

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN HORTICULTURA**



**REGULADORES DE CRECIMIENTO EN EL CULTIVO DE  
ARVEJA (*Pisum sativum L.*) cv. RONDO EN LA MOLINA**

**Presentada por:**

**HÉCTOR BARONI CANTARO SEGURA**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAGÍSTER SCIENTIAE EN  
HORTICULTURA**

**Lima-Perú**

**2019**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**REGULADORES DE CRECIMIENTO EN EL CULTIVO DE  
ARVEJA (*Pisum sativum* L.) cv. RONDO EN LA MOLINA**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAGÍSTER SCIENTIAE EN  
HORTICULTURA**

**HÉCTOR BARONI CANTARO SEGURA**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

Mg. Sc. Jorge Castillo Valiente

**PRESIDENTE**

Mg. Sc. Andrés Casas Díaz

**PATROCINADOR**

Mg. Sc. Amelia Huaranga Joaquín

**CO-PATROCINADORA**

Ph. D. Jorge Escobedo Álvarez

**MIEMBRO**

Mg. Sc. Julián Chura Chuquiya

**MIEMBRO**

**Lima-Perú**

**2019**

*“La verdadera señal de  
inteligencia no es el conocimiento,  
sino la imaginación”*

*Albert Einstein*

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de tesis está dedicado a Dios, porque gracias a él, he culminado una etapa muy importante de mi vida, el cual es una representación de años de dedicación y ganas de superación personal, que no hubiera sido posible sin la intervención y soporte de él y de las personas que comparten mi vida diaria, mi familia.

A mis padres: Virginia Segura Yance y Héctor Cantaro Cano, porque desde pequeño me inculcaron el deseo de superación y alcanzar mis metas a base de esfuerzo, por apoyarme y saberme guiar con sus sabios consejos durante mi vida profesional y por no abandonarme en aquellos días que se tornaron difíciles. Son mis principales fuentes de inspiración y amor, que me da fuerza para enfrentarme a la vida y seguir adelante.

A mi hermano José, por creer en mí y en mis sueños, por su apoyo, confianza y comprensión.

Gracias por estar a mi lado, brindándome y aconsejándome siempre.

En resumen, a mi familia por su apoyo brindado que hace crecer en mí, el entusiasmo, la esperanza, el optimismo y la fé en el futuro.

## **AGRADECIMIENTO**

- Al Ing. Mg. Sc. Andrés Casas Díaz y a la Ing. Mg. Sc. Amelia Huaranga Joaquín, patrocinador y co-patrocinadora de la presente tesis respectivamente, por su orientación y apoyo en la ejecución y culminación del presente trabajo.

- A los miembros del jurado:

Al Ph. D. Jorge Escobedo Álvarez, Mg. Sc. Jorge Castillo Valiente y al Mg. Sc. Julián Chura, a quienes agradezco por su apoyo y asesoramiento en la culminación de mi trabajo.

- A la Ing. Norma Bustamante y a FARMEX S.A. por haber financiado la tesis y hacer realidad mi más caro anhelo.

# ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN .....	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
	2.1. Cultivo de Arveja.....	3
	2.1.1. Centro de origen y distribución.....	3
	2.1.2. Situación actual de la arveja.....	4
	2.1.3. Taxonomía.....	4
	2.1.4. Morfología.....	6
	2.1.5. Fenología de la arveja .....	7
	2.1.6. Cultivares .....	8
	2.1.7. Requerimientos ambientales del cultivo .....	9
	2.1.8. Fertilización.....	10
	2.2. Reguladores de crecimiento.....	12
	2.2.1. Concepto.....	12
	2.2.2. Auxinas.....	13
	2.2.3. Giberelinas .....	15
	2.2.4. Citoquininas .....	19
	2.3. Triacontanol .....	21
	2.3.1. Introducción .....	21
	2.3.2. Actividad fisiológica del TRIA a bajas concentraciones .....	22
	2.3.3. Modo de acción del TRIA .....	23
	2.3.4. Respuestas de la planta al TRIA .....	24
	2.3.5. Rol del TRIA en el estrés abiótico .....	29
	2.3.6. Experimentos con bioestimulantes.....	30
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
	3.1. Ubicación del campo experimental.....	32

3.2. Historial de campo .....	32
3.3. Análisis fisicoquímico del suelo .....	32
3.4. Condiciones Meteorológicas.....	34
3.5. Material Biológico de estudio .....	34
3.6. Metodología .....	39
3.7. Conducción del experimento .....	39
3.8. Variables evaluadas en el experimento.....	42
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	44
4.1. Altura de planta (cm).....	44
4.2. Número de ramas por planta .....	47
4.3. Longitud de vaina (cm) .....	50
4.4. Ancho de vaina (cm) .....	52
4.5. Rendimiento grano verde (kg ha <sup>-1</sup> ).....	55
4.6. Número de vainas por planta.....	59
4.7. Número de granos por vaina .....	62
4.8. Peso fresco total de planta (g) .....	65
4.9. Análisis económico .....	67
V. CONCLUSIONES .....	69
VI. RECOMENDACIONES .....	71
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	72
VIII. ANEXOS .....	92

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Resultados del análisis de suelo y caracterización.....	33
Cuadro 2. Parámetros climatológicos de la zona de La Molina en el periodo experimental Septiembre-Diciembre, 2015.....	34
Cuadro 3. Características de la arveja cultivar Rondo.....	35
Cuadro 4. Características de la arveja Rondo en tres tesis experimentales.....	35
Cuadro 5. Clave y descripción de los tratamientos en estudio.....	37
Cuadro 6. Randomización de los tratamientos en el campo experimental.....	38
Cuadro 7. Efecto de diferentes reguladores de crecimiento en variables morfológicas de arveja cv. Rondo.....	44
Cuadro 8. Análisis de varianza de las variables morfológicas del experimento.....	45
Cuadro 9. Efecto de diferentes reguladores de crecimiento en las variables de rendimiento de arveja cv. Rondo.....	55
Cuadro 10. Análisis de varianza de las variables de rendimiento en el experimento.....	56
Cuadro 11. Análisis económico de los tratamientos.....	68



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Altura de planta (cm) de los tratamientos evaluados. ....	45
Figura 2. Efecto diferencial de los tratamientos respecto al control en la variable altura de planta (cm). ....	46
Figura 3. Efecto diferencial de los reguladores de crecimiento respecto al triacontanol en altura de planta (cm). ....	46
Figura 4. Número de ramas por planta de los tratamientos evaluados. ....	48
Figura 5. Efecto diferencial de los tratamientos respecto al control en la variable número de ramas por planta. ....	48
Figura 6. Efecto diferencial de los reguladores de crecimiento respecto al triacontanol en la variable número de ramas por planta. ....	49
Figura 7. Longitud de vaina (cm) de los tratamientos evaluados. ....	50
Figura 8. Efecto diferencial de los tratamientos respecto al control en la variable longitud de vaina (cm). ....	51
Figura 9. Efecto diferencial de los reguladores de crecimiento respecto al triacontanol en la variable longitud de vaina (cm). ....	51
Figura 10. Ancho de vaina (cm) de los tratamientos evaluados. ....	53
Figura 11. Efecto diferencial de los tratamientos respecto al control en la variable ancho de vaina (cm). ....	54
Figura 12. Efecto diferencial de los reguladores de crecimiento respecto al triacontanol en la variable ancho de vaina (cm). ....	54
Figura 13. Rendimiento grano verde ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de los tratamientos evaluados. ....	56
Figura 14. Efecto diferencial de los tratamientos respecto al control en la variable rendimiento ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). ....	57
Figura 15. Efecto diferencial de los reguladores de crecimiento respecto al triacontanol en la variable rendimiento ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). ....	58
Figura 16. Número de vainas por planta en los tratamientos evaluados. ....	60
Figura 17. Efecto diferencial de los tratamientos respecto al control en la variable número de vainas por planta. ....	61
Figura 18. Efecto diferencial de los reguladores de crecimiento respecto al triacontanol en la variable número de vainas por planta. ....	61
Figura 19. Número de granos por vaina en los tratamientos evaluados. ....	63

Figura 20. Efecto diferencial de los tratamientos respecto al control en la variable número de granos por vaina.....	63
Figura 21. Efecto diferencial de los reguladores de crecimiento respecto al triacontanol en la variable número de granos por vaina.....	64
Figura 22. Peso fresco total de planta en los tratamientos evaluados.....	65
Figura 23. Efecto diferencial de los tratamientos respecto al control en la variable peso fresco total de planta (g). .....	66
Figura 24. Efecto diferencial de los reguladores de crecimiento respecto al triacontanol en la variable peso fresco total de planta (g). .....	66

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Estadísticas del cultivo de arveja en el año 2015.....	92
Anexo 2. Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables evaluadas en el experimento .....	92
Anexo 3. Reguladores de crecimiento empleados en el experimento .....	93
Anexo 4. Costos de producción de una hectárea en arveja. ....	94

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación evaluó el uso de diferentes reguladores de crecimientos comunes (auxinas, giberelinas y citoquininas) en aplicación conjunta con un regulador de crecimiento descubierto hace cuatro décadas y con un enorme potencial en la agricultura, el triacontanol, en el cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.) cv. Rondo. Se mezcló dosis comerciales de los reguladores de crecimiento con el triacontanol con el fin de evaluar la interacción positiva y/o negativa en las variables: altura de planta, número de ramas por planta, longitud de vaina y ancho de vaina, número de vainas por planta, número de granos por vaina, peso fresco total de planta y rendimiento en grano verde. El análisis de varianza nos indica que existen diferencias significativas entre los tratamientos en las variables altura de planta, número de vainas por planta, número de granos por vaina y rendimiento grano verde. Los mayores rendimientos en grano verde fueron obtenidos con la aplicación de triacontanol más auxinas, giberelinas y citoquininas ( $12150 \text{ kg ha}^{-1}$ ), ya que tuvo 3.5 ramas por planta, 14.67 vainas por planta y 8.74 granos por vaina; y la aplicación de triacontanol más auxinas y citoquininas ( $10534 \text{ kg ha}^{-1}$ ). En aplicación conjunta con el triacontanol, las auxinas incrementaron el rendimiento y sus componentes mientras que las giberelinas incrementaron los valores de altura de planta y ancho de vaina; las citoquininas mostraron un efecto estimulante en todas las variables. Se observó también que las auxinas y citoquininas actúan sinérgicamente en casi todas las variables evaluadas ya que su efecto conjunto supera al efecto de cada regulador de crecimiento por separado. Se muestra una correlación positiva entre el rendimiento y las demás variables, excepto en altura de planta que muestra una correlación negativa y ancho de vaina que no muestra correlación estadística significativa. Asimismo, se observó que los tratamientos con triacontanol superan casi siempre al testigo, excepto en el número de ramas y número de vainas por planta, lo que indica el gran potencial de este regulador de crecimiento en la agricultura sustentable y su uso permitirá garantizar la seguridad alimentaria en el futuro.

**Palabras claves:** arveja, rendimiento, triacontanol, auxinas, citoquininas, interacción.

## ABSTRACT

Plant growth regulators are key players throughout the life of the plants. This work investigates the use of different growth regulators (auxins, gibberellins and cytokinins) applied joint with another growth regulator, discovered four decades ago and with enormous potential in agriculture, triacontanol, on field pea (*Pisum sativum* L.). Commercial doses of the growth regulators were mixed with triacontanol in order to evaluate the positive and/or negative interaction in the tested variables: plant height, number of branches per plant, pod length and pod width, number of pods per plant, number of grains per pod, total fresh plant weight and fresh grain yield. The analysis of variance indicates that there are significant differences between treatments in the variables plant height, number of pods per plant, number of grains per pod and fresh grain yield. The highest yields were obtained with the application of triacontanol plus auxins, gibberellins and cytokinins (12150 kg ha<sup>-1</sup>), as it had 3.5 branches per plant, 14.67 pods per plant and 8.74 grains per pod; and the application of triacontanol plus auxins and cytokinins (10534 kg ha<sup>-1</sup>). Applied with triacontanol, the auxins increased yield and their components while the gibberellins increased plant height and pod width, the cytokinins showed a stimulating effect in all variables. It was also observed that auxins and cytokinins act synergistically in almost all evaluated variables since their combined effect exceeds the effect of each growth regulator separately. A positive correlation was shown between yield and morphological variables, except for plant height and pod width that showing a negative correlation did not show significant statistical correlation. It was also observed that treatments with triacontanol almost always outweigh the control, except in the number of branches and number of pods per plant indicating the great potential of this growth regulator in sustainable agriculture and their use will ensure food security in the next years.

**Keywords:** field pea, yield, triacontanol, auxins, gibberellins, cytokinins, interaction.

## I. INTRODUCCIÓN

La arveja (*Pisum sativum* L.) pertenece a la familia Leguminosae y es uno de las especies domesticadas más antiguas para consumo humano y alimento de ganado y es ampliamente cultivada en el mundo (Liu *et al.*, 2015). La arveja es un cultivo predominante en el comercio mundial y representa alrededor del 35-40% del comercio total de las leguminosas (Ratnayake *et al.*, 2001) y entre las más consumidas a nivel mundial con una producción global de 15 millones de toneladas en 2010 (FAO, 2013).

La arveja es uno de las especies vegetales más estudiadas, siendo un modelo clásico bien establecidos para estudios genéticos y agronómicos (Wong *et al.*, 2008). En nuestro país, su cultivo está ampliamente distribuido ya que posee una excelente adaptación a los climas de la costa central y los Andes peruanos, se siembra desde el nivel del mar hasta los 3500 msnm, donde además de todas sus ventajas anteriormente mencionadas es parte importante de los agroecosistemas como cultivo de rotación (Camarena y Huaranga, 2008). Los principales departamentos productores son: Junín, Ancash y Huancavelica (MINAGRI, 2016).

La arveja es un cultivo de importancia desde el punto de vista nutricional (Liu *et al.*, 2015), pues sus frutos son ricos en proteínas (18-30%), vitaminas y minerales, así como sus brotes y hojas para consumo fresco como verdura de hoja (Santos *et al.*, 2014). Además, tiene una buena demanda en el mercado nacional e internacional (Camarena y Huaranga, 2008). La arveja es un producto agrícola muy rentable; sin embargo, debe mencionarse que esta rentabilidad en años atrás alcanzo valores de 100 a 120% por campaña, pero actualmente se ve disminuida en muchos lugares por diversos factores como problemas ambientales e inadecuado manejo agronómico, así como el incremento en el costo debido al alza de los fertilizantes y pesticidas (Saldaña, 2012). Los problemas fundamentales que tiene este cultivo es el desconocimiento de los agricultores en el manejo, especialmente en la fertilización, ya que esta especie no responde a la fertilización nitrogenada, debido a que la planta forma una asociación simbiótica con las bacterias del género

*Rhizobium* (Maj *et al.*, 2010), el cual les permite captar el nitrógeno atmosférico; además de esto en las zonas productoras se sigue usando variedades de periodo vegetativo largo, de baja producción y susceptibles a distintas enfermedades y plagas que afectan a este cultivo (De Villena, 2001).

Es bien conocido que las hormonas naturales juegan un papel importante en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Kilic *et al.*, 2010). Las hormonas vegetales, reguladores del crecimiento e inhibidores se han utilizado en la práctica para numerosos fines (Kefeli y Dashek, 2008). Nuevas hormonas naturales todavía se están descubriendo y sus interrelaciones, mecanismos de acción, y sus relaciones a nivel metabólico están siendo estudiados exhaustivamente (Kuppusamy *et al.*, 2009; Gómez-Roldan *et al.*, 2008). Dentro de ellas, el triacontanol (TRIA) es también una hormona vegetal relativamente recién descubierta; y puede ejercer sus efectos estimulantes, incluso a concentraciones foliares considerablemente bajas aplicada a las plantas superiores (Ries *et al.*, 1977), y diversos estudios aseguran que tienen efectos no mostrados por otras hormonas vegetales o reguladores de crecimiento sobre el crecimiento y rendimiento en plantas (Borowski *et al.*, 2000; Naeem *et al.*, 2009; Aftab *et al.*, 2010; Naeem *et al.*, 2010, Naeem *et al.*, 2011).

En este trabajo se pretende evaluar el efecto de la combinación de reguladores del crecimiento con el triacontanol en el cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.) cv. Rondo para determinar los roles de los reguladores de crecimiento solos y en combinación, y asimismo conocer el impacto de esta práctica en los componentes de rendimiento, así como en el crecimiento y desarrollo de la planta.

Teniendo en cuenta esta problemática, el presente trabajo busca:

1. Determinar el efecto de la aplicación de reguladores de crecimiento solos y en combinación con triacontanol en el crecimiento y rendimiento de arveja (*Pisum sativum* L.) cultivar Rondo.
2. Determinar el efecto del triacontanol en una aplicación conjunta con fertilizante potásico sobre el rendimiento de arveja.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Cultivo de Arveja

#### 2.1.1. Centro de origen y distribución

La arveja es uno de los cultivos domesticados más antiguos (Smýkal *et al.*, 2013). Las evidencias arqueológicas datan la existencia de la arveja hace 8000 años A.C., en el Oriente Próximo (Baldev, 1988), en Europa ha sido encontrado desde la Edad de Piedra y de Bronce, y en India desde 200 A.C. (Smýkal *et al.*, 2013). La arveja fue domesticada hace 10000 años atrás (Abbo *et al.*, 2010; Zohary y Hopf, 2000), junto con otras leguminosas y formaron parte importante de la dieta de civilizaciones tempranas en el Este Medio y el Mediterráneo. El centro de diversidad genética de la arveja es el amplio campo de la Media Luna Fértil situada entre Turquía, Siria, Irak, Israel y el Líbano. Se extiende más hacia el este de Asia Central (Irán, Afganistán, Pakistán y Turkmenistán) (Smýkal *et al.*, 2011). Vavilov (1949) citado por Smýkal *et al.* (2013) ha considerado Etiopía, junto con los países del Mediterráneo y Asia Central como centros primarios, con Oriente Próximo como centro secundario. Desde allí, la arveja se extendió a regiones templadas y a zonas de altura intermedias; actualmente crece como cosecha de estaciones frías en los subtrópicos y a mayores altitudes en los trópicos (Kay, 1979). *Pisum sativum subsp. elatius* y *subsp. sativum* son encontrados naturalmente en Europa, noroeste de Asia y el Sur de África, mientras *P. fulvum* es solo restringido a la Edad Media.

En la arveja, la indehiscencia explosiva de las vainas y la dormancia de las semillas fueron probablemente las grandes barreras para la domesticación que tuvieron que ser superados (Smartt, 1990). Otros rasgos seleccionados durante la domesticación y el desarrollo de formas cultivadas modernos incluyen un número de caracteres que están determinadas por uno o unos pocos genes, tales como *a* (falta de producción de antocianina) y *r* (semilla arrugada), lo que mejoró la palatabilidad, y *p* y *v* para la ausencia de tejido esclerenquimático en las vainas. La



domesticación también ha dado lugar a un aumento del tamaño de semilla y la vaina de la arveja (aunque no tan marcada como en otros cultivos) con un aumento correlativo en el tamaño de las hojas y fortaleza del tallo (Swiecicki y Timmerman-Vaughan, 2005; Weeden, 2007).

### **2.1.2. Situación actual de la arveja**

El área cultivada con arveja para grano verde en el año 2015, para nuestro país alcanza las 34295 ha de un total de 23.56 millones de ha en el mundo, con una producción de 135335 t, de un total de 17.42 millones de toneladas en el mundo y con un rendimiento promedio de 3946 kg ha<sup>-1</sup> comparado con un rendimiento mundial de 7395 kg ha<sup>-1</sup> (FAOSTAT, 2017). La producción es especialmente importante en América y Europa.

En el caso del Perú en el 2015, la mayor área sembrada de arveja grano seco se encuentra en la sierra (86.37%), respecto a la costa (13.63%). La sierra ocupa también el primer lugar en cuanto la producción (83.49%) esto debido a sus rendimientos unitarios, la costa ocupa el segundo lugar (16.51%). El rendimiento promedio de la costa es 4664 kg ha<sup>-1</sup> (un incremento del 18.20% sobre el promedio nacional) y de la sierra es 4207 kg ha<sup>-1</sup> (un incremento del 6.6% sobre el promedio nacional). El precio promedio nacional en el 2015 es de S/.1.56, variando de un mínimo de S/. 1.15 en Lambayeque, un precio máximo de S/.2.85 en Tacna y un precio medio en Junín de S/. 1.60 (MINAGRI, 2017).

### **2.1.3. Taxonomía**

La arveja pertenece a la familia de las leguminosas, la tercera familia más grande dentro de las angiospermas, con 800 géneros y más de 18.000 especies (Lewis *et al.*, 2005). Papilionoideae es la mayor subfamilia, con 476 géneros y cerca de 14.000 especies. Se estima que todos los papilionados compartieron un ancestro común alrededor de 50 millones de años (Lavin *et al.*, 2005). El mayor grupo de Papilionoideae es Hologalegina, con cerca de 4000 especies en 75 géneros. Este grupo incluye a la gran tribu *galegoide* (Galegeae, Viciae, Trifolieae, etc.), unidos por la pérdida de una copia de la repetición invertida del cloroplasto (IR). La tribu Fabeae (Syn. Viciae) contiene cinco géneros *Lathyrus* (chícharo/guisante dulce) (aproximadamente 160 especies); *Lens* (lentejas) (4 especies); *Pisum* (arvejas) (3 especies); *Vicia* (vezas) (aproximadamente 160 especies) y el género monotípico *Vavilovia formosa*. Un reciente análisis

filogenético de 262 especies (70%) de la tribu Fabeae ha demostrado que *Pisum* y *Vavilovia* se incluyen en *Lathyrus*, el género *Lens* se incluye en *Vicia* (Schaefer *et al.*, 2012) y como consecuencia la taxonomía debe ser revisada de nuevo.

Además, la clasificación de *Pisum* basado en la morfología y cariología ha cambiado con el tiempo de ser considerado un género con cinco especies a un género monotípico (Smýkal *et al.*, 2013). Kupicha (1981) y Davis (1970) reconocieron sólo dos especies, *P. fulvum* y *P. sativum*, y no consideró la tercera especie putativa *P. abyssinicum*. Se han propuesto numerosos nombres para representantes silvestres de *P. sativum*. Todas las especies *Pisum* son verdaderas diploides con  $2n = 2x = 14$ .

Según el USDA (2016), la clasificación taxonómica es la siguiente:

Reino	:	Plantae
Subreino	:	Tracheobionta
Superdivisión	:	Spermatophyta
División	:	Magnoliophyta
Clase	:	Magnoliopsida
Subclase	:	Rosidae
Orden	:	Fabales
Familia	:	Fabaceae
Género	:	<i>Pisum</i>
Especie	:	<i>Pisum sativum</i> L.

Los nombres comunes de la arveja son: arveja, alverja, alverjita, chícharo, guisante (español). Se conoce en otros idiomas como pea (ingles), pois (francés), markebsen (alemán), pisello (italiano), ervilha (portugués) (Ugás *et al.*, 2000; Camarena y Huaranga, 2008).

#### **2.1.4. Morfología**

La arveja es considerada como hortaliza o legumbre, herbácea, de hábito rastrero o trepador, cuyas características morfológicas lo hacen distinguible. La planta presenta un sistema radicular en conjunto poco desarrollado, aunque posee una raíz pivotante que puede llegar a ser bastante profunda (Maroto, 1990). Presenta raíces laterales débiles formando un círculo de 50 a 75 cm de diámetro alrededor de la planta (Kay, 1979).

La arveja presenta un tallo débil, por lo que las variedades altas necesitan un tutorado para guiar. El tallo principal es hueco y muy delgado en la base, va engrosándose progresivamente hacia la parte alta; dependiendo de la precocidad del cultivar, puede emitir desde 6 hasta más de 20 nudos vegetativos por planta. Los cultivares precoces presentan 6 a 8 nudos vegetativos; los semiprecoces de 9 a 11, los semitardíos de 12 a 14, y los tardíos 15 o más (Camarena y Huaranga, 2003).

Maroto (1990) señala que existen tres grupos varietales de arvejas: variedades enanas, cuyo tallo alcanza entre 35 y 90 cm de longitud; variedades de medio enrame, cuyos tallos miden entre 90 y 150 cm; y variedades de enrame, de tallos con una longitud comprendida entre 150 y 300 cm.

Las plantas de arveja tienen una tendencia a ramificar basalmente a partir de los dos primeros nudos, que son aquellos en que se desarrollan las brácteas trifidas. La cantidad de ramas que la planta llegue a emitir dependerá básicamente del aspecto genético, de la fertilidad del suelo, del abastecimiento hídrico y de la densidad de población. Al utilizar distancias entre hileras de 50 a 70 cm, los cultivares tardíos producen entre 1 y 2 ramas basales, los cultivares semitardíos logran producir entre 1 y 1.5 ramas basales como promedio. Al emplear menores distancias entre hileras (20 a 50 cm), se reduce significativamente la cantidad de plantas que logran ramificar. En los cultivares precoces, por otra parte, la producción de ramas es menor (Camarena y Huaranga, 2003).

Los cotiledones de la arveja son simples, pueden confundirse con el frijol, sin embargo, por tener la arveja germinación hipogea sus cotiledones permanecen bajo tierra, en cada uno de los primeros dos nudos, y en forma alterna, se desarrolla una hoja rudimentaria de tipo escamoso,

denominada bráctea trífida. A partir del tercer nudo, que corresponde al primer nudo real de la parte aérea, se desarrollan sucesivamente las hojas verdaderas; estas son compuestas, alternas y presentan 2 a 6 folíolos ovalados a oblongos con margen entero. Cada hoja se compone de un peciolo, de raquis, de 1 a 3 pares de folíolos y de 1 a 5 zarcillos que le sirven para el sostén de la planta (Camarena y Huaríngua, 2003). Las flores aparecen solitarias, en pares o en racimos axilares. Normalmente la especie arvense tiene flores de color púrpura, la especie *sativum* tiene flores de color blanca (Camarena y Huaríngua, 2003).

El fruto es una vaina línea, bivalva, con una ligera curvatura, más o menos gruesa, de forma cilíndrica o aplanada con 2 a 10 semillas. La vaina puede ser rugosa o lisa y los colores varían de verde oscuro, verde claro, verde blanquizco, verde azulado o grisáceo. Su longitud puede variar entre 4 y 12 cm y su ancho entre 1 y 2 cm (Camarena y Huaríngua, 2003).

La semilla es de forma esférica o angulosa, de diámetro variable, lo que determina distintos tamaños de semilla según los cultivares; grano chico (menos de 8 mm), grano mediano (8 a 10 mm) y grano grande (más de 10 mm). El peso de 1000 semillas varía entre 150 y 300 g. Las semillas lisas tienen cotiledones con mayor contenido de glucosa y dextrina, sus tegumentos no quedan totalmente adheridas a los cotiledones, los granos rugosos son más dulces y son usados para grano verde (Maroto, 1990).

#### **2.1.5. Fenología de la arveja**

La arveja presenta diez estados fenológicos definidos que son registrados cuando el 50% de las plantas exhiben esas características de desarrollo (Camarena y Huaríngua, 2003; Saldaña, 2012).

- *Estadio 00 (Germinación)*: Semilla seca, comienzo de la imbibición de la semilla. La radícula sale de la semilla.
- *Estadio 10 (Emergencia)*: La plántula brota o sale a través de la superficie del suelo
- *Estadio 20 (Desarrollo de las hojas, un par de folíolos)*: El par de hojas escamas es visible. Primera hoja desplegada hasta nueve o más hojas desplegadas. En esta etapa se comienza a formarse el nódulo de *Rhizobium* (Cubero y Moreno, 1983).

- *Estadio 30 (Crecimiento longitudinal, dos pares de foliolos):* Comienzo del alargamiento del tallo. Primer entrenudo alargado visible. Hasta el 9° o más entrenudos alargados visibles.
- *Estadio 40 (crecimiento longitudinal, tres pares de foliolos):* Se inicia la ramificación y a lo largo del tallo se irán diferenciando los primeros nudos reproductivos.
- *Estadio 50 (aparición del órgano floral):* Los botones florales, individuales, visibles fuera de las hojas, pero cerrados todavía. Los primeros pétalos, visibles; muchos botones florales individuales, cerrados todavía.
- *Estadio 60 (Floración):* Comienzo de la floración cuando el 10% de las flores ya están abiertas. Plena floración cuando el 50% de las flores están abiertas.
- *Estadio 70 (Formación del fruto):* El 50% de las vainas alcanzan la longitud de 2.5 cm y finaliza cuando las vainas alcanzan el tamaño típico.
- *Estadio 80 (Llenado de vainas):* Las plantas muestran las vainas con granos en desarrollo y alcanzan el tamaño óptimo.
- *Estadio 90 (Madurez):* Cuando el 70% de las vainas entran en madurez fisiológica. El 100% de las plantas con vainas secas con semillas duras.

#### **2.1.6. Cultivares**

Dentro de los cultivares de arveja comerciales los más sembrados se encuentra: Azul, Alderman, Early Perfection, 326, Remate, Quantum, Utrillo, UACEN 1 y UACEN 2, Usui y Rondo. Este último es una variedad de mata baja, excelente para consumo en fresco, se siembra en altas densidades y posee un periodo vegetativo de 90 a 100 días, con un rendimiento promedio de 5000 kg/ha, la longitud del tallo mide de 69 a 92 cm cuyas vainas al estado fresco llegan a medir de 9 a 10 cm, con 8 a 10 granos de vaina, y al cosecharse es a partir de 70 a 90 días después de la siembra (Camarena y Huaranga, 2008; Huaranga, 2011).

En el Perú también se siembran cultivares criollos como Blanca de Churcampa, Blanca de Andahuaylas, Blanca y Verde de Ancash que son de largo periodo vegetativo, de vainas medianas a pequeñas que contienen granos pequeños a la cosecha (Saldaña, 2012).

### **2.1.7. Requerimientos ambientales del cultivo**

#### **a) Suelo**

La arveja se desarrolla en suelos de textura ligera a media, que no contengan caliza, ni tampoco un pH excesivamente ácido, su pH óptimo de desarrollo es 6-6.5 (Maroto, 1990). Kay (1979) menciona que las arvejas se adaptan a una amplia gama de suelos, pero siempre y cuando éstas posean un buen sistema de drenaje (De Villena, 2001).

Según Ugás *et al.* (2000), la arveja es un cultivo de suelos francos, con buen drenaje y permeabilidad, moderadamente tolerante a la acidez y muy sensible a la salinidad con un pH óptimo de 5.5 a 6.7. Por otro lado, Cubero y Moreno (1983) mencionan que la arveja es un cultivo muy sensible a la salinidad; el exceso de esta, presente en el suelo provoca un desequilibrio iónico en la que llega a destacar una concentración alta de sodio (Saldaña, 2012).

#### **b) Temperatura**

Ugás *et al.* (2000) indican que la arveja es un cultivo de clima templado con temperaturas óptimas entre los 13 a 18°C, siendo sensible a las heladas durante el desarrollo de las vainas y a temperaturas altas durante la floración (Maroto, 1990). Camarena y Huaranga (1990), mencionan que en general esta especie se cultiva a temperaturas bajas como las de la Sierra, en la Costa se cultiva en invierno y en los valles interandinos en primavera. Es una planta que resiste bien el frío y puede germinar a temperaturas de 10°C; sin embargo, heladas frecuentes y/o prolongadas causan daños apreciables en las plantas jóvenes, flores y frutos tiernos dando lugar a la producción de granos pequeños (igualmente las granizadas afectan al cultivo). Según Maroto (1990), la arveja es una planta que se adapta a climas templados y húmedos, requiriendo una temperatura óptima de 14 a 16°C. Gran parte de las variedades son sensibles a las heladas.

Según Parson *et al.* (1999), la arveja germina en 4 a 6 días, creciendo bien en un clima templado húmedo donde la temperatura fluctúe entre 12 a 18°C; indicando que las regiones tropicales situadas debajo de los 1300 msnm y los climas cálidos y secos, interfiere en su producción.

### **c) Humedad**

Kay (1979) menciona que el cultivo de arveja necesita una precipitación pluvial uniforme con valores entre los 800 y 1000 mm por campaña. Las necesidades de agua oscilan entre 350 a 500 mm por periodo vegetativo. Ugás *et al.* (2000) sugieren que los riegos deben ser ligeros y frecuentes, especialmente durante la floración y llenado de vainas, evitar el exceso de humedad.

Camarena y Huaranga (1990) mencionan que el cultivo de arveja requiere de una provisión adecuada de agua durante la floración y el desarrollo de vainas; y debe evitarse cualquier exceso, ya que ocasionaría pudriciones radiculares.

### **d) Luz**

Para una buena floración se recomienda tener más de nueve horas de luz y de intensidad suficiente. Las variedades de enrame son más exigentes en luz que las variedades de medio enrame (Camarena y Huaranga, 2008).

### **e) Altitud**

La arveja se adapta mejor a las condiciones de climas fríos y frescos (sierra y a los valles interandinos). Se siembra hasta los 3300 m.s.n.m. (Camarena y Huaranga, 2008).

## **2.1.8. Fertilización**

La fertilización en la arveja como en otros cultivos depende principalmente de la provisión adecuada de los macroelementos NPK y microelementos esenciales para un adecuado crecimiento y desarrollo del cultivo.

### **a) Nitrógeno (N)**

El nitrógeno es el macroelemento más importante en las plantas, de gran importancia en el crecimiento y desarrollo de todos los cultivos. El nitrógeno ingresa a la planta en forma de

nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) or ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), or is incorporated into the system through biological fixation. In the plant, N is initially reduced to its ammoniacal form and conducted by organic chains forming glutamic acid, which is then included in different amino acids, of which about 20 are used in the formation of proteins that participate as enzymes in metabolic processes, having thus a more functional than structural participation (Rajj, 1992). The application of  $150 \text{ kg N ha}^{-1}$  in the Utrillo cultivar increased its green grain yield from  $2362 \text{ kg ha}^{-1}$  to  $7404 \text{ kg ha}^{-1}$  in central coast conditions (Guevara, 2003).

### **b) Fósforo (P)**

The chickpea with a fertilization dose of  $110 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ , reaches a yield of  $5300 \text{ kg ha}^{-1}$  and to determine an optimal phosphorus fertilization dose in chickpea, one must use an internal P requirement of 0.22%. Between 73 and 84% of the P absorbed by the plant is found in the grains, and in its accumulation, the translocation process participates, from the different chickpea organs, which show positive absorption rates of phosphorus before grain formation, to later show negative absorption rates of P (P desaccumulation), which is translocated to the grains. Both accumulation and desaccumulation of P in each organ increase as the availability of P in the soil increases (Sandaña, 2004).

### **c) Potasio (K)**

A good provision of K is often manifested by stimulating the formation of a more succulent foliage and reducing the attack of pathogens. Its deficiency in crops affects respiration and photosynthesis, reduces chlorophyll development, and also the water content (Foth, 1992).

Potassium is indispensable for plants because it stimulates the nodulation and nitrogen fixation process. It is one of the elements that does not enter into any molecular combination within the plant and its main function is to act as a catalyst for about 70 enzymes, which act in nitrogen metabolism, protein synthesis, and in the development of meristematic tissue (INIA, 2003).



#### **d) Dosis de fertilización**

La arveja responde a la aplicación de 30 a 60 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno, 60 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo y 40 kg ha<sup>-1</sup> de potasio, esto equivale a aplicar 100 kg de urea, 133 kg de superfosfato triple y 66 kg/ha de cloruro de potasio. Se mezclan los 3 fertilizantes y se aplican en su totalidad a la siembra (Camarena y Huaríngala, 2008; Villagarcía y Aguirre, 1994). Ugás *et al.* (2000), indican las siguientes recomendaciones para la fertilización de arveja en el país: 100 kg N ha<sup>-1</sup>, 50 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> y 50 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, con un rendimiento de 4000 a 10000 kg ha<sup>-1</sup> grano verde.

### **2.2. Reguladores de crecimiento**

#### **2.2.1. Concepto**

Algunas sustancias químicas que ocurren naturalmente dentro de los tejidos vegetales (es decir, endógenamente), tienen un papel regulador, y no nutricional, en el crecimiento y desarrollo. Estos compuestos, que son generalmente activos a concentraciones muy bajas, se conocen como hormonas vegetales o sustancias de crecimiento vegetal (Davies, 2004). Los productos químicos sintéticos con actividades fisiológicas similares a las sustancias de crecimiento de las plantas, o compuestos que tienen la capacidad de modificar el crecimiento de las plantas por otros medios, por ejemplo, poliaminas, se denominan habitualmente reguladores del crecimiento de las plantas (George *et al.*, 2008).

En los últimos años, el grupo de hormonas vegetales ha ido creciendo y ahora incluye (pero no se limita a) ácido abscísico, auxinas, brasinoesteroides, citoquininas, etileno, giberelinas, jasmonatos, ácido salicílico y estrigolactonas (Depuydt y Hardtke, 2011; Santner *et al.*, 2009), aunque hay algunas que también tienen actividad y que no han sido caracterizados propiamente como hormonas, es el caso de las poliaminas, el óxido nítrico y los péptidos (Davies, 2004; Dharmasiri, 2013). Todos ellos han sido vinculados en alguna u otra manera a la regulación de cada aspecto de la vida de las plantas, desde el crecimiento hasta la respuesta de las plantas a los estreses bióticos y abióticos (Santner *et al.*, 2009; Wolters y Jurgens, 2009).

La síntesis de una hormona vegetal está altamente regulada, generalmente sujeta a una retroalimentación positiva o negativa controlada por el contexto y frecuentemente afectado por

una intercomunicación con otras hormonas y factores ambientales. Una vez sintetizado, muchas hormonas están sujetas a modificaciones químicas que afectan su actividad, en algunos casos, la hormona inactiva puede ser almacenada y liberada rápidamente en forma activa a través de una reversión de estas modificaciones (Anónimo, 2010).

Las hormonas pueden ejercer su influencia en su sitio de acción, moverse a través de toda la planta vía el xilema o floema, moverse a cortas distancias entre células por proteínas transportadoras o en algunos casos ser difundida libremente a través de las membranas (Anónimo, 2010).

### **2.2.2. Auxinas**

Las auxinas son un nombre genérico de un grupo de moléculas importantes en las plantas que también se encuentran en humanos, animales y microorganismos (Teale *et al.*, 2006). El término “auxina” es derivado de la palabra griega “*auxein*” que significa “crecer”. El descubrimiento de compuestos auxínicos fue facilitado por la prueba de la avena desarrollada por Went en 1928. La prueba de la avena consiste en colocar un bloque de agar conteniendo compuestos a probar en un lado de puntas de coleóptilos cortadas de *Avena sativa* y medir la curvatura resultante (Enders y Strader, 2015). Por lo tanto, una definición clásica de un compuesto auxínico es la capacidad de obtención de una respuesta fisiológica en la prueba de avena (Teale *et al.*, 2006).

Las auxinas son hormonas indispensables para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Se sintetizan a partir de tejidos que crecen activamente, tales como meristemos de brotes, primordios de hojas, hojas jóvenes en expansión, semillas en desarrollo, frutos y polen. Una serie de procesos biológicos están regulados por las auxinas: división celular, expansión celular, flujo iónico, iniciación radicular, embriogénesis, formación de tejidos vasculares, fototropismo, geotropismo, dominancia apical, producción de etileno, desarrollo de frutos, partenocarpia, la abscisión y la expresión sexual. Un efecto celular principal de la auxina es causar la hiperpolarización de la membrana plasmática, este es un requisito necesario para diversas acciones biológicas activadas por auxinas. Mientras tanto, la auxina también parece capaz de estimular la biosíntesis de GA y suprimir la biosíntesis de etileno y ABA (Wang e Irving, 2014).

El ácido indol-3-acético (IAA) es la auxina natural más ampliamente distribuida. Además del IAA, se sabe que varios otros derivados de indol naturales expresan actividad de auxina, incluyendo indol-3-etanol, indol-3-acetaldehído e indol-3-acetonitrilo. Sin embargo, estos compuestos sirven todos como precursores de IAA y su actividad se debe a la conversión a IAA en el tejido (George *et al.*, 2008). Debido a su alta inestabilidad, el IAA suele ser menos eficaz que las auxinas sintéticas como 2,4-D o NAA (Hopkins y Huner, 2008).

Normalmente, la mayor parte de las moléculas de auxina presentes en las plantas están en formas conjugadas. Los conjugados son compuestos en los que las moléculas hormonales están unidas de forma covalente con otras sustancias de bajo peso molecular y, por lo tanto, pierden su actividad fisiológica (George *et al.*, 2008). Las reacciones de conjugación hormonal son en su mayoría reversibles y, por lo tanto, pueden proporcionar una herramienta muy flexible para la regulación de los niveles hormonales endógenos. Se conoce que la auxina forma dos clases principales de conjugados: amidas (péptidos) y ésteres de glicosilo (Ljung *et al.*, 2002, Normanly *et al.*, 2004).

Las auxinas son el único grupo de las hormonas vegetales que exhiben un transporte activo en una manera polar, además de un movimiento a largas distancias vía los tejidos vasculares (Hopkins, 1995), específicamente el floema. El IAA libre presente en la savia del floema es probablemente sintetizada y exportada de las hojas maduras (George *et al.*, 2008), y esto estaría de acuerdo con la hipótesis de Sheldrake (Sheldrake, 1973) que los meristemas son importadores netos en vez que sintetizadores de IAA en las plantas (Baker, 2000) y esta teoría entra en contradicción a la idea aceptada ampliamente que los meristemas son los sitios de biosíntesis de auxina.

Las plantas al igual que otros organismos superiores tienen sistemas de comunicación que trabaja relativamente a largas distancias. Ya que las plantas no tienen sistema nervioso, los sistemas de señalización son dependientes de las hormonas (Libbenga y Mennes, 1995). Las auxinas son un componente de esos sistemas y junto con las citoquininas regulan muchos procesos diferentes en el desarrollo de las plantas (George *et al.*, 2008).

Las células receptoras de las auxinas detectan la señal hormonal y luego inician una cadena de eventos moleculares que conducen a la respuesta fisiológica final. Varias proteínas receptoras de moléculas tipo auxina han sido identificadas y documentadas (Napier *et al.*, 2002; Hagen *et al.*, 2004).

En la mayoría de los efectos de las auxinas, se puede observar una curva de concentración/actividad en forma de campana. A concentraciones bajas (0.1-10  $\mu\text{M}$ ) el efecto generalmente aumenta con la concentración, pero las concentraciones superiores a 10  $\mu\text{M}$  son a menudo inhibitorias. Este efecto inhibitorio se debe generalmente a un aumento en la producción de etileno a mayores concentraciones de auxina (George *et al.*, 2008).

### **2.2.3. Giberelinas**

Las giberelinas, comúnmente abreviadas como GA<sub>s</sub>, son hormonas vegetales, miembro de un amplio grupo de ácidos carboxílicos diterpenos tetracíclicos naturales cuya estructura básica está constituida por un anillo de *ent-giberelano* (Bardisi, 2015; Hedden, 2003), clasificándose en dos grupos en base al número de átomos de carbono presentes en su estructura química; (i) las GA<sub>s</sub> C-20, dicarboxílicos, con 20 átomos de carbono en el esqueleto de *ent-giberelano* y (ii) las GA<sub>s</sub> C-19, monocarboxílicos, con 19 átomos de carbono por perder el carbono 20 mediante el metabolismo (*ent-20-nor-giberelano*) (Hedden, 2003).

Su designación es GA seguida de un número (GA<sub>1, 2, 3, ... n</sub>), según el orden cronológico de su descubrimiento (MacMillan y Takahashi, 1968; George *et al.*, 2008), y hasta la fecha han sido identificadas más de 150 GA<sub>s</sub> en plantas superiores, hongos y bacterias, aunque solo unas pocas GA<sub>s</sub> tienen actividad biológica (Yamaguchi, 2008).

Actualmente, entre las GA<sub>s</sub> identificadas, no todas las diversas giberelinas son igualmente activas (George *et al.*, 2008); solo unas pocas tienen actividad biológica, y curiosamente, fueron de las primeras en ser descubiertas, GA<sub>1</sub>, GA<sub>4</sub>, GA<sub>3</sub> y GA<sub>7</sub> (Hedden y Phillips, 2000). Originalmente fue aislado en 1938 como un metabolito del patógeno fúngico del arroz *Gibberella fujikuroi* (Daviere y Achard, 2013; Yamaguchi, 2008). La infección del arroz por el

hongo resulta en un excesivo alargamiento del tallo, causando en última instancia la caída de la planta (tumbado). En los años sesenta y setenta, la "revolución verde" se asoció con la adopción de nuevas variedades enanas. Estudios genéticos moleculares recientes muestran que estas variedades se ven afectadas en los componentes ahora bien caracterizados de las vías de señalización (Peng *et al.*, 1999). Debido a que estas variedades tienen tallos más cortos, relativamente más de los recursos de las plantas se utilizan para producir grano. Además, las cepas enanas son más resistentes al viento y otros climas severos (Santner *et al.*, 2009).

Al igual que otras fitohormonas, las GA<sub>s</sub> desempeñan un papel importante en diversos procesos de crecimiento, como el desarrollo de semillas, la elongación de órganos y el control del tiempo de floración (Peng *et al.*, 1999, Xu *et al.*, 2014). Las GA se sintetizan a partir de difosfato de geranilgeranilo en una vía multienzimática que está sujeta a regulación compleja (Santner *et al.*, 2009). GA reprime la expresión de varios genes cuyos productos están involucrados en su biosíntesis y promueve la expresión de los genes implicados en la inactivación GA (Fleet y Sun, 2005). Además, los niveles de GA están influenciados por otras hormonas como la auxina y el etileno (Yamaguchi, 2008).

En los brotes de las plantas superiores, las GA<sub>s</sub> suelen ser más abundantes en los tejidos en crecimiento, donde están presentes en concentraciones en el rango de  $10^{-11}$  a  $10^{-8}$  g g<sup>-1</sup> de peso fresco, dependiendo del tejido, especie y naturaleza de la GA. La GA activa más extendida es GA<sub>1</sub>, aunque su análogo 13-deoxi, GA<sub>4</sub>, está usualmente también presente, pero a concentraciones más bajas. En algunas especies, como *Arabidopsis thaliana* y miembros de las Cucurbitaceae, GA<sub>4</sub> es la forma predominante y de hecho tiene más actividad estimuladora del crecimiento que GA<sub>1</sub> en estas especies. Aunque en un momento se pensó que sólo era un producto fúngico, GA<sub>3</sub> es ahora conocido por ser producido por algunas especies de plantas, aunque normalmente como un componente relativamente menor. Las GA<sub>s</sub> bioactivas siempre van acompañados de sus precursores biosintéticos y catabolitos, que pueden estar presentes en concentraciones mucho más altas que las formas activas. Las raíces también producen GA<sub>s</sub>, que normalmente están presentes en concentraciones más bajas que en los brotes (Band *et al.*, 2012). Los tejidos reproductivos generalmente tienen un contenido de GA<sub>s</sub> más alto que los órganos vegetativos, con cantidades particularmente grandes en anteras y polen, y en el desarrollo de

semillas. En el endosperma y/o en los cotiledones inmaduros de algunas especies se observan concentraciones superiores a  $10^{-5}$  g g<sup>-1</sup> de peso fresco. Las semillas en desarrollo a menudo contienen GA<sub>s</sub> estructuralmente más diversas que las que se encuentran en otros tejidos. Por ejemplo, las semillas de manzana (*Malus pumila*) contienen más de 20 GA<sub>s</sub> (Santner *et al.*, 2009).

Las giberelinas son necesarias para la germinación de las semillas, en las que estimulan el crecimiento del embrión. Además, en las semillas de cereales, las GA<sub>s</sub> producidas en los embriones y el escutelo inducen la síntesis de hidrolasas (amilasas, proteasas y nucleasas) en las capas celulares de aleurona y su secreción en el endospermo, donde descomponen las reservas macromoleculares para su utilización por el embrión en crecimiento. También inducen la liberación de minerales de la aleurona. En las semillas de tomate (*Solanum lycopersicum*), y posiblemente en semillas de otras plantas dicotiledóneas, las hidrolasas inducidas por GA descomponen el endospermo, que de otro modo formaría una barrera física para la emergencia de las radículas. El crecimiento de la elongación en los tejidos de las plántulas (hipocótilo, epicótilo, coleóptilo y mesocótilo), los entrenudos del tallo y las raíces depende de las GA<sub>s</sub>. La estimulación del crecimiento de los entrenudos por GA puede ser el resultado tanto de mayores tasas de división celular como de aumento del crecimiento celular longitudinal, aunque, en algunas especies, como el arroz (*Oryza sativa*), se debe únicamente al aumento de la expansión celular. Se ha demostrado en varias especies que el alargamiento celular inducido por GA es en parte el resultado de un cambio en la polaridad de crecimiento celular, de una orientación aleatoria a longitudinal. Además, GAs promover el aumento de células, probablemente por aflojamiento de la pared celular y el cambio de la presión de turgencia dentro de la célula (Hedden, 2003).

La expansión de la hoja depende de las GA<sub>s</sub>, al igual que la forma de la hoja. Además, la transición de la forma de la hoja juvenil a la adulta está mediada por GA<sub>s</sub> en varias especies (Appleford y Lenton, 1991). La formación y el grado de ramificación de tricomas en la superficie de las hojas también están mediadas por GA<sub>s</sub> (Hedden, 2003). La aplicación de GA<sub>s</sub> induce el atornillado en plantas de roseta, incluso en ausencia de condiciones inductivas (días largos y/o exposición a baja temperatura). En *Arabidopsis*, que es una planta facultativa de días

largos, la extensión del vástago asociada con el atornillado tiene un requisito absoluto para GA<sub>s</sub>, mientras que la inducción de flores ocurre en ausencia de GA<sub>s</sub> en días largos (aunque se retrasa), pero es absolutamente dependiente de GA<sub>s</sub> en días cortos (Achard y Genschik, 2009).

Las giberelinas son necesarias para el desarrollo normal de las flores y, en particular, son necesarias para el desarrollo de anteras y la polinización en muchas especies. Por lo tanto, los mutantes deficientes en GA<sub>s</sub> son a menudo estériles masculinos. Las giberelinas afectan la expresión sexual en especies monóicas y dioicas, promoviendo la formación de flores masculinas en *Cannabis sativa* y miembros de las Cucurbitáceas. Sin embargo, la deficiencia de GA<sub>s</sub> en el maíz a menudo resulta en la formación de anteras. Las giberelinas son necesarias para el crecimiento normal de las frutas y para el desarrollo de las semillas. En algunas especies, como la arveja, la aplicación de GA<sub>s</sub> a los ovarios no polinizados o a las frutas sin semillas promoverá el crecimiento normal, pero partenocárpico, mientras que en otras especies también se requieren auxinas y citoquininas. Aunque las semillas son a menudo muy ricas en GA<sub>s</sub>, hay poca evidencia que sugiera que las GA<sub>s</sub> derivadas de las semillas estimulen directamente el crecimiento de los frutos. Más bien, las semillas pueden proporcionar otras señales, como la auxina, que inducen la producción de GA en el fruto (Hedden, 2003).

Las giberelinas se producen comercialmente por fermentación de *G. fujikuroi*, siendo el producto más importante y ampliamente utilizado GA<sub>3</sub>, aunque GA<sub>4</sub>, usualmente en combinación con GA<sub>7</sub>, se producen para aplicaciones especiales en algunos frutales. El mayor uso de GA<sub>3</sub> en todo el mundo es en las variedades de uva sin semillas (*Vitis vinifera*) con el fin de aumentar el tamaño de la baya y modificar su forma (Kato *et al.*, 2000). Las aplicaciones a plena floración hacen que las bayas se alarguen, mientras que una aplicación adicional antes de la floración de GA<sub>3</sub> aumenta la longitud del raquis, produciendo un racimo más flojo que es menos susceptible a la infección fúngica y disminuye la viabilidad del polen y la fertilidad del óvulo, reduciendo así el número de frutos y aumentando el peso de la fruta restante. Se utilizan en una serie de especies de fruta superior para mejorar el conjunto de frutas, tamaño, forma y calidad de la piel. El cuajado de frutas en cítricos, en particular en las mandarinas, que fijan pocas semillas, se puede mejorar mediante la aplicación de GA<sub>3</sub>. La posterior aplicación de GA<sub>3</sub> a cítricos se utiliza para retrasar la maduración y para mejorar la apariencia de la corteza. La

mala polinización en la manzana y la pera (*Pyrus communis*) debido a las condiciones climáticas adversas en el tiempo de la floración puede dar lugar a rendimientos bajos. En estas circunstancias el fruto puede ser inducido a crecer partenocárpicamente por la aplicación de GA<sub>3</sub>; en el caso de las manzanas, la GA debe utilizarse en combinación con una auxina y citoquinina para obtener un crecimiento óptimo de la fruta. Las mezclas de GA<sub>4</sub>/GA<sub>7</sub> y benciladenina, una citoquinina, se aplican rutinariamente a los manzanos justo después de la floración para modificar la forma del fruto, aumentando la longitud de la fruta en relación con el diámetro. Estos tratamientos también reducen la incidencia del russetting, un pardeamiento de la cáscara que disminuye el valor de la fruta (Hedden, 2003).

#### **2.2.4. Citoquininas**

Las citoquininas comprenden una clase separada de sustancias de crecimiento y reguladores de crecimiento. Producen diversos efectos cuando se aplican a plantas intactas. Estimulan particularmente la síntesis de proteínas y participan en el control del ciclo celular. Es quizás por esta razón que pueden promover la maduración de los cloroplastos y retrasar la senescencia de las hojas separadas. La aplicación de citoquinina en un único sitio en la planta (por ejemplo, una hoja) hace que el órgano tratado se convierta en un sumidero activo para los aminoácidos, que migran entonces al órgano desde los sitios circundantes (George *et al.*, 2008).

El descubrimiento de las citoquininas se produjo porque las células vegetales en cultivo *in vitro* no se dividían. La primera evidencia experimental para el control químico de la división celular de las plantas fue provista por Haberlandt en 1913, cuando demostró que la savia del floema podía causar que el tejido de los tubérculos de papa parenquimatoso no divisorio regresara a un estado meristemático que se dividiera activamente (Hopkins y Hüner, 2008). En 1956, Miller y sus colegas informaron del aislamiento y cristalización de una sustancia altamente activa, identificada como el derivado de adenina N6-furfurilaminopurina, a partir de ADN de esperma de arenque autoclavado. Debido a que el compuesto provocó la división celular, o citoquinesis, en el cultivo de tejidos, Miller y sus colegas nombraron a la sustancia kinetina. En 1965, Skoog y sus colegas propusieron el término citoquinina. Aunque la kinetina sigue siendo una de las



citoquininas más biológicamente activas, no se ha encontrado en plantas (Hopkins y Hüner, 2008).

Casi todas las citoquininas identificadas hasta ahora existen como bases libres (zeatina), como ribósidos (ribósidos de zeatina) y como nucleótidos (nucleótido de zeatina). En tejidos vegetales, parece que son fácilmente interconvertibles y ha sido difícil determinar que formas son biológicamente activas (Jameson, 2003).

Los experimentos basados en la aplicación exógena de citoquinina y/o correlación de niveles endógenos con un evento de desarrollo han llevado a que las citoquininas estén implicadas en muchos aspectos del crecimiento y desarrollo de las plantas, como la promoción de la división celular, la organogénesis de los brotes, la liberación de la dominancia apical, la inhibición del crecimiento de las raíces y el retraso de la senescencia, que son características de particular importancia agronómica (Jameson, 2003).

A principios de los años sesenta, los bioensayos de callos se utilizaron para demostrar que los compuestos inductores de la división celular estaban elevados en el desarrollo de frutos y semillas. Posteriormente, se han mostrado correlaciones positivas estrechas entre citoquininas, tales como zeatina, y división celular en cereales (especialmente *Triticum spp.*), maíz (*Zea mays*), arroz (*Oryza sativa*) y frutas como durazno (*Prunus domestica*), manzana (*Malus pumila*) y kiwi (*Actinidia deliciosa*); lo que lleva a la sugerencia de un papel clave para las citoquininas en la división celular. Recientemente, se ha demostrado que la aplicación de citoquinina aumenta la regulación de componentes clave del ciclo celular, implicando así un papel directo para la citoquinina en la división celular (Jameson, 2003). La aplicación de citoquininas a los brotes axilares de la arveja (*Pisum sativum*) libera a los brotes inhibidos por la dominancia apical (impuesta por el propio brote apical o por la aplicación de IAA a un brote decapitado).

Numerosos experimentos han implicado a las citoquininas en el retraso de la senescencia, por ejemplo, las citoquininas aplicadas a las hojas senescentes condujeron a un rebrote en algunos casos, a la inmersión de peciolo de hojas cortadas en soluciones de kinetina retrasan la

senescencia y cuando se somete a las plantas a diversas formas de estrés que conducen a la senescencia foliar disminuyen los niveles de citoquinina en la savia del xilema. Además, se encontró que la capacidad biosintética de citoquinina de las hojas de tabaco se reducía al inicio de la senescencia y las citoquininas endógenas mostraban una disminución de las formas activas al inicio y durante la senescencia, aunque también se ha encontrado que algunas hojas senescentes contienen niveles inusualmente altos de O-glucósidos de citoquinina (Jameson, 2003).

Además de sus funciones en la regulación de la división celular (Smith & Atkins, 2002), otros efectos que afectan son la inducción de la diferenciación de órganos, control del movimiento de los estomas (Wang e Irving, 2014), absorción de nutrientes y distribución, desarrollo de nódulos radiculares en raíces fijadoras de nitrógeno, arquitectura de la planta y rendimiento de semillas (Anónimo, 2010).

## **2.3. Triacontanol**

### **2.3.1. Introducción**

El triacontanol (TRIA) es un regulador de crecimiento natural de las plantas encontrado en las ceras epicuticulares. Su actividad fue primero descrita por Ries *et al.* (1977) en alfalfa (*Medicago sativa* L.). De acuerdo con Mandava (1979) citado por Naeem *et al.* (2012), TRIA es una sustancia secundaria en el crecimiento de la planta y no puede ser considerada una fitohormona. Estos tipos de reguladores de crecimiento incrementan la eficiencia fisiológica de las células y, por lo tanto, explotan el potencial genético de plantas en mayor medida. Estudios anteriores han dado evidencias sólidas sobre la distribución de TRIA en las ceras epicuticulares en muy diversos géneros, como el crotón de California (*Croton californicus*), arándano ojo de conejo (*Vaccinium ashei*), palma carnaúba (*Copernicia cerifera*), frijol ayocote (*Phaseolus multiflorus*), trébol blanco (*Trifolium repens*), alfalfa (*Medicago sativa*), y en jatrofa (*Jatropha curcas*) (Naeem *et al.*, 2012) TRIA se considera que es el único alcohol primario que se encuentra en la cera de las hojas de arroz (Uchiyama y Ogasawara, 1981). Muchos investigadores han reportado el rol positivo de TRIA para incrementar el crecimiento, el rendimiento, la fotosíntesis, la fijación de nitrógeno, las actividades enzimáticas, aminoácidos

libres, azúcares reductores, y proteínas solubles en las plantas (Ries, 1991; Ries *et al.*, 1993; Borowski *et al.*, 2000; Aftab *et al.*, 2010; Naeem *et al.*, 2009, 2010, 2011).

La aplicación de TRIA incrementa el peso seco, contenido de clorofila, de proteínas y la eficiencia fotosintética neta en arroz (*Oryza sativa* L.) (Chen *et al.*, 2002). En algodón, promueve el crecimiento vegetativo e incrementa el nivel de monogalactosildiacilglicerol (MGDG), un galactolípido que parece que está involucrado en proteínas del fotosistema I (Dominy y Williams, 1987).

Similarmente, la aplicación exógena de TRIA mostró efectos positivos en el crecimiento, contenido de clorofila, eficiencia del fotosistema II e intercambio gaseoso en plántulas de arroz (Kumaravelu *et al.*, 2000), maíz y arroz (Ries, 1991). Los incrementos en el crecimiento pueden ser debido principalmente a un abrupto incremento en la fotosíntesis inducido por el TRIA sobre la regulación positiva de muchos genes involucrados en el proceso fotosintético (Chen *et al.*, 2002, 2003).

### **2.3.2. Actividad fisiológica del TRIA a bajas concentraciones**

Las bajas concentraciones del TRIA a la que puede ser biológicamente activa se debe a la sensibilidad de las plantas a dosis extremadamente bajas (Naeem *et al.*, 2012). Los primeros estudios sobre TRIA de Ries y Wert (1977) mostraron que es activa a concentraciones tan bajas de  $10 \mu\text{g L}^{-1}$  ( $2.3 \times 10^{-8} \text{ M}$ ) cuando fueron aplicados a brotes y raíces de un cultivo. Dado que el TRIA es extremadamente insoluble en agua ( $2.3 \times 10^{-6} \text{ M}$  o  $9 \times 10^{-14} \text{ g L}^{-1}$ ), la solución de TRIA ha sido formulada como una dispersión coloidal estable de partículas finas cristalinas en agua. Esta formulación indica cuantificación precisa de la tasa de aplicación y una ligera curva de respuesta a las dosis para peso seco de granos en maíz como resultado de la aplicación de TRIA (Naeem *et al.*, 2012).

Similarmente, Hangarter *et al.* (1978) encontró que el TRIA natural aislado de alfalfa y uno sintetizado artificialmente fueron activos a concentraciones muy bajas de 23 nM. Aplicación de cantidades picomolares de (+)-adenosina (precursor en la biosíntesis de TRIA y mensajero secundario promotor del crecimiento) al follaje de tomate, maíz y pepino incrementan las

concentraciones de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{K}^{+}$  de 20 a 60% en los exudados obtenidos de los tallos de plantas cortados después de 5 segundos de la aplicación de TRIA (Ries *et al.*, 1993).

### 2.3.3. Modo de acción del TRIA

Muchos investigadores han explorado los efectos del TRIA en varios procesos metabólicos básicos incluyendo la fotosíntesis, la absorción de nutrientes, y actividades enzimáticas. Se han hecho varios esfuerzos para elucidar el mecanismo de acción del TRIA (Ries y Houtz 1983; Ries, 1991; 1993). La suposición de un efecto cascada llevó a la identificación de 9- $\beta$ -L(+)-adenosina como un segundo mensajero de TRIA (Ries, 1991, 1993). TRIA rápidamente activa el segundo mensajero (TRIM) del arroz (*Oryza sativa* L.), que a concentraciones nanomolares hace que las plantas respondan de una manera similar a TRIA (Ries, 1991). TRIM ha sido identificado como 9- $\beta$ -l(+)-adenosina (9H-purin-6-amina, 9- $\beta$ -L- ribofuranosilo).

TRIA incrementa la formación o liberación de L(+)-adenosina en el tejido radicular de las plántulas de arroz dentro de un minuto de aplicación TRIA a los brotes, que podría haber explicado el primer paso en el modo de acción del TRIA (Ries *et al.*, 1990). Ya se ha informado de que TRIA aumenta rápidamente la relación de l(+)-adenosina a d(-)-adenosina, probablemente en el tonoplasto (Ries, 1991).

Sobre la base de los procesos metabólicos conocidos, la síntesis *de novo* de l(+)-adenosina es poco probable, debido a la rapidez de la respuesta. La fuente más probable de la adenosina es AMP derivado de ADP y ATP. En plantas tratadas con TRIA, Ries (1991) observó que alrededor del 11% de L(-)-adenosina es liberado para afectar procesos en la planta.

En relación al modo de acción de TRIA y L(+)-adenosina aplicados exógenamente se postula que ambos compuestos se mueven rápidamente a través de la cutícula en la hoja a la membrana plasmática de las células epidermales del tomate, maíz y pepino. TRIA luego activa la formación de L(+)-adenosina. En ese mismo estudio Ries *et al.* (1993) sugiere que L(+)-adenosina activa una señal transmitida rápidamente dentro de toda la planta que resulta en un incremento transitorio en la concentración iónica apoplástica dentro del tejido del tallo.

En la actualidad es difícil explicar la presencia de L(+)-adenosina en las raíces después de 1 minuto de la aplicación del TRIA ya que nuestros conocimientos sobre translocación de sustancias y cinética enzimática no son suficientes (Naeem *et al.*, 2012).

### **2.3.4. Respuestas de la planta al TRIA**

#### **a) Atributos en el crecimiento**

Varios estudios proveen fuerte evidencia que la aplicación del TRIA, aplicado a la raíz o a las hojas, incrementa el crecimiento y rendimiento de cereales, cultivos hortícolas e incluso especies forestales (Ries *et al.*, 1988, 1991; Kapitsimadi y Vioryl, 1995). El incremento en rendimiento es debido al rápido incrementado en la tasa de asimilación neta como es observado en tomate después de una pulverización con TRIA.

En invernadero, aplicaciones foliares de 1-100  $\mu\text{g L}^{-1}$  de L(+)-adenosina incrementó el crecimiento de tomate, maíz, pepino y zanahoria (Ries *et al.*, 1990). Luego, en ambientes controlados, Eriksen *et al.* (1982) observó un incremento mediado por TRIA en el peso seco de plántulas de tomate, pero este efecto no fue observado en plántulas de maíz. TRIA no mostró efectos sobre la germinación de semillas o un rápido crecimiento después de ser tratadas las semillas con TRIA (Hoagland, 1980), pero si un efecto significativo del TRIA fue reportado en incrementar la tasa de germinación de algodón y leguminosas (Naeem *et al.*, 2012). Skogen *et al.* (1982) reportó incrementos en el crecimiento, número de inflorescencias y calidad de flores en plantas de crisantemo tratadas con TRIA. Aplicación de TRIA solo y en combinación con potasio incrementaron la altura de planta, peso fresco y seco y área foliar en tomate (Khan *et al.*, 2009).

Asimismo, efectos promotores de crecimiento del TRIA han sido explorados en plantas medicinales y aromáticas (Giridhar *et al.*, 2005; Chaudhary *et al.*, 2006). La aplicación foliar de TRIA estimulo significativamente el crecimiento de cúrcuma (*Curcuma longa* L.), zarandaja (*Lablab purpureus* L.), culantro (*Coriander sativum* L.), menta (*Mentha arvensis* L.) y kion (*Zingiber officinale* Rosc) (Singh, 2008; Naeem *et al.*, 2009, 2010, 2011, Singh *et al.*, 2011).

## **b) Atributos fisiológicos y bioquímicos**

La aplicación exógena de TRIA regula directa o indirectamente diversos procesos fisiológicos y bioquímicos (Naeem *et al.*, 2009, 2010, 2011). La aplicación de TRIA a raíces de cebada resultó en una rápida estimulación de la actividad de la ATPasa dependiente de  $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$  asociada a la membrana en una manera dependiente de la calmodulina (Lesniak *et al.*, 1986). Además, la actividad de la NADPH oxidasa de la membrana plasmática es potenciada por la aplicación de TRIA (Moore *et al.*, 1991).

Estos efectos producto de la acción del TRIA se pudieron comprender mejor con el aislamiento y la caracterización de los genes regulados por el TRIA y así revelar los componentes involucrados en la señalización del TRIA (Chen *et al.*, 2002). Un gran número de estos genes de respuesta fueron asociados con la fotosíntesis. Estos genes fueron regulados positivamente y los genes de respuesta al estrés fueron regulados negativamente. Chen *et al.* (2002) encontró que el TRIA afecta la fotosíntesis a través del incremento del nivel y la actividad de la enzima ribulosa-1,5-bifosfato carboxilasa oxigenasa (RuBisCO) y por el mejoramiento del estado de los fotosistemas (Chen *et al.*, 2003).

TRIA incremento la fluorescencia mínima y máxima (Fo y Fm) en plantas de arroz como fue revelado por Chen *et al.* (2003). Ellos explicaron que el incremento en los valores de fluorescencia indicó que el TRIA incremento el nivel de pigmentos en la antena o la eficiencia de la excitación en los centros activos del PSII. Estos datos fueron similares con lo obtenido en tomate (Borowski *et al.*, 2000). Ellos reportaron un incremento cuantitativo (30% más que el control) en RuBisCO como un resultado de la aplicación del TRIA.

Un número de estudios han demostrado un incremento de la tasa de fijación de  $\text{CO}_2$  en diversas plantas cuando el TRIA fue aplicado a concentraciones nanomolares (Popova *et al.*, 1989; Srivastava y Sharma, 1990). Houtz *et al.* (1985) sugirió un incremento en la actividad específica de las enzimas RuBisCO y fosfoenolpiruvato carboxilasa producto de la estimulación del TRIA. Además, TRIA afectó otros procesos enzimáticos especialmente la ATPasa dependiente de  $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$  asociada a la membrana (Lesniak *et al.*, 1989). TRIA también incrementó la actividad de la enzima clave en la respiración, malato deshidrogenasa (Savithiry *et al.*, 1992). Ries y

Houtz (1983) sugirió que los efectos hormonales del TRIA se debían a alteraciones a nivel de la membrana plasmática, ya que TRIA activa un número de enzimas ligadas a la membrana (Ries, 1991; Savithiry *et al.*, 1992).

Ivanov y Angelov (1997) observaron un incremento significativo de la absorción neta de CO<sub>2</sub> de 109% y 119% cuando el TRIA fue aplicado a plantas de arveja a 10<sup>-8</sup> y 10<sup>-6</sup> M respectivamente, pero no se obtuvo resultados con la aplicación de octacosanol (OCTA). En base a su estudio, ellos sugirieron que ese incremento inducido por el TRIA se debe a la dinámica molecular y la fluidez de las membranas del protoplasto y el cloroplasto. Además, ellos notaron que el rango de concentración del TRIA que tiene efecto en la fotosíntesis correspondía a las concentraciones que son capaces de influenciar las propiedades dinámicas de la membrana, mostrando la correlación entre estos dos fenómenos. En un estudio realizado por Borowski *et al.* (2000) se reveló que la máxima eficiencia del PSII en la oscuridad (Fv/Fm) fue claramente incrementado por el TRIA aplicado y la eficiencia de capitulación de la excitación por los centros de reacción del PSII también.

El TRIA también interactúa con otras hormonas, aplicado solo y en combinación con ácido giberélico (1.5 mg L<sup>-1</sup> de TRIA + 75 mg L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub>) incrementó significativamente la tasa de fotosíntesis neta, conductancia estomatal y concentración interna de CO<sub>2</sub> en *Artemisia annua* (Aftab *et al.*, 2010). Además, también afecta la actividad de la nitrato reductasa (NR) y la anhidrasa carbonica (CA) en culantro (Idrees *et al.*, 2010). El TRIA también influye el contenido de los pigmentos fotosintéticos en diversas especies como opio, zarandaja, culantro y menta japonesa. Ivanov y Angelov (1997) y Chen *et al.* (2003) atribuyen este incremento a un aumento en el número y tamaño de cloroplastos.

La aplicación de TRIA causa un incremento en la actividad peroxidasa en plantas de arvejas cvs. 'Little Marvel dwarf' y 'Alaska' comparados a controles no tratados. Los efectos del TRIA en el crecimiento de la raíz y el tallo, la actividad peroxidasa parecen ser específicos para cultivares en arvejas (Henry y Gordon, 1980). Como resultado de la aplicación foliar de TRIA en estados vegetativos tempranos, Naeem *et al.* (2009) reporta un incremento en los contenidos de nitrógeno y leghemoglobina en los nódulos de zarandaja (*Lablab purpureus* L.) a los 60 y 90

días después de la siembra (dds). El TRIA aplicado a  $10^{-6}$  M sobrepasa al control por 5.4% en el contenido de N en el nódulo y por 14.1% en el contenido de leghemoglobina a los 60 dds. Sin embargo, las plantas responden negativamente a concentraciones de  $10^{-5}$  M para ambas variables.

El TRIA también tiene efectos sobre el contenido de macronutrientes NPK y Ca en las hojas en zarandaja (Naeem *et al.*, 2009). Las concentraciones de estos macronutrientes fueron mayores a  $10^{-6}$  M sobre el control, sin embargo, a  $10^{-5}$  M, éstos decrecieron. Sharma *et al.* (2002) sugirió que un mayor contenido de macronutrientes en plantas tratadas con TRIA puede ser atribuido a una mayor actividad metabólica y un incremento en la producción de materia seca que resulta en un incremento en la absorción de agua y nutrientes del suelo posteriormente.

### **c) Atributos de rendimiento y calidad**

Hace décadas se ha demostrado el efecto del TRIA en el aumento del rendimiento de los cultivos (Ries y Houtz, 1983; Stoutemyer y Cooke, 1987; Borowski *et al.*, 2000; Muralidharan *et al.*, 2000). El primer reporte publicado sobre TRIA mostró un aumento significativo en el rendimiento de varios cultivos como frijoles, maíz dulce y pepinos (Ries *et al.*, 1978; Ries y Houtz, 1983).

Los resultados de 46 experimentos de campo, realizados en varias partes del mundo, generalmente no mostraron un aumento significativo en el rendimiento del cultivo, excepto en un estudio realizado en Japón, donde el rendimiento del arroz se incrementó en un 17-21% a causa de las aplicaciones al suelo de TRIA a 0.057-4,0 g ha<sup>-1</sup>. Sin embargo, el tratamiento foliar y a las semillas con TRIA a 0.05 y 0.10 mg L<sup>-1</sup> aumentó el rendimiento de algodón a 12 y 31%, respectivamente (Sheng, 1981). El rendimiento promedio de trigo de invierno aumentó en un 12% debido a la aplicación foliar de TRIA a 0.1 y 0.5 mg L<sup>-1</sup> (Chen *et al.*, 1980). De acuerdo con un extenso estudio en China conducido en un periodo de tres años, varios cultivos hortícolas (tomate, berenjena y coliflor) respondieron positivamente a 0.1-1.0 mg L<sup>-1</sup> de TRIA (Naeem *et al.*, 2012). En arroz integral, Nagoshi y Kawashima (1996) informaron de un incremento por TRIA en el grado y el porcentaje de grano maduro en el momento de la cosecha que dio lugar a un aumento en el peso individual de grano y peso de 1000 granos.



Borowski *et al.* (2000) reportaron un aumento significativo en el rendimiento de tomate como consecuencia de la aplicación de TRIA a 0.3 y 3.0 mg L<sup>-1</sup>. Resultados similares han sido reportados por Asane *et al.* (1998) en arveja y Blamowski *et al.* (1998) citado por Naeem *et al.* (2012) en rábanos. En otro estudio, Eriksen *et al.* (1982) observaron un aumento significativo en el rendimiento por planta y total de tomate, cuando el TRIA se aplicó en forma de pulverizaciones foliares; pero cuando se añadió TRIA al medio de crecimiento, se observó solo un aumento temporal en el rendimiento y número de frutos. Además, ellos no encontraron ningún efecto de TRIA en el rendimiento de maíz con la misma metodología. Verma *et al.* (2009) sostuvo que TRIA no indujo mejoras en el rendimiento de vainas, número de vainas por planta, peso de vainas por planta, y el porcentaje de cáscara de maní. Se registraron los valores más altos en número de umbelas, frutos por umbela, peso de 100 semillas y rendimiento de semilla, cuando el TRIA se aplicó junto con GA<sub>3</sub> al cultivo de culantro (Idrees *et al.*, 2010).

Ivanov y Angelov (1997), Borowski *et al.* (2000) y Sharma *et al.* (2006) reportaron el efecto significativo de TRIA en los atributos de rendimiento en arveja, tomate y soja, respectivamente. Una mejora significativa en el rendimiento del tomate (Khan *et al.*, 2006, 2009) también ha sido reportado como consecuencia de la aplicación TRIA solo o combinado con GA<sub>3</sub>. La aplicación foliar de TRIA a 10<sup>-6</sup> M incrementó significativamente el rendimiento de follaje y de aceite esencial en la menta (Naeem *et al.* 2011). Aplicación de TRIA a 10<sup>-6</sup> M también mejoró los valores de rendimiento de rizoma por planta de cúrcuma (palillo) y jengibre (kion) (Singh 2008; Singh *et al.*, 2011). Según Nasir (2009), TRIA combinado con fertilizantes de N y P (10<sup>-6.5</sup> M de TRIA + N<sub>60</sub>P<sub>40</sub>) aumentó significativamente las cápsulas por planta y rendimiento de semillas de datura (*Datura innoxia* Mill.). La aplicación de TRIA en combinación con N y P (10<sup>-6.5</sup> M de TRIA + N<sub>45</sub>P<sub>26</sub>) también aumentó el rendimiento de semillas y raíces de bufera (*Withania somnifera* L.).

La aplicación foliar de TRIA a una concentración de 0.5 mg dm<sup>-3</sup>, promueve significativamente el contenido de sacáridos, almidón, proteínas solubles, aminoácidos, y fenoles en frijolito chino (*Vigna radiata* L.) (Kumaravelu *et al.* 2000). La aplicación de TRIA también mejoró el contenido de proteína soluble, almidón, azúcares, y aminoácidos libres en las hojas de *Oryza sativa* y *Zea mays* (Kim *et al.* 1989), y *Erythrina variegata* (Muthuchelian *et al.* 1995).

### 2.3.5. Rol del TRIA en el estrés abiótico

Muthuchelian *et al.* (2003) reportaron un aumento inducido por el TRIA en las raíces y brotes, área y densidad foliar, y la acumulación de biomasa fresca y seca de plantas de *Erythrina variegata* tratadas con ácido niebla. Sus estudios sugieren que el TRIA lipófilo podría actuar en las membranas celulares para producir 9- $\beta$ -L(+) adenosina. De hecho, esta sustancia se transloca rápidamente a través de la planta causando una cascada de eventos metabólicos y, por lo tanto, dando como resultado un aumento significativo en el crecimiento y materia seca de la planta (Ries y Wert, 1992).

La aplicación de TRIA aumentó la fijación de  $^{14}\text{CO}_2$ , la actividad enzimática, la síntesis de clorofila a y clorofila b, carotenoides, almidón, y azúcares en plántulas de *E. variegata* bajo condiciones de estrés hídrico, cadmio y lluvia ácida (Muthuchelian *et al.* 1997, 2001, 2003). Muthuchelian *et al.* (2003) sugirieron que el mayor crecimiento de las plantas por el TRIA podría ser el resultado de un aumento del área foliar efectiva, estimulación de la fotosíntesis y el aumento de las actividades de la RuBisCO y NR. Las reducciones en la tasa de crecimiento de los brotes, el índice de área foliar (IAF), y la tasa de crecimiento relativo (RGR) fueron mejorados por la aplicación del TRIA en plántulas sometidas a estrés hídrico. Resultados similares han sido reportados por Muthuchelian *et al.* (1995) en *E. variegata*. La reducción en el contenido de clorofila y carotenoides, así como que en la fluorescencia de la clorofila también fue mejorado por TRIA en plántulas de *E. variegata* bajo estrés salino (Muthuchelian *et al.*, 1995) y plantas de *Triticum aestivum* (Perveen *et al.*, 2010). Thakur y Thakur (1993) reportaron que la aplicación de TRIA y mixtalol superaron los efectos adversos de la falta de humedad en los cultivares de *Lycopersicon esculentum*. Según Muthuchelian *et al.* (1994, 1997), la aplicación de TRIA redujo la inhibición de la actividad del PS-II alrededor del 22% en plantas de *E. variegata* con estrés hídrico; la reducción en la actividad de RuBisCO fue también mejorado por el TRIA. Ellos también reportaron de un mantenimiento mediado por TRIA en la maquinaria fotosintética y un significativo retraso en la senescencia de la hoja en plantas con estrés hídrico. Mediante la aplicación de TRIA, Krishnan y Kumari (2008) reportaron una satisfactoria mejoría del estrés salino en plantas de soya en términos de relación peso hoja, contenido relativo de agua, pigmentos de clorofila, ácidos nucleicos, azúcares y proteínas solubles.

El estudio de Borowski y Blamowski (2009) mostraba que un periódico enfriamiento disminuye el valor de todo el crecimiento, rendimiento y los parámetros fisiológicos en las plantas en un grado significativo, con la excepción de la fuga de electrolitos, déficit de saturación de agua y contenido de prolina, cuyos valores bajo estas condiciones fue incrementada usando TRIA. El TRIA influyó favorablemente tanto las plantas tratadas y no tratadas con frío periódica. Además, una influencia negativa del enfriamiento en el crecimiento y rendimiento de *Ocimum basilicum* L. fue reducido por TRIA aplicado a  $0.1 \text{ mg dm}^{-3}$ .

### **2.3.6. Experimentos con bioestimulantes**

Díaz (1983) en un experimento realizado en el cultivo de frijol en condiciones de Palmira-Colombia, concluye que la aplicación de fertilizantes suplementados (úrea, polifosfato, sulfato de potasio) por vía foliar no muestra efecto positivo sobre la producción de semillas cuando estas aplicaciones se hacen después de los 14 días después de la floración. Los contenidos de carbohidratos en tallos y raíces aumentan cuando se realizan la aplicación de fertilizantes foliares.

Ramírez (1991) en un experimento realizado en Guatemala donde se evaluó bioestimulantes con aminoácidos sintéticos en el cultivo de arveja china determino un mayor número de botones florales y un mayor número de flores cuajadas (5 de 7 flores), mientras que en el testigo encontró 3 de 7 flores.

Dianteras (1996), al realizar un ensayo con diferentes dosis de una serie de bioestimulantes que contenían reguladores de crecimiento y micronutrientes en el cultivo de maní, no encontró diferencias significativas por el efecto de los bioestimulantes en el rendimiento de grano.

Shimabukuro (1996) llevo a cabo un trabajo experimental para determinar el efecto de ácidos húmicos y fertilizantes foliares en vainita, no encontrando influencia significativa en el rendimiento. Los tratamientos utilizados fueron bioestimulantes basados en L- $\alpha$  aa, abonos compuestos foliares y micronutrientes. Sin embargo, se observa que de todos los tratamientos el que obtuvo mayor rendimiento fue el tratamiento con ácido húmico.

Díaz (1996) realizó un experimento en arveja de vaina comestible fertilizando el suelo con la fórmula de abonamiento 80-40-40 y fertilización foliar, se obtuvo los mejores rendimientos ( $5300 \text{ kg ha}^{-1}$ ) con la marca Stoller que contenía NPK (15-15-30) y micronutrientes en mayor proporción que los demás.

Pacheco (1996), al evaluar el efecto de la fertilización foliar suplementaria en el rendimiento de melón, este no resulta significativo, sin embargo, se observa que el rendimiento es ligeramente superior con el tratamiento con fertilización foliar cuando el nivel de potasio es muy alto se obtiene un mayor rendimiento que sin aplicación del fertilizante foliar.

Dulanto (1997) en un ensayo realizado en frijol cv. Japones no encontró efectos significativos en los rendimientos al aplicar Mol, Biostar, Biol y Fetrilon Combi 1, solo se encontró efecto significativo en el largo de vainas utilizando Fetrilon Combi 1. Aplicando los mismos tratamientos foliares al pallar cv. I-1548 se encontró un incremento significativo de los rendimientos con Fetrilon Combi 1 y Biostar, los cuales superaron al testigo en aproximadamente 21.3 %.

Alejos (2001) determino los efectos de la fertilización foliar con diferentes ácidos húmicos y bioestimulantes en el rendimiento y la calidad de la arveja cv. Tarma. El más alto rendimiento en vaina verde se obtuvo con el abonamiento convencional al suelo (80-80-80) con un rendimiento de  $14943 \text{ kg ha}^{-1}$ , y con el ácido húmico Biostar,  $14845 \text{ kg ha}^{-1}$ .

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Ubicación del campo experimental**

El presente trabajo de investigación se realizó entre Setiembre y Diciembre del 2015 en el Lote 14 del Centro Experimental del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) Sede Central-La Molina, cuyas coordenadas geográficas son:

Latitud	: 12°4'48" S
Longitud	: 76°56'44" W
Altitud	: 245 msnm

#### **3.2. Historial de campo**

El Lote 14 en las campañas anteriores al experimento se cultivó maíz y sandía.

#### **3.3. Análisis fisicoquímico del suelo**

El suelo donde se realizó el presente trabajo experimental, es como todos los suelos de La Molina, profundos, de buen drenaje, permeabilidad moderada, textura franco arenosa, estructura granular media y moderada, de consistencia friable en húmedo (Cuadro 1).

El análisis de suelos se realizó en base a una muestra de suelo del área experimental. Los resultados presentados en el Cuadro 1, indica un contenido de sales alto ( $1.62 \text{ dS m}^{-1}$ ), con efectos adversos sobre el crecimiento del cultivo, pero limitados por el sistema de riego por goteo que ayuda a disminuir los efectos de la salinidad.

El pH (7.72) indica que es un suelo medianamente alcalino. No hay presencia de contenido de  $\text{CaCO}_3$ . El contenido de materia orgánica (1.12 % de la M.O.) y por lo tanto de nitrógeno total (5% de la M.O.), es bajo. Por otro lado el contenido de fósforo disponible es alto (17.4 ppm). Asimismo, el contenido de potasio disponible (291 ppm) es alto. Estos niveles indicarían una baja probabilidad de respuesta a la fertilización fosforada-potásica y una alta probabilidad de respuesta a la fertilización nitrogenada.

La CIC ( $14.08 \text{ cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$ ) está en el límite de los rangos bajos y medio lo que nos indicaría una disminuida fertilidad potencial edáfica. En las relaciones entre los cationes involucrados se observa una predominancia del Ca y el Mg (95.45% PSB) sobre el K (3.9% PSB), con una relación Ca/Mg de 8.81 y una relación K/Mg de 0.4. El porcentaje de saturación de bases es de 100%, siendo un suelo óptimo.

Cuadro 1. Resultados del análisis de suelo y caracterización.

Parámetro	Unidad	Suelo
pH		7.72
CE	$\text{dS m}^{-1}$	1.62
$\text{CaCO}_3$	%	0
Materia Orgánica	%	1.12
Arena	%	53
Limo	%	28
Arcilla	%	19
% de Saturación de bases	%	100
P	ppm	17.4
K	ppm	291
Clase Textural		Franco Arenoso
Capacidad de intercambio catiónico		14.08
$\text{Ca}^{+2}$	meq/100 g	12.07
$\text{Mg}^{+2}$	meq/100 g	1.37
$\text{K}^{+}$	meq/100 g	0.55
$\text{Na}^{+}$	meq/100 g	0.09
$\text{Al}^{+3} + \text{H}^{+}$	meq/100 g	0

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Agua y Fertilizantes del Departamento de Suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina. 2015.

### 3.4. Condiciones Meteorológicas

Según el sistema modificado de Koepen, basado en promedios anuales de precipitación y promedios anuales de temperatura, le corresponde a La Molina, la clasificación de Desierto subtropical Árido caluroso. El Cuadro 2 presenta los datos climatológicos correspondientes a la zona experimental durante el periodo vegetativo del cultivo (septiembre a diciembre de 2015) fueron obtenidos de los registros del Observatorio Meteorológico “Alexander Von Humboldt” de la UNALM. Se observa un incremento marcado de la temperatura en noviembre y diciembre debido al inicio del verano en este último mes, la precipitación asimismo disminuye al mismo ritmo del cambio de estación de primavera a verano, con una ligera disminución de la humedad relativa en los dos últimos meses de estudio.

Cuadro 2. Parámetros climatológicos de la zona de La Molina en el periodo experimental Septiembre-Diciembre, 2015.

MES	T° PROMEDIO (°C)	T° MÁXIMA (°C)	T° MÍNIMA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACION (mm)
SEPTIEMBRE	17.63	21.52	15.34	80.21	0.12
OCTUBRE	18.55	22.77	16.16	79.75	0.06
NOVIEMBRE	18.90	22.90	16.64	79.33	0.09
DICIEMBRE	20.78	25.08	17.97	77.92	0.06

Fuente: Datos obtenidos de los registros del observatorio Meteorológico “Alexander Von Humboldt” La Molina. UNALM

### 3.5. Material Biológico de estudio

#### 3.5.1. Arveja

Camarena y Huaranga (2003) mencionan que el cultivar Rondo prospera desde los 245 a 3300 m.s.n.m. Este cultivar es de medio enrame, apreciado por los agricultores por su rendimiento y tamaño de vaina. Es semitardía, de grano rugoso apto para consumo en fresco. Arveja de maduración media. Vaina recta de color verde medio, con siete a ocho granos. Resistente a marchitez (Cuadro 3).

Cuadro 3. Características de la arveja cultivar Rondo.

<b>Características</b>	<b>Valores/Tipos</b>
Altura de planta (cm)	50
Tipo de crecimiento	Medio enrame
Días a floración	63
Período flor-vaina (días)	21
Periodo vegetativo (días)	130
Flores por racimo	1-2
Nudo donde aparece el primer racimo floral	6°-9°
Longitud de vaina (cm)	10
Textura de vaina	Rugoso
N° de granos por vaina	8
Rendimiento en grano verde (kg ha <sup>-1</sup> )	5000

Fuente: Huaranga (2011)

Las características del cultivar Rondo varía según los experimentos como se muestra en el cuadro 4.

Cuadro 4. Características de la arveja Rondo en tres tesis experimentales.

<b>Características</b>	<b>Saldaña (2012)</b>	<b>Quispe (2007)</b>	<b>De Villena (2001)</b>
Número de vainas/planta	9.63	17.27	13.1
Número de granos/vaina	6.16	6	5.3
Relación grano/vaina	0.67	-	0.7
Largo de vaina (cm)	9.83	10.03	9.6
Ancho de vaina (cm)	1.83	1.47	1.8
Número de ramas/planta	2.63	1.67	-
Altura de planta (cm)	63.52	63.9	50
Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	3271**	2644*	2502.9**

\*Peso grano seco

\*\*Peso grano verde

### 3.5.2. Reguladores de crecimiento

Se emplearon 3 reguladores de crecimiento aplicados antes de la floración en combinación con triacantanol: auxinas (Root-Hor), ácido giberélico (Progibb Plus) y citoquininas (Triggrr Foliar) y sus combinaciones, auxinas más citoquininas (Triggrr Kelp), auxinas más giberelinas más citoquininas (Triggrr Trihormonal) a dosis comerciales indicadas abajo, más un tratamiento adicional de triacantanol con potasio (FX Potasio) a 6 L ha<sup>-1</sup> y otro tratamiento con triacantanol solo.



#### **Composición del FX Potasio:**

Potasio (K <sub>2</sub> O)	25 % p/v
Extracto de algas marinas	3 % p/v
Boro	1 % p/v

#### **Composición del Root-Hor:**

Ácido Alfa Naftalenacético	0.40 %
Ácido 3 Indol Butírico	0.10 %
Ácidos nucleicos	0.10 %
Sulfato de Zinc	0.40 %
Solución Nutritiva	95.40 %

#### **Composición del Progibb® plus:**

Ácido Giberélico	10 %
Aditivos	90 %

#### **Composición del Triggrr Foliar:**

Citoquininas (como kinetina)	0.132 g L <sup>-1</sup>
Elementos minerales	77.400 g L <sup>-1</sup>
Materiales inertes	922.48 g L <sup>-1</sup>

#### **Composición del Triggrr Kelp:**

Citoquininas (como kinetina)	0.132 g L <sup>-1</sup>
Auxinas.	0.050 g L <sup>-1</sup>
Elementos minerales	77.400 g L <sup>-1</sup>
Materiales inertes	922.480 g L <sup>-1</sup>

#### **Composición del Triggrr Trihormonal:**

Citoquininas (como kinetina)	0.132 g L <sup>-1</sup>
Auxinas.	0.050 g L <sup>-1</sup>
Giberelinas	0.050 g L <sup>-1</sup>
Elementos minerales	77.400 g L <sup>-1</sup>
Materiales inertes c.s.p	1L

Se trabajó con una dosis comercial homogénea de triacontanol para todos los tratamientos que fue de 1 L ha<sup>-1</sup>, como se muestra en el cuadro 5.

### 3.5.3. Tratamientos en estudio

Los reguladores de crecimiento empleados fueron usados a sus dosis comerciales:

- Root-Hor: 0.5% o 0.5 L ha<sup>-1</sup>
- Ácido giberélico (Progibb Plus): 100 ppm ó 40 g ha<sup>-1</sup>
- Citoquininas (Triggrr Foliar): 1 L ha<sup>-1</sup>
- Auxinas + citoquininas (Triggrr Kelp): 1 L ha<sup>-1</sup>
- Auxinas + giberelinas + citoquininas (Triggrr Trihormonal): 0.5 L ha<sup>-1</sup>
- Potasio (FX Potasio): 6 L ha<sup>-1</sup>

En el Cuadro 5 se aprecian los tratamientos que se evaluaron en el presente estudio.

Cuadro 5. Clave y descripción de los tratamientos en estudio.

CLAVE	DESCRIPCIÓN
T1	1 L ha <sup>-1</sup> de Triacantanol + 0.5 L ha <sup>-1</sup> Root-Hor
T2	1 L ha <sup>-1</sup> de Triacantanol + 40 g ha <sup>-1</sup> Progibb Plus
T3	1 L ha <sup>-1</sup> de Triacantanol + 1 L ha <sup>-1</sup> de Triggrr Foliar
T4	1 L ha <sup>-1</sup> de Triacantanol + 1 L ha <sup>-1</sup> de Triggrr Kelp
T5	1 L ha <sup>-1</sup> de Triacantanol + 0.5 L ha <sup>-1</sup> de Triggrr Trihormonal
T6	1 L ha <sup>-1</sup> de Triacantanol + 6 L ha <sup>-1</sup> de FX Potasio
T7	1 L ha <sup>-1</sup> de Triacantanol
T8	Testigo

### 3.5.4. Diseño experimental

El diseño estadístico experimental empleado fue el Diseño de Bloques Completamente al Azar, con 8 tratamientos y tres repeticiones haciendo un total de 24 unidades experimentales.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = variable aleatoria que representa la observación j-ésima del i-ésimo tratamiento (nivel i-ésimo del factor).

$\mu$  = es un efecto constante, común a todos los niveles, denominado media global o general.

$\tau_i$  = es la parte de  $Y_{ij}$  debida a la acción del nivel i-ésimo, que será común a todos los elementos sometidos a ese nivel del factor (“aportación cuantitativa del nivel i-ésimo del factor al valor total de la variable  $y_{ij}$ ”), llamado efecto del tratamiento i-ésimo.

$\beta_j$  = es el efecto del bloque j.

$\varepsilon_{ij}$  = Efecto aleatorio del error

La prueba de comparación que se realizará entre los promedios de los tratamientos será la prueba de comparaciones múltiples de Duncan al 5%.

### Características del experimento en campo

Nº de parcelas	: 24	Longitud de línea	: 4 m
Nº de bloques	: 3	Número de líneas/parcela	: 24 surcos
Nº de parcelas por bloque	: 8	Nº de golpes por surco	: 11
Área total del experimento	: 320 m <sup>2</sup>	Nº de semillas por golpe	: 5
Distanciamiento entre líneas	: 0.75 m	Distancia entre calles	: 0.3 m
Distanciamiento entre golpes	: 0.2 m	Área de la parcela	: 9 m <sup>2</sup>

#### 3.5.5. Otros fertilizantes

Se aplicaron también fertilizantes foliares de la empresa FARMEX S.A. FX Amino para suplir las deficiencias de nitrógeno, bioestimulante líquido soluble rico en L- $\alpha$  aminoácidos y péptidos de bajo peso molecular. Además, se adicionó Powergizer, con alto contenido de nitrógeno amoniacal y fósforo.

Cuadro 6. Randomización de los tratamientos en el campo experimental.

N°	TRATAMIENTO	BLOQUES		
		I	II	III
1	1 L ha <sup>-1</sup> de Triacantanol + 0.5 L ha <sup>-1</sup> Root-Hor	102	205	308
2	1 L ha <sup>-1</sup> de Triacantanol + 40 g ha <sup>-1</sup> Progibb Plus	103	206	301
3	1 L ha <sup>-1</sup> de Triacantanol + 1 L ha <sup>-1</sup> de Triggrr Foliar	108	204	302
4	1 L ha <sup>-1</sup> de Triacantanol + 1 L ha <sup>-1</sup> de Triggrr Kelp	104	201	303
5	1 L ha <sup>-1</sup> de Triacantanol + 0.5 L ha <sup>-1</sup> de Triggrr Trihormonal	105	203	304
6	1 L ha <sup>-1</sup> de Triacantanol + 6 L ha <sup>-1</sup> de FX Potasio	106	202	307
7	1 L ha <sup>-1</sup> de Triacantanol	101	207	306
8	Testigo	107	208	305

### 3.6. Metodología

El presente trabajo consistió de un ensayo experimental instalado bajo el diseño de bloques completos al azar con 8 tratamientos y tres repeticiones. El cultivo fue bajo riego por goteo en el lote 14 del INIA, con parcelas experimentales de 9 m<sup>2</sup>. Se evaluó el rendimiento y sus componentes morfológicos siguiendo la metodología propuesta por el Programa de Leguminosas de Grano y Oleaginosas de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Además, se recomienda para la evaluación de los ensayos registrando las variables cuantitativas de acuerdo a las normas internacionales aceptadas siendo las mediciones en unidades métricas tomando al azar 10 plantas competitivas en la parcela.

### 3.7. Conducción del experimento

- **Preparación del terreno**

Se inició con riego de machaco procediendo a la aradura cuando el terreno estuvo a punto. Para la aradura se utilizó un tractor con arado de disco, a una profundidad de 30 cm., se efectuó el pase de rastras y luego el despajo con jornales, seguido del gradeo. Luego se

procedió a la instalación del sistema de riego por goteo y de acuerdo al croquis previamente establecido, se demarcó el campo experimental y se trazaron bloques, calles y parcelas utilizando para ello una wincha, cordel, estacas y cal.

- **Preparación de la semilla**

Las semillas de arveja fueron seleccionadas empleando una zaranda manual con base metálica en orificios de 5 mm para uniformizar el tamaño. Se seleccionó por su pureza y sanidad, haciendo un conteo de número de semillas para cada tratamiento; la misma se empaquetó en un sobre de mercado para cada parcela según la randomización del experimento.

- **Siembra**

La siembra se realizó manualmente con un distanciamiento de 0.2 m entre golpes dejando caer 4 a 5 semillas por golpe, es decir una densidad de 200000 plantas ha<sup>-1</sup>. La siembra se realizó el día 11 de Setiembre del 2015.

- **Riego**

Se manejó con riego por goteo y generalmente se aplicaba el riego una vez por semana los días viernes y cuando el cultivo estaba en periodo de floración y llenado de vaina se dieron 2 riegos ligeros por semana.

- **Control de malezas**

Al inicio, se realizaron 3 deshierbos manuales durante el periodo crítico del cultivo con la ayuda de una lampa, cuando las plantas alcanzaron un tamaño promedio de 25 a 30 cm. Luego se aplicó el herbicida Centurion para el control de malezas de hoja angosta. Se aplicó al suelo en postemergencia a la dosis de 1 L ha<sup>-1</sup>, aunque también se complementó con deshierbos manuales.

- **Fertilización**

De acuerdo al análisis fisicoquímico del cultivo, el suelo tenía buenas reservas de P y K por lo que no se aplicó estos fertilizantes, en el caso del nitrógeno se aplicaron fertilizantes foliares como el FX Amino y Powergizer dos veces antes de la floración y durante el llenado de vaina.

- **Aplicaciones foliares**

La aplicación foliar del triacontanol (Fotomex) y el potasio se hizo de manera conjunta, como el Fotomex es insoluble se aplicó con un surfactante, en este caso Silwet. Las aplicaciones se hicieron 2 veces, a la 4° y 6° semana después de la siembra del cultivo.

- **Control fitosanitario**

El control se realizó en función de la presencia de las plagas y enfermedades que se presenten durante el desarrollo del cultivo. Se utilizó Deltametrina 2.5 % para el control de gusanos comedores de vainas, y para mosca minadora que fueron las plagas ocasionales que se presentaron en el cultivo.

- **Cosecha**

La cosecha se efectuó de acuerdo a la madurez de cosecha, a los 100 días después de la siembra, cuando las plantas mostraban el follaje verde oscuro y las vainas llenas, para la evaluación se extrajeron 10 plantas de los surcos centrales al azar de cada parcela y de igual manera se procedió con el resto de las plantas, para tener el peso masal y de parcela con fines de estimar rendimientos. El material cosechado e identificado se trasladó a los ambientes del INIA donde se hizo la evaluación y el registro de datos luego de una trilla manual.

### **3.8. Variables evaluadas en el experimento**

#### a) Altura de planta

Se midió desde el cuello de la planta hasta el ápice del brote de la guía principal tomando como unidad experimental a 10 plantas, y el resultado se expresó en centímetros. La altura de la planta se evaluó al final del ciclo de vida de la arveja.

#### b) Número de ramas por planta

El número de ramas fue contado en los tallos de 10 plantas escogidas al azar de cada tratamiento y de cada bloque.

#### c) Peso fresco total de la planta

Se tomó una muestra de 10 plantas por cada unidad experimental y se procedió a pesar en una balanza digital. El valor se expresó en gramos por planta.

#### d) Longitud de vaina

Se midió de extremo a extremo en muestras de 10 vainas tomadas al azar de cada unidad experimental y se expresó en centímetros.

#### e) Ancho de vaina

Se evaluó a 10 vainas cosechadas al azar de cada unidad experimental, tomando como referencia la parte central de la vaina y se expresó en centímetros.

#### f) Número de vainas/planta

Se contó la cantidad de vainas verdes cosechadas por cada unidad experimental de cada cosecha realizada, para ello se tomó 10 plantas al azar de cada parcela y se promedió las 3 repeticiones.

#### g) Número de granos/vaina

De cada cosecha realizada, se evaluó por unidad experimental muestras de 10 plantas tomadas al azar a las cuales, se contó el número de granos y se promedió entre diez.

h) Rendimiento en vaina verde ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

Esta variable se determinó mediante el peso de todas las vainas cosechadas de cada unidad experimental y luego se expresó en  $\text{kg/ha}$ .



## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Altura de planta (cm)

En el cuadro 7 y Figura 1 se aprecia que los promedios de los valores de altura de planta (cm) de arveja cultivar Rondo fluctúan entre 80 cm y 144 cm correspondiendo a los tratamientos T8 (testigo) y T2 (triacontanol más giberelinas) respectivamente, lo que representa un incremento del 80%. El promedio general del experimento fue de 95 cm, con un coeficiente de variabilidad de 10.76 %, lo cual da confiabilidad a los resultados obtenidos en experimentos agrícolas según Calzada (1982). El análisis de varianza (ANVA) según se observa en el cuadro 8, indica que hay diferencias altamente significativas ( $p < .0001$ ) en las fuentes de variabilidad de los tratamientos, más no entre los bloques.

Cuadro 7. Efecto de diferentes reguladores de crecimiento en variables morfológicas de arveja cv. Rondo.

TRATAMIENTO	ALTURA DE PLANTA (cm)	NÚMERO DE RAMAS	LONGITUD DE VAINA (cm)	ANCHO DE VAINA (cm)
TRIA+AUX	87 b	2.7 ab	9.67 ab	1.77 ab*
TRIA+GA	144 a	2.2 b	8.26 b	1.83 ab
TRIA+CK	96 b	2.8 ab	10.67 a	1.74 ab
TRIA+AUX+CK	85 b	2.8 ab	10.29 a	1.68 ab
TRIA+ AUX+GA+CK	92 b	3.5 a	10.71 a	1.83 a
TRIA+K	86 b	2.7 ab	10.46 a	1.81 ab
TRIA	89 b	2.7 ab	10.21 a	1.73 ab
CONTROL	80 b	2.8 ab	9.33 ab	1.66 b
<b>PROMEDIO</b>	<b>95</b>	<b>2.8</b>	<b>9.95</b>	<b>1.76</b>

\*Promedios con letras distintas difieren significativamente para  $p < 0.05$  según prueba de Duncan.

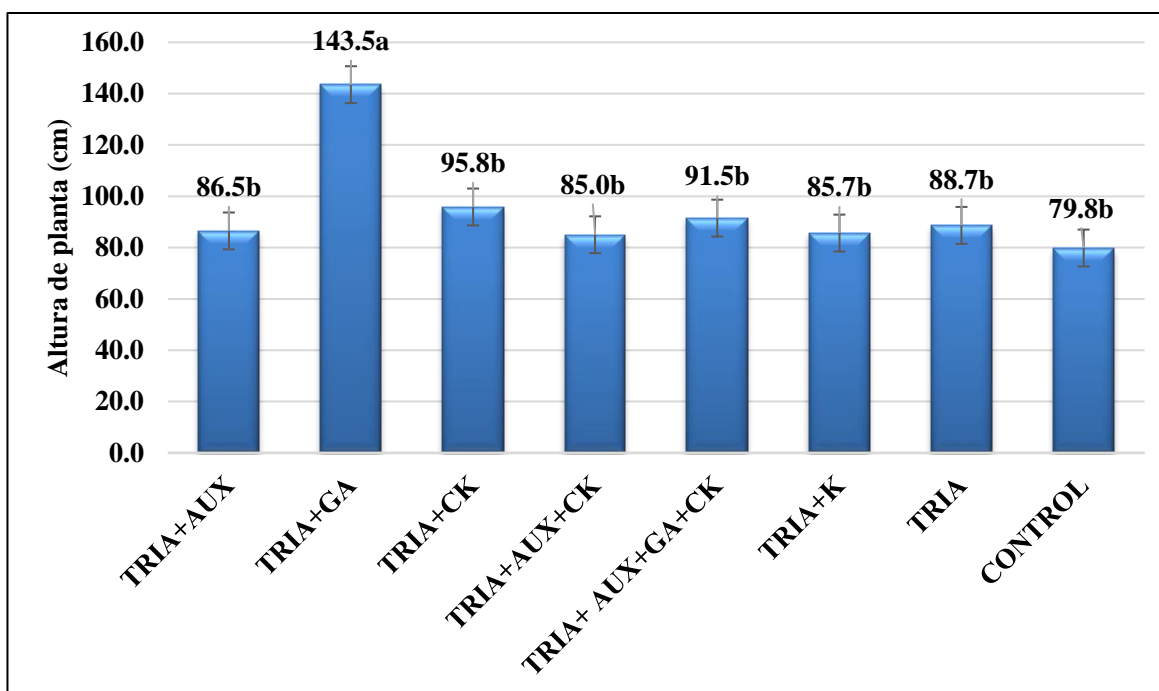


Figura 1. Altura de planta (cm) de los tratamientos evaluados.

La prueba de comparación de medias Duncan a un nivel de significación de  $\alpha=0.05$ , encontró que el tratamiento de triacontanol con giberelinas obtuvo la mayor altura de planta con 144 cm y difiere estadísticamente del resto de tratamientos, cuyos valores varían entre 80 y 96 cm (Figura 1).

Cuadro 8. Análisis de varianza de las variables morfológicas del experimento.

FUENTE DE VARIACIÓN	GRADOS DE LIBERTAD	ALTURA DE PLANTA (cm)	NÚMERO DE RAMAS	LONGITUD DE VAINA (cm)	ANCHO DE VAINA (cm)
TRATAMIENTO	7	1239.93**	0.40	2.08	0.01
BLOQUE	2	59.16	0.26	0.32	0.01
ERROR	14	103.60	0.26	0.77	0.01
TOTAL	23				
C.V. (%)		10.76	18.41	8.85	4.95
PROMEDIO		94.56	2.77	9.95	1.75

C.V. (%) Coeficiente de variación

La prueba de Duncan ( $p \leq 0.05$ ). NS, no significativo; \* significativo ( $P \leq 0.05$ ); \*\* altamente significativo ( $P \leq 0.01$ ).

El promedio de altura de planta obtenido en este experimento es superior a lo obtenido por Saldaña (2012) de 63.52 cm, Quispe (2007) de 63.7 cm y De Villena (2001) con 50 cm. Según Camarena y Huaranga (2003), esto podría deberse a las condiciones medioambientales y a un eficiente suministro de recursos ya que el testigo tiene una altura de 80 cm, siendo generalmente esta variable determinada por su genética (Huaranga, 2011).

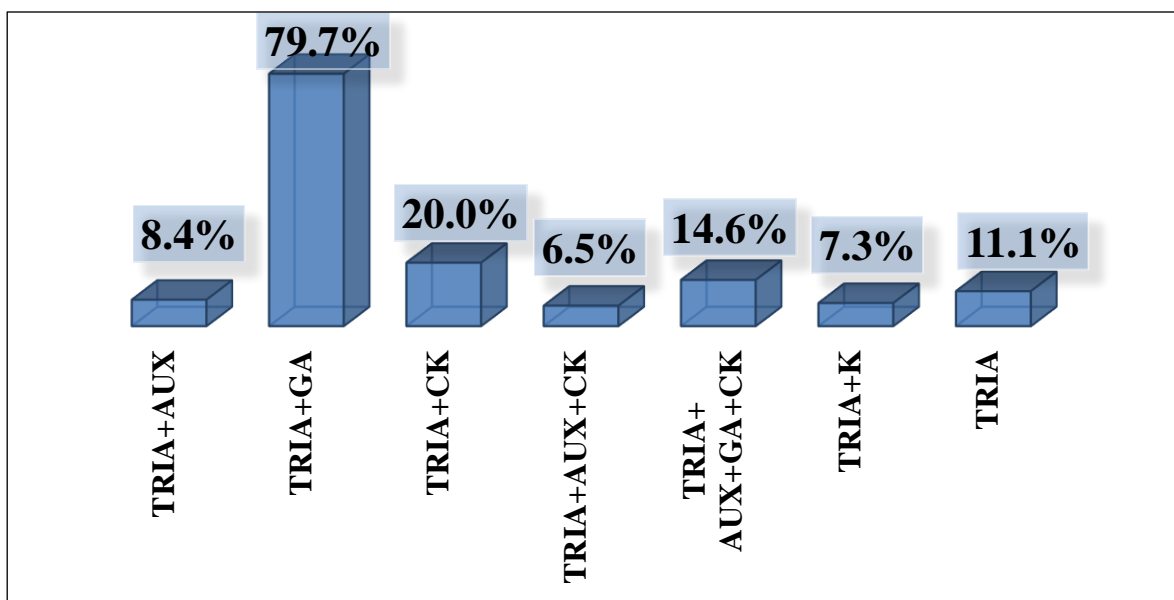


Figura 2. Efecto diferencial de los tratamientos respecto al control en la variable altura de planta (cm).

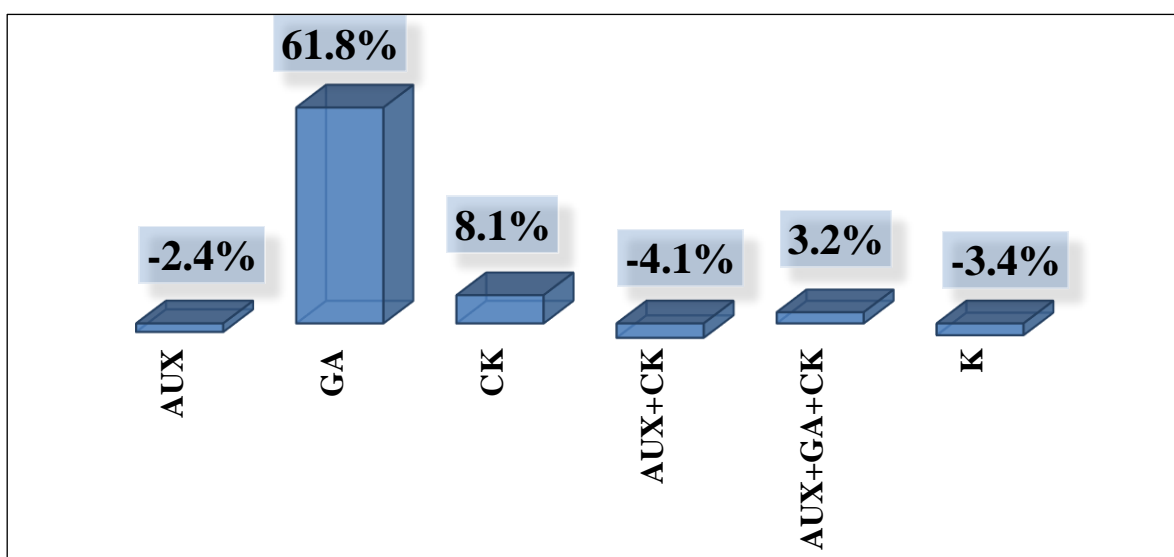


Figura 3. Efecto diferencial de los reguladores de crecimiento respecto al triacontanol en altura de planta (cm).

En las figuras 2 y 3 se observó que el triacontanol obtuvo un incremento del 11.1 % sobre el control, asimismo se observó una interacción positiva con las giberelinas (61.8%) y en menor medida con las citoquininas (8.1%) y una interacción negativa con las auxinas, la mezcla de auxinas y citoquininas, así como con el potasio foliar; sin embargo, hubo una interacción positiva cuando se aplicó el triacontanol con los tres reguladores de crecimiento juntos.

Estos resultados obtenidos concuerdan con lo planteado por Shukla *et al.* (1992) quien menciona que el triacontanol potencia el efecto de las giberelinas, sin embargo, no concuerda con Khan *et al.* (2009) quien obtuvo una mayor altura de plantas de tomate con la aplicación de triacontanol y una fertilización potásica de 90 kg ha<sup>-1</sup> de potasio. Las auxinas hacen que el efecto del triacontanol disminuya que según Henry y Gordon (1980) es debido al efecto de la destrucción de las auxinas por el triacontanol y que es específico para cada cultivar; además las bajas concentraciones de auxinas son inhibidores del crecimiento de tallo y activadores del crecimiento y desarrollo radicular (George *et al.*, 2008; Taiz *et al.*, 2015). El coeficiente de correlación de Pearson (Anexo 2) muestra que la variable altura muestra una correlación negativa estadísticamente significativa ( $p < 0.01$ ) con los componentes de rendimiento, número de vainas por planta (-0.573) y rendimiento grano verde (-0.613), esto se debe a que un crecimiento vegetativo excesivo influye negativamente en el rendimiento.

#### **4.2. Número de ramas por planta**

Los promedios de la variable número de ramas por planta fluctuaron entre 2.2 y 3.5 ramas por planta correspondiendo a los tratamientos T2 (triacontanol más giberelinas) y T5 (triacontanol más auxinas, giberelinas y citoquininas), con un incremento del 59.09% sobre el de menor valor y de 25% respecto del testigo (Cuadro 7). El promedio general del experimento fue de 2.8 ramas por planta, con un coeficiente de variabilidad de 18.41%, lo cual da confiabilidad a los resultados obtenidos en experimentos agrícolas según Calzada (1982). El análisis de varianza según se observa en el cuadro 8, indica que no hay diferencias estadísticas en las fuentes de variabilidad de los tratamientos y tampoco entre los bloques.

La prueba de comparación de medias Duncan a un nivel de significación de  $\alpha = 0.05$ , encontró que el tratamiento de triacontanol con auxinas, giberelinas y citoquininas obtuvo el mayor

número de ramas por planta con 3.5 pero no difiere estadísticamente del resto de tratamientos, excepto el tratamiento de triacontanol con giberelinas quien obtuvo el más bajo valor (Figura 4).

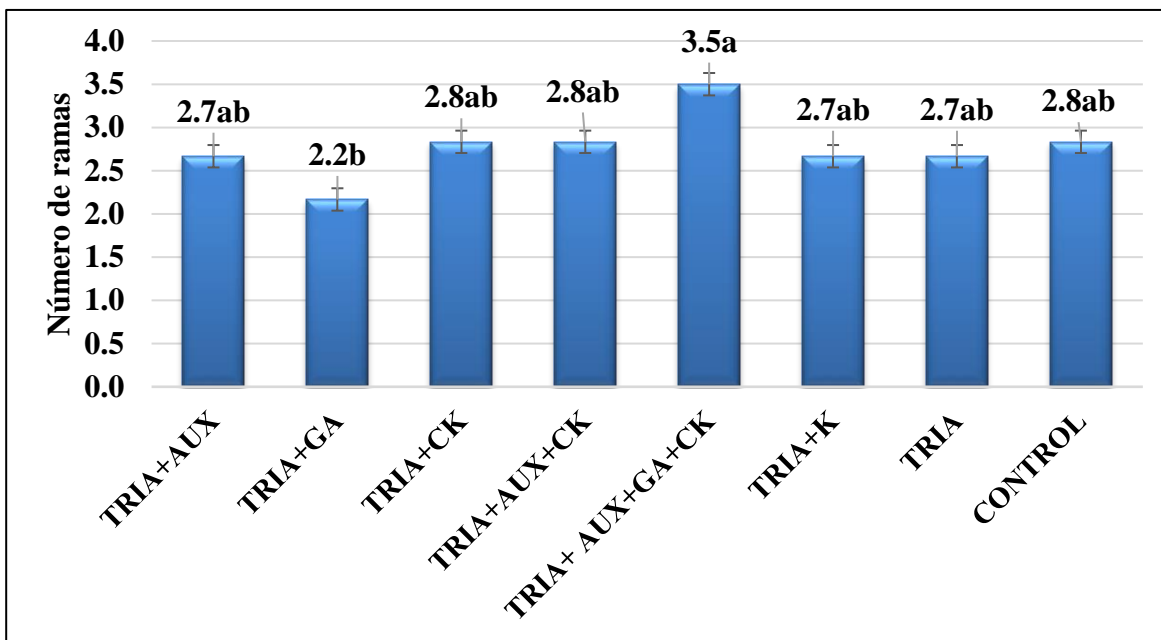


Figura 4. Número de ramas por planta de los tratamientos evaluados.

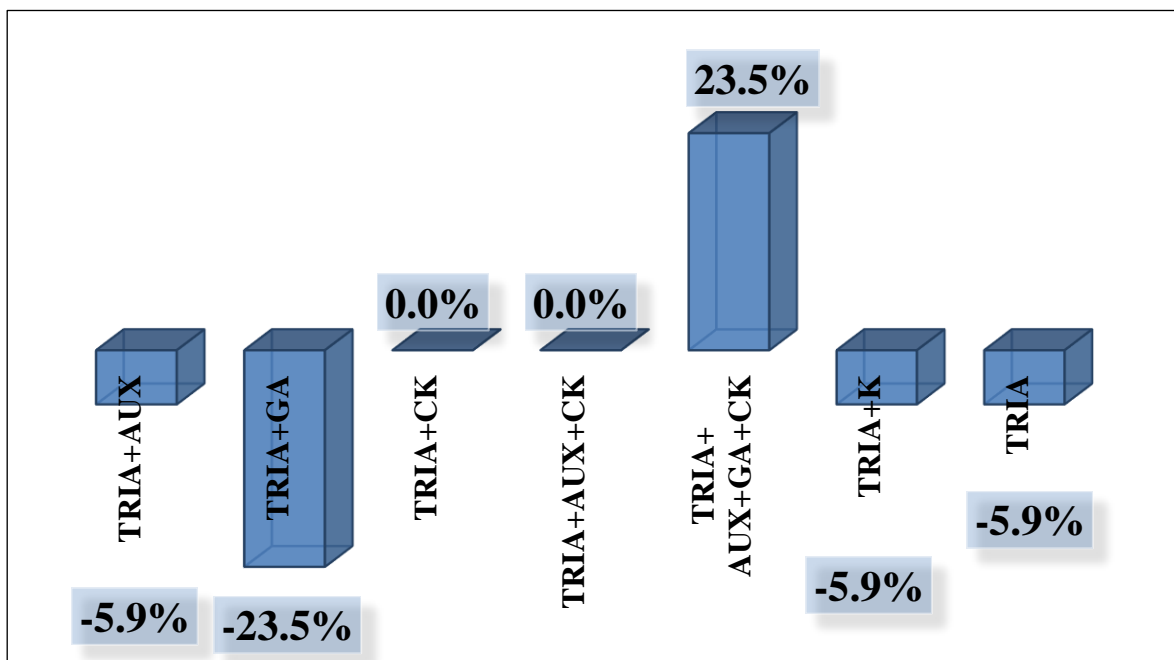


Figura 5. Efecto diferencial de los tratamientos respecto al control en la variable número de ramas por planta.

El promedio de número de ramas por planta obtenido en este experimento fue superior a lo obtenido por Saldaña (2012) de 2.63 ramas por planta, Quispe (2007) de 1.67 ramas por planta, esto se debe al efecto de los reguladores de crecimiento empleados, aunque como el testigo obtuvo un promedio más alto que los experimentos antes mencionados se concluye que las condiciones medioambientales, así como el uso de riego por goteo influyó en el número de ramas por planta.

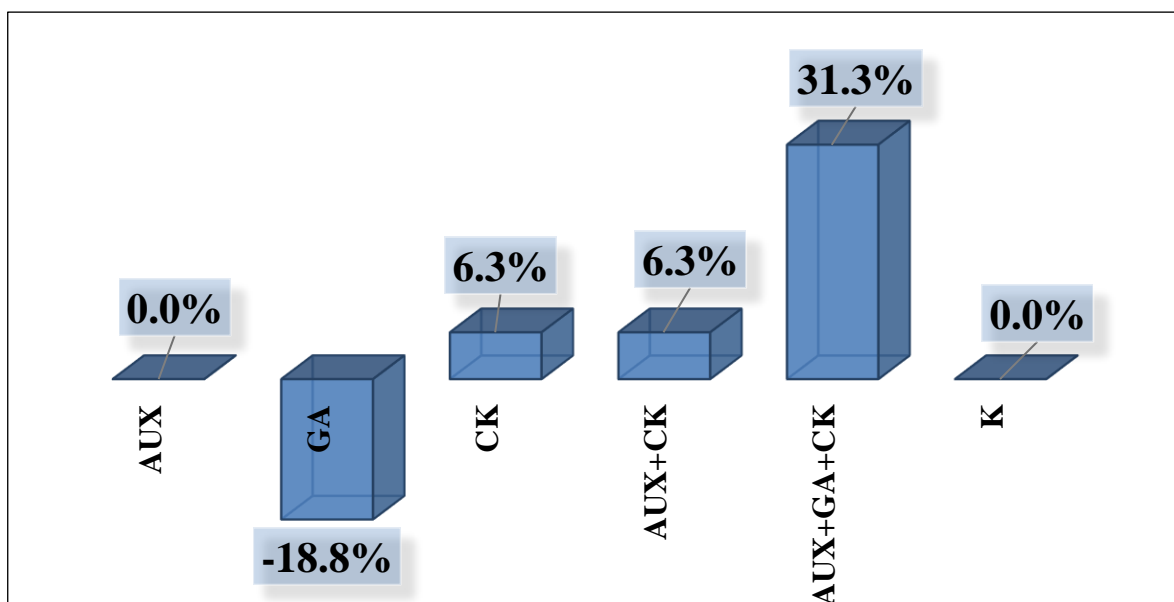


Figura 6. Efecto diferencial de los reguladores de crecimiento respecto al triacantanol en la variable número de ramas por planta.

En las figuras 5 y 6 se observó que, con el triacantanol, el número de ramas por planta disminuyó en un 5.9% sobre el control, asimismo se observó una interacción positiva con las citoquininas, la mezcla de auxinas y citoquininas y la mezcla de los tres reguladores de crecimiento, pero no hubo interacción negativa ya que la auxina y el potasio foliar obtuvieron similares valores a lo obtenido con la aplicación sola de triacantanol.

El número de ramas por planta es una característica determinada genéticamente, razón por la cual no se obtienen efectos contrastantes entre los tratamientos, pero todos los tratamientos con las citoquininas obtuvieron un mayor número de ramas por planta ya que las citoquininas incrementan la ramificación de brotes (Muller y Leyser, 2011) y el número de ramas (Taiz *et al.*, 2015). El coeficiente de correlación de Pearson (Anexo 2) muestra que la variable número

de ramas por planta muestra una correlación positiva estadísticamente significativa ( $p < 0.01$ ) con los componentes de rendimiento, número de vainas por planta (0.655), peso total (0.891) y rendimiento grano verde (0.731), esto se debe a que, a mayor número de ramas por planta, mayor número de flores y vainas y mayor biomasa del cultivar.

### 4.3. Longitud de vaina (cm)

En el cuadro 7 y figura 7 se aprecia que los promedios de los valores de longitud de vaina (cm) de arveja cultivar Rondo fluctuaron entre 8.26 cm y 10.71 cm correspondiendo a los tratamientos T2 (triacotanol más giberelinas) y T5 (triacotanol más auxinas, giberelinas y citoquininas) respectivamente, lo que representó un incremento del 29.66% respecto al menor valor y 14.8 respecto al testigo. El promedio general del experimento fue de 9.95 cm, con un coeficiente de variabilidad de 8.85%, lo cual da confiabilidad a los resultados obtenidos en experimentos agrícolas según Calzada (1982). El análisis de varianza según se observa en el cuadro 8, indica que no hay diferencias estadísticas en las fuentes de variabilidad de los tratamientos y tampoco entre los bloques.

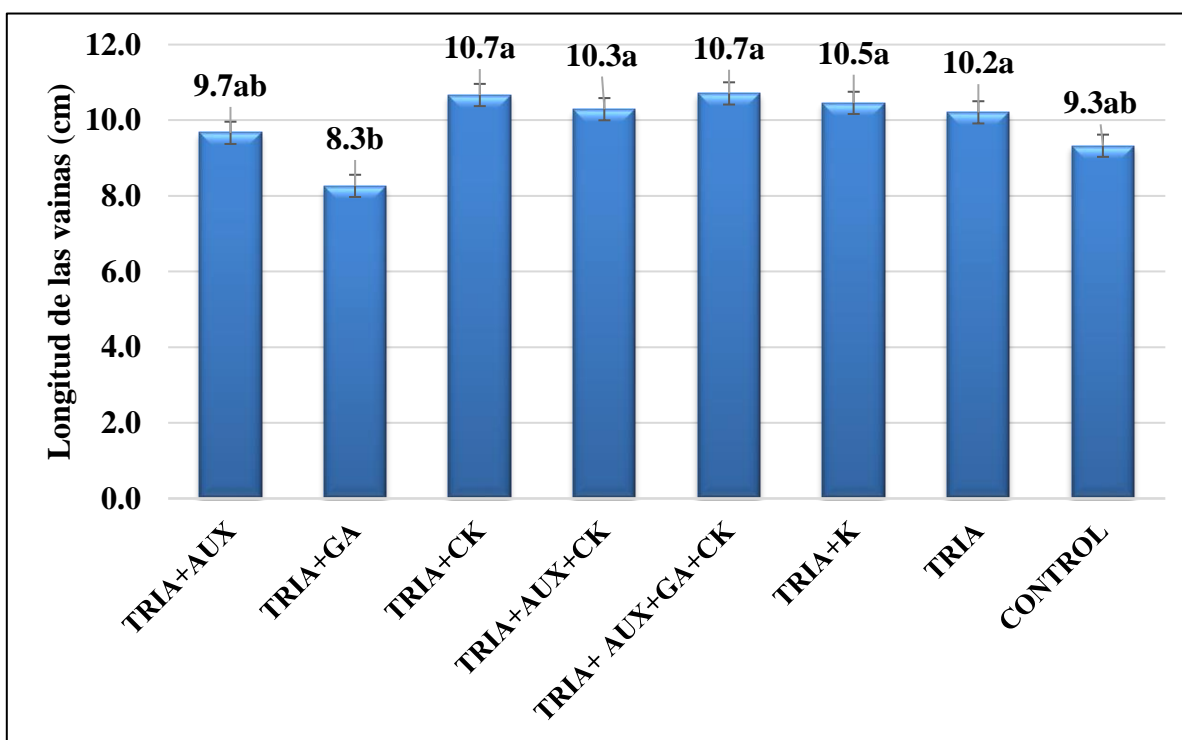


Figura 7. Longitud de vaina (cm) de los tratamientos evaluados.

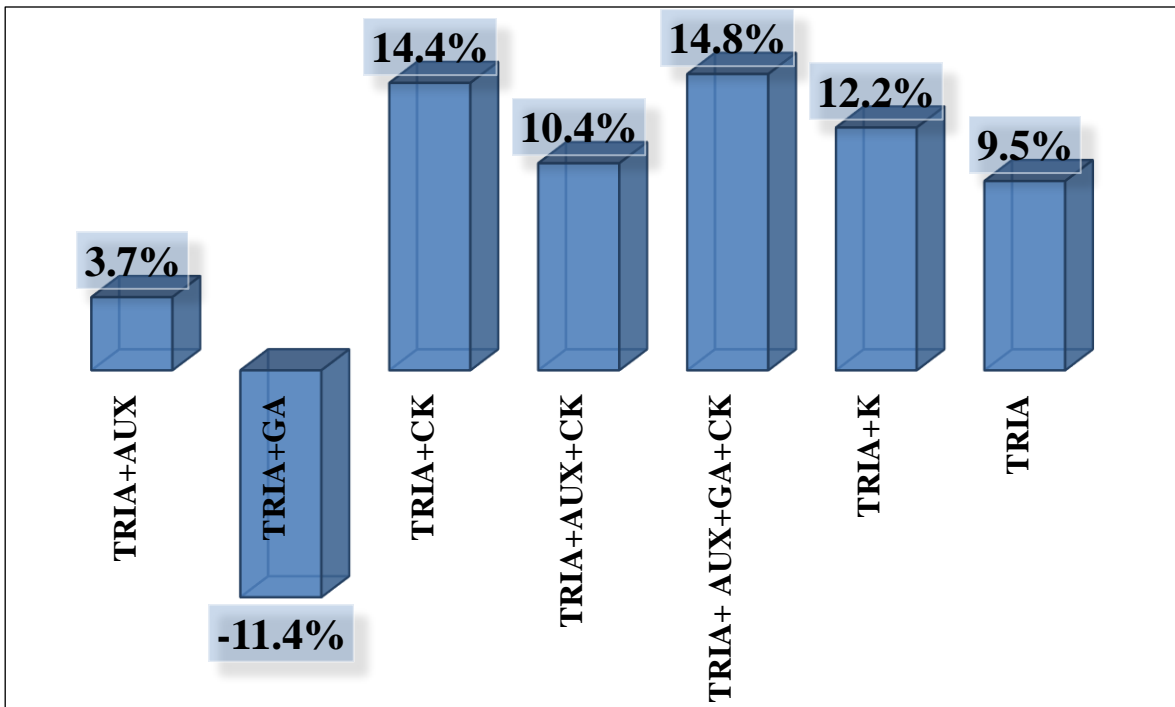


Figura 8. Efecto diferencial de los tratamientos respecto al control en la variable longitud de vaina (cm).

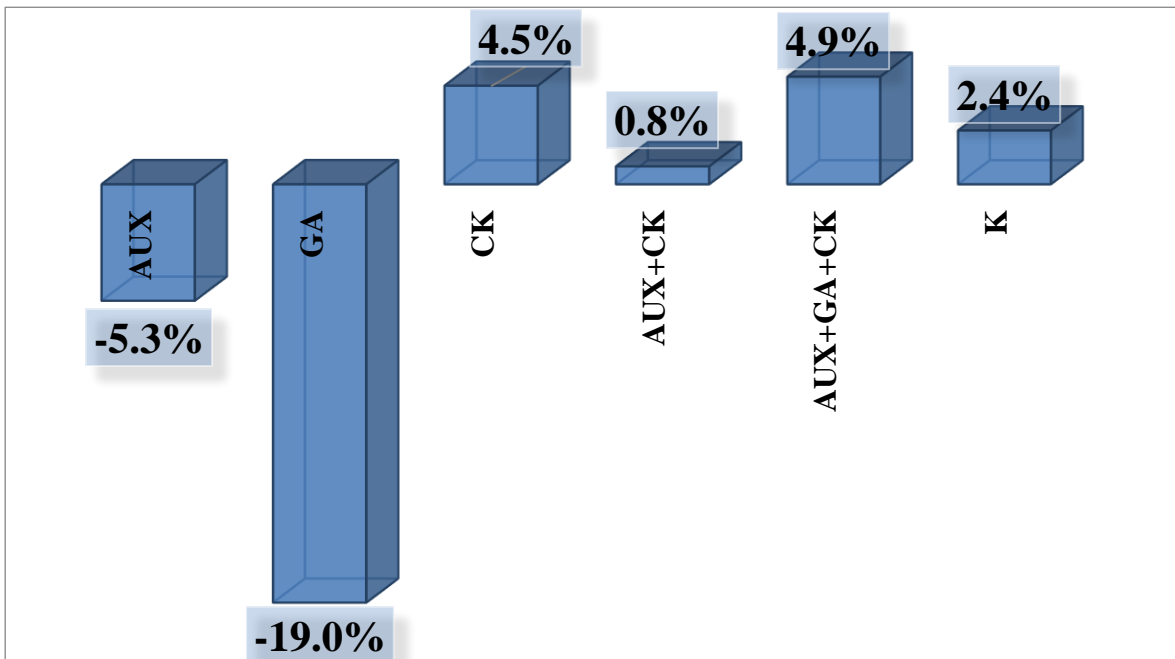


Figura 9. Efecto diferencial de los reguladores de crecimiento respecto al triacontanol en la variable longitud de vaina (cm).



La prueba de comparación de medias Duncan a un nivel de significación de  $\alpha=0.05$ , encontró que el tratamiento de triacontanol con auxinas, giberelinas y citoquininas obtuvo la mayor longitud de vainas con 10.71 cm, pero no difiere estadísticamente del resto de tratamientos, excepto el tratamiento de triacontanol con giberelinas quien obtuvo el más bajo valor, 8.26 cm (Figura 3).

El promedio de longitud de vaina (cm) obtenido en este experimento fue superior a lo obtenido por Saldaña (2012) con 9.83 cm y De Villena (2001) de 9.6 cm, pero menor a lo reportado por Quispe (2007) con 10.03 cm, esto se debe a que Saldaña (2012) y Quispe (2007) han evaluado microorganismos eficientes en el cultivar Rondo y estos proveen de sustancias benéficas como vitaminas, enzimas y antioxidantes en caso de presentarse estrés en los cultivos, como en este caso la salinidad presente en el suelo.

En las figuras 8 y 9 se observó que el triacontanol obtuvo un incremento del 9.5 % sobre el control, asimismo se observó una interacción positiva con los tratamientos que contienen citoquininas y en menor medidas con el potasio foliar; y una interacción negativa con las auxinas y giberelinas. Las citoquininas promueven un mayor cuajado de las vainas de las leguminosas (Carlson *et al.*, 1987) y también incrementan el ancho, largo y peso de las vainas (Mosjidis *et al.*, 1993), el potasio incrementa la fructificación y también tiene efecto sobre las vainas en leguminosas (Marschner, 2012).

El coeficiente de correlación de Pearson (Anexo 2) muestra que la variable longitud de vaina muestra una correlación positiva estadísticamente significativa ( $p<0.01$ ) con los componentes de rendimiento, número de granos por vaina (0.823), peso total (0.626) y rendimiento grano verde (0.654), esto se debe a que a mayor longitud de vaina hay una mayor cantidad de granos por vaina y aumenta el rendimiento.

#### **4.4. Ancho de vaina (cm)**

Los promedios de la variable ancho de vaina fluctúan entre 1.66 y 1.83 cm correspondiendo a los tratamientos T8 (testigo) y T5 (triacontanol mas auxinas, giberelinas y citoquininas), con un incremento del 10.24% sobre el de menor valor (Cuadro 7). El promedio general del

experimento fue de 1.76 cm, con un coeficiente de variabilidad de 4.95%, lo cual da confiabilidad a los resultados obtenidos en experimentos agrícolas según Calzada (1982). El análisis de varianza según se observa en el cuadro 8, indica que no hay diferencias estadísticas en las fuentes de variabilidad de los tratamientos y tampoco entre los bloques.

La prueba de comparación de medias Duncan a un nivel de significación de  $\alpha=0.05$ , encontró que el tratamiento de triacontanol con auxinas, giberelinas y citoquininas obtuvo el mayor ancho de vaina con 1.83, pero no difiere estadísticamente del resto de tratamientos, excepto el testigo quien obtuvo el más bajo valor (Figura 10).

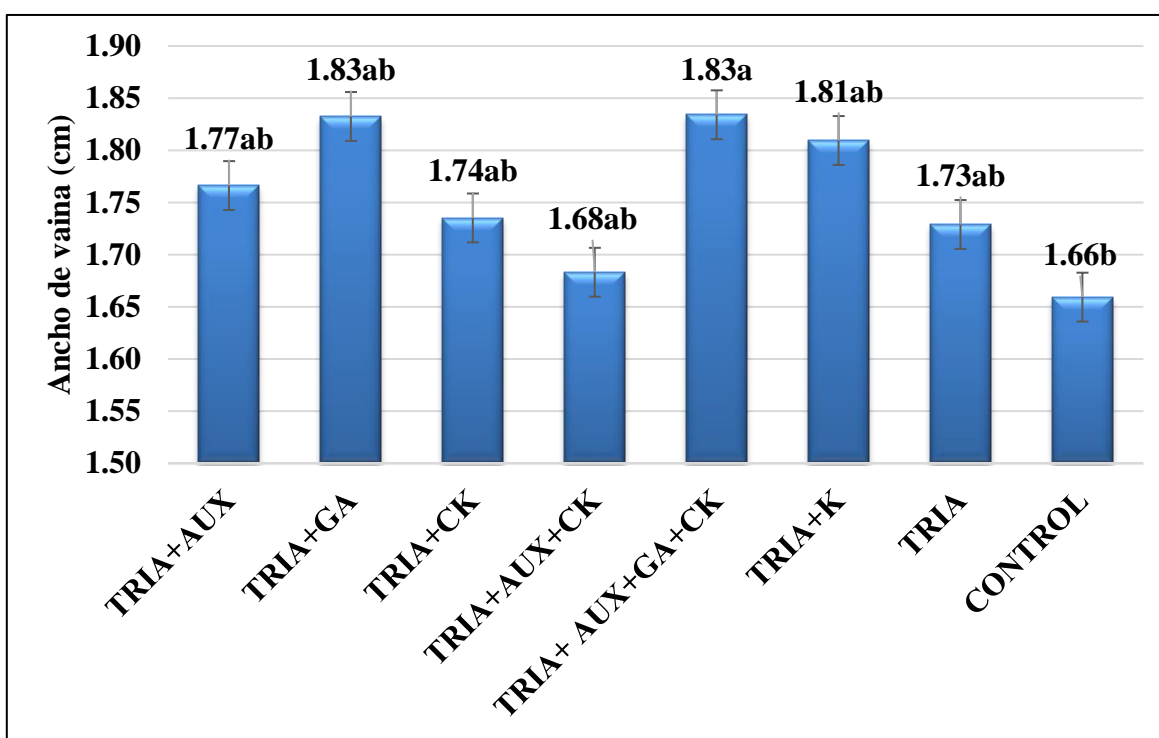


Figura 10. Ancho de vaina (cm) de los tratamientos evaluados.

En las figuras 11 y 12 se observó que el triacontanol obtuvo un incremento del 4.2 % sobre el control, asimismo se observó una interacción positiva con las giberelinas, auxinas y citoquininas, pero una interacción negativa solo con la mezcla de auxinas y citoquininas.

El ancho de vaina es una característica determinada genéticamente, razón por la cual no se obtienen efectos contrastantes entre los tratamientos, pero las giberelinas tuvieron efectos

similares a la mezcla trihormonal, aun cuando las giberelinas inhiben la fructificación y el cuajado de vainas (Carlson *et al.*, 1987) y las citoquininas incrementan el ancho, largo y peso de las vainas (Mosjidis *et al.*, 1993), así como el potasio incrementa la fructificación y también tiene efecto sobre las vainas en leguminosas (Marschner, 2012).

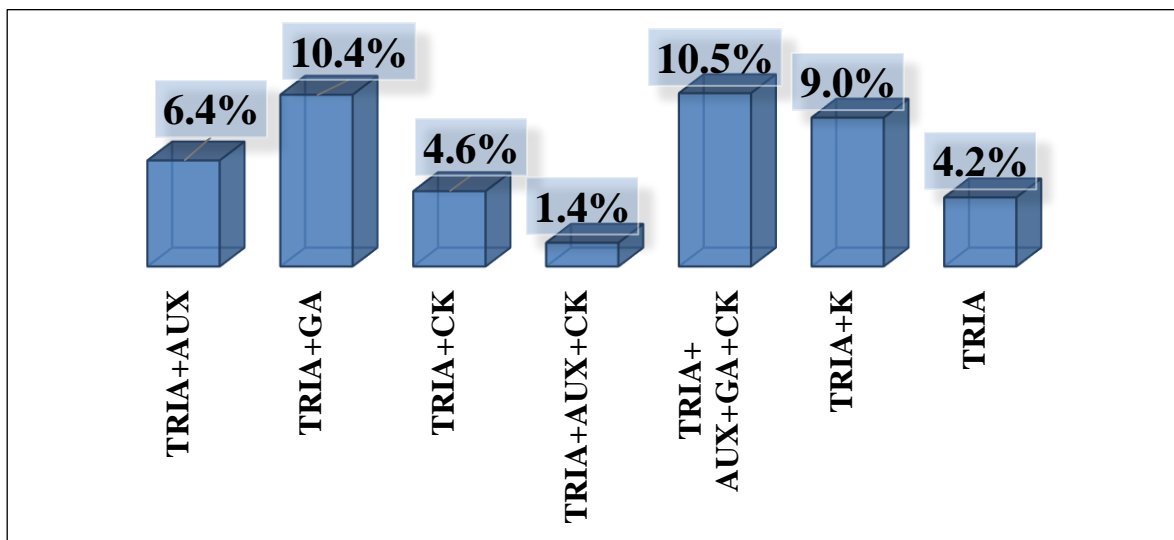


Figura 11. Efecto diferencial de los tratamientos respecto al control en la variable ancho de vaina (cm).

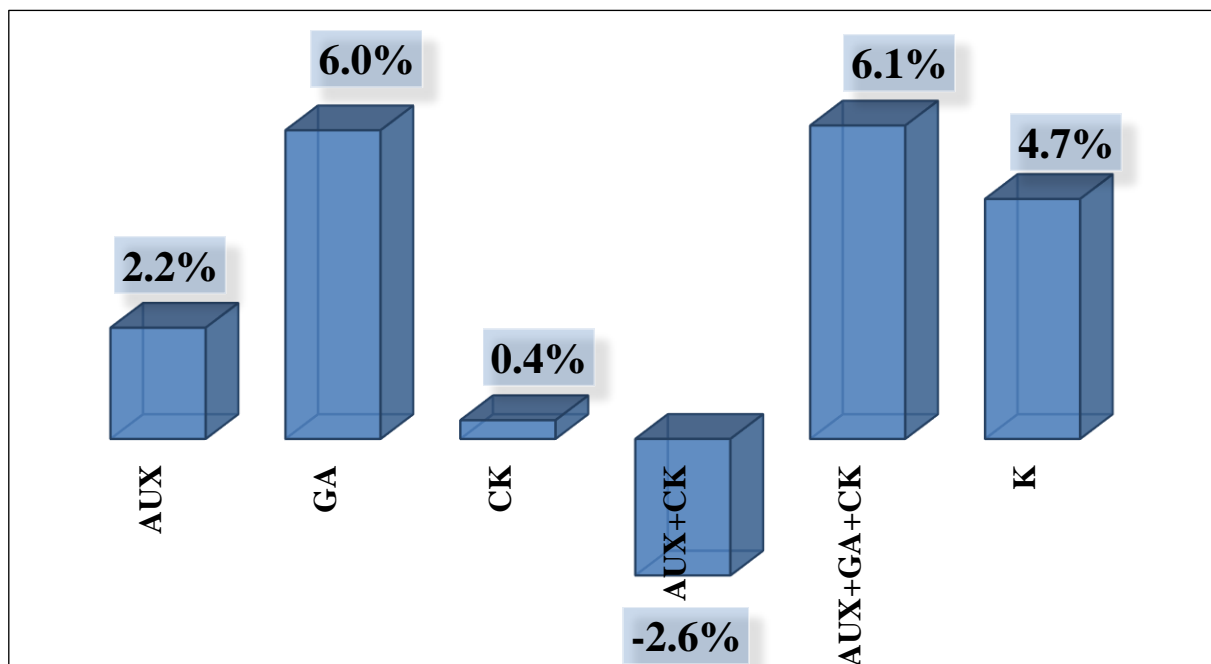


Figura 12. Efecto diferencial de los reguladores de crecimiento respecto al triacontanol en la variable ancho de vaina (cm).

El coeficiente de correlación de Pearson (Anexo 2) muestra que la variable ancho de vaina no muestra correlación con otras variables lo que demuestra que es una característica determinada genéticamente y sin influencia de los tratamientos evaluados.

#### 4.5. Rendimiento grano verde (kg ha<sup>-1</sup>)

El rendimiento en grano verde es el carácter agronómico que ayuda a determinar la rentabilidad del cultivo y hace del cultivar una buena alternativa para el agricultor, que actualmente busca altos rendimientos con el creciente énfasis en la calidad (Ramírez, 2008). En el cuadro 9 se aprecia que los promedios de los valores de rendimiento grano verde (kg ha<sup>-1</sup>) de arveja cultivar Rondo fluctúan entre 2150 y 12150 kg ha<sup>-1</sup>, correspondiendo a los tratamientos T2 (triacontanol más giberelinas) y T5 (triacontanol mas auxinas, giberelinas y citoquininas) respectivamente, lo que representa un incremento del 465.11 % sobre el de menor valor y un incremento del 52.18 % sobre el testigo. El promedio general del experimento fue de 8113 kg ha<sup>-1</sup>, con un coeficiente de variabilidad de 19.22 %, lo cual da confiabilidad a los resultados obtenidos en experimentos agrícolas según Calzada (1982).

Cuadro 9. Efecto de diferentes reguladores de crecimiento en las variables de rendimiento de arveja cv. Rondo.

TRATAMIENTO	RENDIMIENTO (kg ha <sup>-1</sup> )	NÚMERO DE VAINAS POR PLANTA	NÚMERO DE GRANOS POR VAINA	PESO FRESCO TOTAL DE PLANTA (g)
TRIA+AUX	7433 c*	9.50 ab	6.09 c	130.2 b
TRIA+GA	2150 d	3.67 b	4.64 d	93.5 b
TRIA+CK	8467 bc	12.17 a	7.89 ab	143.3 ab
TRIA+AUX+CK	10534 ab	15.00 a	7.66 ab	154.5 ab
TRIA+ AUX+GA+CK	12150 a	14.67 a	8.74 a	198.0 a
TRIA+K	7300 c	9.00 ab	7.71 ab	120.8 b
TRIA	8884 bc	12.83 a	7.20 bc	135.8 ab
CONTROL	7984 bc	13.33 a	5.88 cd	122.2 b
<b>PROMEDIO</b>	<b>8113</b>	<b>11.27</b>	<b>6.98</b>	<b>137.3</b>

\*Promedios con letras distintas difieren significativamente para p<0.05 según prueba de Duncan.

El análisis de varianza según se observa en el cuadro 10, indica que hay diferencias estadísticas altamente significativas en las fuentes de variabilidad de los tratamientos, pero no entre los bloques.

Cuadro 10. Análisis de varianza de las variables de rendimiento en el experimento.

FUENTE DE VARIACIÓN	GRADOS DE LIBERTAD	RENDIMIENTO (kg ha <sup>-1</sup> )	NÚMERO DE VAINAS POR PLANTA	NÚMERO DE GRANOS POR VAINA	PESO FRESCO TOTAL DE PLANTA (g)
TRATAMIENTO	7	25530416.7**	42.45*	5.34**	2780.73
BLOQUE	2	2388750.00	12.01	0.05	253.51
ERROR	14	2431488.10	11.49	0.58	1097.92
TOTAL	23				
C.V. (%)		19.22	30.07	10.89	24.13
PROMEDIO		8112.50	11.27	6.98	137.29

C.V. (%) Coeficiente de variación

La prueba de Duncan ( $p \leq 0.05$ ). NS, no significativo; \*significativo ( $P \leq 0.05$ ); \*\* muy significativo ( $P \leq 0.01$ ).

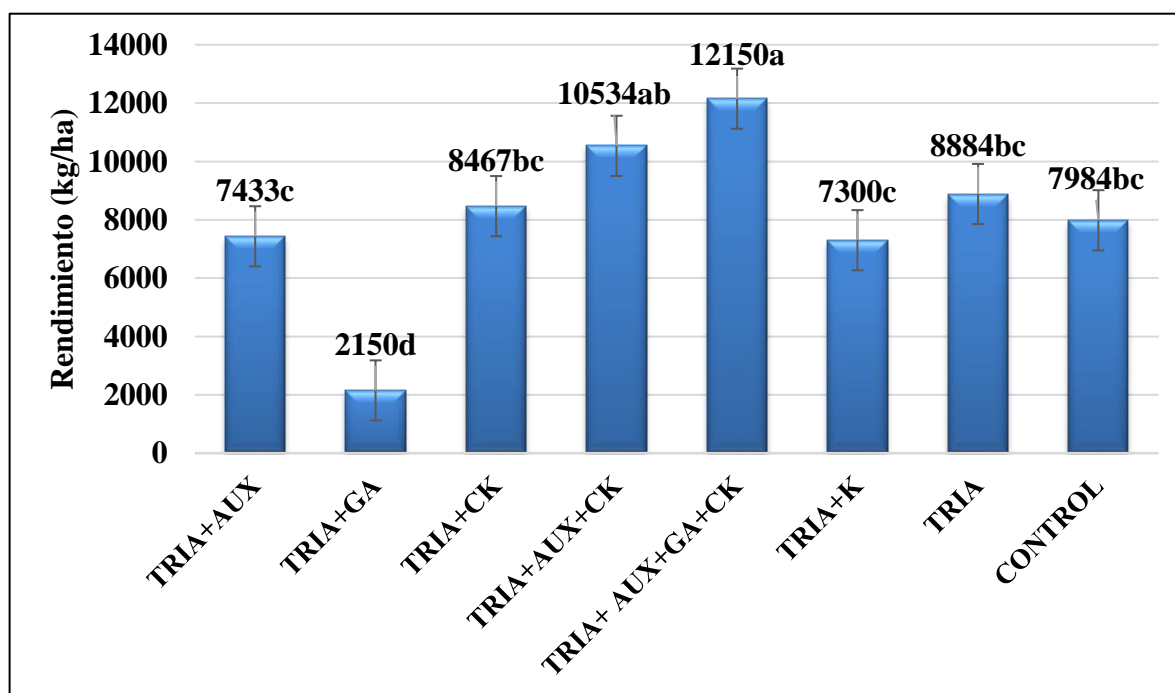


Figura 13. Rendimiento grano verde (kg ha<sup>-1</sup>) de los tratamientos evaluados.

La prueba de comparación de medias Duncan a un nivel de significación de  $\alpha=0.05$ , encontró que el tratamiento de triacantanol con auxinas, giberelinas y citoquininas obtuvo el mayor rendimiento con  $12150 \text{ kg ha}^{-1}$  y difiere estadísticamente del resto de tratamientos, excepto el tratamiento de triacantanol con auxinas más citoquininas que muestra un rendimiento similar (Figura 13).

El promedio de rendimiento grano verde obtenido en este experimento fue superior a lo obtenido por Saldaña (2012) de  $3271 \text{ kg ha}^{-1}$  y De Villena (2001) de  $2503 \text{ kg ha}^{-1}$  y a lo obtenido por Quispe (2007) en rendimiento grano seco con  $2644 \text{ kg ha}^{-1}$ . Esto se debe al efecto de los reguladores de crecimiento empleados, aunque como el testigo obtuvo un promedio más alto que los experimentos antes mencionados se concluye que las condiciones medioambientales, así como el uso de riego por goteo influyó en un mayor rendimiento.

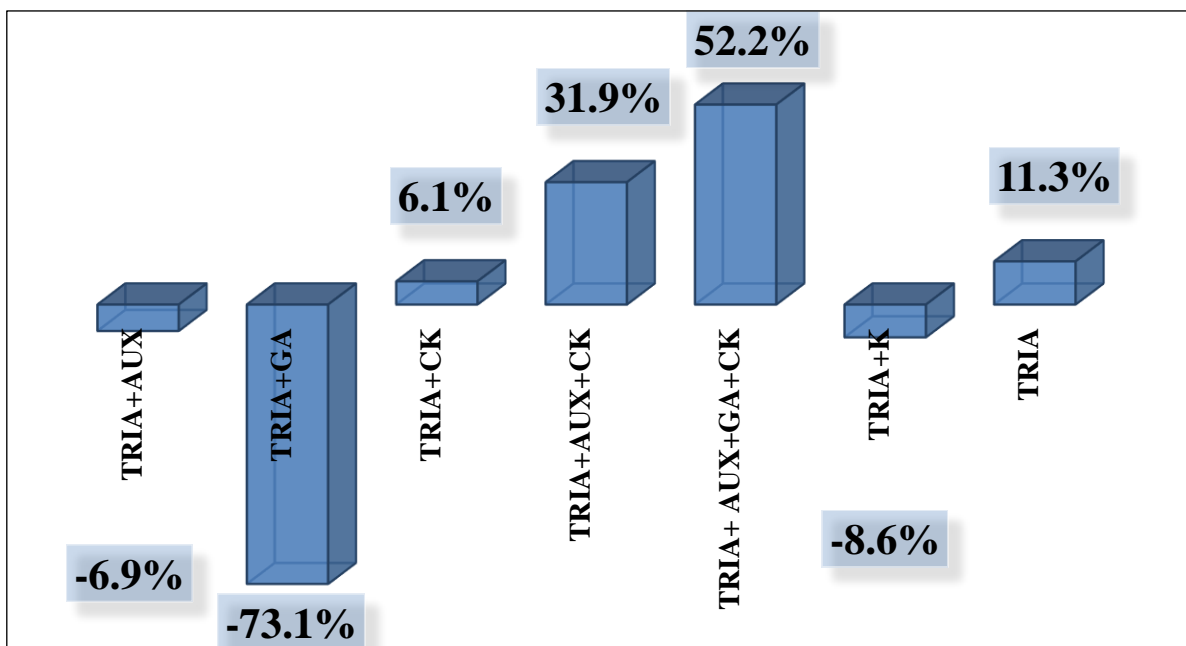


Figura 14. Efecto diferencial de los tratamientos respecto al control en la variable rendimiento ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

Además, estos valores altos en rendimiento se deben a que los tratamientos tienen altos valores en número de ramas por planta, número de vainas por planta y número de granos por planta, componentes importantes del rendimiento y que determinan la productividad de la

planta. Por ejemplo, el tratamiento 5 que obtuvo 12150 kg ha<sup>-1</sup>, tuvo 3.5 ramas por planta, 14.67 vainas por planta y 8.74 granos por vaina.

Asimismo, los tratamientos con valores más bajos son los tratamientos de triacantanol mas auxinas (7433 kg ha<sup>-1</sup>) y triacantanol mas potasio foliar (7300 kg ha<sup>-1</sup>) y triacantanol más giberelinas (2150 kg ha<sup>-1</sup>), lo que muestra el efecto negativo de las giberelinas en el rendimiento de los cultivos en general y positivo sobre la altura de las plantas (Hedden, 2003).

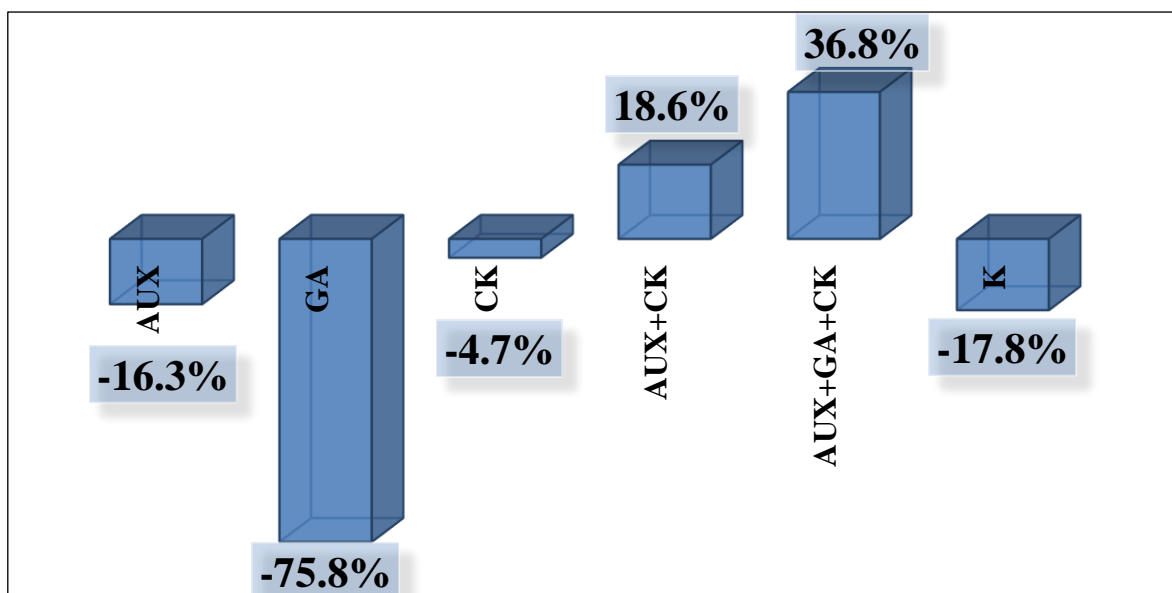


Figura 15. Efecto diferencial de los reguladores de crecimiento respecto al triacantanol en la variable rendimiento (kg ha<sup>-1</sup>).

En las figura 14 y 15 se observó que el triacantanol obtuvo un incremento del 11.3 % sobre el control, asimismo se observó una interacción positiva con las citoquininas y la mezcla trihormonal; y una interacción negativa con las auxinas, giberelinas y citoquininas, así como con el potasio foliar.

Estos resultados obtenidos concuerdan con lo planteado por Taiz *et al.* (2015) quien menciona que las giberelinas disminuyen la formación de vainas y favorecen el crecimiento vegetativo, motivo por el cual el rendimiento y sus componentes son disminuidos con las

aplicaciones de giberelinas en diversos cultivos (Davies, 2004). El potasio es un nutriente muy importante ya que favorece el crecimiento reproductivo y el rendimiento en diversos cultivos como el tomate (Khan *et al.* (2009) quien obtuvo un mayor rendimiento con la aplicación de triacontanol y una fertilización potásica de 90 kg ha<sup>-1</sup> de potasio. El uso de los tres reguladores de crecimiento muestra un sinergismo y un efecto mayor que con lo obtenido por el efecto separado de cada hormona (Cato *et al.*, 2013).

El coeficiente de correlación de Pearson (Anexo 2) muestra que la variable rendimiento grano verde muestra una correlación negativa con la altura de planta (-0.613) y una correlación positiva estadísticamente significativa ( $p < 0.01$ ) con la variable número de ramas por planta (0.731) y los componentes de rendimiento, número de vainas por planta (0.883), peso total (0.845), longitud de vainas (0.654) y número de granos por vaina (0.723).

#### **4.6. Número de vainas por planta**

Los promedios de la variable número de vainas por planta fluctuaron entre 3.7 y 15.0 vainas por planta correspondiendo a los tratamientos T2 (triacontanol más giberelinas) y T4 (triacontanol mas auxinas y citoquininas), con un incremento del 308.7 % sobre el de menor valor y 12.52 % sobre el testigo (Cuadro 9). El promedio general del experimento fue de 11.3 vainas por planta, con un coeficiente de variabilidad de 30 %, lo cual da confiabilidad a los resultados obtenidos en experimentos agrícolas según Calzada (1982).

El análisis de varianza según se observa en el cuadro 10, indica que hay diferencias estadísticas significativas ( $p < 0.05$ ) en las fuentes de variabilidad de los tratamientos, pero no entre los bloques.

La prueba de comparación de medias Duncan a un nivel de significación de  $\alpha = 0.05$ , encontró que el tratamiento de triacontanol con auxinas y citoquininas obtuvo el mayor número de vainas por planta (15) pero no difiere estadísticamente del resto de tratamientos, excepto el tratamiento de triacontanol con giberelinas quien obtuvo el más bajo valor (Figura 16).



El promedio de número de vainas por planta obtenido en este experimento es superior a lo obtenido por Saldaña (2012) de 9.63 vainas por planta, pero menor a lo reportado por De Villena (2001) con 13.1 vainas por planta y Quispe (2007) de 17.27 vainas por planta, esto se debe al estrés en el cultivo debido a la salinidad.

En las figuras 17 y 18 se observó que con el triacantanol, el número de vainas por planta disminuyó en un 3.8% sobre el control, asimismo se observó una interacción positiva con la mezcla de auxinas y citoquininas y la mezcla de los tres reguladores de crecimiento; y hubo interacción negativa con las auxinas y citoquininas, y un alto decremento con las giberelinas ya que favorecen el crecimiento vegetativo y el potasio foliar también obtuvo valores debajo del control.

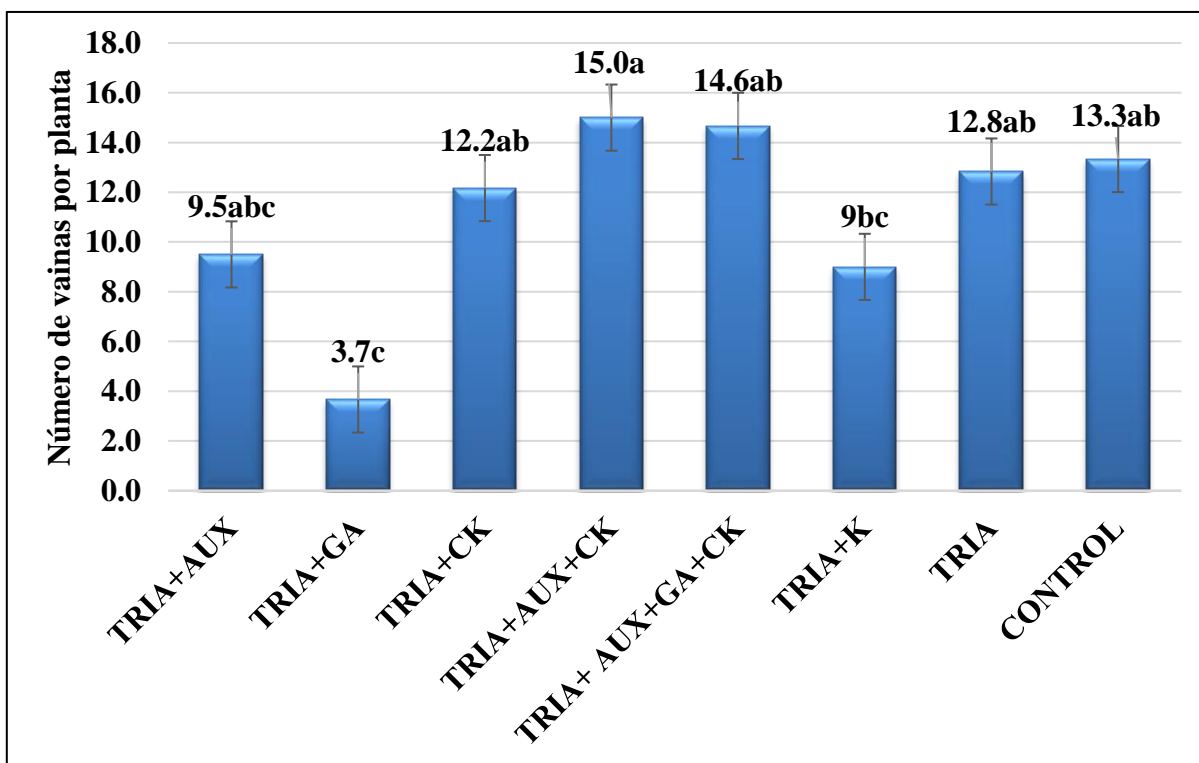


Figura 16. Número de vainas por planta en los tratamientos evaluados.

El número de vainas por planta es uno de los componentes de rendimiento más importantes en las leguminosas y las giberelinas disminuyen las variables relacionadas debido a que promueve el crecimiento en desmedro de la fructificación y formación de flores de las plantas

(Davies, 2004). Las citoquininas promueven la formación de vainas y muestra un sinergismo con las auxinas (Cato *et al.*, 2013), estas potencian el efecto positivo de las citoquininas en plantas como *Artemisia* cultivadas in vitro (Rasool *et al.*, 2013).

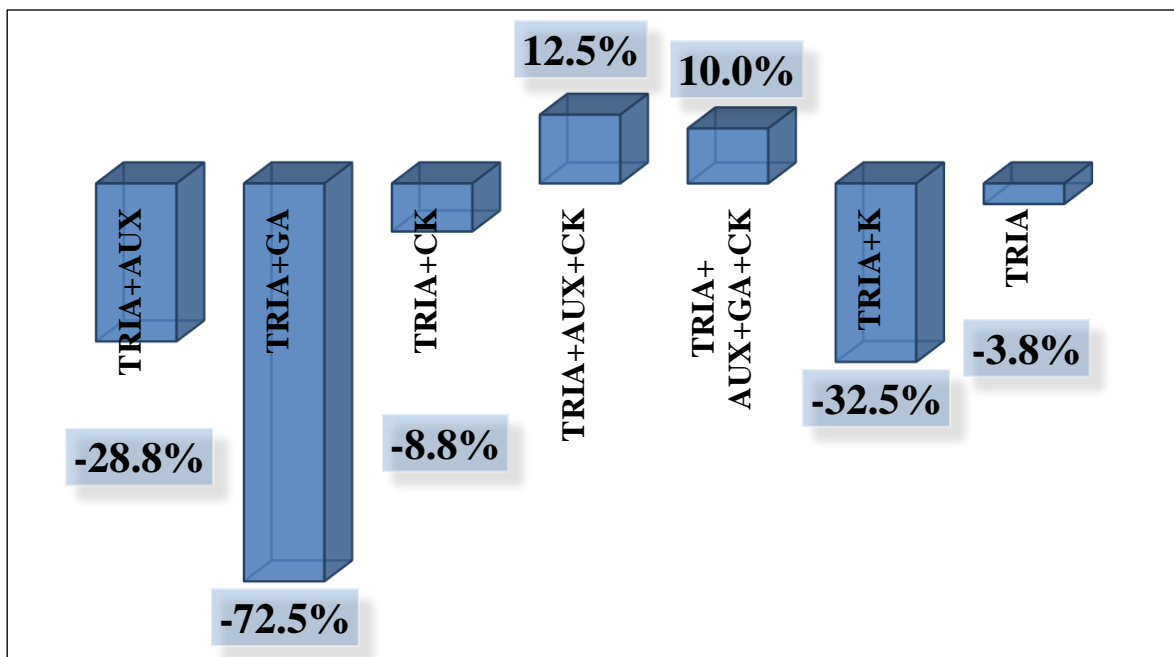


Figura 17. Efecto diferencial de los tratamientos respecto al control en la variable número de vainas por planta.

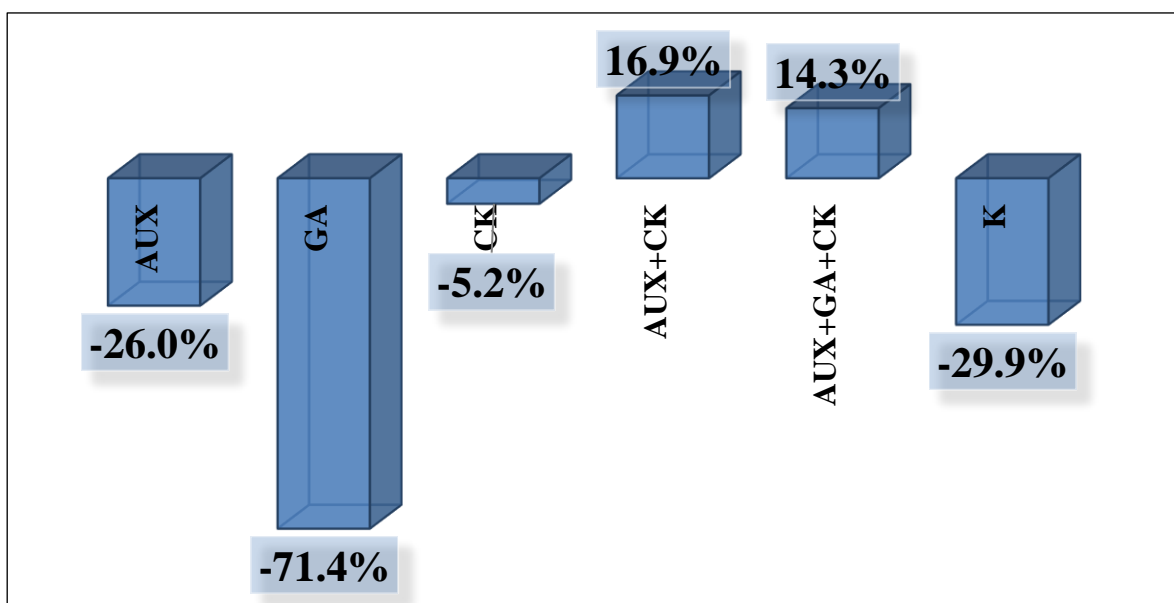


Figura 18. Efecto diferencial de los reguladores de crecimiento respecto al triacontanol en la variable número de vainas por planta.

El coeficiente de correlación de Pearson (Anexo 2) muestra que la variable número de vainas por planta muestra una correlación positiva estadísticamente significativa ( $p < 0.01$ ) con el número de ramas por planta (0.655), número de granos por vaina (0.485), peso total (0.670) y rendimiento grano verde (0.883), lo que concuerda con López (1986) y Voysset (2000), quienes indican que a mayor número de vainas por planta el rendimiento se incrementa. El número de vainas por planta es una variable muy importante y tiene asociación directa con el rendimiento (Cantaro, 2015).

#### **4.7. Número de granos por vaina**

En el cuadro 9 y figura 19 se aprecia que los promedios de los valores de número de granos por vaina en arveja cultivar Rondo fluctúan entre 4.64 y 8.74 granos por vaina correspondiendo a los tratamientos T2 (triacetanol más giberelinas) y T5 (triacetanol más auxinas, giberelinas y citoquininas) respectivamente, lo que representa un incremento del 88.3 % respecto al tratamiento más bajo y un incremento del 48.6% respecto al testigo. El promedio general del experimento fue de 6.98 granos por vaina, con un coeficiente de variabilidad de 10.89 %, lo cual da confiabilidad a los resultados obtenidos en experimentos agrícolas según Calzada (1982). El análisis de varianza según se observa en el cuadro 10, indica que hay diferencias estadísticas significativas ( $p < 0.01$ ) en las fuentes de variabilidad de los tratamientos, pero no entre los bloques. La prueba de comparación de medias Duncan a un nivel de significación de  $\alpha = 0.05$ , encontró que el tratamiento de triacetanol con auxinas, giberelinas y citoquininas obtuvo el mayor rendimiento con 8.74 granos por vaina y difiere estadísticamente del resto de tratamientos, excepto el tratamiento de triacetanol con auxinas más citoquininas y el tratamiento de triacetanol con fertilización foliar de potasio (Figura 19). El promedio de número de granos por vaina obtenido en este experimento es superior a lo obtenido por Saldaña (2012) con 6.16 vainas por planta, Quispe (2007) con 6 vainas por planta y De Villena (2001) con 5.3 vainas por planta, esto se debe al efecto de los reguladores de crecimiento empleados, ya que los valores más altos después del tratamiento T5, son los que se obtienen al aplicar triacetanol con auxinas (6.09), citoquininas (7.89) o su mezcla (7.66).

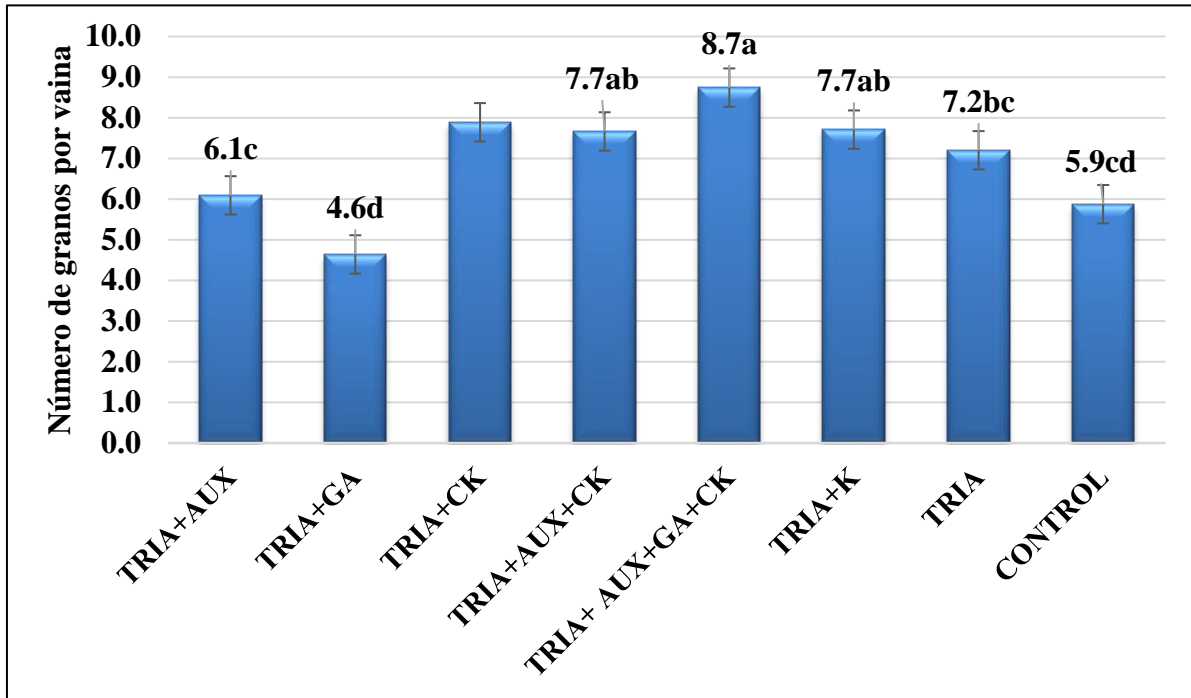


Figura 19. Número de granos por vaina en los tratamientos evaluados.

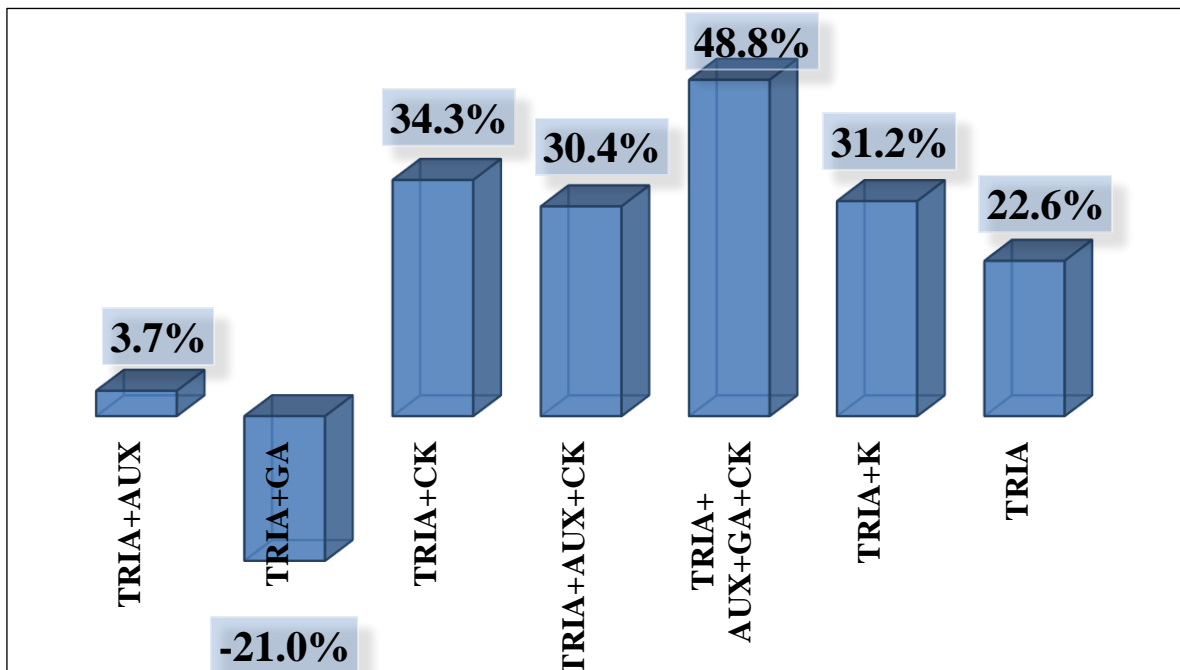


Figura 20. Efecto diferencial de los tratamientos respecto al control en la variable número de granos por vaina.

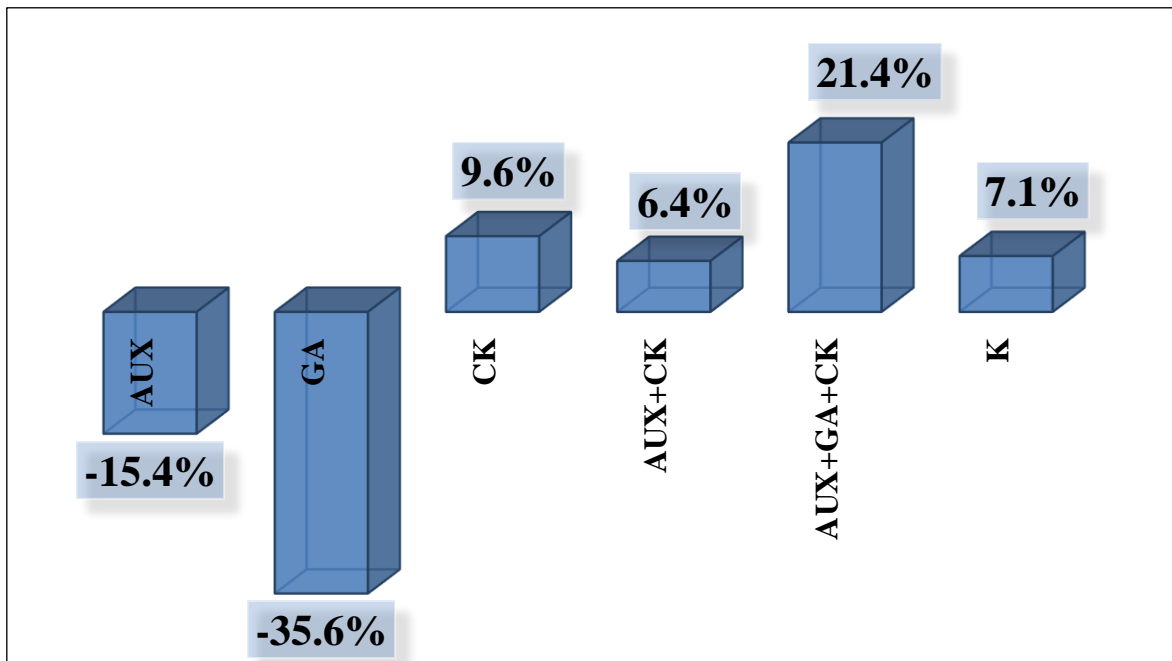


Figura 21. Efecto diferencial de los reguladores de crecimiento respecto al triacontanol en la variable número de granos por vaina.

En las figuras 20 y 21 se observó que el triacontanol obtuvo un incremento del 22.6 % sobre el control, asimismo se observó una interacción positiva con las citoquininas y las mezclas bi o trihormonales, y hubo una interacción negativa con las auxinas y giberelinas. El potasio foliar también tiene un efecto positivo superando al efecto solo del triacontanol. El número de granos por vaina es otro de los componentes de rendimiento más importantes en las leguminosas junto con el número de vainas por planta y las giberelinas disminuyen las variables relacionadas debido a que promueve el crecimiento en desmedro de la fructificación y formación de flores de las plantas (Davies, 2004). Las citoquininas promueven la formación de vainas y muestra un sinergismo con las auxinas (Cato *et al.*, 2013), estas potencian el efecto positivo de las citoquininas en plantas como *Artemisia* cultivadas in vitro (Rasool *et al.*, 2013) y un efecto mayor con la mezcla de los tres reguladores de crecimiento (Cato *et al.*, 2013). El coeficiente de correlación de Pearson (Anexo 2) muestra que la variable número de granos por vaina muestra una correlación positiva estadísticamente significativa ( $p < 0.01$ ) con el número de vainas por planta (0.485), peso total (0.587), longitud de vaina (0.823) y rendimiento grano verde (0.723).

#### 4.8. Peso fresco total de planta (g)

Los promedios de la variable peso fresco total de planta fluctúan entre 93.5 y 198 g correspondiendo a los tratamientos T2 (triacantanol más giberelinas) y T5 (triacantanol más auxinas, giberelinas y citoquininas), con un incremento del 111 % sobre el de menor valor y de 62% con respecto al testigo (Cuadro 9). El promedio general del experimento fue de 137.3 gramos por planta, con un coeficiente de variabilidad de 24.13%, lo cual da confiabilidad a los resultados obtenidos en experimentos agrícolas según Calzada (1982). El análisis de varianza según se observa en el cuadro 10, indica que no hay diferencias estadísticas en las fuentes de variabilidad de los tratamientos y tampoco entre los bloques.

La prueba de comparación de medias Duncan a un nivel de significación de  $\alpha=0.05$ , encontró que el tratamiento de triacantanol con auxinas, giberelinas y citoquininas obtuvo el mayor peso fresco total por planta con 198 g y difiere estadísticamente del resto de tratamientos, excepto el tratamiento de triacantanol con citoquininas, triacantanol con auxinas más citoquininas y triacantanol solo (Figura 22).

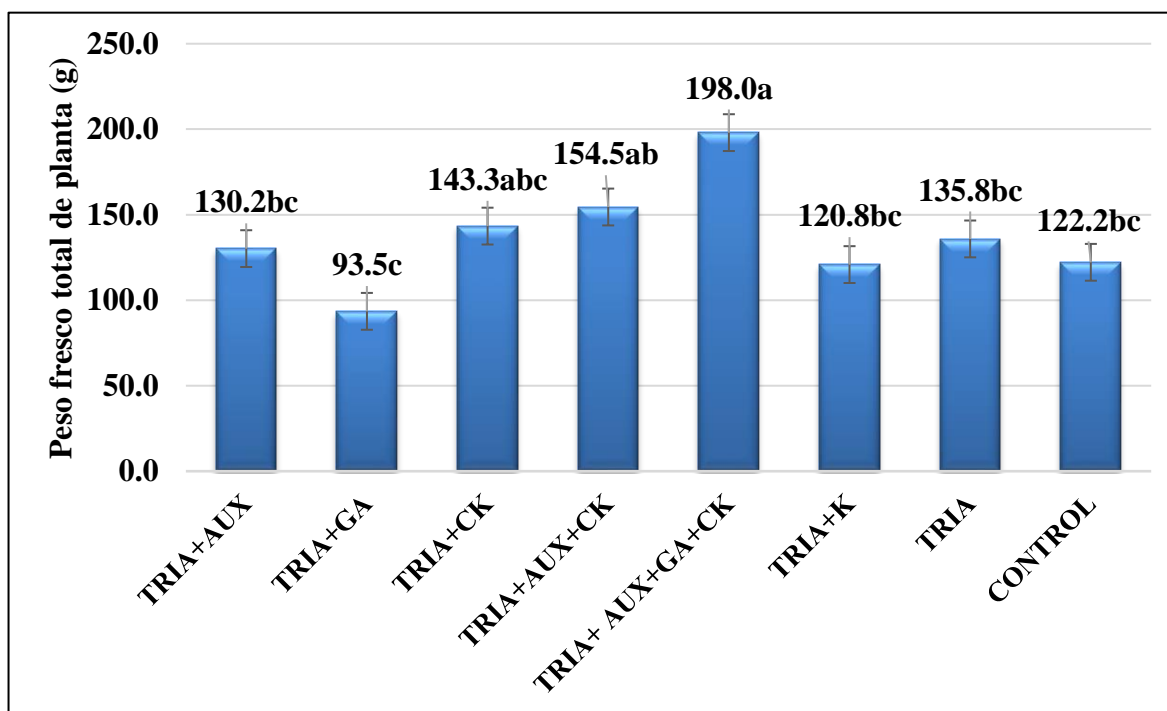


Figura 22. Peso fresco total de planta en los tratamientos evaluados.

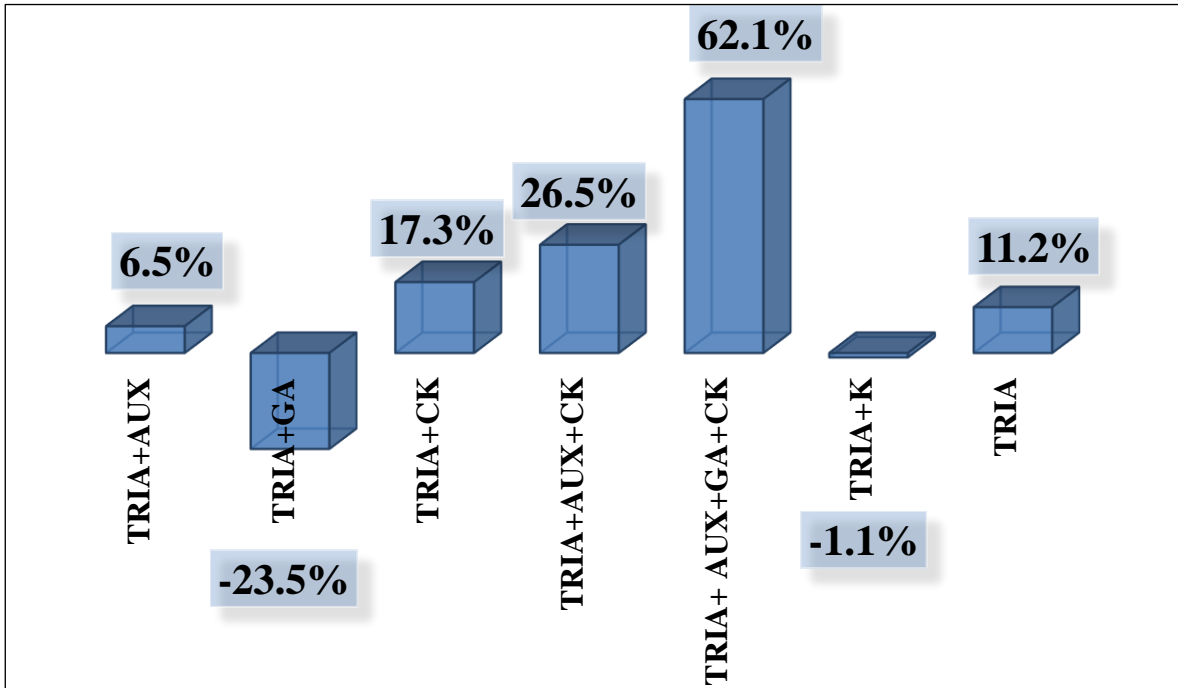


Figura 23. Efecto diferencial de los tratamientos respecto al control en la variable peso fresco total de planta (g).

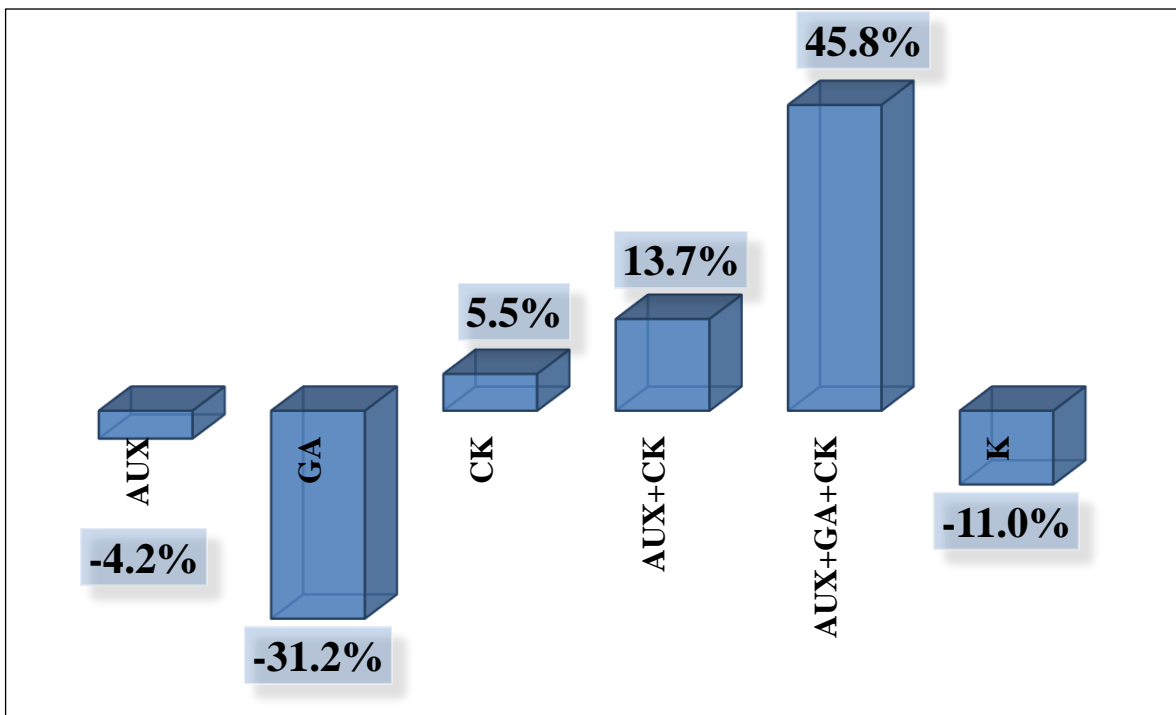


Figura 24. Efecto diferencial de los reguladores de crecimiento respecto al triacontanol en la variable peso fresco total de planta (g).

En las figuras 23 y 24 se observó que el triacantanol obtuvo un incremento del 11.2 % sobre el control, asimismo se observó una interacción positiva con todos los tratamientos que contienen citoquininas y hubo una interacción negativa con las auxinas, giberelinas y potasio foliar.

Si bien es cierto que las giberelinas favorecen el crecimiento vegetativo de la planta en exceso (Taíz, 2015), el crecimiento es muy rápido y forma tallos altos pero débiles, con menor contenido de materia seca y menor peso fresco de la planta. La mezcla trihormonal aumenta considerablemente el peso fresco total de la planta, debido a una mejor regulación de los procesos fisiológicos y un mejor balance hormonal interno en la planta.

El coeficiente de correlación de Pearson (Anexo 2) muestra que la variable peso fresco total por planta muestra una correlación positiva estadísticamente significativa ( $p < 0.01$ ) con el número de granos por vaina (0.587), número de vainas por planta (0.670), rendimiento grano verde (0.845) y número de ramas por planta (0.891), esto se debe a que a mayor número de ramas por planta, mayor número de flores y vainas y mayor biomasa del cultivar.

#### **4.9. Análisis económico**

El análisis económico de los tratamientos se calculó tomando un ciclo de producción del cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.) y se muestra en el cuadro 11.

En el Anexo 4 se presenta los costos de producción para una hectárea de arveja, los cuales fueron calculados el 25 de Enero de 2017. Estos costos ascienden a S/. 4827.9, es el menor costo de producción conseguido con el testigo.

En el Cuadro 11, se observa que el mayor ingreso neto se obtuvo con el tratamiento 5 (TRIA+AUX+GA+CK) con S/. 15376.6, mientras que con el tratamiento 2 (TRIA+GA) presentó una pérdida de S/. 1435.9.



Cuadro 11. Análisis económico de los tratamientos

T	COSTO P	COSTO T	COSTO TOTAL	INGRESOS (S/.)	UTILIDAD (S/.)	IR (%)
TRIA+AUX	4827.90	190.00	5017.90	12487.4	7469.5	148.9
TRIA+GA	4827.90	220.00	5047.90	3612.0	-1435.9	-28.4
TRIA+CK	4827.90	235.00	5062.90	14224.6	9161.7	181.0
TRIA+AUX+CK	4827.90	270.00	5097.90	17697.1	12599.2	247.1
TRIA+ AUX+GA+CK	4827.90	207.50	5035.40	20412.0	15376.6	305.4
TRIA+K	4827.90	560.00	5387.90	12264.0	6876.1	127.6
TRIA	4827.90	140.00	4967.90	14925.1	9957.2	200.4
CONTROL	4827.90	0.00	4827.90	13413.1	8585.2	177.8

En el Cuadro 11, se muestra que el mejor tratamiento es el triacontanol mas auxinas, giberelinas y citoquininas con un índice de rentabilidad de 305% seguido de los tratamientos que contienen citoquininas, aunque el control obtuvo 177.8% de rentabilidad que es un porcentaje muy bueno comparado con los con los rendimientos comerciales obtenidos por los agricultores.

## V. CONCLUSIONES

En base a los resultados y discusiones se concluye:

1. Los mayores rendimientos en grano verde fueron obtenidos con la aplicación de triacontanol más auxinas, giberelinas y citoquininas ( $12150 \text{ kg ha}^{-1}$ ), seguido de la aplicación de triacontanol más auxinas y citoquininas ( $10534 \text{ kg ha}^{-1}$ ).
2. Las giberelinas incrementaron las variables morfológicas como altura de planta y ancho de vainas y disminuyeron las variables asociadas al rendimiento, como número de granos por vaina, número de vainas por planta y el rendimiento grano verde, así como el peso fresco total de planta y la longitud de vaina.
3. Las auxinas incrementaron los valores de las variables morfológicas como longitud de vaina y ancho de vaina; y de las variables de rendimiento como el número de granos por vaina, número de vainas por planta y peso fresco total de planta, más no propiamente en el rendimiento, ya que en este experimento en su aplicación conjunta con el triacontanol no superó al testigo.
4. Las citoquininas incrementaron los valores de las variables morfológicas como altura de planta, longitud de vaina y ancho de vaina; así como el número de granos por vaina y ligeramente el rendimiento por encima del testigo.
5. Las auxinas y las citoquininas actuaron sinérgicamente en casi todas las variables evaluadas, excepto en número de ramas donde se obtuvieron valores similares. En todas estas variables se observa que la acción sinérgica de ambos supera al efecto de cada regulador de crecimiento por separado.

6. La aplicación conjunta de fertilizante potásico con el triacontanol tuvo un efecto desfavorable en el rendimiento y en el peso total de la planta, y en las demás variables se mostró un ligero efecto sinérgico y un incremento respecto a la aplicación de triacontanol solo y al control.
7. Los tratamientos con triacontanol superan casi siempre al testigo, excepto en número de ramas y número de vainas por planta.
8. Los tratamientos con citoquininas y el triacontanol solo presentan índices de rentabilidad superiores al testigo.

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Para una mejor dilucidación de los resultados obtenidos con las hormonas se debería evaluar el balance hormonal antes y después del experimento.
2. Sería adecuado probar el triacontanol en las dos fases bien marcadas de las leguminosas, el crecimiento vegetativo y la etapa reproductiva después de la floración.
3. Evaluar el efecto del triacontanol en la nodulación y la fijación de nitrógeno en la arveja.
4. Sería conveniente seguir realizando otros experimentos con bioestimulantes y/o reguladores de crecimiento debido a que permiten mejorar el performance de los cultivos y superar ciertos estreses ambientales que se presentan, además de aumentar los rendimientos y los beneficios generados para los agricultores; en otras condiciones de suelo y en diferentes épocas del año, así como diferentes dosis, frecuencias de aplicación, para poder visualizar cuales son los factores esenciales y críticos hacen que tengan un deficiente o excelente efecto sobre las características evaluadas en arveja y otras leguminosas de grano.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBO, S., LEV-YADUN, S., AND GOPHER, A. 2010. Agricultural origins: Centers and non-centers; a near eastern reappraisal. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 29 (5), 317–328.

ACHARD, P., & GENSHIK, P. 2009. Releasing the brakes of plant growth: how Gas shutdown DELLA proteins. *Journal of Experimental Botany*, 60: 1085-1092.

AFTAB, T., KHAN, M.M.A., IDREES, M., NAEEM, M., SINGH, M., RAM, M. 2010. Stimulation of crop productivity, photosynthesis and artemisinin production in *Artemisia annua* L. by triacontanol and gibberellic acid application. *J Plant Interact* 5:273-281.

ALEJOS, J.D. 2001. Efecto de fertilizantes foliares en la producción y calidad en el cultivo de arveja verde (*Pisum sativum* L.) cv. Tarma en La Molina. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. UNALM. Lima, Perú.

ANÓNIMO. 2010. Introduction to Phytohormones. *The Plant Cell*, 22(3), p.tpc.110.tt0310–tpc.110.tt0310.

APPLEFORD, N.E., LENTON, J.R. 1991. Gibberellins and leaf expansion in near-isogenic wheat lines containing Rht1 and Rht3 dwarfing alleles. *Planta* 183 (2), 229-236.

ASANE, G.B., LAWANDE, K.E., NIRMAL, S.V., SHINDE, K.G., DESALE, S.B. 1998. Effect of cytozyme crop, triacontanol and cycocel on growth, yield and quality of pea (*Pisum sativum* L.). *Advan Plant Sci* 11:31-34.

BAKER, D.A. 2000. Vascular transport of auxins and cytokinins in *Ricinus*. *Plant Growth Regul*; 32, 157-160.

BALDEV, B. 1988. Origin, distribution, taxonomy, and morphology. In B. Baldev, S. Ramanujam, & H. K. Jain (Eds.), *Pulse crops* (p. 3–51). New Delhi, India: Oxford & IBH Publishing Co.

BAND, L.R., UBEDA-TOMAS, S., DYSON, R.J., MIDDLETON, A.M., HODGMAN, T.C., OWEN, M.R., JENSEN, O.E., BENNETT, M.J., KING, J.R., 2012. Growth-induced hormone dilution can explain the dynamics of plant root cell elongation. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 109 (19), 7577-7582.

BOROWSKI, E., BLAMOWSKI, Z.K. 2009. The effects of triacontanol ‘TRIA’ and Asahi SL on the development and metabolic activity of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) plants treated with chilling. *Acta Hort* 21, 1:39-48.

BOROWSKI, E., BLAMOWSKI, Z.K., AND MICHALEK, W. 2000. Effect of tomatex/triacontanol on chlorophyll fluorescence and tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) yields. *Acta Physiol. Plant* 22: 271–274.

CALZADA, J. 1982. *Métodos estadísticos para la investigación*. Editorial Jurídica. Lima. 644 p.

CAMARENA, F., Y HUARINGA, A. 1990. “El cultivo de la arveja”. Programa de Investigación y Proyección Social de Leguminosas de Grano y Oleaginosas. UNALM. Lima-Perú. 1-29 p.

CAMARENA, F., Y HUARINGA, A. 2003. “Cultivo de arveja y haba”. Fundamento Técnico para el Monitoreo, reacondicionamiento y valorización de cultivos y crianzas. UNALM. Lima-Perú. 4 p.

CAMARENA, F., Y HUARINGA, A. 2008. Manual del cultivo de la arveja. Ediciones UNALM. 11-13 p.

CANTARO-SEGURA, H.B. 2015. Efectividad simbiótica de dos cepas de *Rhizobium* sp. en cuatro variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones de costa central. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. UNALM. Lima – Perú. 155 p.

CARLSON, D.R., DYER, D.J., COTTERMAN, C.D., DURLEY, R.C. 1987. The Physiological Basis for Cytokinin Induced Increases in Pod Set in IX93-100 Soybeans. *Plant physiology*, 84(2), p.233–9.

CATO, S.C., MACEDO, W.R., PERES, L.E.P., CASTRO, P.R.C. 2013. Sinergism among auxins, gibberellins and cytokinins in tomato cv. Micro-Tom. *Horticultura Brasileira* 31: 549-553.

CHAUDHARY, B.R., SHARMA, M.D., SHAKYA, S.M., GAUTAM, D.M. 2006. Effect of plant growth regulators on growth, yield and quality of chilli (*Capsicum annum* L.) at Rampur, Chitwan. *J Inst Agric Animal Sci* 27:65-68.

CHEN, M.Z., KUO, C.H., DAU, S., SAU, T.L. 1980. Physiological effects of 1-triacontanol on winter wheat. *Rpt Sci Technol J.* 12:1-3.

CHEN, X., YUAN, H., CHEN, R., ZHU, L., DU, B., WENG, Q., HE, G. 2002. Isolation and characterization of triacontanol regulated genes in rice (*Oryza sativa* L.): Possible role of triacontanol as a plant growth stimulator. *Plant Cell Physiol.* 43:869-876.

CHEN, X., YUAN, H., CHEN, R., ZHU, L., HE, G. 2003. Biochemical and photochemical changes in response to triacontanol in rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Growth Regul* 40: 249-256.

CUBERO, J., Y MORENO, M. 1983. Leguminosas de Grano. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 359 p.

DAVIERE, J.M., AND ACHARD, P. 2013. Gibberellin signaling in plants. *Development* 140, 1147-1151.

DAVIES, P. J. 2004. Plant Hormones: Biosynthesis, Signal Transduction, Action! p. 801pp Springer, Dordrecht, The Netherlands.

DAVIS, P.H. 1970. *Pisum* L. In P. H. (1970). Davis (Ed.), Flora of turkey and east Aegean Islands (Vol. 3, pp. 370–373). Edinburg: Edinburg University Press.

DE VILLENA, S.F.A. 2001. Evaluación de cultivares de arveja (*Pisum sativum* L.) para grano verde en la costa central del Perú. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. UNALM. Lima, Perú. 96 p.

DEPUYDT, S., & HARDTKE, C.S. 2011. Hormone Signalling Crosstalk in Plant Growth Regulation. *Current Biology* 21, R365–R373.

DHARMASIRI, S., JAYAWEERA, T., AND DHARMASIRI, N. 2013. Plant Hormone Signalling: Current Perspectives on Perception and Mechanisms of Action. *Ceylon Journal of Science* (Bio. Sci.) 42(1): 1-17.

DIANTERAS, J. 1996. Efecto de cuatro bioestimulantes y un abono foliar en el rendimiento de maní (*Arachys hypogaea* L.) cv. Italiano Casma. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. UNALM. Lima, Perú.

DIAZ, A. 1996. Efecto de la fertilización foliar y frecuencia de cosecha en rendimiento y calidad de arveja de vaina comestible. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. UNALM. Lima, Perú.



DIAZ, F. 1983. Efecto de la fertilización foliar en el rendimiento y en el contenido de carbohidratos, nitrógeno, fósforo y potasio en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agronomía Tropical* N° 34 (1-3). Palmira, Colombia.

DOMINY, P.J., WILLIAMS, W.P. 1987. Is monogalactosyldiacylglycerol involved in the packaging of light harvesting chlorophyll proteins in the thylakoid membrane? In: Stumpf, P.K., Mudd, J.B., Nes, W.D. (Eds.). *The Metabolism, Structure and Function of Plant Lipids*. Plenum Press, New York, pp. 185±187.

DULANTO, P. 1997. Efecto del abonamiento foliar organico y mineral en el rendimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Japones y pallar (*Phaseolus lunatus* L.) cv. I-1548 en La Molina. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. UNALM. Lima, Perú.

ENDERS, T.A., & STRADER, L.C., 2015. Auxin activity: Past, present, and future. *American Journal of Botany*, 102(2), p.180–196.

ERIKSEN, A.B., HAUGSTAD, M.K., NILSEN, S. 1982. Yield of tomato and maize in response to foliar and root applications of triacontanol. *Plant Growth Regul* 1:11-14.

FAO (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN). 2013. Comercio exterior frutas tropicales: Análisis del informe de comercio de frutas tropicales a nivel mundial.

FAOSTAT.2017. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT database, disponible en:

<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>

FLEET, C.M., & SUN, T.P.A. 2005. DELLAcate balance: the role of gibberellin in plant morphogenesis. *Curr. Opin. Plant Biol.* 8, 77–85.

FOTH, D. 1992. Fundamento de la ciencia del suelo. Editorial Continental. México D.F. 38 p.

GEORGE, E.F., HALL, M.A., DE KLERK, G. 2008. Plant propagation by tissue culture. Volume 1. The Background, 3rd Edition. Berlin: Springer. 504 pp.

GIRIDHAR, P., RAJASEKARA, T., RAVISHANKA, G.A. 2005. Improvement of growth and root specific flavour compound 2-hydroxy-4-methoxy benzaldehyde of micropropagated plants of *Decalepis hamiltonii* Wight & Arn., under triacontanol treatment. *Scientia Hort* 106:228-236.

GÓMEZ-ROLDAN, V., FERMAS, S., BREWER, P.B., PUECH-PAGÈS, V., DUN, E.A., PILLOT, J.P., LETISSE, F., MATUSOVA, R., DANOUN, S., PORTAIS, J.C., BOUWMEESTER, H., BÉCARD, G., BEVERIDGE, C.A., RAMEAU, C., ROCHANGE, S.F. 2008. Strigolactone inhibition of shoot branching. *Nature* 455, 189–194.

GUEVARA, E.N. 2003. Efecto de la fertilización nitrogenada y la inoculación de la cepa 3063 de *Rhizobium leguminosarum* biovar *viciae*, bajo diferentes densidades de siembra en el rendimiento de vaina verde de arveja (*Pisum sativum* L.) en condiciones de la costa central. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. UNALM. Lima, Perú. 132 p.

HAGEN, G., GUILFOYLE, T.J. & GRAY, W.M. 2004. Auxin signal transduction. pp. 282-303 in Davies P.J. (ed.) *Plant Hormones*. Kluwer T. Academic Publishers, Dordrecht.

HANGARTER, R., RIES, S.K., CARLSON, P. 1978. Effect of triacontanol on plant cell cultures in vitro. *Plant Physiol* 61:855-857.

HEDDEN, P., AND PHILLIPS, A.L. 2000. Gibberellin metabolism: new insights revealed by the genes. *Trends in Plant Science*; 5: 523–530.

HEDDEN, P. 2003. Gibberellins. Pp 411-420. In: Encyclopedia of Applied Plant Sciences (Second Edition). Volume 1: Plant Physiology and Development. Elsevier. 2016.

HENRY, E.W., GORDON, C.J. 1980. The effect of triacontanol on peroxidase, IAA, and plant growth in *Pisum sativum* var. 'Alaska' and 'Little Marvel'. *J. Exp. Bot.* 31: 1297-1303.

HOAGLAND, R.E. 1980. Effects of triacontanol on seed germination and early growth. *Bot Gaz* 141:53-55.

HOPKINS, W.G. 1995. Introduction to Plant Physiology. John Wiley & Sons, New York, pp. 464.

HOPKINS, W.G., Y HUNER, N.P. 2008. Introduction to Plant Physiology. Fourth Edition. John Wiley & Sons, Inc. 523 pp.

HOUTZ, R.L., RIES, S.K., TOLBERT, N.E. 1985. Effect of triacontanol on *Chlamydomonas* II. Specific activity of ribulose-bisphosphate carboxylase/oxygenase, ribulose-bisphosphate concentration and characteristics of photorespiration. *Plant Physiol* 79:365-370.

HUARINGA, A. 2011. Manual de cultivo de arveja. Lima, Perú. 6-9 p.

IDREES, M., KHAN, M.M.A., AFTAB, T., NAEEM, M. 2010. Synergistic effects of gibberellic acid and triacontanol on growth, physiology, enzyme activities and essential oil content of *Coriandrum sativum* L. *The Asian Australasian J Plant Sci Biotechnol* 4:24-29.

INIA (INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA). 2003. El cultivo de arveja en los valles del sur chico. Folleto N° 24-93. Lima, Perú. 20 p.

IVANOV, A.G., ANGELOV, M.N. 1997. Photosynthesis response to triacontanol correlates with increased dynamics of mesophyll protoplast and chloroplast membranes. *Plant Growth Regul* 21:145-152.

JAMESON, P.E. 2003. Cytokinins. Pp 391-402. In: Encyclopedia of Applied Plant Sciences (Second Edition). Volume 1: Plant Physiology and Development. Elsevier. 2016.

KAPITSIMADI, C., VIORYL, S.A. 1995. Effect of a long chain aliphatic alcohol (triacontanol) on growth and yield of different horticultural crops. *Acta Hort* 379: 237-243.

KATO, K., OHARA, H., TAKAHASHI, E., MATSUI, H. & NAKAYAMA, M. 2000. Endogenous gibberellin-induced parthenocarpy in grape berries. *Acta Horticulturae* 514: 69-74.

KAY, D. 1979. "Legumbres alimenticias". Editorial Acribia. S.D. Zaragoza-España. 12 p.

KEFELI, V.I., DASHEK, W.V. 2008. Non-hormonal stimulators and inhibitors of plant growth and development. *Biol. Rev.* 59: 273–288.

KHAN, M.M.A., MUJIBUR-RAHMAN, M., NAEEM, M., MOHAMMAD, F., SIDDIQUI, MH., KHAN, MN. 2006. Triacontanol induced changes in the growth, yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Electronic J Environ Agric Chem* 5:1492-1499.

KHAN, M.M.A., BHARDWAJ, G., NAEEM, M., MOINUDDIN, MOHAMMAD, F., SINGH, M., NASIR, S., IDREES, M. 2009. Response of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) to application of potassium and triacontanol. *Acta Hort* (ISHS). 823:199-207.

KILIÇ, N.K., DUYGU, E., & DÖNMEZ, G. 2010. Triacontanol hormone stimulates population, growth and Brilliant Blue R dye removal by common duckweed from culture media. *Journal of Hazardous Materials*. 182: 525-530.

KIM, Z.H., LIM, E.M., LIVEN, Z., POPOVA, L.P. 1989. Effects of triacontanol on certain parameters of photosynthesis and nitrogen assimilation in rice and maize. *Biol Physiol* 3:91-93.

KRISHNAN, R.R., KUMARI, B.D.R. 2008. Effect of N-triacontanol on the growth of salt stressed soybean plants. *J Biosci* 19:53-62.

KUMARAVELU, G., DAVID, L.V., RAMANUJAM, M.P. 2000. Triacontanol-induced changes in the growth, photosynthetic pigments, cell metabolites, flowering and yield of green gram. *Biol Planta* 43:287-290.

KUPICHA, F.K. 1981. Viciae (Adans.) DC. (1825) nom conserv prop. In R. M. Polhill & P. H. Raven (Eds.), *Advances in legume systematics* (Vol. 1, pp. 377–381). Kew: The Royal Botanical Gardens.

KUPPUSAMY, K.T., WALCHER, C.L., NEMHAUSER, J.L. 2009. Cross-regulatory mechanisms in hormone signaling. *Plant Mol. Biol.* 69: 375–381.

LAVIN, M., HERENDEEN, P. S., & WOJCIECHOWSKI, M. 2005. Evolutionary rates analysis of Leguminosae implicates a rapid diversification of lineages during the Tertiary. *Systematic Biology*, 54(4), 575–594.

LESNIAK, A.P., HUAG, A., RIES, S.K. 1986. Stimulation of ATPase activity in barely (*Hordeum vulgare*) root plasma membrane after intact tissues and cell free extracts with triacontanol. *Physiol Plant* 68:20-26.

LESNIAK, A.P., HUAG, A., RIES, S.K. 1989. Stimulation of ATPase activity in barley (*Hordeum vulgare*) root plasma membrane after treatment with triacontanol and calmodulin. *Physiol Plant* 75:75-80.

LEWIS, G., SCHRIRER, B., MACKINDER, B., & LOCK, M. 2005. Legumes of the world. Kew: The Royal Botanical Gardens.

LIBBENGA, K.R., & MENNES, A.M. 1995 Hormone binding and signal transduction. pp. 272-297 in Davies P.J. (ed.) *Plant Hormones: Physiology, Biochemistry and Molecular Biology*. 2nd Edn., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.

LIU, C., WANG, S., COPELAND, L., & WANG, S. 2015. Physicochemical properties and in vitro digestibility of starches from field peas grown in China. *LWT-Food Science and Technology*, 64: 829-836.

LJUNG, K., HULL, A.K., KOWALCZYK, M., MARCHANT, A., CELENZA, J., COHEN, J.D., SANDBERG G. 2002. Biosynthesis, conjugation, catabolism and homeostasis of indole-3-acetic acid in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Mol. Biol.*; 49, 249-272.

LÓPEZ, M. 1986. Comportamiento de 8 variedades de Frijol (*Phaseolus vulgaris* L) en los ambientes de la Costa Central del Perú. Tesis Ing. Agrónomo UNALM. Lima – Perú. 95pp.

MAJ, D., WIELBO, J., MAREK-KOZACZUK, M., SKORUPSKA, A. 2010. Response to flavonoids as a factor influencing competitiveness and symbiotic activity of *Rhizobium leguminosarum*. *Microbiological Research*. 165: 50-60.

MAROTO, J. 1990. Elementos de Horticultura General. Ediciones Mundiprensa. España 54 p.

MARSCHNER, H. 2012. Mineral nutrition of higher plants. 3° Ed. London Academic Press. 651p.

MINAGRI (MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO). 2017. Series Históricas de Producción Agrícola- Compendio Estadístico. [http://frenteweb.minag.gob.pe/sisca/?mod=consulta\\_cult](http://frenteweb.minag.gob.pe/sisca/?mod=consulta_cult). Consultado Mayo 2017.

MOORE, D.J., SELLDEN, G., ZHU, X.Z., BRIGHTMAN, A. 1991. Triacantanol stimulates NADH oxidase of soybean hypocotyle plasma membrane. *Plant Sci* 79:31-36.

MOSJIDIS, C., PETERSON, C.M., TRUELOVE, B., Y DUTE, R.R. 1993. Stimulation of Pod and Ovule Growth of Soybean, *Glycine max* (L.) Merr. by 6-Benzilaminopurine. *Annals of Botany* 71: 193-199.

MULLER, D., Y LEYSER, O. 2011. Auxin, cytokinin and the control of shoot branching. *Annals of Botany* 107: 1203– 1212.

MURALIDHARAN, R., SARAVANAN, A., MUTHUVEL, P. 2000. Influence of biostimulants on yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Madras Agr J.* 87:625-628.

MUTHUCHELIAN, K., BERTAMINI, M., NEDUNCHEZHIAN, N. 2001. Triacantanol can protect *Erythrina variegata* from cadmium toxicity. *J Plant Physiol* 158:1487-1490.

MUTHUCHELIAN, K., MURGAN, C., HARIGOVINDAN, R., NEDUNCHEZHIAN, N., KULANDAIVELU, G. 1994. Effect of triacantanol in flooded *Erythrina variegata* seedlings. 1. Changes in <sup>14</sup>CO<sub>2</sub> fixation, and ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase, photosystem and nitrate reductase activities. *Photosynthetica* 30:407-413.

MUTHUCHELIAN, K., MURGAN, C., HARIGOVINDAN, R., NEDUNCHEZHIAN, N., KULANDAIVELU, G. 1995. Effect of triacantanol in flooded *Erythrina variegata*

seedlings. 1. Changes in growth, photosynthetic pigments and biomass productivity. *Photosynthetica* 31:269-275.

MUTHUCHELIAN, K., MURUGAN, C., NEDUNCHEZHIAN, N., KULANDAIVELU, G. 1997. Photosynthesis and growth of *Erythrina variegata* as affected by water stress and triacontanol. *Photosynthetica* 33:241-248.

MUTHUCHELIAN, K., VELAYUTHAM, M., NEDUNCHEZHIAN, N. 2003. Ameliorating effect of triacontanol on acidic mistreated *Erythrina variegata* seedlings changes in growth and photosynthetic activities. *Plant Sci* 165:1253-1257.

NAEEM, M., IDREES, M., AFTAB, T., MOINUDDIN, KHAN, M.M.A. 2010. Changes in photosynthesis, enzyme activities and production of anthraquinone and sennoside content of coffee senna (*Senna occidentalis* L.) by triacontanol. *Internat J Plant Develop Biol.* 4: 53-59.

NAEEM, M., KHAN, M.M.A., IDREES, M., MOINUDDIN, AFTAB, T. 2011. Triacontanol-mediated regulation of growth and other physiological attributes, active constituents and yield of *Mentha arvensis* L. *Plant Growth Regul* 65:195-206.

NAEEM, M., KHAN, M.M.A., MOINUDDIN, SIDDIQUI, M.H. 2009. Triacontanol stimulates nitrogen-fixation, enzyme activities, photosynthesis, crop productivity and quality of hyacinth bean (*Lablab purpureus* L.). *Sci. Hort.* 121:389-396.

NAEEM, M., MASROOR, M., KHAN, A., & MOINUDDIN. 2012. Triacontanol: a potent plant growth regulator in agriculture. *Journal of Plant Interactions*, 7:2, 129-142.

NAGOSHI, T., KAWASHIMA, S. 1996. Effect of foliar application of triacontanol on growth and yield of rice plants. IV. Effect of triacontanol on the ripening of rice plants under shading and low temperature conditions. *Japan J Crop Sci* 65:437-444.



NAPIER, R.M., DAVID, K.M., & PERROT-RECHENMANN, C. 2002. A short history of auxin-binding proteins. *Plant Mol. Biol.*; 49, 339-348.

NASIR, S. 2009. Influence of triacontanol and macronutrient elements on the growth, yield and alkaloid content of *Withania somnifera* Dunal. L. and *Datura innoxia* Mill [PhD thesis]. [Aligarh, India]: AMU.

NORMANLY, J., SLOVIN, J.P., COHEN, J.D. 2004. Auxin Metabolism. In *Plant Hormones: Biosynthesis, Signal Transduction, Action!* (ed. P.J. Davies), 36–62. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

PACHECO, R.M. 1996. Efecto de la fertilización potásica y de la foliar suplementaria en el rendimiento de melón (*Cucumis melo* L.) cv. galeao bajo RLAf.: exudación. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. UNALM. Lima, Perú.

PARSONS, D., MONDOÑEDO, J., KRICHNER, F. Y ATILANO, M. 1999. Frijol y chícharo. Editorial Trillas. Ciudad de México. México. 58 p.

PENG, J., RICHARDS, D.E., HARTLEY, N.M., MURPHY, G.P., DEVOS, K.M., FLINTHAM, J.E., BEALES, J., FISH, L.J., WORLAND, A.J., PELICA, F., SUDHAKAR, D., CHRISTOU, P., SNAPE, J.W., GALE, M.D., HARBERD, N.P. 1999. ‘Green revolution’ genes encode mutant gibberellin response modulators. *Nature* 400, 256–261.

PERVEEN, S., SHAHBAZ, M., ASHRAF, M. 2010. Regulation in gas exchange and quantum yield of photosystem II (PS II) in salt-stressed and non-stressed wheat plants raised from seed treated with triacontanol. *Pak J Bot* 42:3073-3081.

POPOVA, L.P., ZHELEVA, D.J., VAKLINOVA, S.G. 1989. Effect of triacontanol on growth, photosynthesis and photorespiration in barley seedlings. *Dokl Bolg AN* 42:95-98.

QUISPE, J.L. 2007. Efecto de la aplicación de microorganismos eficientes en el rendimiento de grano seco de arveja *Pisum sativum* L. variedad rondo en condiciones de La Molina. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. UNALM. Lima, Perú. 88 p.

RAIJ, B. 1992. Resúmenes IBTA, Programa de Leguminosas de Granos. Cochabamba, Bolivia.

RAMÍREZ, R.J.L. 2008. Ensayo preliminar de rendimiento en líneas promisorias de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) tipo Canario en condiciones de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Tesis Ing. Agrónomo. UNALM. Lima-Perú. 82 pp.

RAMIREZ, J. 1991. Evaluación de bioestimulantes en tres dosis sobre el desarrollo y el rendimiento de la arveja china (*Pisum sativum* L.) en Santiago, Sacatepequez. Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Tesis para optar el grado de Licenciado.

RASOOL, R., GANAI, B.A., KAMILI, A.N., AKBAR, S. Y MASOOD, A. 2013. Synergistic effect of auxins and cytokinins on propagation of *Artemisia amigdalina* (Asteraceae), a critically endangered plant of kashmir. *Pak. J. Bot.*, 45 (2): 629-634.

RATNAYAKE, W.S., HOOVER, R., SHAHIDI, F., PERERA, C., JANE, J. 2001. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of starches from four field pea (*Pisum sativum* L.) cultivars. *Food Chemistry*, 74, 189-202.

RIES, S., HOUTZ, R. 1983. Triacantanol as a plant growth regulator. *Hort Sci* 18:654-662.

RIES, S., WERT, V., O'LEARY, D., NAIR, M. 1990. 9- $\beta$ -L(+)-Adenosine: a new naturally occurring plant growth substance elicited by triacantanol in rice. *Plant Growth Regul* 9:263-273.

RIES, S., WERT, V. 1992. Response of maize and rice to 9- $\beta$ -(+) adenosine applied under different environmental conditions. *Plant Growth Regul* 11:69-74.

RIES, S.K., RICHMAN, T.L., WERT, V.F. 1978. Growth and yield of crops treated with triacontanol. *J American Soc Hort Sci* 103:361-364.

RIES, S.K., WERT, V.F., SWEELEV, C.C., LEAVITT, R.A. 1977. Triacontanol: a new natural occurring plant growth regulator. *Science* 195:1339-1341.

RIES, S.K., WERT, V.F. 1977. Growth response of rice seedlings to triacontanol in light and dark. *Planta* 135:77-82.

RIES, S.K., WERT, V.F. 1988. Rapid elicitation of second messengers by nanomolar doses of triacontanol and octacosanol. *Planta* 173:79-87.

RIES, S., SAVITHIRY, S., WERT, V., WIDDERS, I. 1993. Rapid induction of ion pulses in tomato, cucumber, and maize plants following a foliar application of L(+)-adenosine. *Plant Physiol* 101: 49–55.

RIES, S.K. 1991. Triacontanol and its second messenger 9- $\beta$ -L(+)- adenosine as plant growth substances. *Plant Physiol* 95: 986– 989.

SALDAÑA, Z.R. 2012. Efecto de la aplicación de microorganismos eficaces en el rendimiento de vaina verde en arveja (*Pisum sativum* L.) cultivar rondo, en condiciones de Pachacamac. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. UNALM. Lima, Perú. 69 p.

SANDAÑA, P. 2004. Determinación de parámetros para la fertilización racional fosforada en el cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.) en un suelo trumao de la décima región. Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Austral de Chile. Tesis para optar el grado de Ingeniero Agrónomo. 88 p.

SANTNER, A., CALDERON-VILLALOBOS, L.I.A., & ESTELLE, M. 2009. Plant hormones are versatile chemical regulators of plant growth. *Nature Chemical Biology*, 5(5), p.301–307.

SANTOS, J., HERRERO, M., MENDIOLA, J.A., OLIVA-TELES, M.T., IBÁÑEZ, E., DELERUE-MATOS, C., OLIVEIRA, M.B. 2014. Assessment of nutritional and metabolic profiles of pea shoots: The new ready-to-eat baby-leaf vegetable. *Food Research International* 58:105-111.

SAVITHIRY, S., WERT, V., RIES, S. 1992. Influence of 9- $\beta$ -L(+)-adenosine on malate dehydrogenase activity in rice. *Physiol Plant* 84:460-466.

SCHAEFER, H., HECHENLEITNER, P., SANTOS-GUERRA, A., MENEZES DE SEQUEIRA, M., PENNINGTON, R. T., KENICER & CARINE, M.A. 2012. Systematics, biogeography, and character evolution of the legume tribe Fabeae with special focus on the middle-Atlantic island lineages. *BMC Evolutionary Biology*, 12, 250.

SHARMA, K., KAUR, H., THIND, S.K. 2006. Kinetin and triacontanol effects on leaf characteristics, nitrate reductase activity, nodulation and yield in soybean *Glycine max* (L.) Merrill under reduced light intensity. *Environ Ecol* 24:426-429.

SHARMA, M.K., JOOLKA, N.K., SHARMA, N. 2002. Effect of triacontanol and paclobutrazol on photosynthetic efficiency, carbohydrate metabolism and leaf nutrient status of nonpareil almond. *Progress Hort* 34: 117-118.

SHELDRAKE, A.R. 1973. The production of hormones in higher plants. *Biol. Rev.* 48, 509-559.

SHENG, S.G. 1981. 1-triacontanol treatment of cotton. *Chin Agric Tech Comm* 4:20.

SHIMABUKURO, M. 1996. Efecto de la aplicación de ácidos húmicos y fertilizantes foliares en el rendimiento y calidad de vainita (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Bush Blue Lake. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. UNALM. Lima, Perú.

SHUKLA, A., ABAD FAROOQI, A.H., SHUKLA, Y.N., Y SHARMA, S. 1992. Effect of triacontanol and chlormequat on growth, plant hormones and artemisinin yield in *Artemisia annua* L. *Plant Growth Regulation* 11: 165-171.

SINGH, M., KHAN, M.M.A., MOINUDDIN, NAEEM M. 2011. Augmentation of nutraceuticals, productivity and quality of ginger (*Zingiber officinale* Rosc.) through triacontanol application. *Plant Biosystems- An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology: Official Journal of the Societa Botanica Italiana*, 146:1, 106-113.

SINGH, M. 2008. Influence of Triacontanol, nitrogen and phosphorus on the growth, yield and quality of ginger (*Zingiber officinale* Rosc.) and turmeric (*Curcuma longa* L.) [PhD thesis]. [Aligarh, India]: AMU.

SKOGEN, D., ERIKSEN, A.B., NILSEN, S. 1982. Effects of triacontanol on production and quality of flowers of *Chrysanthemum morifolium* Ramat. *Sci Hort* 18:87-92.

SMARTT, J. 1990. Grain Legumes: Evolution and Genetic Resources. Cambridge: Cambridge University Press.

SMITH, P.M., & ATKINS, C.A. 2002. Purine biosynthesis. Big in cell division, even bigger in nitrogen assimilation. *Plant Physiology* 128: 793-802.

SMÝKAL, P., COYNE, C., REDDEN, R., MAXTED, N. 2013. Peas. In: Singh M., Upadhyaya H. (eds): Genetic and Genomic Resources of Grain Legume Improvement. Elsevier, Amsterdam, 41–80.

SMÝKAL, P., KENICER, G., FLAVELL, A. J., KOSTERIN, O., REDDEN, R. J., FORD, R., ET AL. 2011. Phylogeny, phylogeography and genetic diversity of the *Pisum* genus. *Plant Genetic Resources*, 9(1), 4–18.

SRIVASTAVA, N.K., SHARMA, S. 1990. Effect of triacontanol on photosynthesis, alkaloid content and growth in opium poppy (*Papaver somniferum* L.). *Plant Growth Regul* 9:65-71.

STOUTEMYER, V., COOKE, R. 1987. Update on triacontanol. *The Orchid Advocate* 13:86-87.

SWIECICKI, W.K., & TIMMERMAN-VAUGHAN, G. 2005. Localization of important traits: The example of pea. In T. Nagata, H. Lorz, & J. M. Widholm (series Eds.) H. Lörz, & G. Wenzel (Vol. Eds.), *Molecular marker systems in plant breeding and crop improvement: Biotechnology in Agriculture and Forestry* Vol. 55 (pp. 155–169). Berlin: Springer-Verlag.

TAIZ, L., ZEIGER, E., MOLLER, I.M., Y MURPHY, A. 2015. *Plant Physiology and Development*. Sinauer Associates, Inc., Sunderland. 6 ed., 761 pp.

TEALE, W.D., PAPONOV, I.A., & PALME, K. 2006. Auxin in action: signalling, transport and the control of plant growth and development. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 7(11), p.847–859.

THAKUR, P.S., THAKUR, A. 1993. Influence of triacontanol and mixtalol during plant moisture stress in *Lycopersicon esculentum* cultivars. *Plant Physiol Biochem.* 31:433-439.

UCHIYAMA, T., OGASAWARA, N. 1981. Constituents of plant leaf waxes contained in rice callus tissues. *Agr Biol Chem* 45: 1261-1263.

UGÁS, R., SIURA, S., DELGADO DE LA FLOR, R., CASAS, A., TOLEDO, J. 2000. Hortalizas. Datos básicos. UNALM. Lima, Perú. 202 p.

USDA. NRCS. (United States Department of Agriculture,). 2016. The PLANTS Database (<http://plants.usda.gov>, 4 June 2016). National Plant Data Team, Greensboro, NC 27401-4901 USA.

VERMA, A., MALIK, C.P., SINSINWAR, Y.K., GUPTA, V.K. 2009. Yield parameters responses in a spreading (cv. M-13) and semi-spreading (cv. Girnar-2) types of groundnut to six growth regulators. *American-Eurasian J Agric Environ Sci* 6:88-91.

VILLAGARCÍA, S., Y AGUIRRE, G. 1994. Manual de uso de fertilizantes. Universidad Nacional Agraria La Molina. Departamento de Suelos y Fertilizantes.

VOYSEST, O. 2000. Mejoramiento Genético del Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.): Legado de Variedades de América Latina 1930- (1999)/ Osvaldo Voysest. Cali, Valle, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical.

WANG, Y.H., & IRVING, H.R. 2014. Developing a model of plant hormone interactions. *Plant Signaling & Behavior*, 6(4), p.494–500.

WEEDEN, N.F. 2007. Genetic changes accompanying the domestication of *Pisum sativum*: Is there a common genetic basis to the ‘Domestication Syndrome’ for legumes? *Annals of Botany*, 100(5), 1017–1025.

WOLTERS, H., AND JURGENS, G. 2009. Survival of the flexible: hormonal growth control and adaptation in plant development. *Nat. Rev. Genet.* 10, 305–317.

WONG, C., BHALLA, P., OTTENHOF, H., SINGH, M. 2008. Transcriptional profiling of the pea shoot apical meristem reveals processes underlying its function and maintenance. *BMC Plant Biology*, 8(1), 73.

XU, H., LIU, Q., YAO, T., FU, X. 2014. Shedding light on integrative GA signaling. *Curr Opin Plant Biol.* 21, 89-95.

YAMAGUCHI, S. 2008. Gibberellin metabolism and its regulation. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59, 225–251.

ZOHARY, D., & HOPF, M. 2000. Domestication of plants in the old world. Oxford: Oxford University Press.



## VIII. ANEXOS

Anexo 1. Estadísticas del cultivo de arveja grano verde en el año 2015.

DEPARTAMENTOS	PRODUCCION (t)	%	SUPERFICIE COSECHADA (ha)	%	RENDIMIENTO (t ha <sup>-1</sup> )	PRECIO EN CHACRA (S/. x Kg)
AMAZONAS	1819	1.3	790	2.3	2.303	2.56
ANCASH	2625	1.9	730	2.1	3.596	1.64
APURIMAC	3456	2.6	928	2.7	3.724	1.47
AREQUIPA	10172	7.5	1309	3.8	7.771	1.79
AYACUCHO	4068	3.0	1595	4.7	2.550	1.74
CAJAMARCA	19629	14.5	11217	32.7	1.750	1.32
CUZCO	3071	2.3	533	1.6	5.762	1.55
HUANCAVELICA	20016	14.8	5750	16.8	3.481	1.47
HUANUCO	26730	19.8	3250	9.5	8.224	1.57
ICA	316	0.2	72	0.2	4.385	2.09
JUNIN	29235	21.6	4201	12.2	6.959	1.60
LA LIBERTAD	4773	3.5	1295	3.8	3.685	1.83
LAMBAYEQUE	1691	1.2	659	1.9	2.566	1.15
LIMA	3991	2.9	828	2.4	4.820	1.57
LIMA METROPOLITANA	317	0.2	45	0.1	7.043	1.31
MOQUEGUA	114	0.1	23	0.1	4.970	1.81
PASCO	2340	1.7	628	1.8	3.725	1.29
PIURA	845	0.6	415	1.2	2.036	1.92
TACNA	127	0.1	27	0.1	4.704	2.85
<b>TOTAL NACIONAL</b>	<b>135335</b>	<b>100</b>	<b>34295</b>	<b>100</b>	<b>3.946</b>	<b>1.56</b>

Anexo 2. Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables evaluadas en el experimento.

	ALT	RAM	NVP	LV	AV	PT	NGV
<b>RAM</b>	-0.271						
<b>NVP</b>	-0.573**	0.655**					
<b>LV</b>	-0.443*	0.442*	0.396				
<b>AV</b>	0.225	0.243	-0.232	0.131			
<b>PT</b>	-0.255	0.891**	0.670**	0.626**	0.267		
<b>NGV</b>	-0.447*	0.456*	0.485*	0.823**	0.058	0.587**	
<b>REND</b>	-0.613**	0.731**	0.883**	0.654**	-0.009	0.845**	0.723**

Anexo 3. Reguladores de crecimiento empleados en el experimento



Anexo 4. Costos de producción de una hectárea en arveja.

	RUBRO	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD (ha)	COSTO UNITARIO S/.	COSTO TOTAL S/.
<b>I. COSTOS DIRECTOS</b>					
<b>1</b>	<b>Mecanización</b>				
	Aradura	Hora / Máq.	5	80.00	400.00
	Gradeo	Hora / Máq.	2	80.00	160.00
	Nivelación	Hora / Máq.	1	80.00	80.00
	Marcación y trazado	Hora / Máq.	1	80.00	80.00
	<b>SUBTOTAL</b>				<b>720.00</b>
<b>2</b>	<b>Mano de obra</b>				
	Riego de machaco	Jornal	1	30.00	30.00
	Siembra	Jornal	6	30.00	180.00
	Riegos	Jornal	6	30.00	180.00
	Fertilización	Jornal	4	30.00	120.00
	Deshierbos	Jornal	3	30.00	90.00
	Aporque	Jornal	3	30.00	90.00
	Control Fitosanitario	Jornal	6	30.00	180.00
	Cosecha	Jornal	25	30.00	750.00
	<b>SUBTOTAL</b>				<b>1620.00</b>
<b>3</b>	<b>Insumos</b>				
	Semillas	Kg	60	10.00	600.00
	Fertilizantes				120.00
	-FX AMINO	Lt	1	85.00	85.00
	-Powergizer	Lt	1	35.00	35.00
	Pesticidas				225.00
	-Deltametrina (insecticida)	Lt	1	120.00	120.00
	-Centurion (herbicida)	Lt	1	105.00	105.00
	Adherentes				110.00
	-Silwet AG	Lt	1	110.00	110.00
	<b>SUBTOTAL</b>				<b>1055.00</b>
<b>4</b>	<b>Otros</b>				
	Cosecha	Jornal	25	30.00	750.00
	Carguío	Jornal	3	30.00	90.00
	<b>SUBTOTAL</b>				<b>840.00</b>
<b>SUBTOTAL COSTOS DIRECTOS 4235.00</b>					
<b>II. COSTOS INDIRECTOS</b>					
<b>A.</b>	Costos financieros	%	8		338.80
<b>B.</b>	Administración	%	6		254.10
<b>SUBTOTAL COSTOS INDIRECTOS 592.90</b>					
<b>COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN 4827.90</b>					

