

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS Y AMBIENTALES

EVALUACIÓN DE TRES DENSIDADES DE SIEMBRA EN LA PRODUCCIÓN DE APIO,
(*Apium graveolens* L.), EN LA ALDEA CHIRIJUYÚ, TECPÁN, CHIMALTENANGO,
GUATEMALA, C.A.



STEVENS HORACIO SUREC RABINAL

GUATEMALA, MARZO DE 2,017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS Y AMBIENTALES

EVALUACIÓN DE TRES DENSIDADES DE SIEMBRA EN LA PRODUCCIÓN DE APIO,
(*Apium graveolens* L.), EN LA ALDEA CHIRIJUYÚ, TECPÁN, CHIMALTENANGO,
GUATEMALA, C.A.

TESIS
PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE
AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.

POR
STEVENS HORACIO SUREC RABINAL
201122075

En el acto de investidura como
INGENIERO AGRÓNOMO
EN
SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
EN EL GRADO ACADÉMICO DE
LICENCIADO

GUATEMALA, MARZO DE 2,017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

**RECTOR MAGNIFICO
DR. CARLOS ALVARADO CEREZO**

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO:	Ing. Agr. Mario Antonio Godínez López
VOCAL PRIMERO:	Dr. Tomás Antonio Padilla Cambara
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. M.A. Cesar Linneo García Contreras
VOCAL TERCERO:	Ing. Agr. M. Sc. Erberto Raúl Alfaro Ortiz
VOCAL CUARTO:	P. Agr. Walfer Yasmany Godoy Santos
VOCAL QUINTO:	P. Agr. Christian Alexander Méndez
SECRETARIO:	Ing. Agr. Juan Alberto Herrera Ardón

GUATEMALA, MARZO DE 2,017

Guatemala, marzo de 2,017

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía –FAUSAC-
Universidad de San Carlos de Guatemala –USAC-

Señores miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración, el trabajo de tesis titulado:

“EVALUACIÓN DE TRES DENSIDADES DE SIEMBRA EN LA PRODUCCIÓN DE APIO, (*Apium graveolens* L.), EN LA ALDEA CHIRIJUYÚ, TECPÁN, CHIMALTENANGO, GUATEMALA, C.A.”

Presentando como requisito previo a optar el título de **Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.**

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme

Atentamente,

Stevens Horacio Surec Rabinal

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

ACTO QUE DEDICO

A:

- DIOS** Padre celestial que has sido mi guía, mi fortaleza en todo momento. Por tu amor y misericordia hacia mi persona al brindarme salud y bienestar en toda la carrera.
- MIS PADRES** El Sr. Nicodemus Cresencio Surec y la Sra. María Estela Rabinal Par, por su enorme sacrificio, comprensión, amor y palabras de aliento. Sin ustedes este logro hubiera sido difícil de realizar. Espero este sea un pequeño reconocimiento a toda su entrega diaria a nuestra familia. Eterna gratitud.
- MIS HERMANOS** Nancy Roxana Surec Rabinal, Estefany Patricia Surec Rabinal y Milton David Surec Rabinal. Con mucho cariño y gratitud por todo el apoyo recibido de parte suya en ésta etapa, de ustedes también es éste logro.
- MIS ABUELOS** Sra. Flora Surec (QEPD)
Sra. Secundina Par
Sr. Benjamín Rabinal
- MI NOVIA** Leslie Abigail Xicón Semeyá, por su apoyo incondicional en todo momento.
- AMIGOS** Compañeros de promoción 07-09, Gustavo Velásquez, Nelson Pérez, Myriam Escobar, compañeros del proyecto HORTULUS, por los momentos compartidos, su amistad sincera y apoyo incondicional para alcanzar nuestras metas.

TESIS QUE DEDICO

A:

DIOS TODO PODEROSO

MI PATRIA GUATEMALA

LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA –USAC-

LA FACULTAD DE AGRONOMIA -FAUSAC-

ESCUELA NACIONAL CENTRAL DE AGRICULTURA –ENCA-

LA CIUDAD DE TECPÁN GUATEMALA, CHIMALTENANGO

MI FAMILIA EN GENERAL

AGRADECIMIENTOS

Dr. Aníbal Sacbajá Galindo, por su asesoría y apoyo brindado para la realización de ésta investigación.

Ing. Agr. Edgar Franco, por su asesoría, tiempo y consejos brindados durante ésta etapa.

De manera especial a mi señor padre, Nicodemus C. Surec por haberme brindado la oportunidad y la confianza de realizar ésta investigación dentro de su parcela.

Ing. Agr. Casildo Barrios y personal de La Floresta Crops de Guatemala S.A. –MAYACROPS-, por apoyarme, brindarme su confianza y tiempo necesario para la realización y conclusión de éste documento de tesis.

A todas las personas que de una u otra forma colaboraron en la realización de este documento.

ÍNDICE GENERAL

	Página
ÍNDICE DE CUADROS	iiiv
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	vii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	2
2.1 MARCO CONCEPTUAL	2
2.1.1 Distribución geográfica, origen e historia del apio	2
2.1.2 Importancia	2
2.1.3 Usos terapéuticos	2
2.1.4 Usos culinarios	3
2.1.5 Clasificación taxonómica	3
2.1.6 Descripción del apio	4
2.1.7 Variedades comerciales	5
2.1.8 Factores ambientales	7
2.2 MARCO REFERENCIAL	14
2.2.1 Localización	14
2.2.2 Condiciones climáticas	14
2.2.3 Condiciones del suelo	15
2.2.4 Zona de vida	15
2.2.5 Variedad de apio "Triumph"	15
2.2.6 Antecedentes	16
3. OBJETIVOS	17
3.1 Objetivo general	17
3.2 Objetivos específicos	17
4. HIPÓTESIS	17
5. METODOLOGÍA	18
5.1 Material experimental	18
5.2 Factor de estudio	18
5.3 Tratamientos y repeticiones	18
5.4 Diseño experimental	20

	Página
5.5 Unidad experimental	20
5.6 Ubicación de las unidades experimentales	20
5.7 Variables de respuesta	21
5.7.1 Altura de planta:	21
5.7.2 Diámetro de peciolo:	22
5.7.3 Número de peciolo:	22
5.7.4 Diámetro:	22
5.7.5 Peso por planta:	23
5.7.6 Rendimiento:	24
5.8 Manejo del experimento	24
5.8.1 Preparación del terreno	24
5.8.2 Elaboración de tabloncillos	24
5.8.3 Desinfección del suelo	25
5.8.4 Trasplante	25
5.8.5 Riego	25
5.8.6 Fertilizaciones	25
5.8.7 Control fitosanitario	26
5.8.8 Control de malezas	27
5.8.9 Cosecha	27
5.9 Análisis de la información	28
5.9.1 Modelo estadístico	28
5.9.2 Prueba de medias de Tukey	28
5.9.3 Análisis económico	28
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
6.1 Altura de planta	29
6.2 Diámetro de planta	31
6.3 Diámetro de peciolo	34
6.4 Número de peciolo por planta	36
6.5 Peso por planta	37
6.6 Rendimiento	39
6.7 Análisis económico	42

	Página
7. CONCLUSIONES	44
8. RECOMENDACIONES	45
9. BIBLIOGRAFÍA	46

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1 Contenido nutricional en el apio por cada 100 g de porción comestible.....	3
Cuadro 2 Clasificación taxonómica del cultivo del apio.	4
Cuadro 3 Necesidades hídricas en últimas fases de cultivo expresadas en coeficiente de evapotranspiración (Kc) para el cultivo del apio en relación con la humedad relativa y velocidad del viento.....	8
Cuadro 4 Fases del cultivo del apio (<i>A. graveolens</i> L). Valores expresados en días.	9
Cuadro 5 Valores de absorción por producción, en superficie y residuos de cosecha, reportados para el cultivo del apio.	10
Cuadro 6 Principales plagas y enfermedades en el cultivo del apio según Mainard (1988)	11
Cuadro 7 Especificaciones mínimas de calidad requeridas para apio de exportación.	13
Cuadro 8 Aleatorización de los tratamientos y repeticiones bajo el diseño experimental en bloques completos al azar para la evaluación de tres densidades de siembra en apio, Aldea Chirijuyú, Tecpán Chimaltenango, 2,015	21
Cuadro 9 Análisis Químico de suelos del área experimental, Aldea Chirijuyú, Tecpán, Chimaltenango.	25
Cuadro 10 Época de aplicación, fuente de nutrientes y cantidad aplicada al cultivo del apio Aldea Chirijuyú, Tecpán Chimaltenango, 2,015	26
Cuadro 11 Pesticidas, ingrediente activo, nombre comercial y cantidad por bomba de 16 litros aplicados al cultivo del apio, Aldea Chirijuyú, Tecpán Chimaltenango, 2,015	27
Cuadro 12 Medias de la variable de respuesta altura de apio, Aldea Chirijuyú. Tecpán Chimaltenango.	29
Cuadro 13 Análisis de varianza para la variable de respuesta altura de apio, Aldea Chirijuyú, Tecpán Chimaltenango.....	29
Cuadro 14 Prueba de medias de Tukey para la variable de respuesta altura de planta de apio, Aldea Chirijuyú, Tecpán Chimaltenango	30
Cuadro 15 Medias de la variable de respuesta diámetro de apio, Aldea Chirijuyú. Tecpán Chimaltenango	31
Cuadro 16 Análisis de varianza para la variable de respuesta diámetro de planta de apio, Aldea Chirijuyú, Tecpán Chimaltenango.....	32
Cuadro 17 Prueba de Tukey para la variable de respuesta diámetro de planta de apio, Aldea Chirijuyú, Tecpán Chimaltenango.....	32
Cuadro 18 Medias de la variable de respuesta diámetro de peciolo apio, Aldea Chirijuyú. Tecpán Chimaltenango	34
Cuadro 19 Análisis de varianza para la variable de respuesta diámetro de peciolo de planta de apio, Aldea Chirijuyú, Tecpán Chimaltenango.....	34
Cuadro 20 Prueba de medias de Tukey para la variable de respuesta diámetro de peciolo por planta de apio, Aldea Chirijuyú, Tecpán Chimaltenango.....	35
Cuadro 21 Análisis de varianza para la variable de respuesta número de peciolo de planta de apio, Aldea Chirijuyú, Tecpán Chimaltenango.....	36

	Página
Cuadro 22 Medias de la variable de respuesta por planta de apio expresados en kg, Aldea Chirijuyú. Tecpán Chimaltenango.....	38
Cuadro 23 Análisis de varianza para la variable de respuesta peso por planta de apio, Aldea Chirijuyú, Tecpán Chimaltenango.....	38
Cuadro 24 Prueba de medias de Tukey para la variable de respuesta peso de planta de apio, Aldea Chirijuyú, Tecpán Chimaltenango.	38
Cuadro 25 Medias de la variable de respuesta rendimiento expresadas en t.ha ⁻¹ , Aldea Chirijuyú. Tecpán Chimaltenango.....	40
Cuadro 26 Análisis de varianza para la variable de respuesta rendimiento de planta de apio, Aldea Chirijuyú, Tecpán Chimaltenango	40
Cuadro 27 Prueba de medias de Tukey para la variable rendimiento de planta de apio, Aldea Chirijuyú, Tecpán Chimaltenango.....	41
Cuadro 28 Costos de producción y análisis económico de las tres densidades de siembra evaluadas en la Aldea Chirijuyú, Tecpán, Guatemala	43
Cuadro 29A Valores promedio de las variables de respuesta: altura de planta, diámetro de planta, diámetro de peciolo, número de peciolos, peso por planta y rendimiento en la densidad de siembra de 113,905 plantas.ha ⁻¹ , Aldea Chirijuyú, Tecpán Chimaltenango	50
Cuadro 30A Valores promedio de las variables de respuesta: altura de planta, diámetro de planta, diámetro de peciolo, número de peciolos, peso por planta y rendimiento en la densidad de siembra de 94,921 plantas.ha ⁻¹ , Aldea Chirijuyú, Tecpán, Chimaltenango	51
Cuadro 31A Valores promedio de las variables de respuesta: altura de planta, diámetro de planta, diámetro de peciolo, número de peciolos, peso por planta y rendimiento en la densidad de siembra de 81,361 plantas.ha ⁻¹ , Aldea Chirijuyú, Tecpán, Chimaltenango	52

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Mapa de ubicación geográfica de la Aldea Chirijuyú, Tecpán Chimaltenango, Guatemala.....	14
Figura 2 Distanciamientos de los tratamientos evaluados en campo a) Tratamiento 1 o testigo; b) Tratamiento 2; c) Tratamiento 3 Aldea Chirijuyú, Tecpán, Guatemala, 2015.	19
Figura 3 Dimensiones utilizadas para cada unidad experimental en la evaluación de tres densidades de siembra en apio. Aldea Chirijuyú, Tecpán, Guatemala, 2015.	19
Figura 4 Segmentación de los tratamientos en Parcela bruta y Parcela neta en la evaluación de densidades de siembra de apio, Aldea Chirijuyú, Tecpán Chimaltenango, 2,015	20
Figura 5 Fotografía de la forma de medición de la variable de respuesta altura de apio ..	22
Figura 6 Fotografía de la forma de medición de la variable de respuesta diámetro de planta	23
Figura 7 Forma de medición de la variable de respuesta peso de planta	23
Figura 8 Dimensiones de los tabloncillos utilizados para la evaluación de densidades de siembra, Aldea Chirijuyú, Tecpán Chimaltenango, 2,015	24
Figura 9 Altura de plantas de apio en respuesta a la densidad de siembra. Aldea Chirijuyú, Tecpán, Chimaltenango	31
Figura 10 Diámetro de planta de apio en respuesta a la densidad de siembra. Aldea Chirijuyú, Tecpán, Chimaltenango.....	33
Figura 11 Diámetro de peciolo de apio en respuesta a la densidad de siembra. Aldea Chirijuyú, Tecpán, Chimaltenango.....	35
Figura 12 Número de peciolos por planta de apio en respuesta a la densidad de siembra. Aldea Chirijuyú, Tecpán, Chimaltenango.....	37
Figura 13 Peso por planta de apio en respuesta a la densidad de siembra. Aldea Chirijuyú, Tecpán, Chimaltenango	39
Figura 14 Rendimiento de apio en respuesta a la densidad de siembra. Aldea Chirijuyú, Tecpán, Chimaltenango.	41
Figura 15A Trasplante de pilones de apio de acuerdo a los distanciamientos evaluados..	53
Figura 16A Fertilización aplicada cada 25 días a partir del trasplante, basado en UREA..	54
Figura 17A Aspersiones de tipo preventivo realizadas con bomba de mochila de 16 L.....	55
Figura 18A Expresión del diámetro de planta en campo para la densidad de siembra de 81,361 planta.ha ⁻¹	56
Figura 19A Cosecha de apio a los 110 días después del trasplante	57
Figura 20A Expresión de tamaño generado para la densidad de siembra de 94,921 planta.ha ⁻¹	58
Figura 21A Apio cosechado colocado en cajas dentro de planta procesadora.....	59
Figura 22A Alturas de plantas expresadas por las densidades de siembra de 113,905 plantas.ha ⁻¹ , 84,921 plantas.ha ⁻¹ y 81,361 plantas.ha ⁻¹	60

EVALUACIÓN DE TRES DENSIDADES DE SIEMBRA EN LA PRODUCCIÓN DE APIO, (*Apium graveolens* L.), EN LA ALDEA CHIRIJUYÚ, TECPÁN, CHIMALTENANGO, GUATEMALA, C.A.

EVALUATION OF THREE PLANTING DENSITIES IN CELERY (*Apium graveolens* L.) PRODUCTION AT CHIRIJUYU VILLAGE, TECPÁN, CHIMALTENANGO, GUATEMALA, C.A.

RESUMEN

El apio (*Apium graveolens* L.) es una hortaliza con creciente relevancia. Sus propiedades culinarias y aperitivas dentro y fuera del país la hacen una hortaliza muy demandada. Uno de los factores que más incide dentro de la calidad del apio es la densidad de siembra es uno de los factores de producción más importantes, ya que en este cultivo como en muchos otros, se relaciona fundamentalmente en la calidad de la producción.

La investigación se realizó entre mayo y septiembre del 2015 en la Aldea Chirijuyú, del municipio de Tecpán, departamento de Chimaltenango, con el objetivo de determinar el efecto de las densidades de 113,905 plantas.ha⁻¹, 94,921 plantas.ha⁻¹ y 84,361 plantas.ha⁻¹ en el rendimiento y calidad de apio (*A. graveolens* L.) utilizando un diseño en bloques completos al azar.

Las variables de respuesta fueron: altura de planta, diámetro de planta, diámetro de peciolo, número de peciolos por planta, peso por planta y rendimiento. Para cada tratamiento se determinó la rentabilidad como parte del análisis económico.

Se concluye que en la variable de respuesta altura de planta, la densidad de siembra correspondiente a 113,905 plantas.ha⁻¹ tuvo la mejor respuesta. En las variables diámetro de planta, diámetro de peciolo y peso por planta la densidad de siembra de 84,361 plantas.ha⁻¹ tuvo la mejor respuesta, mientras que en el rendimiento medido en t.ha⁻¹ y rentabilidad, la densidad de siembra de 94,921 plantas.ha⁻¹ mostró los valores más altos, con 129.56 t.ha⁻¹ y 58.18 % respectivamente.

Para la producción de apio (*A. graveolens* L.) se recomienda utilizar la densidad de siembra de 94,921 plantas.ha⁻¹ bajo las condiciones climáticas y edáficas específicas de la Aldea Chirijuyú, Tecpán, Chimaltenango, Guatemala.

1. INTRODUCCIÓN

En Guatemala existen una gran diversidad de microclimas que permiten la producción de cultivos, entre ellos, los cultivos hortícolas, los cuales son una fuente de ingresos económicos para las familias, principalmente del área rural que se dedican a producir una o varias especie que según su capacidad para sufragar los costos de producción, pueden llegar a comercializar sus cosechas en el mercado local o en el mejor de los casos en el mercado internacional.

El apio (*Apium graveolens* L.) es una hortaliza no tradicional que ha venido tomando relevancia en el occidente del país, específicamente en la región del Altiplano, en donde se ubica la Aldea Chirijuyú, perteneciente al municipio de Tecpán, Chimaltenango. En esta comunidad se realizó un sondeo con un grupo de productores de éste cultivo, quienes identificaron como problema principal la variación en las densidades de siembra utilizadas, los cuales pueden repercutir en la calidad y rendimientos en la producción de la misma. Las densidades de siembra para una máxima producción no se han experimentado en la región o no están apoyadas con investigaciones conclusivas. Factores como la densidad de siembra pueden ser determinantes al momento de la cosecha, dado que, una alta densidad puede resultar en la no capacidad de cada planta en crecer y desarrollar de forma adecuada debido al efecto competitivo por luz, agua, nutrimentos y espacio físico (Holle Miguel, 1985).

Con la evaluación de tres densidades de siembra, mediante un diseño en bloques completos al azar y con un nivel de significancia 0.01, se buscó determinar la densidad de siembra que expresara las mejores características de calidad (altura, diámetro, diámetro de peciolo, peso por planta) y que mostrara un rendimiento igual o mayor al que se está obteniendo, que es de aproximadamente 88 t.ha¹ habiéndose obtenido rendimientos mayores a 90 t.ha⁻¹ en temporadas anteriores. La densidad de siembra de 94,921 plantas.ha⁻¹ presentó el mayor rendimiento y la mayor rentabilidad, ésta última fue de 58.18 %, además muestra todos los parámetros de calidad como altura de planta, diámetro de planta, diámetro de peciolo y peso de planta exigido para el mercado.

Dicha estudio forma parte de la tesis de grado de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala –USAC- .

2. MARCO TEÓRICO

2.1 MARCO CONCEPTUAL

2.1.1 Distribución geográfica, origen e historia del apio

El apio se deriva de una planta que todavía se encuentra silvestre en algunos lugares de Europa y del Mediterráneo; su primer uso fue por sus propiedades medicinales que se le atribuían en la antigüedad, existiendo otros centros secundarios como el Cáucaso y la zona del Himalaya. Se conocía además en el antiguo Egipto. Su uso como hortaliza se comenzó a desarrollar en la Edad Media y actualmente es consumido tanto en Europa como en América del Norte (Casaca, 2005).

2.1.2 Importancia

El apio es una hortaliza muy apreciada en la dieta humana, atribuida a sus múltiples beneficios; dado a su alto valor nutritivo, hasta el descubrimiento de propiedades afrodisíacas. Entre los usos que se le da al apio se mencionan:

2.1.3 Usos terapéuticos

En la Medicina Natural, se considera el apio como un buen hipotensor, uso del cual existen registros desde tiempos antiguos en la medicina oriental y mediterránea. Se utilizó entre los griegos y los romanos como un calmante y aún hoy se le atribuyen dichas propiedades. Se ha señalado que mejora la circulación y disminuye el colesterol. También se han mencionado sus propiedades depurativas y diuréticas, y se afirma que regula la elevación del ácido úrico, por lo cual se recomienda para tratar problemas como artritis y cuadros gotosos (Sierra, 2012).

Se considera que es alcalinizante y remineralizante. Contribuye a facilitar la digestión, abre el apetito, combate el estreñimiento y disminuye la formación de gases intestinales. Se ha utilizado para tratar gastritis y padecimientos hepáticos. También se le ha utilizado triturado en cataplasmas, para tratar picaduras de insectos y otros problemas de piel como pequeñas heridas o raspones. Por su bajo contenido de calorías y sus efectos diuréticos se ha recomendado recientemente en dietas de adelgazamiento. Para la milenaria medicina de la India, lo más destacado es el uso del apio para controlar enfermedades reumatológicas y algunos padecimientos hepáticos Sierra (2012). En el cuadro 1 se muestra el contenido nutricional del apio.

Cuadro 1 Contenido nutricional en el apio por cada 100 g de porción comestible.

Compuesto	Cantidad
Calorías	16 kcal
Agua	94.64 g
Proteína	0.75 g
Grasa	0.14 g
Cenizas	0.82 g
Carbohidratos	3.65 g
Fibra	1.7 g
Calcio	40 mg
Hierro	0.4 mg
Fósforo	25 mg
Vitamina C	7 mg

Fuente: Propiedades terapéuticas del apio, Sierra (2012).

2.1.4 Usos culinarios

El apio es consumido por lo general en ensaladas frescas aunque también es utilizado como condimento en sopas, caldos o algún platillo especial. El sabor característico de esta hortaliza está dado por la presencia de apeína o apiosilglucósido de 7-apigenina y aceites esenciales como apiol y limoneno, que se encuentran en el interior de los peciolos o pencas (García Fernández, 1971).

2.1.5 Clasificación taxonómica

Según Linneo, citado por Carrillo Romero (2002), el apio se clasifica desde el punto de vista taxonómico como se describe en el cuadro 2.

Cuadro 2 Clasificación taxonómica del cultivo del apio.

Reino	Plantae
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Asteridae
Familia	Apiales
Género	Apiaceae
Especie	Apium
Nombre científico	<i>Apium graveolens</i> L.
Nombre Común	Apio

Fuente: Carrillo Romero, 2002.

2.1.6 Descripción del apio

A. Raíz.

Edmund (1981) describe que el sistema radicular no es muy extenso. La raíz principal es del tipo pivotante, poco profunda, provista de un sistema de raíces secundarias abundantes, adventicias y superficiales. La raíz puede alcanzar longitudes de 50-70 cm y 20-30 cm de ancho.

Lorenz y Maynard (1980) citados por Maroto Borrego (1991), clasifican al apio como una planta que posee un sistema radical superficial, con una profundidad máxima de 45 cm a 50 cm y que en condiciones adecuadas, el sistema radical del apio alcanza una profundidad media de 60 cm; se considera como profundidad efectiva para esta planta valores comprendidos entre 45 cm a 60 cm.

B. Follaje

Según Edmund (1981) citado por Samayoa (1991), las hojas del apio son erectas y tienen un sólido peciolo, el limbo está dividido en 5 segmentos a 10 segmentos. Los peciolos son notablemente nervados, muy anchos en la base y contienen cantidades comparativamente grandes de almidón. Estos limbos foliares son pignado-partidos (hojas dispuestas a uno y otro lado del peciolo) pequeñas y de color verde intenso, insertas en un peciolo largo que constituye la parte comestible. Al llegar a su madurez alcanzan una altura de 60 cm a 90 cm.

C. Floración

Según Cásseres (1980), citado por Samayoa (1991), la inflorescencia es una umbela compuesta, las flores son pequeñas y de color blanco, tiene cinco pétalos, cinco estambres y dos pistilos, cáliz con cinco sépalos y un ovario ínfero de dos carpelos. Las flores son actinomorfas y hermafroditas. La polinización es cruzada, es una planta alógama, sin embargo presenta un 5% de autogamia (Autofecundación).

Durante el primer año desarrolla el aparato vegetativo formado por un tallo corto, cubierto por una roseta de hojas muy divididas, de peciolo largo, acostillado y carnoso, conocido con el nombre de pencas; que pueden alcanzar alturas de 60 cm a 100 cm (Cásseres, 1980, Samayoa P. 1991).

A lo largo del segundo año de vida de la planta produce largos tallos florales en forma de umbela (todas las flores salen de un mismo punto). La floración en el apio es inducida principalmente por la acción de bajas temperaturas que varían entre 7 °C y 10 °C durante períodos de 14 días a 28 días (Maroto Borrego, 1991).

D. Semillas

Las semillas del apio son muy pequeñas, pueden llegar a medir de 1 mm a 1.5 mm de longitud (Cásseres, 1980).

E. Frutos

Los frutos son diaquenios, pequeños, de color marrón, sin pubescencia, redondeado con la base acorazonada, comprimidos lateralmente y recorridos por surcos en toda su longitud, sobre los que se insertan canales resiníferos portadores de aceites esenciales con un olor característico. Estos frutos son considerados usualmente semillas, siendo sensible al desgrane (Cásseres, 1980).

2.1.7 Variedades comerciales

Según Cásseres (1980), en el apio se distinguen dos tipos cultivares: los que se caracterizan por el color de los peciolo y por el corazón cuando la planta está en completo desarrollo. Los cultivares verdes y los cultivares dorados o blancos o de auto blanqueo (Cásseres, 1980).

F. Cultivares verdes

Se caracterizan por un marcado color verde claro u oscuro de la planta, por su tendencia a ser más compacto o enano, por el grosor notable de los peciolo en sección transversal. Es un poco más tardío, pero resiste mejor el almacenamiento por su resistencia a las enfermedades. Por su succulencia, tersura del peciolo y grosor, se considera superior que el tipo amarillo (Cásseres, 1980).

El tipo verde no se somete a blanqueo. Presenta un crecimiento vigoroso, son cultivares rústicos, más fáciles de producir. Las variedades representativas del tipo verde son Pascal, TallUtha, Fordhook. Cada una tiene variedades distinguibles. Existen grupos intermedios que combinan el color verde amarillento del grupo dorado con el grosor del grupo verde. Las variedades de este grupo son: Summer, Pascal, Golden Pascal, Cornell 6, Cornell 19, Cornell 619. Actualmente, existen casas comerciales que sacan al mercado variedades como Premio o Tango, particularmente en este tipo (Cásseres, 1980).

G. Cultivares dorados o amarillos

Estos cultivares resultan más complejos que las verdes. Las variedades amarillas son susceptibles a la floración precoz y al ataque de hongos. El tipo dorado lo forman las variedades en las que las partes centrales de la planta se auto blanquean (el blanqueado consiste en detener el desarrollo de la clorofila en las plantas), al excluir la luz solar de los peciolo. La operación del blanqueado hace más tierno el peciolo y le quita el sabor amargo. Las variedades correspondientes a este tipo son precoces (son las más conocidas y apetecibles en algunos mercados), tienen follaje verde amarillento, peciolo delgados, poco fibrosos, de mediana calidad, muy aptos para el almacenaje y se les conoce como “apios blancos” pertenecen a este tipo: Golden self-blanching, Golden Plume, comprende muchas variedades y líneas (Maroto Borrego, 1991).

H. Variedades rojas

Las variedades rojas son poco conocidas, entre estas tenemos: la variedad Piamontesa o de Turín; su característica principal es la elevada resistencia a marchitarse y a la podredumbre, puede conservarse en condiciones invernales. (Leñaño, 1973).

2.1.8 Factores ambientales

A. Fotoperiodo y temperatura

La duración del período vegetativo del apio es variable. Está en función de la variedad utilizada y las condiciones ambientales. El apio es una planta bianual que en condiciones tropicales necesita que desde la siembra de la semilla hasta su germinación transcurran 15 días de la germinación al trasplante 40 días y aproximadamente a los 100 días a 140 días después del trasplante se cosecha (Carrillo Romero, 2002), sin embargo periodos largos de luz promueven la floración y que para fines comerciales resulta perjudicial.

El apio ha sido clasificado como una planta que necesita de días cortos si el fin es comercial. Para fines de floración y posterior obtención de semillas, la planta necesita de días largos, con un requerimiento de vernalización¹ durante el período de días cortos. Para que se produzca la inducción de la floración la planta debe cumplir con el proceso de vernalización, es decir estar expuesta durante un cierto tiempo a bajas temperaturas en un rango que generalmente oscila entre 8 °C. y 12 °C. (Carrillo Romero, 2002),

La temperatura óptima para el ciclo vegetativo del apio es de 5 °C a 18 °C. Las temperaturas por debajo de los 12° C inducen floración precoz en otros países fuera del trópico. En la región tropical seca, temperaturas abajo de los 16 °C promueven a floración temprana. Temperaturas mayores de 35 °C perjudican el cultivo desde el punto de vista de calidad (Hortalizas de estación fría, 1998).

Según Cásseres (1980), en cuanto al requerimiento de horas luz, el crecimiento del apio es satisfactorio durante los días cortos, el incremento de la intensidad lumínica y la duración de la longitud del día le resultan favorables y en relación a la temperatura, el apio es una planta suculenta que requiere climas frescos, siendo las temperaturas medias más propicias para su desarrollo entre los 15 °C y 18 °C.

B. Altitud

El apio se adapta a regiones situadas entre los 1,500 m s.n.m. a 2,800 m s.n.m., obteniéndose en esas altitudes producciones de calidad aceptables y proporcionando factibilidad agronómica.

¹ Transformación de las plantas que les confiere la aptitud para florecer por la exposición a bajas temperaturas.

C. Requerimientos hídricos

Por las condiciones de su ambiente de origen, el apio requiere abundante cantidad de agua especialmente en los periodos de alta temperatura y al final del ciclo de cultivo. Se estima que el requisito mínimo durante el ciclo es de alrededor de 900 mm con una demanda baja al inicio (salvo luego del trasplante) (Sendra, 2011).

Se ha encontrado que el apio requiere entre 23 l y 34 l de agua para producir 1 kg de biomasa fresca y 33 l a 50 l para producir 1 kg de producto comercializable (Sendra, 2011). En las primeras fases de desarrollo según Doorembos Pruitt, (1977) citados por Maroto Borrego (1991), el riego debe ser abundante y regular ya que el cultivo sufre estrés ante ligera escasez de agua en el suelo. En ese sentido, en el cuadro 3, se presentan los coeficientes de evapotranspiración de cultivo (K_c) para las fases más desarrolladas (fase 3 y fase 4) de crecimiento del apio y en el cuadro 4 las fases en el ciclo de cultivo expresados en días por fase.

Cuadro 3 Necesidades hídricas en últimas fases de cultivo expresadas en coeficiente de evapotranspiración (K_c) para el cultivo del apio en relación con la humedad relativa y velocidad del viento.

Fases de desarrollo	Humedad relativa > 70 %		Humedad relativa < 20 %	
	Velocidad del viento m/s			
	0-5	5-8	0-5	5-8
Fase media el período (Fase 3)	1.0	1.05	1.1	1.15
Fase final del período (Fase 4)	0.9	0.95	1.0	1.05

Fuente: Doorembos Pruitt, 1976; Maroto Borrego, 1991.

Cuadro 4 Fases del cultivo del apio (*A. graveolens L.*). Valores expresados en días.

Condiciones de cultivo	Fase 1 (días)	Fase 2 (días)	Fase 3 (días)	Fase 4 (días)	Total (días)
En climas semiáridos	25	40	95	20	180
En estación fría	35	55	105	20	210
En climas húmedos	30	40	45	15	125

Fuente: Doorembos Pruitt, 1976; Maroto Borrego, 1991.

Por otra parte, los coeficientes de evapotranspiración (K_c) del cultivo del apio según Santa Olalla Mañas, López Fuster y Calera Belmonte (2,005) para las diferentes etapas del cultivo son: 0.7 en la fase inicial, 1.05 en la fase media y 1.0 en la fase final, con una altura máxima de cultivo de 0.6 m, 0.3 m a 0.5 m de máxima profundidad de raíz y con 0.2 de la fracción del contenido máximo de agua del suelo que puede ser extraído por la planta sin estrés hídrico (Olalla Mañas, 2005).

Se recomienda regar de acuerdo al estrato del suelo, donde ocurre la actividad más intensa que es donde se agotará primero la lámina de humedad rápidamente aprovechable alcanzándose el déficit permitido de manejo. Para el cultivo del apio, la tensión de humedad del suelo a la cual se debe aplicar agua para obtener rendimientos máximos en suelos profundos, bien drenados, fertilizados y manejados para producción máxima es de 0.2 bar a 0.3 bar (Santo Domingo, 1983).

D. Requerimientos edáficos

Según Maroto Borrego (1991), en cuanto a suelo se refiere, el apio es un cultivo exigente, aunque puede adaptarse a suelos de diferente textura: suelos francos, franco arenosos, franco arcillosos, ricos en materia orgánica, siempre que cuenten con un drenaje adecuado. Aunque Herrera (1988) resalta que para la siembra de este cultivo, se requieren suelos con buenas condiciones de porosidad. No tolera suelos salinos y requiere una buena preparación del terreno para favorecer la salida del exceso de agua ya que es poco tolerante al anegamiento².

En cuanto al pH, para el cultivo del apio se sitúa en el intervalo de 6 a 7.5, con una ligera tolerancia a la acidez (Maroto Borrego, 1988).

² Saturación o exceso de agua en el suelo que provoca inundación.

Estudios realizados a la variedad Tall Utah 52-70R han concluido que con una conductividad eléctrica (CEe) superior a 1.8 d/m a 25 °C se obtienen descensos en la producción relativa en 6.2 % y se ha constatado que la longitud, anchura y grosor en los peciolos disminuyen de forma significativa y correlativa con el incremento de la salinidad y sólo el llenado de las peciolos no se ve afectado (Maroto Borrego, 1988).

E. Requerimientos nutricionales

El fósforo y el nitrógeno son de los elementos más importantes para la producción de apio. El apio responde a las aplicaciones de los macronutrientes (N-P-K) en la proporción 1:2:1 o 1:3:1 en dosis de 400 kg/ha a 500 kg/ha en suelos orgánicos y ligeramente ácidos. Según Maroto Borrego (1991) para un rendimiento mayor a 80 t/ha de apio, las extracciones son de: 200 kg/ha a 250 kg/ha de N; 130 kg/ha a 150 kg/ha de P₂O₅; 400 kg/ha a 500 kg/ha de K₂O; 200 kg/ha a 250 kg/ha de CaO; 30 kg/ha a 70 kg/ha de MgO, como se muestra en el cuadro 5.

Cuadro 5 Valores de absorción por producción, en superficie y residuos de cosecha, reportados para el cultivo del apio.

Absorción por producción comercializada kg/t			Absorción por superficie kg/ha			En residuos de cosecha kg/ha		
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
2,8-4,1	1,4-1,9	5,5-8,5	200-290	100-130	380-600	60-90	25-40	130-170

Fuente: Maroto Borrego, 1991.

F. Plagas y enfermedades

Dentro de las plagas y enfermedades más importantes que afectan al apio, se mencionan y se presentan en el cuadro 6 (Mainard, 1988).

Cuadro 6 Principales plagas y enfermedades en el cultivo del apio según Mainard (1988).

PLAGAS			
Plagas del suelo	Descripción	Plagas del follaje	Descripción
Gallina ciega <i>Phyllophaga sp.</i>	Larvas de color blanco cremoso; cabeza de color café o rojiza, posee patas y mandíbulas fuertes y desarrolladas. Se alimenta de las raíces entre mayo y septiembre.	Tortuguilla <i>Diabrotica spp.</i>	Escarabajo pequeño de color amarillo con bandas transversales verdes, la cabeza es roja; con protórax y abdomen amarillo; su hábito alimenticio es comer las hojas y por medio de esta acción puede transmitir virus al cultivo.
Larvas de dtortuguilla <i>Diabrotica sp.</i>	Larva se desarrolla en el suelo; se alimentan de las raíces, mina el sistema radicular primario y la base del tallo.	Áfidos <i>Aphis sp.</i>	Poseen un aparato bucal chupador y absorben los jugos de las plantas y las debilitan. Las hojas que se ven atacadas presentan una forma de abarquillamiento.
Gusano nochero <i>Agrotis sp.</i>	Larvas de color café con marcas dorsales más pálidas cuando son pequeñas. Tiende a cortar los tallos a nivel del suelo o raspan los tallos, debilitando la planta.	Babosa o ligosas.	Los adultos requieren de una alta humedad relativa para no deshidratarse, por lo que son prolíferas en la época lluviosa. Poseen un sistema bucal bien desarrollado con el que pueden consumir en su totalidad a la planta
ENFERMEDADES			
Enfermedades del suelo	Descripción	Enfermedades del follaje	Descripción
Fusarium <i>Fusarium sp.</i>	La enfermedad se caracteriza por un amarillamiento y marchitamiento gradual del tallo y follaje del apio. La enfermedad se inicia desde la base del tallo y raíz en forma de secamiento que va avanzando de abajo hacia arriba	Tizón Temprano <i>Cercóspora apii.</i>	La enfermedad se manifiesta por el apareamiento de pequeñas manchas circulares de color café amarillento en las hojas más desarrolladas, las manchas se agrandan y más tarde cambian a un color gris cenizo.
Mal del talluelo <i>Phythium sp;</i> <i>Rhizoctonia sp</i>	Enfermedad provocada por los hongos del género <i>Phythium</i> y <i>Rhizoctonia</i> , puede atacar a las plantas del semillero a los pocos días después de germinada la semilla	Tizón tardío <i>Septoria apii</i>	Es la enfermedad más común que afecta al apio. Se manifiesta por manchas amarillas en los tallos y hojas.

Fuente: Mainard, 1988, Maroto Borrego, 1991.

G. Efectos de la densidad de siembra en la producción de los cultivos

A través de esta práctica agrícola pueden incrementarse la producción de biomasa y el rendimiento de los cultivos, debido al aumento en el área foliar, el índice de área foliar y la duración de la misma, ocasionado por el mayor número de hojas por unidad de superficie (Olalde et al., 2000).

Varios autores como Aguilar et al., (2005) citado por Escalante Estrada (2008), Castilla (2001) citado por Cruz Carrillo J. (2003) coinciden que mediante el uso de prácticas agrícolas se provee a los cultivos de las condiciones más favorables para la expresión del mayor rendimiento potencial; dentro de dichas prácticas se destaca el manejo de la densidad de población ya que el tamaño y la duración del aparato fotosintético están relacionados con el rendimiento. Asimismo indica que el mayor crecimiento del dosel vegetal proporciona una mayor intercepción de luz, lo cual incrementa la fotosíntesis y producción de biomasa como resultado de un mayor aprovechamiento de los recursos hídricos y nutrimentales.

Según la densidad de siembra es junto con otras técnicas de cultivo, determinante de la intercepción de radiación solar por el cultivo, a fin de convertir la energía solar en biomasa. Optimizar mediante una intercepción de radiación adecuada, la producción de biomasa es clave para maximizar la producción. (Cruz Carrillo, 2003).

Cruz Carrillo J. (2003) citando a Van de Vooren et al. (1986) explica que a partir de un determinado nivel de densidad de siembra, la producción por planta disminuye y la producción por unidad de superficie crece; un nuevo incremento de densidad permite alcanzar la cosecha máxima, mientras que excesivas densidades disminuyen la misma.

H. Distanciamientos de siembra para el apio

Para el cultivo del apio se recomiendan distintos distanciamientos. En la guía práctica para la exportación a EEUU (2007), se recomienda la siembra con distanciamiento de 30 cm entre hileras y 30 cm con densidades de siembra para una densidad aproximada a 90,000 plantas.ha⁻¹.

El marco de plantación puede ir situada entre 35 cm a 70 cm por 15 cm a 35 cm, equivalente a una densidad inicial de 8 plantas/m², con una densidad promedio de 90,000 plantas/ha a 100,000 plantas/ha. Se planta en doble hilera (El cultivo del apio, 2011).

Para producción de apio generalmente se utilizan hileras individuales o dobles en bandas, pudiendo resultar satisfactorios los distanciamientos de 25 cm por 25 cm con una densidad de 100,000 plantas/ha.

Para la producción de apio se recomienda utilizar una densidad de siembra de 12 plantas/m² que equivale a 120,000 plantas/ha (Rincón Sánchez, 2002).

I. Especificación de calidad para el mercado

El tamaño del apio es determinado por la longitud del tallo el diámetro del tallo y en algunos casos de la longitud de la nervadura. Según Roberto González (DISVE, 2015), se puede determinar en base a su peso unitario. Las especificaciones mínimas de calidad que se requieren en planta se presentan en el cuadro 7.

Cuadro 7 Especificaciones mínimas de calidad requeridas para apio de exportación.

Especificación	Requerimiento mínimo
Altura de planta	40 cm
Diámetro	7.35 cm
Diámetro de peciolo	1.00 cm
Peso por planta	1.00 kg

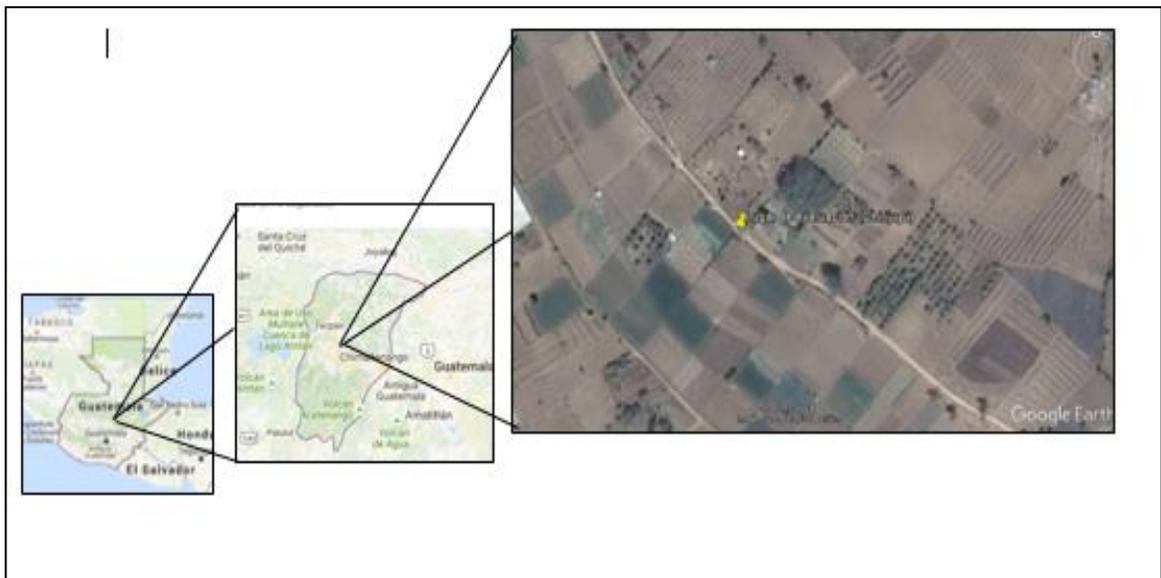
Fuente: González R. DISVE, 2015

Las normas de calidad para el apio incluyen desde luego, las características deseables en cualquier vegetal de su tipo: Tallos bien formados, tallos y hojas frescas con el color verde intenso característico, tallos compactos y que no estén doblados, tallos crujientes, sin daños de insectos, sin daños de enfermedades, sin rajaduras o quebraduras, libres de defectos como corazón negro, peciolos secos o esponjados y sin pudriciones, tallos y hojas limpias, sin residuos de químicos, plantas bien cortadas para que no se desprendan hojas durante la comercialización, sin tallos florales.

2.2 MARCO REFERENCIAL

2.2.1 Localización

La investigación se llevó a cabo en la Aldea Chirijuyú, la cual está localizada a 77 kilómetros de la Ciudad Capital sobre la Carretera Interamericana (CA-1) en las coordenadas 14°41'45.83" latitud Norte y a 90°57'24.58" longitud Oeste, a una altura de 2,197 metros sobre el nivel del mar, en el municipio de Tecpán, Departamento de Chimaltenango, Guatemala. En la figura 1 se muestra el mapa de ubicación de la Aldea Chirijuyú.



Fuente: Google Earth, 2016.

Figura 1. Mapa de ubicación geográfica de la Aldea Chirijuyú, Tecpán Chimaltenango, Guatemala.

2.2.2 Condiciones climáticas

El clima de la región corresponde al tipo “semifrío húmedo”, según Thornwaite (MAGA, 2009), encontrándose en un rango de temperatura media anual entre 14.5 °C a 15.4 °C, con una temperatura promedio anual máxima de 23.2 °C, mínima de 10.7 °C y un rango de precipitación entre 1,135 mm a 1,393 mm anuales; humedad relativa promedio de 81 % y dirección y velocidad del viento: NE (45°) y S (145°) 2.1 km/h respectivamente y la evapotranspiración potencial se estima en 0.35 mm. Los suelos se ubican en una altitud de 2,067 m s.n.m. a 2,192 m s.n.m.

2.2.3 Condiciones del suelo

Los suelos de la unidad se han desarrollado sobre materiales parentales iroclastos no consolidados (tefras, ceniza, pómez) en terrenos con pendientes ligeramente planas (0% a 3 %), ligeramente inclinadas (3 % a 7 %) y moderadamente inclinadas (7 % a 12 %), correspondientes al paisaje altiplano hidro-volcánico y tipo de relieve terraza. Con inclusiones de suelos Andic Haplusteps familia medial, isotérmica que se caracterizan por ser profundos (profundidad efectiva de 150 cm), bien drenados, texturas moderadamente gruesas y fertilidad y fertilidad natural alta, no presentan erosión, pero sí déficit de agua en época seca, son suelos muy productivos (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación MAGA, 2010).

Estos suelos además de su mencionada alta capacidad de fijación de Fósforo, presentan una textura con 9 % de arcilla, 2 % Carbono Orgánico, Relación Carbono: Nitrógeno (C/N) de 9.6, Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) de 23.8 meq/100 g de suelo, 83 % Saturación de Bases (%SB) y 0.2 meq/100 g de suelo de Aluminio extraíble, en el primer horizonte del suelo (II Panel sobre Suelos Volcánicos de América, 1972).

2.2.4 Zona de vida

Se encuentra dentro de la zona de vida denominada Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical (bmh-MB) la cual comprende una faja que se localiza pasando por el municipio de Patzún y el municipio de Tecpán y se separa en Los Encuentros, Sololá, buscando por el lado de Nahualá al volcán Santo Tomás y Zunil hasta Cuxliquel, cuyas especies indicadoras son Encino (*Quercus spp.*), Pino triste (*Pinus pseudostrobus*), Pino de ocote (*Pinus montezumae*), llamo (*Alnus jorullensis*).

2.2.5 Variedad de apio “Triumph”

Apio vigoroso de color verde oscuro, de pencas lisas y muy carnosas. Mantiene su color verde por mucho tiempo. Es muy uniforme en la cosecha. Buena tolerancia a floración prematura. Ideal para mercado fresco que puede alcanzar un peso por planta de 1 kg a 1.2 kg con un ciclo promedio de 90 días a 110 días. Es un apio ideal para el mercado en fresco (Bejo, 2015).

2.2.6 Antecedentes

Existen pocas investigaciones relacionadas con la densidad de siembra empleada para el cultivo del apio. Un estudio realizado por Romero Carrillos (2002) determinó mediante una evaluación de tres densidades y dos arreglos espaciales en producción orgánica hidropónica en apio (*Apium graveolens* L) llevada a cabo en El Salvador, que la densidad de 25 plantas/m² y en arreglo al tres bolillo presentaron el mejor desarrollo en la planta. Esto se debió al mayor distanciamiento entre plantas, lo que favoreció al sistema radicular y en consecuencia se dio un aprovechamiento de agua y nutrientes, comparado en el arreglo de plantas al tres bolillo superó a las plantas de arreglo en cuadro en un 29 % y en cuanto a densidades, la densidad de 25 plantas/m² superó en promedio a la mayor densidad en un 35.15 %, lo cual es significativamente importante. Así también la parte aérea de la planta posiblemente se benefició al tener más espaciado pudiendo realizar eficientemente la fotosíntesis y lográndose una mayor acumulación de materia seca en la macolla (Romero Carrillos, 2002).

En cultivos como el girasol, Vázquez (2003), García (2004) y Canales (2004), citados por Escalante Estrada (2008) al trabajar con densidades de siembra, encontraron que la planta de girasol se modifica al variar la densidad de la población, observando que con poblaciones bajas, las plantas tuvieron los valores más altos en el diámetro del tallo, el diámetro del capítulo, el peso del tallo, el peso del capítulo, y el peso de la semilla; los cuales disminuyeron al aumentar la densidad de siembra. También mencionan que a mayor densidad el rendimiento de semilla por hectárea y la altura de la planta se incrementan. La densidad de plantas de un cultivo puede tener un considerable impacto sobre la producción, ya que afecta el rendimiento biológico (peso seco total) y el rendimiento de la parte cosechable (peso seco de la parte que se cosecha).

En un cultivo como el chile pimiento (*Capsicum annum*), el efecto de la densidad de siembra es un factor importante en la producción. La densidad de plantas.ha⁻¹ y el espaciado de las mismas tienen relación con la incidencia de plagas y enfermedades, así como la eficacia de las aplicaciones de insecticidas y en la cosecha. Dean Batal y Doyle Smittle (1981), compararon 28,125 plantas.ha⁻¹, 41,675 plantas.ha⁻¹ y 62,500 plantas.ha⁻¹ de pimiento. El mayor aumento de rendimiento sucedió cuando se aumentaron las densidades de plantación de 28,125 plantas.ha⁻¹ a 41,675 plantas.ha⁻¹, pero los rendimientos disminuyeron cuando se aumentaron las densidades de 62,500 plantas.ha⁻¹ (Hortalizas.com, 2015).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de tres densidades de siembra en la calidad y rendimiento en el cultivo de apio (*Apium graveolens L.*) en la aldea Chirijuyú, Tecpán, Chimaltenango.

3.2 Objetivos específicos

1. Determinar la densidad de siembra que presente el mayor rendimiento en t/ha en el cultivo del apio (*A. graveolens L.*) en la Aldea Chirijuyú, Tecpán, Chimaltenango.
2. Establecer la densidad de siembra que produzca la mejor calidad (diámetro de planta, altura de planta, diámetro de peciolo, peso por planta) en el cultivo del apio (*A. graveolens L.*) en la Aldea Chirijuyú, Tecpán, Chimaltenango.
3. Realizar un análisis económico para determinar la densidad de siembra que presente la mayor rentabilidad en el cultivo del Apio (*A. graveolens L.*) en la Aldea Chirijuyú, Tecpán, Chimaltenango.

4. HIPÓTESIS

Ho: $T_1=T_2\dots=T_n=0$ Todas las densidades de siembra en el cultivo de apio (*A. graveolens L.*) presentan los mismos rendimientos en t/ha.

Ha: $T_1\neq T_2\dots=T_n\neq 0$ Al menos una de las densidades de siembra en el cultivo del apio (*A. graveolens L.*) presenta un rendimiento diferente en t/ha.

5. METODOLOGÍA

5.1 Material experimental

Para el desarrollo de la evaluación de tres densidades de siembra en el cultivo del apio (*A. graveolens L*) en la aldea Chirijuyú, Tecpán, Chimaltenango se utilizaron 2,100 pilones de apio verde de la variedad Triumph, el cual es el cultivado en la región.

5.2 Factor de estudio

Densidad de siembra en el cultivo del apio (*A. graveolens L*).

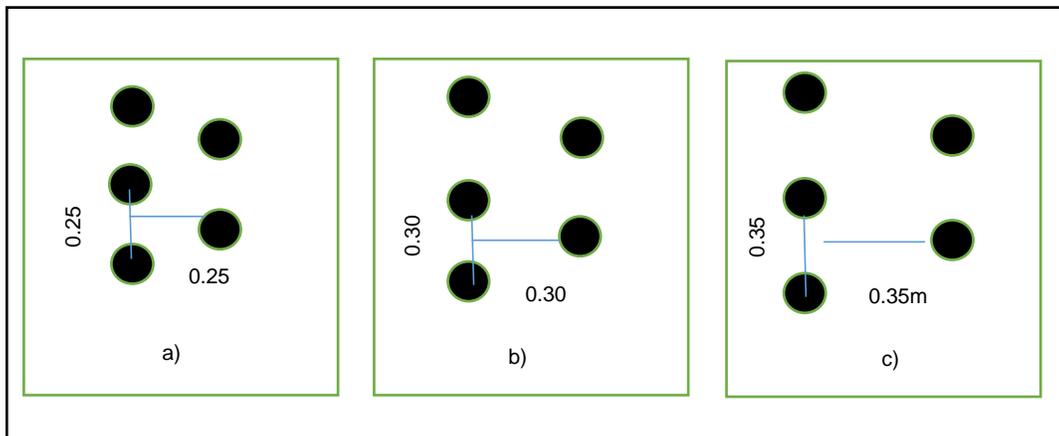
5.3 Tratamientos y repeticiones

Los tratamientos que se evaluaron fueron las siguientes:

- T1 (Testigo): Con distanciamientos de 0.25 m entre plantas, 0.25 m entre hileras y 0.2 m entre tablones, equivalente a una densidad de 113,905 plantas/ha y 11 plantas/m².
- T2: Con distanciamientos de 0.30 m entre plantas, 0.30 m entre hileras y 0.2 m entre tablones, equivalente a una densidad de 94,921 plantas/ha y 9 planta/m².
- T3: Con distanciamientos de 0.35 m entre plantas, 0.35 m entre hileras y 0.2 m entre tablones, equivalente a una densidad de 81,361 plantas/ha y 8 plantas/m².

Se tuvieron siete repeticiones por cada tratamiento, calculado por los grados de libertad del error para un diseño experimental en bloques completos al azar.

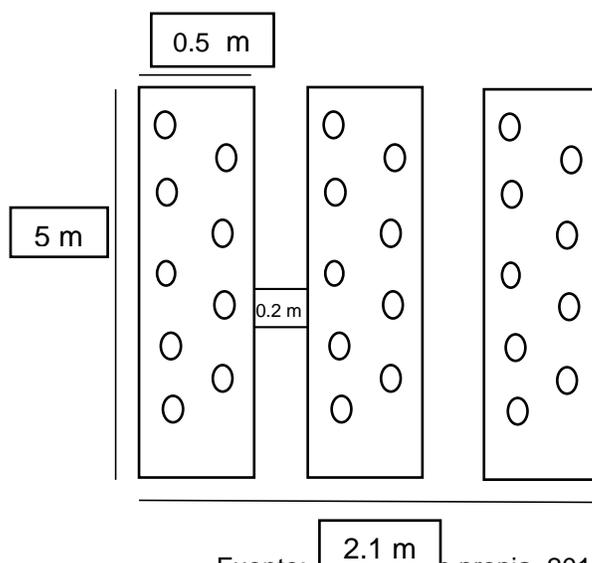
Los tablones tuvieron un ancho de 0.5 m por una longitud de 16.5 m y las calles entre tablones fueron de 0.2 m. En la figura 2 se muestran los distanciamientos entre plantas y surcos de cada tratamiento.



Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 2 Distanciamientos de los tratamientos evaluados en campo a) Tratamiento 1 o testigo; b) Tratamiento 2; c) Tratamiento 3 Aldea Chirijuyú, Tecpán, Guatemala, 2015.

Los tratamientos fueron las densidades de siembra, siendo tres, de acuerdo al diseño experimental se ubicaron en el terreno. Así, cada unidad experimental tuvo un ancho de 2.1 m y un largo de 5 metros, lo que es equivalente a 3 tablones y a un área de 10.5 m^2 , como se muestra en la figura 3.



Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 3 Dimensiones utilizadas para cada unidad experimental en la evaluación de tres densidades de siembra en apio. Aldea Chirijuyú, Tecpán, Guatemala, 2015.

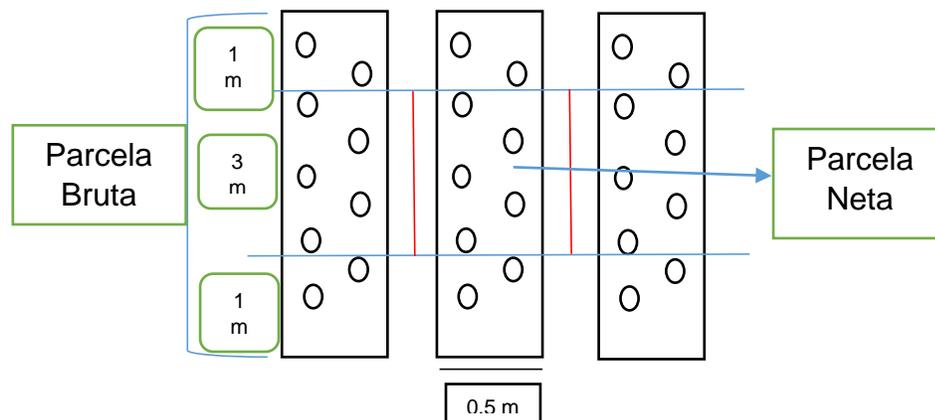
5.4 Diseño experimental

Dado que las condiciones en campo difícilmente son homogéneas, el experimento se realizó basado en un diseño experimental en bloques completos al azar, con tres tratamientos y siete repeticiones, se consideró como unidad experimental a cada repetición. Dentro de cada unidad experimental o parcela bruta, se delimitó un área para reducir el efecto de borde. Al área delimitada fue la parcela neta y las plantas contenidas dentro de la misma fueron considerados los diez apios para la toma de datos.

5.5 Unidad experimental

Cada unidad experimental la constituyó la parcela bruta y la parcela neta, de la cual se obtuvieron los diez apios de cada uno de los tratamientos evaluados.

Cada unidad experimental se conformó de tres tablones, de los cuales el primero y el tercer tablón fueron parte de la parcela bruta además de un metro al inicio y al final de cada tratamiento para evitar el efecto de borde con el tratamiento colindante, dando como resultado una parcela neta, del cual se tomaron los diez apios para las respectivas mediciones de las variables de respuesta. La parcela bruta tuvo un área de 10.5 m^2 y la parcela neta un área de 1.5 m^2 . Las dimensiones se muestran en la figura 4.



Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 4 Segmentación de los tratamientos en Parcela bruta y Parcela neta en la evaluación de densidades de siembra de apio, Aldea Chirijuyú, Tecpán Chimaltenango, 2,015

5.6 Ubicación de las unidades experimentales

Mediante la función Random (Ran#) en la calculadora, se realizó la aleatorización de las siete repeticiones y los tres tratamientos a evaluar, dando como resultado un total de veintidós unidades experimentales, como se muestra en el cuadro 8.

Cuadro 8 Aleatorización de los tratamientos y repeticiones bajo el diseño experimental en bloques completos al azar para la evaluación de tres densidades de siembra en apio, Aldea Chirijuyú, Tecpán Chimaltenango, 2,015

VII	T3R7	T1R7	T2R7
II	T2R2	T3R2	T1R2
IV	T1R4	T3R4	T2R4
I	T1R1	T3R1	T2R1
V	T2R5	T1R5	T3R5
III	T1R3	T2R3	T3R3
VI	T1R6	T3R6	T2R6

Fuente: elaboración propia, 2015.

T: #Tratamiento; R: #Repetición

5.7 Variables de respuesta

Las variables cuantitativas se midieron siguiendo los siguientes pasos:

Se cosecharon los apios a una edad de 110 días, mediante un único corte, de esta manera se eliminó la parte radicular de la planta, con un cuchillo, tratando de no dañar los peciolo y con la ayuda de un recipiente con agua, se lavó cada planta cosechada para eliminar restos de suelo. Se colocaron las plantas lavadas en cajas plásticas para su transporte a un centro de acopio para luego numerar con una etiqueta individual, en el cual se colocaron los datos siguientes: número de planta, tratamiento y repetición correspondiente. El número total de plantas medidas por tratamiento fue de setenta, tomando en cuenta las siete repeticiones de cada tratamiento, por lo que se midieron un total de 210 plantas, todas seleccionadas al azar dentro de la parcela neta.

Las mediciones de las variables de respuesta se realizaron en el orden siguiente:

5.7.1 Altura de planta:

Esta variable se midió en cm con una cinta métrica, realizándolo desde el cuello de la planta hasta la parte más alta de la misma. En la figura 6 se muestra cómo se midió la altura de planta.



Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 5 Fotografía de la forma de medición de la variable de respuesta altura de apio

5.7.2 Diámetro de peciolo:

Esta variable se midió en cm con un vernier a diez peciolo por planta. La medición se realizó a dos pulgadas del cuello de la planta. En la figura 7 se muestra la forma de medición del diámetro de peciolo.

Fuente: Autor, 2015.

5.7.3 Número de peciolo:

Se contó el número de peciolo de cada una de las diez plantas.

5.7.4 Diámetro:

Esta variable se midió en cm con un vernier, realizándolo a dos pulgadas del cuello de la planta. En la figura 8 se muestra la forma de medición del diámetro de planta.



Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 6 Fotografía de la forma de medición de la variable de respuesta .
diámetro de planta

5.7.5 Peso por planta:

Esta variable se midió en kg por planta con una balanza digital, luego de verificarse que no tuviese restos de suelo o de otro material orgánico. En la figura 9 se muestra la forma de medición del diámetro de planta.



Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 7 Forma de medición de la variable de respuesta peso de planta

5.7.6 Rendimiento:

Esta variable se determinó en t/ha, luego de calcular el peso de las plantas por medio de una balanza digital. Esta medición se realizó al momento de la cosecha, tomando en cuenta las densidades de siembra evaluadas.

La medición de las variables de respuesta descritas, se colectaron y se anotaron en forma ordenada en una boleta, el día de la cosecha del producto

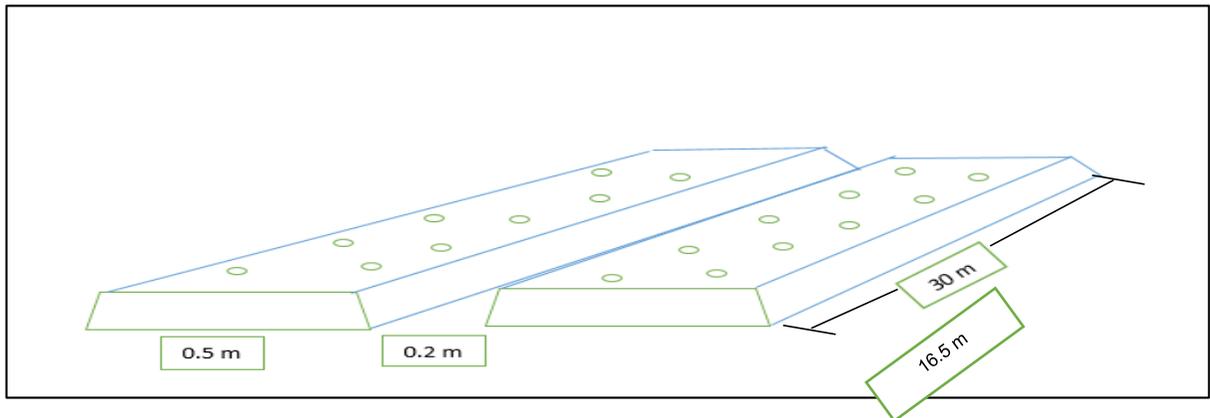
5.8 Manejo del experimento

5.8.1 Preparación del terreno

La preparación del terreno para llevar a cabo el experimento se realizó de forma manual, utilizando aperos de labranza como azadón.

5.8.2 Elaboración de tablonces

Se elaboraron un total de veintiún tablonces de 0.5 m de ancho por 16.5 m de largo y con un distanciamiento de 0.2 m entre tablonces como se muestra en la figura 5, en los que fueron distribuidas las tres densidades de siembra evaluadas.



Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 8 Dimensiones de los tablonces utilizados para la evaluación de densidades de siembra, Aldea Chirijuyú, Tecpán Chimaltenango, 2,015

5.8.3 Desinfección del suelo

Se realizó la desinfección del suelo, para ello se utilizó como elemento activo Forato y como producto comercial Thimet ® con una dosis de 1gl/cuerda de 33x33 m.

5.8.4 Trasplante

Se realizó el trasplante de los pilones de apio variedad “Triumph” con una edad de 70 días, los que fueron plantados en función de los distanciamientos correspondientes a cada densidad de siembra evaluada.

5.8.5 Riego

El riego se realizó por mini aspersión los primeros quince días para garantizar el prendimiento de los pilones. Posteriormente, el riego se realizó utilizando sistema de riego por goteo durante dos horas por día, tres veces por semana.

5.8.6 Fertilizaciones

Previo al establecimiento de las dosis de fertilizantes que se aplicaron durante el ciclo del cultivo, se realizó análisis químico de suelo del área experimental en el laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, como se muestra en el cuadro 9.

Cuadro 9 Análisis Químico de suelos del área experimental, Aldea Chirijuyú, Tecpán, Chimaltenango.

Identificación	pH	%	meq/100 g			Ppm				
		M.O	Ca	Mg	K	P	Cu	Zn	Fe	Mn
Muestra única	5.4	2.99	8.48	2.47	1.41	101	1.5	11.0	22.5	17.00

Fuente: Laboratorio de Suelos, Plantas y Aguas de la Facultad de Agronomía, USAC, 2015.

Basado en tales resultados, se observa que hay presencia de un alto grado de suficiencia de nutrientes, por lo que la fertilización se fundamentó únicamente en la aplicación de

nitrógeno y, basados en las extracciones para un rendimiento medio de 80 t/ha que reporta Maroto Borrego (1991) que van de 200 kg.ha⁻¹ a 250 kg/ha de nitrógeno, se aplicó 224.48 kg/ha de Nitrógeno equivalente a 488 kg de UREA, habiéndose efectuado cuatro aplicaciones, siendo en cada una se aplicó en 25 % del Nitrógeno utilizado durante el ciclo del cultivo. En el cuadro 10 se muestran las dosis aplicadas y los días después de la siembra en las cuales fueron aplicadas.

Cuadro 10 Época de aplicación, fuente de nutrientes y cantidad aplicada al cultivo del apio Aldea Chirijuyú, Tecpán Chimaltenango, 2,015

DDT	Fertilizante	Formulación N-P-K	kg de Nitrógeno	Dosis UREA kg/ha	g/planta (eq. a 113,905 plantas/ha)	g/planta (eq. a 94,921, plantas/ha)	g/planta (eq. a 81,361, plantas/ha)
25	UREA	46-00-00	56.12	122	1.1	1.3	1.5
50	UREA	46-00-00	56.12	122	1.1	1.3	1.5
75	UREA	46-00-00	56.12	122	1.1	1.3	1.5
100	UREA	46-00-00	56.12	122	1.1	1.3	1.5

Fuente: elaboración propia, 2015.

DDT: Días Después del Trasplante.

Las fertilizaciones se realizaron por área, realizando una banda entre las dos hileras de apio, por medio de un rayador, con el cuidado de no dañar los peciolos de los apios y se aplicó por medio de un medidor para aplicar la cantidad exacta. (Ver Anexo 2, figura 17).

En cuanto a las características físicas del suelo, según el análisis físico, este presenta una clase textural franco arcillo arenoso, con un porcentaje de 23.27 %, 22.72 % y 54.01 % para arcilla, limo y arena respectivamente. Los valores presentados para la muestra de suelos realizada resaltan la elevada cantidad en sus valores para los macronutrientes y micronutrientes.

5.8.7 Control fitosanitario

Con el fin de prevenir enfermedades y plagas se hicieron aspersiones con fungicidas e insecticidas. En el cuadro 11 se muestran los pesticidas utilizados, ingrediente activo, nombre comercial y cantidad aplicada por bomba de 16 l.

Cuadro 11 Pesticidas, ingrediente activo, nombre comercial y cantidad por bomba de 16 litros aplicados al cultivo del apio, Aldea Chirijuyú, Tecpán Chimaltenango, 2,015

DDT	Tipo de Pesticida	Ingrediente Activo	Nombre comercial	Cantidad aplicada por bomba de 16 l
10	Fungicida	Clorotalonil	Bravo	75 cc
20	Fungicida	Mancozeb	Mancozeb	50 g
	Insecticida	Cipermetrina	Tambo	10 cc
30	Fungicida	Azufre	Azufre	50 g
	Insecticida	Endosulfan	Endosulfan	20 cc
40	Fungicida	Clorotalonil	Bravo	75 cc
	Insecticida	Cipermetrina	Tambo	20 cc
50	Fungicida	Tebuconazole	Silvacur	50 cc
	Insecticida	Benzoato de emamectina	Proclaim	40 g
60	Fungicida	Mancozeb	Mancozeb	50 g
	Insecticida	Endosulfan	Endosulfan	20 cc
70	Fungicida	Azufre	Azufre	50 g
80	Fungicida	Clorotalonil	Bravo	75 cc
	Insecticida	Benzoato de emamectina	Proclaim	40 g
90	Fungicida	Azufre	Azufre	50 g
100	Fungicida	Mancozeb	Mancozeb	50 g
105	Insecticida	Cipermetrina	Tambo	20 cc

Fuente: elaboración propia, 2015.

DDT: Días Después del Trasplante

5.8.8 Control de malezas

El control de malezas se realizó en forma manual cada quince días. Las malezas que con mayor frecuencia se observaron fueron: *Raphanus raphanistrum* L, *Oxalis corniculata* y *Stachys agraria* L.

5.8.9 Cosecha

La cosecha se realizó a los 110 días después del trasplante. Después de la cosecha se realizaron las mediciones de las variables respuesta para cada unidad experimental.

5.9 Análisis de la información

Para evaluar el efecto de cada uno de las densidades de siembra se realizó de forma individual análisis de varianza de los datos obtenidos de la parcela neta, en función al diseño experimental que para este caso fue en bloques completos al azar, en los que respecta a las variables de respuesta como el diámetro, altura y peso por planta así como el rendimiento que presentó cada tratamiento.

5.9.1 Modelo estadístico

$$Y_{ij} = U + T_i + \beta_j + E_{ij}$$

Donde la variable de respuesta (Y_{ij}) depende de

- La media general del rendimiento en t.ha⁻¹ de apio (U)
- Del efecto del i-ésima densidad de siembra en apio (T_i)
- Del efecto del j-ésimo bloque o repetición.
- Y del error experimental asociado a la i-j-ésima unidad experimental (E_{ij}) (Sitún M. 2007).

5.9.2 Prueba de medias de Tukey

Se realizó la prueba de Tukey, a un nivel de significancia de 0.05 a las variables de respuesta: altura de planta, diámetro de planta, diámetro de peciolo, peso por planta y rendimiento.

5.9.3 Análisis económico

Se calcularon los respectivos costos de producción e ingreso. Luego, se realizó un análisis económico para cada tratamiento evaluado, analizando la rentabilidad y la relación beneficio-costo correspondiente.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Altura de planta

La mayor altura de planta se observó en la densidad de siembra de 113,905 plantas.ha⁻¹, la cual fue de 67.45 cm. Le siguió en orden descendiente la densidad de siembra de 94,921 plantas.ha⁻¹, con una altura de 59.15 cm. La menor altura de planta se observó en la densidad de siembra de 81,361 plantas.ha⁻¹, la cual fue 54.24 cm. La diferencia en altura entre la densidad de siembra que presentó la mayor altura y la que mostró la menor altura fue de 13.21 cm. equivalente a 19.58 % entre la mayor y la menor respuesta. En el cuadro 12 se muestran las medias de la variable de respuesta altura de planta expresadas en cm para cada densidad de siembra y repetición, en el cuadro 13 se muestra el análisis de varianza para la altura de planta.

Cuadro 12 Medias de la variable de respuesta altura de apio, Aldea Chirijuyú. Tecpán Chimaltenango.

Tratamiento (Yi.)	Repetición o Bloque (Y.j)						
	1	2	3	4	5	6	7
113,905 plantas.ha ⁻¹	65.12	63.64	69.33	68.92	71.80	63.16	70.20
94,921 plantas.ha ⁻¹	60.96	56.86	60.43	58.44	59.09	58.59	59.67
84,361 plantas.ha ⁻¹	54.68	54.29	56.21	54.04	55.36	52.10	53.02

Cuadro 13 Análisis de varianza para la variable de respuesta altura de apio, Aldea Chirijuyú, Tecpán Chimaltenango

F.V. ³	G.L. ⁴	S.C. ⁵	C.M. ⁶	F. Calculada	F. Tabulada (0.1)
Bloques	6	48.502	8.083		
Tratamientos	2	624.198	312.099	83.788	2.81 *
Error	12	44.698	3.724		
Total	20	717.400			

Como se observa en el cuadro 13, en el análisis de varianza para un diseño en bloques al azar, con un nivel de significancia del 10 % y con un coeficiente de variación del 11.09 % se obtuvo una *f* calculada mayor a la *f* tabulada, por lo tanto, existe diferencia estadística

³ Fuentes de Variación

⁴ Grados de Libertad

⁵ Suma de Cuadrados

⁶ Cuadrado Medio

significativa entre los tratamientos en relación a la altura de planta, lo cual responde a que al menos una de las densidades de siembra evaluadas produce un efecto diferente respecto a las otras en la altura de plantas de apio.

En el cuadro 14 se muestran los resultados de la prueba de Tukey.

Cuadro 14 Prueba de medias de Tukey para la variable de respuesta altura de planta de apio, Aldea Chirijuyú, Tecpán Chimaltenango

Medias (cm.planta)	Literales		
67.452	a		
59.151		b	
54.242			c

Mediante la aplicación de prueba de medias de Tukey, con un nivel de significancia de 5%, observó que para la variable respuesta altura de planta, la mayor altura se observó en la densidad de siembra de 113,905 plantas.ha⁻¹ y la menor altura en la densidad de siembra de 81,361 plantas.ha⁻¹.

Los resultados son similares a los observado por Jiménez y Carrillo (2001), al determinar que a mayor densidad de siembra en el cultivo del apio, se obtiene una mayor altura de planta, en donde la mayor altura de planta se debió a la competencia de la planta por alcanzar mayor energía lumínica, siendo que a mayor densidad se tendrá una mayor competencia por el factor luz y por ende, la elongación de las células se reflejan en una mayor altura de planta; Por el contrario, a una menor densidad de siembra, la necesidad por la exposición a la energía lumínica se reduce, y por ende, la plantas no tienen la misma necesidad de competir entre ellas.

En la figura 9, se muestra la altura de planta para las densidades de siembra evaluadas, para las condiciones específicas de la aldea Chirijuyú, Tecpán, Chimaltenango, Guatemala.

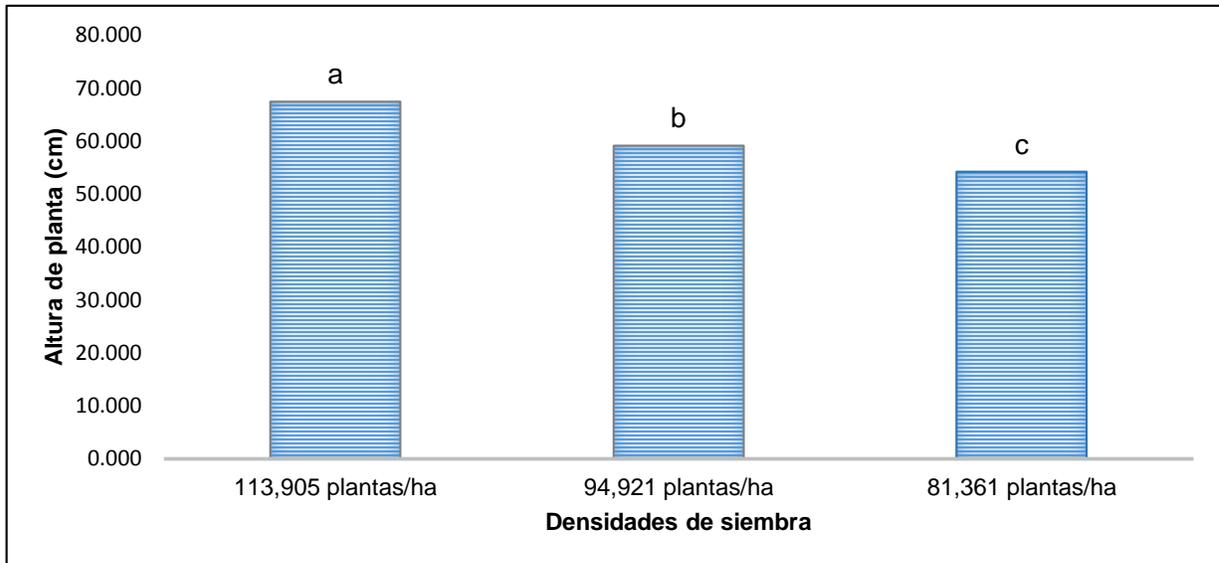


Figura 9 Altura de plantas de apio en respuesta a la densidad de siembra. Aldea Chirijuyú, Tecpán, Chimaltenango

6.2 Diámetro de planta

El mayor diámetro de planta se observó en la densidad de siembra de 81,361 plantas.ha⁻¹ la cual fue de 13.77 cm. Le siguió en orden descendente la densidad de siembra de 94,921 plantas.ha⁻¹, con una diámetro de 10.65 cm. El menor diámetro de planta se observó en la densidad de siembra de 113,905 plantas.ha⁻¹, el cual fue 9.90 cm. La diferencia en diámetro de planta entre la densidad de siembra que presentó la mayor diámetro y la que mostró el menor diámetro fue de 13.21 cm que equivale a un 28.10 % entre la mayor y la menor respuesta.

En el cuadro 15 se muestran las medias de la variable de respuesta diámetro de apio expresados en cm, en el cuadro 16 se muestra en análisis de varianza para el diámetro de planta.

Cuadro 15 Medias de la variable de respuesta diámetro de apio, Aldea Chirijuyú. Tecpán Chimaltenango

Tratamiento (Yi.)	Repetición o Bloque (Y.j)						
	1	2	3	4	5	6	7
113,905 plantas.ha ⁻¹	9.659	8.625	9.114	9.901	10.164	11.888	9.971
94,921 plantas.ha ⁻¹	10.008	9.712	10.562	10.824	10.310	12.296	10.864
81,361 plantas.ha ⁻¹	13.610	14.431	13.205	13.539	13.054	14.427	14.191

Cuadro 16 Análisis de varianza para la variable de respuesta diámetro de planta de apio, Aldea Chirijuyú, Tecpán Chimaltenango

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F. Calculada	F. Tabulada (0.01)
Bloques	6	8.372	1.395		
Tratamientos	2	59.173	29.586	86.270	2.81 *
Error	12	4.115	0.343		
Total	20	71.661			

Como se observa en el cuadro 16, el análisis de varianza aplicado para el diseño experimental en bloques completos al azar, con un nivel de significancia del 10 % y un coeficiente de variación de 17.72 % se obtuvo una f calculada mayor a la f tabulada, por lo tanto, existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos en relación al diámetro de planta, lo cual corresponde a que al menos una de las densidades de siembra evaluadas produce un efecto diferente respecto a las otras en el diámetro de plantas de apio.

En el cuadro 17 se muestran los resultados de la prueba de Tukey.

Cuadro 17 Prueba de Tukey para la variable de respuesta diámetro de planta de apio, Aldea Chirijuyú, Tecpán Chimaltenango.

Medias (cm.planta)	Literales		
13.779	a		
10.653		b	
9.903		b	c

En el cuadro 17 se presenta la prueba de medias de Tukey a un nivel de significancia del 5% en la evaluación de la variable diámetro de planta, se concluye que no se tienen diferencias estadísticas significativas en el diámetro de planta en las densidades de 113,905 plantas.ha⁻¹ y 94,921 plantas.ha⁻¹. Sin embargo, la densidad de siembra de 81,361 plantas.ha⁻¹ presentó la mejor respuesta en la variable diámetro de planta, con una media de 13.77 cm. La prueba de Tukey muestra que para la variable de respuesta de diámetro de planta existe diferencia estadística significativa entre las densidades de siembra de 81,361 plantas.ha⁻¹ y las otras densidades de siembra. En la figura 10 se muestra el diámetro de planta para las densidades de siembra evaluadas

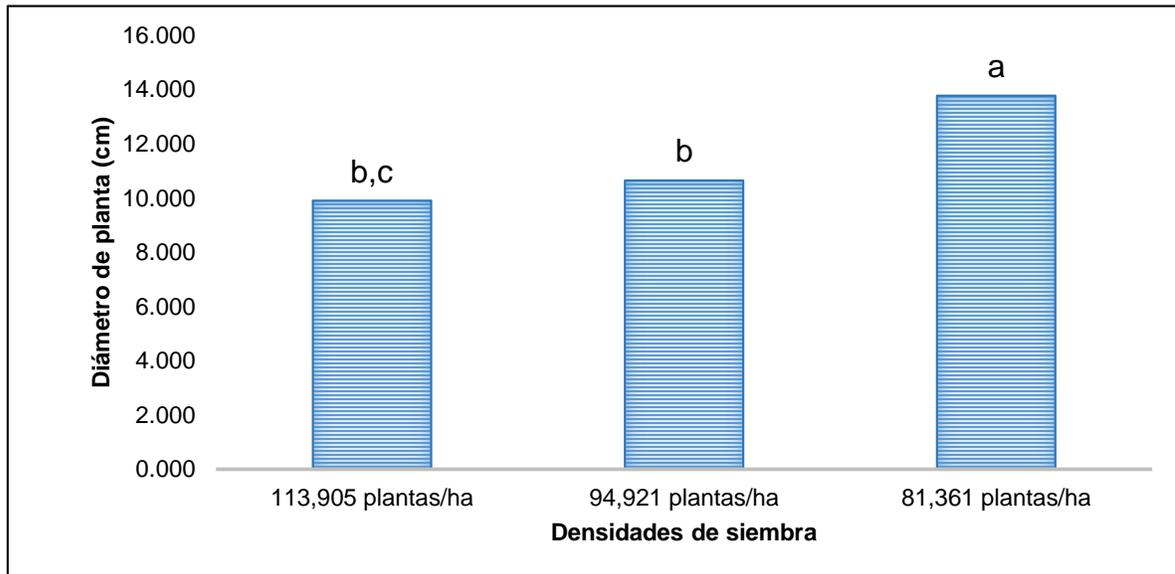


Figura 10 Diámetro de planta de apio en respuesta a la densidad de siembra. Aldea Chirijuyú, Tecpán, Chimaltenango

El mayor diámetro observado en la densidad de siembra de 81,361 plantas.ha¹ es debido a que, en esta densidad de siembra, existió una menor competencia entre plantas por agua, aire, luz y nutrientes, además de tener un mayor espacio para desarrollarse. El menor diámetro fue observado en la mayor densidad de siembra correspondiente a 113,905 plantas.ha⁻¹ lo cual puede ser el resultado de una mayor competencia entre plantas al contar con un menor espacio, menor disponibilidad de agua, luz, aireación y nutrientes, dando como resultado la expresión de un menor diámetro de planta. Además, se aprecia que el crecimiento en la densidad de siembra de 81,361 plantas.ha¹ fue concentrado en el crecimiento en diámetro de planta y no en la altura de la misma, dada una mayor cantidad de luz y menor sombra entre plantas, lo que evitó la elongación en las células en busca de una mayor cantidad de energía lumínica. Los resultados encontrados reafirman lo reportado por Sánchez (1997) citados por Carrillo J, Jiménez F. (2003) quien en un experimento realizado en tomate observó que la variable diámetro del tallo resultó inversamente proporcional a la densidad poblacional, lo cual indica que la densidad tiene efectos sobre el diámetro del tallo al haber menor penetración de luz provoca una elongación celular en el tallo.

La tendencia en el aumento o disminución de la variable de respuesta diámetro de apio sucedió para las condiciones específicas de la Aldea Chirijuyú, Tecpán, Chimaltenango, Guatemala.

6.3 Diámetro de peciolo

El mayor diámetro de peciolo se observó en la densidad de siembra de 81,361 plantas.ha⁻¹ hectárea, el cual fue de 2.11 cm. Le siguió en orden descendente la densidad de siembra de 94,921 plantas.ha⁻¹, con un diámetro de 1.749 cm. El menor diámetro de peciolo se observó en la densidad de siembra de 113,905 plantas.ha⁻¹, la cual fue 1.415 cm. La diferencia en diámetro de peciolo entre la densidad de siembra que presentó el mayor diámetro de peciolo y la que mostró el menor diámetro de peciolo fue de 0.7 cm que equivale a un 33.17 % entre la mayor y la menor respuesta. En el cuadro 18 se muestra las medias de la variable de respuesta diámetro de peciolo de apio, expresados en cm, en el cuadro 19 en análisis de varianza para el diámetro de peciolo.

Cuadro 18 Medias de la variable de respuesta diámetro de peciolo apio, Aldea Chirijuyú, Tecpán Chimaltenango

Tratamiento (Yi.)	Repetición o Bloque (Y.j)						
	1	2	3	4	5	6	7
113,905 plantas.ha ⁻¹	1.435	1.376	1.43	1.422	1.377	1.448	1.422
94,921 plantas.ha ⁻¹	1.671	1.757	1.717	1.855	1.717	1.799	1.732
81,361 plantas.ha ⁻¹	1.99	2.31	2.13	2.07	2.06	2.067	2.171

Cuadro 19 Análisis de varianza para la variable de respuesta diámetro de peciolo de planta de apio, Aldea Chirijuyú, Tecpán Chimaltenango.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F. calculada	F. Tabulada (0.1)
Bloques	6	0.028	0.004		
Tratamientos	2	1.712	0.856	160.958	2.81 *
Error	12	0.063	0.005		
Total	20	1.804			

Como se observa en el cuadro 19 el análisis de varianza aplicado para el diseño experimental en bloques completos al azar, con un nivel de significancia del 10 % y un coeficiente de variación de 14.35 % se obtuvo una *f* calculada mayor a la *f* tabulada, por lo tanto, existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos en relación al diámetro de peciolo, lo cual corresponde a que al menos una de las densidades de siembra evaluadas produce un efecto diferente respecto a las otras en el diámetro de peciolo en el cultivo de apio.

En el cuadro 20 se muestran los resultados de la prueba de Tukey.

Cuadro 20 Prueba de medias de Tukey para la variable de respuesta diámetro de peciolo por planta de apio, Aldea Chirijuyú, Tecpán Chimaltenango.

Medias (cm.peciolo)	Literales		
2.115	a		
1.749		b	
1.415			c

En el cuadro 20 se presenta la prueba de medias de Tukey a un nivel de significancia del 5 % en la evaluación de la variable diámetro de peciolo, en la cual se concluye que la densidad de siembra de 81,361 plantas.ha⁻¹ presentó la mejor respuesta en la variable diámetro de planta, con una media de 2.11 cm y la menor respuesta se observó en la densidad de siembra de 113,905 plantas.ha⁻¹. En la figura 11, se muestra el diámetro de peciolo para las densidades de siembra evaluadas.

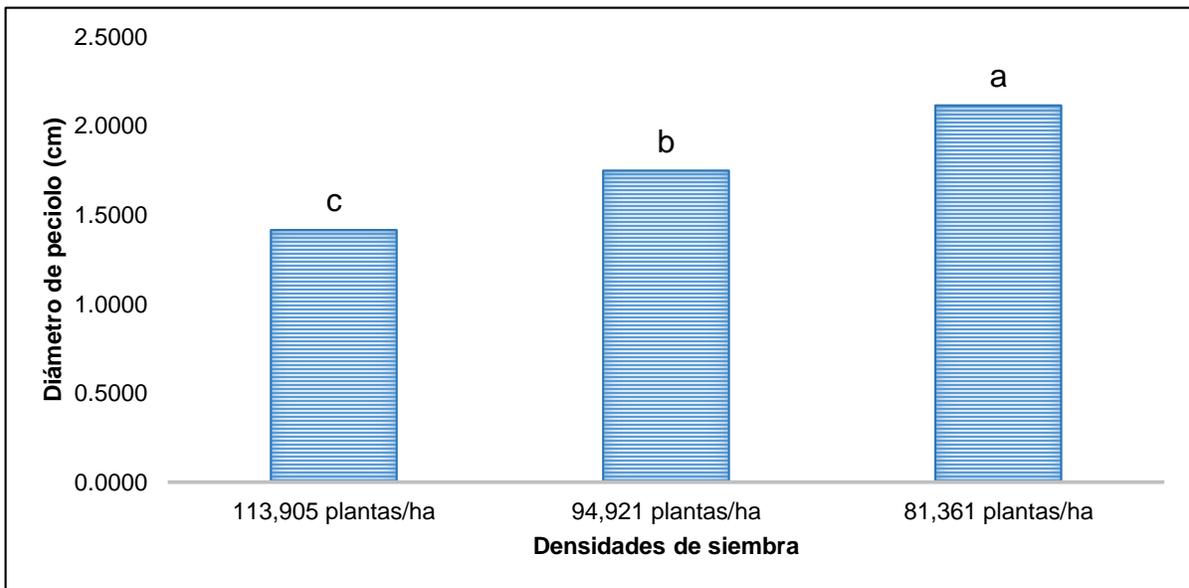


Figura 11 Diámetro de peciolo de apio en respuesta a la densidad de siembra. Aldea Chirijuyú, Tecpán, Chimaltenango

Lo anterior coincide con lo mencionado por Stofella (1988) citado por Maroto B (1991) en el cual resalta que a mayor densidad de plantación hay un incremento en los rendimientos globales, pero con una disminución en el peso unitario de las piezas, que además proporcionan peciols más estrechos y mucho menos comerciales. CLUSA (2001) citado por Carrillo Romero (2002) manifiesta que cuando existe una gran competencia entre el desarrollo de peciols y planta se reduce en forma diamétrica. Los mejores diámetros de planta y peciols se obtienen con 35 cm entre hileras y planta pero con baja altura de planta y a mayores densidades se obtienen alturas mayores y diámetros menores. Esto para las condiciones específicas de la Aldea Chirijuyú, Tecpán, Chimaltenango, Guatemala.

6.4 Número de peciols por planta

El mayor número de peciols por planta se observó en la densidad de siembra de 81,361 plantas.ha⁻¹ hectárea, el cual fue de 12.87 peciols. Le siguió en orden descendente la densidad de siembra de 94,921 plantas.ha⁻¹, con 12.81 peciols por planta. El menor número de peciols por planta se observó en la densidad de siembra de 113,905 plantas.ha⁻¹, el cual fue 12.64 peciols. La diferencia en número de peciols entre la densidad de siembra que presentó el mayor valor y la que mostró el menor valor fue de 0.23 peciols por planta lo que equivale a un 1.78 % entre la mayor y la menor respuesta. En el Cuadro 21 se muestra en análisis de varianza para el número de peciols por planta.

Cuadro 21 Análisis de varianza para la variable de respuesta número de peciols de planta de apio, Aldea Chirijuyú, Tecpán Chimaltenango

En el cuadro anterior, se demuestra que no existe diferencia estadística significativa entre

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F. calculada	F. Tabulada (0.1)
Bloques	6	0.904	0.150		
Tratamientos	2	0.198	0.099	2.501	2.81 ^{N.S.}
Error	12	0.475	0.039		
Total	20	1.578			

las densidades de siembra en relación al número de peciols por planta. En la figura 12, se muestra gráficamente el resultado obtenido en el número de peciols por planta para las densidades de siembra evaluadas.

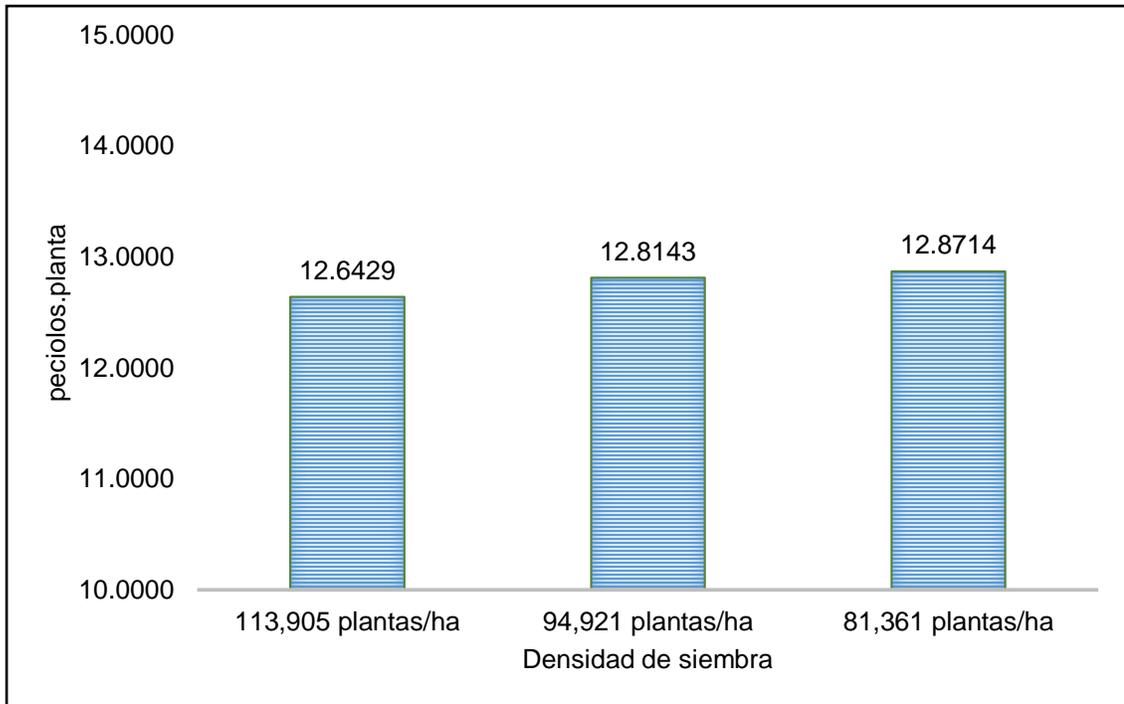


Figura 12 Número de peciosos por planta de apio en respuesta a la densidad de siembra. Aldea Chirijuyú, Tecpán, Chimaltenango

6.5 Peso por planta

El mayor valor del peso por planta se observó en la densidad de siembra de 81,361 plantas. ha^{-1} , el cual fue de 1.489 kg. Le siguió en orden descendente la densidad de siembra de 94,921 plantas. ha^{-1} , con un peso de 1.365 kg. El menor peso de planta se observó en la densidad de siembra de 113,905 plantas. ha^{-1} , la cual fue 1.051 kg. La diferencia en peso entre la densidad de siembra que presentó el mayor peso y la que mostró el menor peso es de 0.438 kg equivalente a 29.41 % entre la mayor y la menor respuesta.

En el cuadro 22 se muestra las medias para la variable de respuesta peso por planta expresados en kg, en el cuadro 23 se muestra el análisis de varianza para la variable de respuesta peso por planta y en el cuadro 24 se muestran los resultados de la prueba de Tukey. En la figura 10 se muestra el peso por planta para las densidades de siembra evaluadas.

Cuadro 22 Medias de la variable de respuesta por planta de apio expresados en kg, Aldea Chirijuyú. Tecpán Chimaltenango

Tratamiento (Yi.)	Repetición o Bloque (Y.j)						
	1	2	3	4	5	6	7
113,905 plantas.ha ⁻¹	0.905	1.112	1.063	1.005	1.063	1.090	1.120
94,921 plantas.ha ⁻¹	1.3603	1.328	1.3353	1.3332	1.4856	1.3548	1.3575
81,361 plantas.ha ⁻¹	1.4177	1.566	1.4505	1.4041	1.5405	1.4192	1.6256

Cuadro 23 Análisis de varianza para la variable de respuesta peso por planta de apio, Aldea Chirijuyú, Tecpán Chimaltenango.

FV	G.L.	SC	CM	F. calculada	F. Tabulada (0.1)
Bloques	6	0.054	0.009		
Tratamientos	2	0.713	0.356	99.597	2.81 *
Error	12	0.043	0.003		
Total	20	0.811			

Como se muestra en el cuadro 23, en el análisis de varianza para el diseño de bloques completos al azar evaluando la variable de respuesta peso por planta, con un nivel de significancia del 10 % y un coeficiente de variación de 15.92 % se obtuvo un f calculada mayor a la f tabulada, por lo tanto, existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos en relación al peso por planta, lo cual corresponde a que al menos una de las densidades de siembra evaluadas produce un efecto diferente respecto a las otras en el peso por planta de planta de apio.

Cuadro 24 Prueba de medias de Tukey para la variable de respuesta peso de planta de apio, Aldea Chirijuyú, Tecpán Chimaltenango.

Medias (kg.planta)	Literales		
1.489	a		
1.365		b	
1.051			c

En el cuadro 24 mediante la aplicación de la prueba de medias de Tukey a un nivel de significancia del 5 %, en la evaluación de la variable respuesta peso de planta en tres densidades de siembra se determinó que la mejor respuesta para dicha variable se presenta en la densidad de siembra correspondiente a 81,361 plantas.ha⁻¹ con una media de 1.489 kg de peso por planta. La tendencia del peso por planta en esta evaluación aumentó a menor densidad de plantas para las condiciones específicas de la Aldea Chirijuyú, Tecpán Guatemala, como se aprecia en la figura 13.

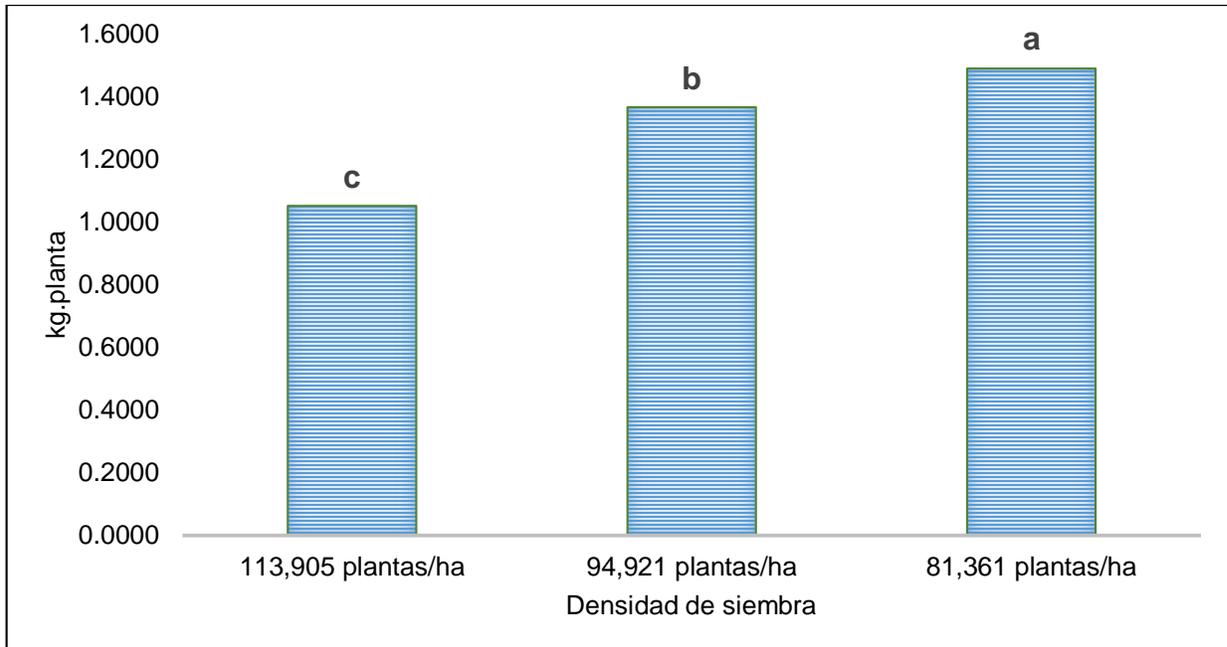


Figura 13 Peso por planta de apio en respuesta a la densidad de siembra. Aldea Chirijuyú, Tecpán, Chimaltenango

6.6 Rendimiento

El mayor rendimiento por hectárea se observó en la densidad de siembra de 94,921 plantas .ha⁻¹ la cual fue de 129.56 t.ha⁻¹. Le siguió en orden descendente la densidad de siembra de 81,361 plantas.ha⁻¹, con una rendimiento de 121.15 t.ha⁻¹. El menor rendimiento se observó en la densidad de siembra de 113,905 plantas.ha⁻¹, la cual fue 119.72 t.ha⁻¹. La diferencia en rendimientos entre la densidad de siembra que presentó el mayor valor y la densidad que mostró el menor valor en términos de rendimientos es de 7.50 % entre la mayor y la menor respuesta.

En el cuadro 25 se muestran las medias de la variable de respuesta rendimiento expresados en t/ha, en el cuadro 26 se muestra el análisis de varianza para la variable de respuesta rendimiento..

Cuadro 25 Medias de la variable de respuesta rendimiento expresadas en t.ha⁻¹, Aldea Chirijuyú. Tecpán Chimaltenango

Tratamiento (Yi.)	Repetición o Bloque (Y.j)						
	1	2	3	4	5	6	7
113,905 plantas.ha ⁻¹	103.03	126.70	121.12	114.47	121.10	124.10	127.53
94,921 plantas.ha ⁻¹	129.12	126.08	126.75	126.55	141.02	128.60	128.86
81,361 plantas.ha ⁻¹	115.35	127.45	118.01	114.24	125.33	115.47	132.26

Cuadro 26 Análisis de varianza para la variable de respuesta rendimiento de planta de apio, Aldea Chirijuyú, Tecpán Chimaltenango

FV	G.L.	SC	CM	F. calculada	F. Tabulada (0.1)
Bloques	6	499.865	83.310		
Tratamientos	2	395.995	197.997	5.864	2.81 *
Error	12	405.141	33.761		
Total	20	1301.001			

Como se observa en cuadro 26 por medio del análisis de varianza aplicado para el diseño experimental en bloques completos al azar con un nivel de significancia del 10 % y un coeficiente de variación de 16.30 % se obtuvo una *f* calculada mayor a la *f* tabulada, por lo tanto, existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos en relación al rendimiento por hectárea, lo cual corresponde a que al menos una de las densidades de siembra evaluadas produce un efecto diferente respecto a las otras en la variable de respuesta rendimiento por hectárea de apio.

A continuación, se presentan los resultados de la prueba de Tukey para la variable de respuesta rendimiento en el cuadro 27.

Cuadro 27 Prueba de medias de Tukey para la variable rendimiento de planta de apio, Aldea Chirijuyú, Tecpán Chimaltenango.

Medias (ton.ha ⁻¹)	Literales		
129.56	a		
121.15		b	
119.72		b	c

En el cuadro anterior, mediante la aplicación de la prueba de medias de Tukey a un nivel de significancia del 5% para la evaluación de la variable rendimiento, se determinó que existen diferencias significativas en los rendimientos medidos entre las densidades de siembra correspondientes a 94,921 plantas.ha⁻¹ y 81,361 plantas.ha⁻¹, con una media de 129.56 t.ha⁻¹ y 81.361 t.ha⁻¹ respectivamente. De la misma manera en que si existen diferencias significativas entre la densidad de 94,921 plantas.ha⁻¹ y la mayor densidad de siembra 113,921 plantas.ha⁻¹ en la que se obtuvo un rendimiento de 119.72 t.ha⁻¹, con una diferencia de 7.50 % entre la mayor y la menor respuesta. En la figura 14, se muestran los rendimientos para las densidades de siembra evaluadas.

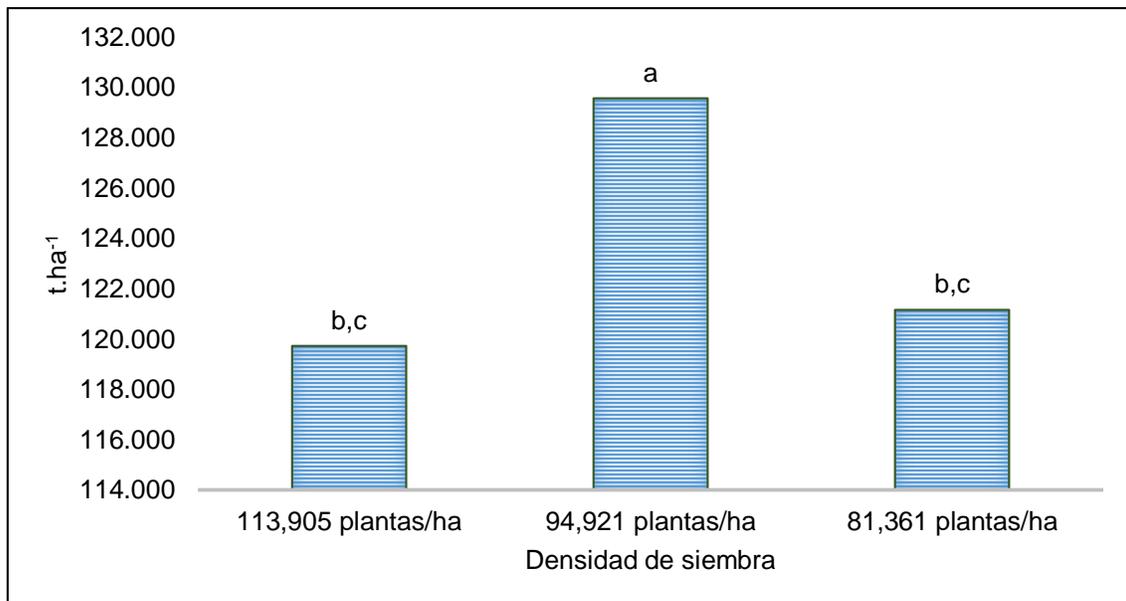


Figura 14 Rendimiento de apio en respuesta a la densidad de siembra. Aldea Chirijuyú, Tecpán, Chimaltenango.

Para todas las densidades de siembra evaluadas se encontró un rendimiento mayor al esperado, incluyendo la densidad de siembra de 113,905 plantas.ha⁻¹, en la que se

reportaban rendimientos menores a los 90 t.ha⁻¹, tomando en cuenta que no se tuvo producto de rechazo para ninguna de las densidades evaluadas. Una mayor disponibilidad y absorción de elementos en el suelo al utilizar únicamente Nitrógeno como fertilización, por las altas concentraciones del resto de elementos, pudo ser una causa probable de una mejora en el rendimiento, aunado a la forma detallada y precisa en las aplicaciones de pesticidas para evitar rechazo por manchas foliares o daños en la misma por plagas. El rendimiento obtenido fue superior a la media conseguida en el cultivo comercial por Sánchez R. (2002), quien reporta 90 t.ha⁻¹.

Tomando en cuenta que, la dosis del fertilizante nitrogenado fue aplicada por unidad de área, las plantas de apio establecidas en la menor densidad de siembra tuvieron mayor disposición y absorción que las plantas de apio establecidas en la mayor densidad de siembra, lo cual pudo derivar en el aumento de masa foliar y por ende, peso por planta y rendimiento.

Sin embargo, la densidad de siembra tuvo efecto directo en el rendimiento, como lo muestra la figura 14, que denota que a menor densidad de siembra se obtuvo un mayor rendimiento. Esto coincide con Van de Vooren *et al.* (1986) citado por Cruz Carrillo (2003) quien explica que a partir de un determinado nivel de densidad de siembra, la producción por planta disminuye y la producción por unidad de superficie crece; un nuevo incremento de densidad permite alcanzar el máximo rendimiento, mientras que excesivas densidades reducen el rendimiento.

La tendencia del rendimiento aumenta cuando se parte de un nivel menor de densidad de plantas.ha⁻¹, una vez alcanzado el máximo rendimiento, éste disminuye cuando la densidad de plantas se incrementa. Esto para las condiciones específicas de fertilidad de suelos y clima de la Aldea Chirijuyú, Tecpán Guatemala.

6.7 Análisis económico

Los resultados del análisis económico, que se muestran en el cuadro 28, se basaron en precios actuales (Junio 2016) de agro servicios de la región de Chirijuyú, Tecpán Guatemala. A su vez, el precio de compra fue de Q0.55 por libra de apio, según agroexportadoras que negocian esta hortaliza con los productores de la región, cuyos resultados indican que la densidad de siembra que mejores resultados presenta en cuanto a rentabilidad y en la relación beneficio costo es la que corresponde a 94,921 plantas.ha⁻¹ seguido de la densidad de siembra de 81,361 plantas.ha⁻¹.

La rentabilidad por su parte, se observa elevada para las densidades de 94,921 plantas.ha⁻¹ y 84,361 plantas.ha⁻¹ dado que se evitan costos de producción, principalmente en las fuentes

de fertilizantes que normalmente suelen tener precios elevados, tomando en cuenta además, la diferencia en costos por la adquisición de pilones de apio, se obtuvo una diferencia de Q 3,036.80 en costos entre la densidad de 94,921 plantas.ha¹ y la densidad de 113,905 plantas.ha¹. En tanto que la relación beneficio: costo es más alta para la densidad de 94,921 plantas.ha¹ siendo 1.58 el valor obtenido, lo cual indica que por cada unidad de quetzal invertido se obtiene Q 0.58 en utilidades, mientras que para las densidades de 113,995 plantas.ha¹ y 81,361 plantas.ha¹ se obtuvo Q 0.24 y Q 0.51 respetivamente para dicha razón financiera, como se muestra en el cuadro 28.

Cuadro 28 Costos de producción y análisis económico de las tres densidades de siembra evaluadas en la Aldea Chirijuyú, Tecpán, Guatemala

CONCEPTO	Unidad de medida	Valor unitario	113,905 plantas/ha		94,921 plantas/ha		81,361 plantas/ha	
			Cantidad	Valor Total	Cantidad	Valor Total	Cantidad	Valor Total
COSTOS DIRECTOS								
Arrendamiento de terreno/año	Ha	Q9,859.00	1	Q9,859.00	1	Q9,859.00	1	Q9,859.00
Insumos Agrícolas								
Pilones de apio	Millar	Q160.00	113.9	Q18,224.00	94.92	Q15,187.20	81.36	Q13,017.60
UREA	Quintal	Q185.00	10.73	Q1,985.05	10.73	Q1,985.05	10.73	Q1,985.05
Fungicidas								
Bravo 72 SL	Litro	Q118.00	3	Q354.00	3	Q354.00	3	Q354.00
Kumulus 80 WG	Kilogramo	Q60.00	2	Q120.00	2	Q120.00	2	Q120.00
Mancozeb 38 WG	Kilogramo	Q45.00	3	Q135.00	3	Q135.00	3	Q135.00
Silvacur	Litro	Q190.00	2	Q380.00	2	Q380.00	2	Q380.00
Insecticidas								
Tambo	Litro	Q198.00	1	Q198.00	1	Q198.00	1	Q198.00
Endosulfan	Litro	Q95.00	1	Q95.00	1	Q95.00	1	Q95.00
Proclaim 22.5 SC	Kilogramo	Q1,300.00	1	Q1,300.00	1	Q1,300.00	1	Q1,300.00
Otros								
Surfacid (Adherente)	Litro	Q235.00	3	Q705.00	3	Q705.00	3	Q705.00
Riegos	Hora	Q15.00	73	Q1,095.00	73	Q1,095.00	73	Q1,095.00
Mano de Obra								
Preparación del terreno	Jornal	Q81.87	162	Q13,262.94	162	Q13,262.94	162	Q13,262.94
Primera fertilización	Jornal	Q81.87	9	Q736.83	9	Q736.83	9	Q736.83
Siembra	Jornal	Q81.87	18	Q1,473.66	18	Q1,473.66	18	Q1,473.66
Limpias (1era,2da)	Jornal	Q81.87	22	Q1,801.14	18	Q1,473.66	18	Q1,473.66
Segunda Fertilización	Jornal	Q81.87	9	Q736.83	9	Q736.83	9	Q736.83
Aplicación de fitosanitarios	Jornal	Q81.87	12	Q982.44	12	Q982.44	12	Q982.44
Tercera fertilización	Jornal	Q81.87	9	Q736.83	9	Q736.83	9	Q736.83
Cuarta fertilización	Jornal	Q81.87	9	Q736.83	9	Q736.83	9	Q736.83
Transporte de producto de campo a centro de acopio	Flete	Q150.00	18	Q2,700.00	18	Q2,700.00	18	Q2,700.00
TOTAL COSTOS DIRECTOS				Q57,617.55		Q54,253.27		Q52,083.67
COSTOS INDIRECTOS (5% Costos directos)								
Imprevistos	5%			Q2,880.88		Q2,712.66		Q2,604.18
Administrativos	5%			Q2,880.88		Q2,712.66		Q2,604.18
TOTAL COSTOS INDIRECTOS				Q5,761.76		Q5,425.33		Q5,208.37
TOTAL COSTOS DIRECTOS + COSTOS INDIRECTOS				Q63,379.31		Q59,678.60		Q57,292.04
INGRESOS								
Producto exportable	Kilogramo	Q1.21	119722.000	Q144,863.62	129568.000	Q156,777.28	121158.269	Q146,601.51
Utilidad bruta				Q81,484.32		Q97,098.68		Q89,309.47
Utilidad neta				Q78,784.32		Q94,398.68		Q86,609.47
Relación Beneficio:Costo				1.24		1.58		1.51
Rentabilidad				24.31%		58.18%		51.17%

7. CONCLUSIONES

1. En las tres densidades de siembra evaluadas existió diferencia significativa en el rendimiento medido en t/ha, siendo la densidad de siembra correspondiente a 94,921 plantas/ha, la que presentó el mayor rendimiento; seguido de la densidad de siembra de 81,361 plantas/ha y 113,905 plantas/ha.
2. En términos de calidad de producto, las plantas que se desarrollaron a una densidad de siembra de 81,361 plantas/ha, mostraron los valores más altos y mejores características según los estándares de calidad del mercado actual.
3. El tratamiento que presentó la mayor rentabilidad fue la densidad de siembra de 94,921 plantas/ha, siendo ésta de 58.18 %. y con una relación beneficio-costo de 1.58.

8. RECOMENDACIONES

1. Bajo las condiciones edáficas y climáticas de la aldea Chirijuyú, Tecpán Guatemala, Chimaltenango, se recomienda utilizar una densidad de siembra de 94,921 plantas/ha, a distanciamientos de 0.30 m entre planta y 0.30 m entre hileras.
2. Se recomienda la densidad de siembra de 94,921 plantas/ha, misma con la que se obtiene una mayor rentabilidad y se cumplen con las especificaciones de calidad, para exportación: altura de planta, diámetro de planta, diámetro de peciolo y peso por planta.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. BANGUAT (Banco de Guatemala, Departamento de Estadísticas Económicas, GT). 2014. Exportaciones realizadas por partida, país _comprador (en línea). Guatemala. Consultado 2 abr 2015. Disponible en <http://www.banguat.gob.gt/estaeco/ceie/hist/pdfs/2014/TA>
2. Bejo.com. 2015. Productos (en línea). Guatemala. Consultado 21 mar 2015. Disponible en <http://www.bejogt.com/web/pages/bejogt/products/groep.aspx?GroepID=646&GewasID=168>
3. Carrillo Romero, C. 2002. Evaluación de tres densidades y dos arreglos espaciales en producción orgánica hidropónica de apio (*Apium graveolens* L). Tesis Ing. San Salvador, El Salvador, Universidad de El Salvador. p. 33-86.
4. Carrillo, J; Jiménez, F; Díaz, G. 2003. Evaluación de densidades de siembra en tomate (*Lycopersicon sculentum*) mill en invernadero. Oaxaca, México, Colegio de Posgraduados.
5. Casaca, A. 2005. El cultivo del apio. San José, Costa Rica, IICA. p. 3-4. (Guías tecnológicas de frutas y vegetales).
6. Cásseres, E. 1980. Producción de hortalizas. 3 ed. San José, Costa Rica, IICA.
7. CATIE. 1984. Memorias del Sexto Foro de Taxonomía de Suelos. Turrialba, Costa Rica, AGRINTER.
8. CLUSA (Liga de Cooperativas de los Estados Unidos de América) sv. 1997. Jornada técnica de agricultura orgánica. San Salvador, El Salvador.
9. Criollo, H. 2009. Efecto de la densidad de siembra sobre el crecimiento de plantas de Rábano (*Raphanus sativus* L.) bajo invernadero (Vol. 3). Pasto, Colombia, Colombia: Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Obtenido de <http://www.soccolhort.com/revista/pdf/magazin/vol3/vol.3.%20no.2/growth%20radish%20plants%20rabano%20densidad%20siembra.pdf>
10. Cruz Carrillo, JJF; Ruiz, J; Días, G.; Sánchez P. 2003. Evaluación de densidades de siembra en tomate (*Lycopersicon esculentum*) en invernadero. Costa Rica. Disponible en http://www.mag.go.cr/rev_meso/v14n01_085.pdf

11. Cruz, JR De la. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala basado en el sistema Holdridge. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
12. Doorembos, J. 1977. Las necesidades de agua de los cultivos. Roma, Italia, FAO. p. 53–67.
13. Edmond, JB; Senn, TL; Andrews, FS. 1981. Principios de horticultura. 3 ed. México, Continental. p. 452-455.
14. Escalante Estrada, LE; Estrada Elizalde, C. 2008. Densidad de siembra del girasol forrajero (en línea). *Agronomía Costarricense* 32 (2):177-182. Consultado 20 set. 2016. Disponible en www.redalyc.org/articulo.oa?id=43632213.
15. Foro taxonomía de suelos (6., 1983, Costa Rica). Memorias del sexto foro. Turrialba,
16. Costa Rica, CATIE, Departamento de Producción Vegetal. 312 p. (Serie Técnica, Informe Técnico no. 43).
17. García Fernández, J. 1971. Cultivos herbáceos. Madrid, España, Agrocienza. p. 514–521.
18. Herrera, AB. 1998. Introducción a la olericultura. San José, Costa Rica, EUNED.
19. Holle, M; Montes, A. 1985. Manual enseñanza práctica de producción de hortalizas. Costa Rica. v.I, 227p.
20. Hortalizas.com. 2015. Efecto de la densidad de siembra en pimientos (en línea). Consultado 2 abr 2015. Disponible en [http://www.hortalizas.com/cultivos /chiles-pimientos/efecto-de-la-densidad-en-cultivo-de-pimientos](http://www.hortalizas.com/cultivos/chiles-pimientos/efecto-de-la-densidad-en-cultivo-de-pimientos)
21. Leñano, F. 1973. Como se cultivan las hortalizas de hoja. Barcelona, España, De Vecchi. p. 165–181.
22. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Guatemala). 2010. Estudio semidetallado de los suelos del departamento de Chimaltenango, Guatemala. Guatemala. v. 1.
23. Mainard, F. 1988. Hortalizas de hoja, flor y tallo, como, donde, cuando: manual de cultivo moderno. Barcelona, España, De Vecchi. p. 62-65.

24. Maroto Borrego, JV; Pascal, B. 1991. El apio, técnicas de cultivo. Madrid, España, Mundi-Prensa. p. 1–105. (AgroGuías).
25. Martín de Santa Olalla Mañas J; López Fuster F; Calera Belmonte, A. 2005. Agua y agronomía. España, Mundi-Prensa. p. 106.
26. Panel sobre suelos volcánicos de América (2., 1972, Colombia). Ed. Mario Blasco L. y Ricardo Guerrero R. Pasto, Colombia, Universidad de Nariño / IICA / OEA. 500 p. (Serie informes de conferencias, cursos y reuniones no. 82).
27. Paulet Iturri, M. 1983. Relación suelo agua planta, requerimiento de agua de las plantas en relación con el clima y el suelo para una producción óptima. República Dominicana, Centro Interamericano de Documentación e Información Agrícola.
28. Pliego de condiciones para el uso de la marca oficial México calidad suprema en apio. México. 2005. Secretaría de Agricultura. México DF.
29. Samayoa Pérez, A. 1991. Determinación del período crítico del período de interferencia de las malezas en el cultivo del apio (*Apium graveolens* L) en el municipio de San Lucas Sacatepéquez, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 90 p.
30. Sánchez, R. 2002. Crecimiento vegetativo y absorción de nutrientes de apio en fertirrigación (Vol. 17). Murcia, España, Centro de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (CIDA). Disponible en http://www.inia.es/gcontrec/pub/rincon_1161159819250.pdf
31. Secretaría de Agricultura, México. 2005. PC-039-2005. Pliego de condiciones para el uso de la marca oficial México calidad suprema en apio. México.
32. Sendra, N; Alí, S; Tonelli, B; 2011. El cultivo del apio. 14. Disponible en <http://www.innovacion.gob.sv/inventa/attachments/article/3353/apio%20Open.pdf>
33. Sierra, A. 2012. Las sorprendentes propiedades terapéuticas del apio (segunda parte). Disponible en <http://ecoosfera.com/2014/10/insomnio-prueba-estos-jugos/>
34. Sitún, M. 2007. Investigación agrícola. Villa Nueva, Guatemala, ENCA.

35. Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía, Departamento de Desarrollo Académico, CL. 1998. Hortalizas de estación fría cultivadas en Chile. Chile. s.p.

10. ANEXOS

ANEXO 1

Cuadro 29A Valores promedio de las variables de respuesta: altura de planta, diámetro de planta, diámetro de peciolo, número de peciolos, peso por planta y rendimiento en la densidad de siembra de 113,905 plantas.ha⁻¹, Aldea Chirijuyú, Tecpán Chimaltenango

#Tratamiento y Repetición	No. Planta	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Diámetro peciolo(cm)	Número de peciolos	Peso (kg.planta)	Rendimiento (t.ha ⁻¹)
T1R1	Promedio	65.12	9.65	1.43	12.3	0.905	103.03
T1R2	Promedio	63.64	8.62	1.37	12.9	0.905	126.70
T1R3	Promedio	69.33	9.11	1.43	12.6	0.905	121.12
T1R4	Promedio	68.92	9.90	1.42	12.6	0.905	114.47
T1R5	Promedio	71.80	10.16	1.37	13.1	0.905	121.10
T1R6	Promedio	63.16	11.88	1.44	12.7	0.905	124.10
T1R7	Promedio	70.20	9.97	1.42	13.2	0.905	127.53

Fuente: elaboración propia, 2015.

Cuadro 30A Valores promedio de las variables de respuesta: altura de planta, diámetro de planta, diámetro de peciolo, número de peciolos, peso por planta y rendimiento en la densidad de siembra de 94,921 plantas.ha⁻¹, Aldea Chirijuyú, Tecpán, Chimaltenango

#Tratamiento y Repetición	No. Planta	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Diámetro peciolo	Número de peciolos	Peso (kg.planta)	Rendimiento (t.ha ⁻¹)
T2R1	Promedio	60.96	10.01	1.67	12.4	1.3603	129.12
T2R2	Promedio	56.86	9.71	1.75	12.9	1.3283	126.08
T2R3	Promedio	60.43	10.56	1.71	12.7	1.3353	126.75
T2R4	Promedio	58.44	10.82	1.85	12.7	1.3332	126.55
T2R5	Promedio	59.10	10.31	1.71	13.1	1.4856	141.02
T2R6	Promedio	58.59	12.30	1.79	12.7	1.3548	128.60
T2R7	Promedio	59.67	10.86	1.73	13.2	1.3575	128.86

Fuente: elaboración propia, 2015.

Cuadro 31A Valores promedio de las variables de respuesta: altura de planta, diámetro de planta, diámetro de peciolo, número de peciolos, peso por planta y rendimiento en la densidad de siembra de 81,361 plantas.ha⁻¹, Aldea Chirijuyú, Tecpán, Chimaltenango

#Tratamiento y Repetición	No. Planta	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Diámetro peciolo (cm)	Número de peciolos	Peso (kg.planta)	Rendimiento (t.ha ⁻¹)
T3R1	Promedio	54.68	13.61	1.99	12.6	1.417	115.347
T3R2	Promedio	54.29	13.43	2.31	13.2	1.566	127.449
T3R3	Promedio	56.21	14.20	2.13	12.7	1.450	118.010
T3R4	Promedio	54.04	13.53	2.07	12.6	1.404	114.238
T3R5	Promedio	55.36	14.05	2.06	13	1.540	125.332
T3R6	Promedio	52.10	13.42	2.06	12.8	1.419	115.466
T3R7	Promedio	53.02	14.19	2.17	13.2	1.625	132.263

Fuente: elaboración propia, 2015.

ANEXO 2



Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 15A Trasplante de pilones de apio de acuerdo a los distanciamientos evaluados



Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 16A Fertilización aplicada cada 25 días a partir del trasplante, basado en UREA



Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 17A Aspersiones de tipo preventivo realizadas con bomba de mochila de 16 L



Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 18A Expresión del diámetro de planta en campo para la densidad de siembra de $81,361 \text{ planta.ha}^{-1}$



Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 19A Cosecha de apio a los 110 días después del trasplante



Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 20A Expresión de tamaño generado para la densidad de siembra de 94,921 planta.ha⁻¹



Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 21A Apio cosechado colocado en cajas dentro de planta procesadora



Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 22A Alturas de plantas expresadas por las densidades de siembra de 113,905 plantas.ha⁻¹, 84,921 plantas.ha⁻¹ y 81,361 plantas.ha⁻¹