasio-calcio en el rendimiento del cultivo de sandía (*Citrullus lanatus*) var. Royal Sweet bajo R.L.A.F.: Goteo. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. Perú. 85 p.
20. GUZMÁN G. 2004. Hidroponía en casa: una actividad familiar. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José. Costa Rica. 25 págs.
21. HAGIN J.; SNEH M. y LOWENGART A. 2002. Fertigation – Fertilization through irrigation. IPI-Research Topics N° 23. International Potash Institute. Basilea. Suiza. 81 p.
22. HERNÁNDEZ G. 2002. Nutrición mineral de las plantas. [En línea]: Universidad de Los Andes. Mérida. Venezuela. (<http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/nutricionmineral/>, visitado el 12 de octubre del 2015).
23. INRENA. 1995. Mapa ecológico del Perú - Guía explicativa. Instituto Nacional de Recursos Naturales - MINAG. Perú. Pp. 163-167.



24. KAFKAFI U. 2005. Global aspects of fertigation usage. Fertigation Proceedings, International Symposium on Fertigation Beijing. 20-24 September 2005. China. Pp. 8-22.
25. KAFKAFI U. y TARCHITZKY J. 2012. Fertirrigación. Una herramienta para una eficiente fertilización y manejo del agua. IFA. París. Francia. IIP. Horgen. Suiza. 149 p.
26. MAG. 2010. Guía técnica de rubros agropecuarios. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San Lorenzo. Paraguay. Pp. 52-55.
27. MAHIA R. 2010. Guía de manejo del programa E-Views. Capítulo III. Interpretación del análisis de regresión en eviews: Contrastes y primeras medidas de bondad a priori de un MBRL. Universidad Autónoma de Madrid. España. Pp. 45-87.
28. MARCILLO J. 2003. Evaluación de varias dosis de Strong y Max Foliar (FE) como complemento, a la fertilización química al suelo en el cultivo de sandía (*Citrullus vulgaris* Shard) Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Técnica de Manabí. Ecuador. 27 p.
29. MARTÍNEZ C. J. 2009. Fertilización en hortalizas. Proyecto de hortalizas. Facultad de Agronomía - UANL. Uruguay. 15 p.
30. MOLINA E. 2006. Efecto de la nutrición mineral en la calidad del melón. INPOFOS. Informaciones Agronómicas N° 63. Quito. Ecuador. 7 p.
31. NAVARRO G. y NAVARRO S. 2003. Química agrícola: El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. 2° Edic. Edit.: Mundi-Prensa. Madrid. España. 231 p.

32. PAHUACHO G. B. 1999. Efecto de la relación nitrógeno-calcio en el rendimiento del cultivo de sandía (*Citrullus lanatus*) cv. Emperador bajo R.L.A.F.: Exudación. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. Perú. 127 p.
33. POMARES F.; MAROTO J. y GÓMEZ A. 2002. El cultivo de la sandía. Edit.: Mundi-Prensa. Madrid. España. 322 p.
34. QUILAMBAQUI M. y IDROVO J. 2009. Estudio del comportamiento agronómico de las zeolitas en la fertilización del cultivo de la sandía (*Citrullus vulgaris*) en la zona de Taura, Guayas. [En línea]: DSPACE. (<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/1264>, visitado el 10 de febrero del 2014).
35. RAW. 2011. Watermelon. [En línea]: EAT This much. ([www.eatthismuch.com/food/view/watermelon,2130/](http://www.eatthismuch.com/food/view/watermelon,2130/); visitado el 05 de marzo del 2014).
36. RECHE M. 2008. Cultivo intensivo de la sandía. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Madrid. España. 48 p.
37. RETAMALES J. 2011. Fisiología y manejo de la nutrición de boro, potasio y calcio en pomáceas. Universidad de Talca. Chile. 25 p.
38. RODRÍGUEZ F. 2007. Evaluación del rendimiento de seis híbridos de sandía (*Citrullus vulgaris*), en el recinto Bajada de Colonche cantón Santa Elena, provincia del Guayas. Tesis Ing. Agropecuario. Universidad Estatal Península de Santa Elena. Ecuador. 56 p.
39. SADEGHIAN K. 2012. Efecto de los cambios en las relaciones de calcio, magnesio y potasio intercambiables en suelos de la zona cafetera colombiana sobre la nutrición de café (*Coffea arabica* L.) en la etapa

- de almácigo. Doctorado en Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. Colombia. 180 p.
40. SAKATA. 2008. Odem-F1 hybrid watermelon. Sakata Seed Southern Africa. Technical Bulletin. Ref. Odem. 2 p.
41. SANTILLAN O. 2003. Densidades del cultivo de sandía (*Citrullus vulgaris*) variedad Peacock WR60 en la localidad de Bello Horizonte provincia de San Martín. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Nacional de San Martín. Tarapoto. Perú. 41 p.
42. SANZANO A. 2014. Oligoelementos del suelo. Química del Suelo. Cátedra de Edafología. Facultad de Agronomía y Zootecnia. UNT. Tucumán. Argentina. 3 p.
43. SIERRA. 2014. Empleo de los nutrientes del suelo por las plantas. [En línea]: El Informador. México. (<http://opinion.informador.com.mx/Columnas/2014/01/19/emoleo-de-los-nutrientes-del-suelo-por-las-plantas/>, visitado el 12 de octubre del 2015).
44. SIICEX. 2011. Sandía - Watermelon - *Citrullus lanatus*. Sistema Integrado de Información de comercio Exterior. Boletín Informativo. Lima. Perú. 2 p.
45. SINGH K. 1962. Responses of bell peppers (*Capsicum annum* L.) to excision of initial flowers and fruits and fertilization with nitrogen and calcium. Dissertation abstracts. 23(3). 785 p.
46. SMITHERS-OASIS. 2014. Manual de hidroponía. México. 28 págs.
47. SQM-VITAS. 2015. Calcium – For strong plants. [En línea]: SQM-Organic. South Africa (<http://www.sqm-vitas.com/en-a/specialtyplantnutrition/>

nutrientsinformation/calcium.aspx, visitado el 12 de octubre del 2015).

48. WALLACE A.; ELGAZZAR E. y SOUFI S. 1968. The role of calcium as a micronutrient and its relationship to other micronutrient. In: International Congress of Soil Science 9th. Sydney. Pp. 357-366
49. WHFOODS. 2012. Watermelon. [En línea]: The world's healthiest foods (<http://www.whfoods.com/genpage.php?tname=foodspice&dbid=31>; visitado el 10 de febrero del 2014).

## **IX. ANEXO**

**Cuadro 28.** Datos originales del número de frutos de sandía híbrida tipo Odem

<b>Repeticiones</b>	<b>T<sub>1</sub></b>	<b>T<sub>2</sub></b>	<b>T<sub>3</sub></b>
1	6	5	7
2	5	5	4
3	5	5	4
4	4	4	4
5	4	4	4
6	4	3	4
7	4	3	3
8	3	3	3
9	3	3	3
10	3	3	3
Suma	41	38	39
Promedio	4.100	3.800	3.900

**Cuadro 29.** Datos originales de la longitud de fruto de sandía híbrida tipo Odem

<b>Repeticiones</b>	<b>T<sub>1</sub></b>	<b>T<sub>2</sub></b>	<b>T<sub>3</sub></b>
1	32.00	36.20	35.00
2	31.00	35.00	34.00
3	31.00	35.00	33.00
4	30.00	34.20	32.00
5	30.00	34.00	30.50
6	29.50	34.00	30.00
7	28.00	33.50	29.00
8	28.00	33.30	28.40
9	28.00	33.00	29.00
10	29.50	32.00	30.00
Suma	297.00	340.20	310.90
Promedio	29.70	34.02	31.09

**Cuadro 30.** Datos originales de la circunferencia ecuatorial de los frutos de sandía híbrida tipo Odem

<b>Repeticiones</b>	<b>T<sub>1</sub></b>	<b>T<sub>2</sub></b>	<b>T<sub>3</sub></b>
1	69.90	70.40	74.60
2	68.50	70.40	70.00
3	68.40	70.30	69.50
4	66.00	70.20	68.90
5	65.80	70.00	64.60
6	64.60	69.80	64.20
7	64.00	69.50	62.00
8	62.50	68.60	62.00
9	61.00	66.40	64.60
10	66.30	65.10	69.00
Suma	657.00	690.70	669.40
Promedio	65.70	69.07	66.94

**Cuadro 31.** Datos originales del peso del fruto de la sandía híbrida tipo Odem

<b>Repeticiones</b>	<b>T<sub>1</sub></b>	<b>T<sub>2</sub></b>	<b>T<sub>3</sub></b>
1	9.17	9.90	10.50
2	8.95	8.65	9.36
3	8.07	8.50	9.21
4	8.03	7.85	9.21
5	7.80	7.75	8.13
6	7.75	7.75	7.30
7	7.65	7.70	7.10
8	7.08	7.60	7.00
9	7.05	7.38	6.50
10	5.55	7.30	6.45
Suma	77.09	80.38	80.75
Promedio	7.71	8.04	8.07

**Cuadro 32.** Datos originales de los sólidos solubles en los frutos de híbrida tipo sandía Odem

Repeticiones	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
1	8.50	8.70	9.00
1	8.50	8.70	9.00
2	8.00	8.90	9.30
3	8.50	8.50	9.40
4	8.40	8.70	8.90
5	8.30	8.70	8.90
Suma	41.70	43.50	45.50
Promedio	8.34	8.70	9.10

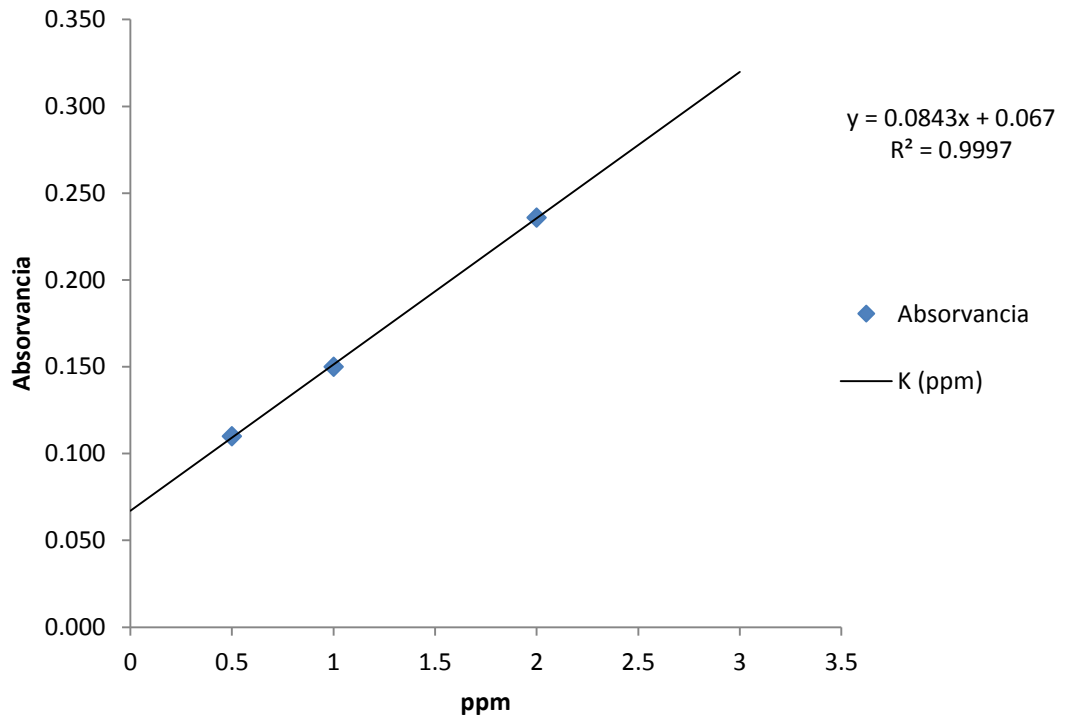
**Cuadro 33.** Datos originales de las lecturas de potasio del análisis de tejidos

Lectura del potasio (ppm)			
Patrón K (ppm)	0.5	1	2
Absorbancia	0.110	0.150	0.236
Tratamiento	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
Absorbancia	0.098	0.55	0.278
peso de muestra	4.6591	3.8897	4.0211

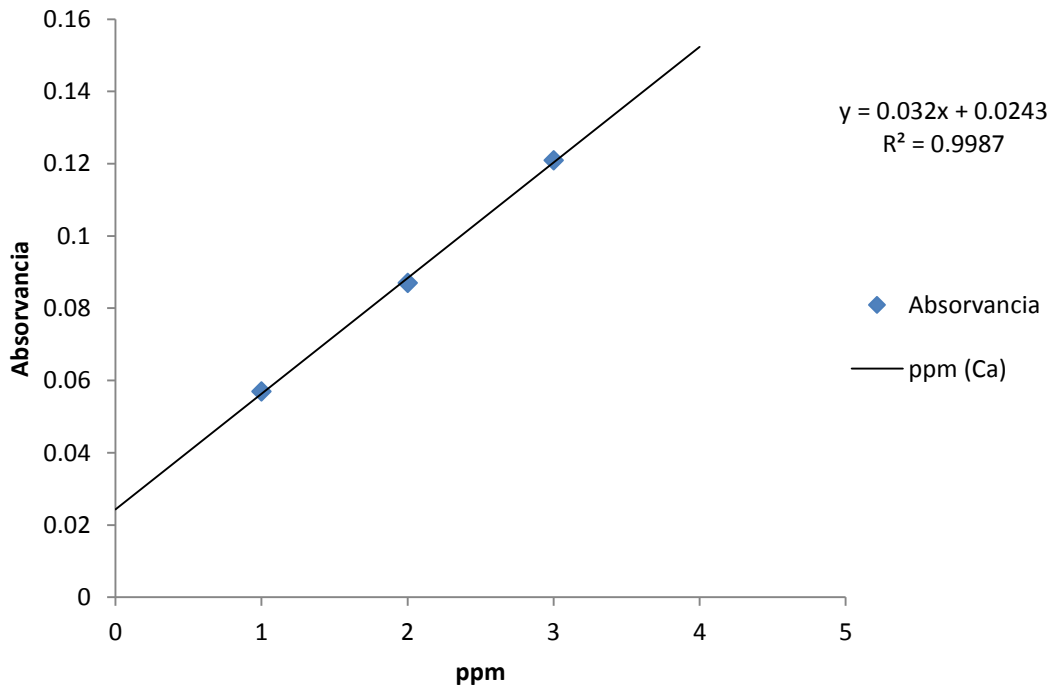
**Cuadro 34.** Datos originales de las lecturas de calcio del análisis de tejidos

Lectura del calcio (ppm)			
Patrón Ca (ppm)	1	2	3
Absorbancia	0.057	0.087	0.121
Tratamiento	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
Absorbancia	0.799	0.863	1.132
peso de muestra	4.6591	3.8897	4.0211





**Figura 8.** Curva estándar de potasio



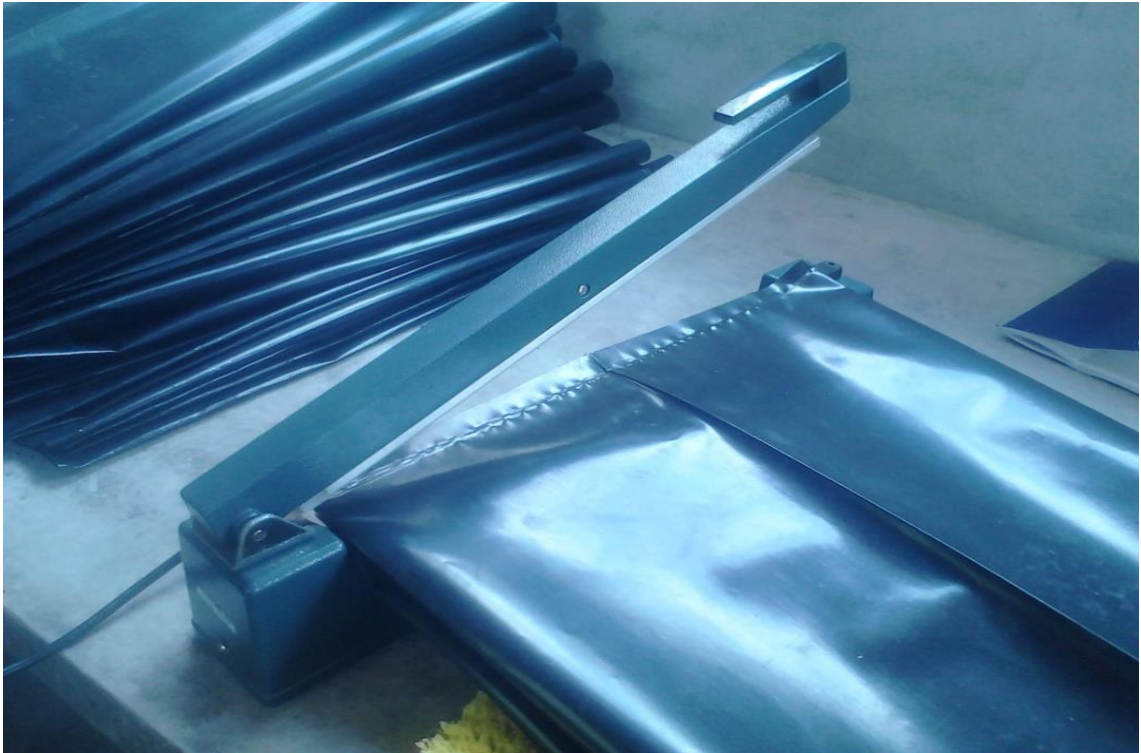
**Figura 9.** Curva estándar del calcio



**Figura 10.** Fotografía referencial de la sandía híbrida tipo Odem en condiciones óptimas



**Figura 11.** Sobre de semilla sandía híbrida tipo Odem (100 g)



**Figura 12.** Confección de las bolsas (90 x 60 cm)



**Figura 13.** Preparación del abono orgánico



**Figura 14.** Germinación de las plántulas de sandía Odem



**Figura 15.** Repique de las plántulas de sandía Odem



**Figura 16.** Brixómetro manual (izquierda); lectura de sólidos solubles (derecha)



**Figura 17.** Trasplante y crecimiento vegetativo de la sandía Odem



**Figura 18.** Floración de la sandía Odem



**Figura 19.** Flor masculina (izquierda) y femenina (derecha) de la sandía Odem



**Figura 20.** Fructificación de la sandía Odem



**Figura 21.** Calcinación para el análisis de tejidos

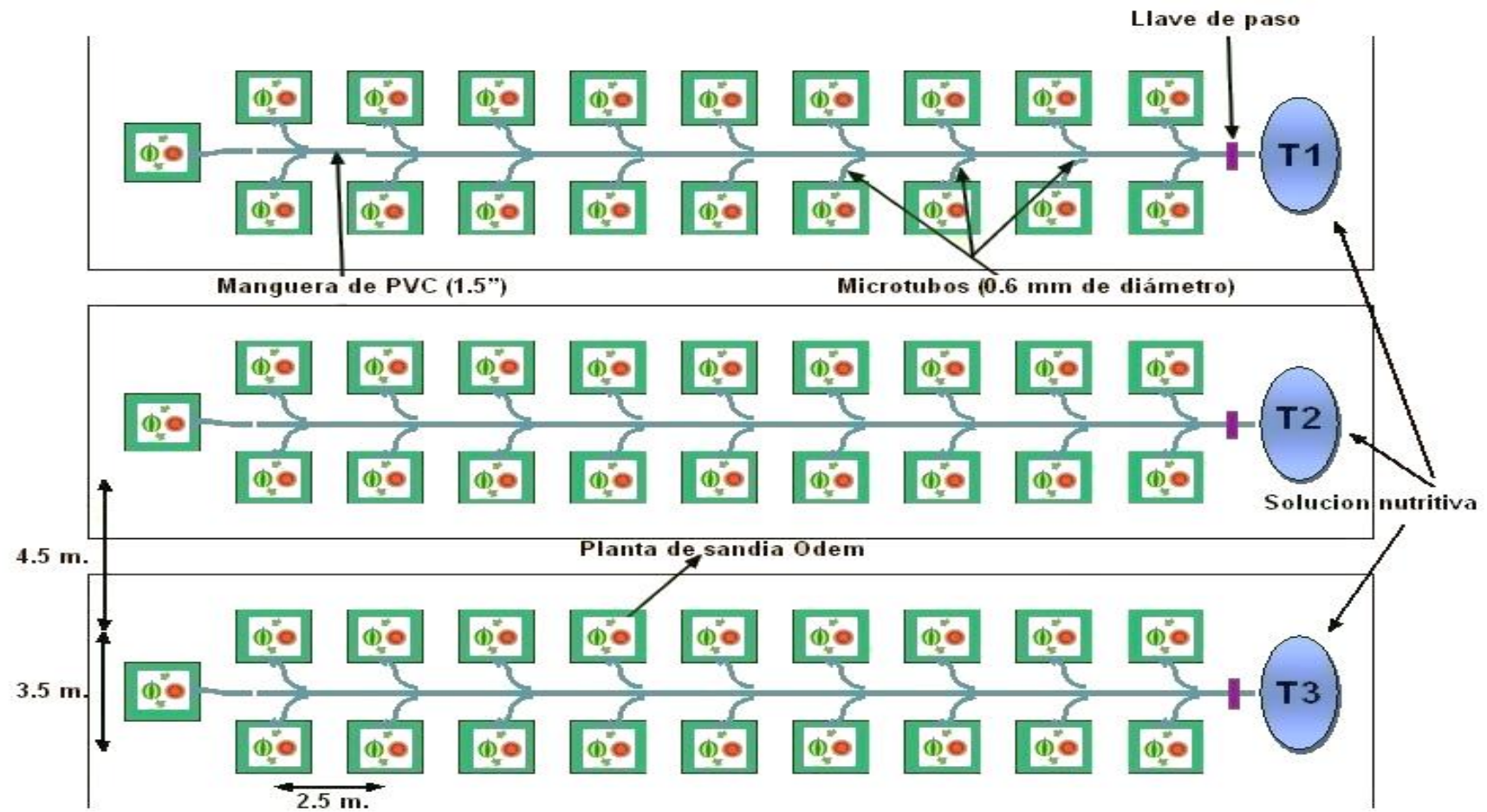


Figura 22. Croquis de distribución del campo experimental