

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DE ÁCIDO-3-
INDOL BUTÍRICO Y ÁCIDO GIBERÉLICO EN LA PRODUCCIÓN DE PAPA (*Solanum
tuberosum*), EN SAN MIGUEL IXTAHUACÁN, SAN MARCOS, GUATEMALA, CA.**

FREDY FERNANDO FRANCO SOZA

200916269

GUATEMALA, DE ABRIL 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DE ÁCIDO-3-INDOL BUTÍRICO Y ÁCIDO GIBERÉLICO EN LA PRODUCCIÓN DE PAPA (*Solanum tuberosum*), EN SAN MIGUEL IXTAHUACÁN, SAN MARCOS, GUATEMALA, CA.

PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

FREDY FERNANDO FRANCO SOZA

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO
INGENIERO AGRÓNOMO EN
SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADO

GUATEMALA, ABRIL DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

RECTOR MAGNÍFICO
Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo.

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Dr. Ariel Abderramán Ortíz López
VOCAL PRIMERO	Dr. Ariel Abderramán Ortíz López
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. Cesar Linneo Garcia Contreras
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. Eberto Raul Alfaro Ortiz
VOCAL CUARTO	P. Agr. Jose Boche Lopez
VOCAL QUINTO	Br. Sergio Alexander Soto Estrada
SECRETARIO	Dr. Mynor Raul Otzoy Rosales

GUATEMALA, ABRIL DE 2015

Guatemala, Abril de 2015

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala

Honorables 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 vuestra consideración, el trabajo de Graduación: **“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DE ÁCIDO-3- INDOL BUTÍRICO Y ÁCIDO GIBERÉLICO EN LA PRODUCCIÓN DE PAPA (Solanum tuberosum), SAN MIGUEL IXTAHUACÁN, SAN MARCOS, GUATEMALA, CA.”** como requisito previo al 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,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

FREDY FERNANDO FRANCO SOZA.

200916269

TRABAJO DE GRADUACIÓN QUE DEDICO

A DIOS

Mi eterno amigo, en quien siempre he de confiar porque nunca me dará una carga que no pueda llevar, quien nos manda a esforzarnos y ser valientes pues él sabe hasta dónde nuestras fuerzas llegaran. Infinitas gracias por guiarme con bien durante este camino.

A MI FAMILIA

Saul Franco Iglesias y Miriam Soza, a quienes les debo todo lo que soy. Quienes han sido un ejemplo incomparable de esfuerzo, coraje y amor, mis amados padres. Ellos quienes me han brindado su apoyo incondicional en todo lo que emprendo en mi vida, este logro es tan suyo como mío.

Mis hermanos Ysau Saul y Maria Teresa Franco Soza; Quienes me brindaron los primeros ejemplos a seguir. Gracias por ser esta bendición en mi vida. Saul, Maria Teresa y mi segunda hermana Renata de Franco gracias por sus enseñanzas y consejos. Alejandra Franco mi adorada sobrina, has llenado nuestros corazones con amor, sonrisas y alegrías.

Mis abuelos Francisco Soza y María Teresa Romero gracias por su cariño y oraciones. A mis abuelos Francisco Franco QEPD y Paula Iglesias QEPD, sé que desde el cielo me cuidan. Gracias por los padres que me permitieron tener.

AGRADECIMIENTOS

A:

Dios por estar siempre conmigo y guiarme con bien al inicio de esta nueva etapa.

Guatemala, gracias por permitirme tener una educación de calidad, gracias por permitirme ser producto de educación pública.

Mi Supervisor. Ing. Agr. M.Sc. PhD. Adalberto Rodríguez y Asesor Ing. Edgar Franco Rivera por su apoyo, comprensión y paciencia como guías, desarrollando la labor de verdaderos maestros durante la ejecución de mi Ejercicio Profesional Supervisado y la elaboración del presente documento.

Ingenieros. Agr. Julio Catalan, Eduardo Calderón y amigos de Fundación Sierra Madre por brindarme amistad, apoyo y comprensión durante la ejecución de mi Ejercicio Profesional Supervisado.

A todos mis amigos y seres queridos que estuvieron, han estado y están a mi lado, gracias por compartir todas esas alegrías y tristezas permitiéndome abrir una nueva página en mi vida, como profesional al servicio de Guatemala.

CONTENIDO

PÁGINA

1. Capítulo I.....	1
1.1 Presentación.....	2
1.2 Marco referencial.....	4
1.2.1 Ubicación.....	4
1.2.2 Colindancias.....	4
1.2.3 Vías de comunicación.....	5
1.2.4 Demografía.....	5
1.2.5 Factores edafoclimáticos.....	6
1.2.6 Fauna y flora.....	8
1.2.7 Características económicas.....	10
1.2.8 Actividades productivas.....	11
1.2.9 Estructura organizacional.....	15
1.2.10 Producción pecuaria.....	15
1.2.11 Oportunidades proyectos productivos.....	15
1.3 Objetivos.....	16
1.3.1 Objetivo general.....	16
1.3.2 Objetivos específicos.....	16
1.4 Metodología.....	17
1.4.1 Marco referencial.....	17
1.4.2 Información primaria.....	17
1.4.3 Análisis de dela información.....	18
1.4.4 Recursos.....	18
1.5 Resultados:.....	20
1.6 Conclusiones y recomendaciones.....	21
1.7 Literatura consultada:.....	22
2. Capítulo II.....	23
2.1 Introducción.....	24
2.2 Definición del problema.....	26
2.3 Justificación.....	27
2.4 Marco teórico.....	28
2.4.1 Clasificación taxonómica de la papa. (s. Tuberosum l.).....	28
2.4.2 Descripción botánica de solanum tuberosum (l.).....	28
2.4.3 Origen del cultivo de la papa (solanum tuberosum l.).....	28
2.4.4 Importancia del cultivo de papa en guatemala.....	29
2.4.5 Zonas de producción y productividad nacional.....	30
2.4.6 Requerimientos agroclimáticos del cultivo de papa (solanum tuberosum).....	30
2.4.7 Etapas fenológicas del cultivo de papa.....	33
2.4.8 Reguladores de crecimiento.....	35
2.4.9 Diseño experimental.....	59
2.4.10 Unidad experimental.....	59
2.4.11 Marco referencial.....	60

2.5	Objetivos	67
2.5.1	General	67
2.5.2	Específicos	67
2.6	Hipotesis de investigación	68
2.7	Metodología	69
2.7.1	Recursos y materiales	69
2.7.2	Manejo agronómico del cultivo	70
2.7.3	Preparación del terreno	70
2.7.4	Siembra	70
2.7.5	Identificación de los tratamientos	71
2.7.6	Monitoreo y control de plagas y enfermedades	71
2.8	Diseño experimental	72
2.8.1	Selección del diseño experimental	72
2.8.2	Hipótesis de investigación	72
2.8.3	Modelo estadístico	73
2.8.4	Variable de respuesta	74
2.8.5	Toma de datos	74
2.8.6	Unidad experimental	74
2.8.7	Reguladores de crecimiento	75
2.8.8	Concentraciones	75
2.8.9	Tratamientos	76
2.8.10	Preparación de las soluciones concentradas de tratamientos en laboratorio	77
2.8.11	Preparación de material vegetal	77
2.9	Análisis de la información	78
2.10	Resultados y discusión de resultados	78
2.10.1	Rendimiento	78
2.10.2	Crecimiento vegetativo:	81
2.10.3	Coefficiente correlación rendimiento desarrollo vegetativo:	82
2.11	Conclusiones	83
2.12	Recomendaciones	84
2.13	Literatura consultada	85
2.14	Anexos	88
3	Capítulo III.	97
3.1	Presentación	98
3.2	Servicio 1	99
3.2.1	Objetivos	100
3.2.2	Definición del problema	101
3.2.3	Metodología	101
3.2.5	Evaluación de los resultados	103
3.3	Servicio 2	104
3.3.1	Objetivos	105
3.3.2	Definición del problema	106
3.3.3	Metodología	106
3.3.4	Resultados	108
3.3.5	Evaluación de los resultados	108
3.4	Servicio 3:	109

3.4.1	Objetivos	110
3.4.2	Definición del problema.....	111
3.4.3	Metodología.....	111
3.4.4	Resultados	112
3.4.5	Evaluación de los resultados	112
3.5	Servicio no 4:.....	113
3.5.1	Objetivos	114
3.5.2	Definición del problema.....	115
3.5.3	Metodología.....	115
3.5.4	Resultados	116
3.5.5	Evaluación de los resultados	116

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1:	Distribución por grupo etareo	5
Cuadro 2::	Exportaciones de papa en US Dólares.	29
Cuadro 3:	Cantidades de nutrientes requerida por el cultivo de papa.....	31
Cuadro 4:	Principales cultivos anuales San Miguel Ixtahuacán, San Marcos.	65
Cuadro 5:	Cultivos permanentes y semi-permanentes	66
Cuadro 6:	Identificación de los tratamientos en campo	71
Cuadro 7:	Reguladores de crecimiento y concentraciones evaluados.	76
Cuadro 8:	Identificación de los tratamientos	76
Cuadro 9:	Matriz de contrastes ortogonales.	78
Cuadro 10:	Efecto de los tratamientos en la producción de papa en Kg/ha.	79
Cuadro 11:	Resultados de análisis de varianza.....	79
Cuadro 12:	Resultados de prueba de Tukey.	80
Cuadro 13:	Resultados de análisis de varianza en crecimiento en altura.	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 : Mapa de San marcos	4
Figura 2 : Mapa de San Miguel Ixtahuacán, San Marcos.	4
Figura 3: Uso del suelo San Miguel Ixtahuacán San Marcos.....	7
Figura 4:Etapas de desarrollo fisiológico del cultivo..	34
Figura 5:Etapas de acción de las auxinas en el citoplasma celular	39
Figura 6: Proceso de biosíntesis del Ácido indolacético..	41
Figura 7: Estructuras moleculares compuestos actividad auxínica.....	42
Figura 8:Estructura molecular de auxinas sintéticas.	42
Figura 9: Movimiento de H ⁺ de acuerdo a teoría del crecimiento Ácido.....	44
Figura 10: Gravitropismo en raíz	45
Figura 11: Estructura molecular de auxina sintética 2,4-D.....	48
Figura 12:Estructura ent-giberelano.	49
Figura 13:Estructura molecular de giberelinas.	49
Figura 14:Molécula ent-Kaureno	50
Figura 15:Proceso para la formación aldehído GA12)	50
Figura 16: Rutas para formación de giberelinas C19	51
Figura 17:Proceso de oxidación del ent-kaureno en la formación de GA12.....	51
Figura 18:Procesos de oxidación de GA formación de otras giberelinas.	52
Figura 19: Secreción de azúcares	57
Figura 20:Distribución de reguladores de crecimiento en planta	58
Figura 21:Mapa del departamento de San Marcos.	60
Figura 22: Mapa del municipio de San Miguel Ixtahuacán, San Marcos.	61
Figura 23:Uso actual del suelo San Miguel Ixtahuacán	62
Figura 24: Mapa de Recurso Hídrico, San Miguel Ixtahuacán.....	63
Figura 25: Croquis de distribución de los tratamientos en campo.	72
Figura 26: Representación de unidades experimental de papa.....	75
Figura 27: Gira de campo con productores de papa y Zanahoria.....	102
Figura 28: Asesoramiento para el establecimiento de parcelas productivas.	103
Figura 29: Productor capacitado en recepción y selección del producto.	107
Figura 30: Productores capacitados en BPM y BPA	107
Figura 31: Producto final etiquetado listo para comercialización.	108
Figura 32: Reunión con dirigentes temas legales financieros.....	111
Figura 33:Preparación e identificación de muestras.	116

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DE ÁCIDO-3-INDOL BUTÍRICO Y ÁCIDO GIBERÉLICO EN LA PRODUCCIÓN DE PAPA (*Solanum tuberosum*), EN SAN MIGUEL IXTAHUACÁN, SAN MARCOS, GUATEMALA, CA.

RESUMEN

En el diagnóstico realizado en una de las comunidades de acción de la Fundación Sierra Madre; Específicamente en la aldea Subchal en San Miguel Ixtahuacán, se identificaron una serie de problemas que afectan directamente en el tema de agroproductividad uno de estos es la escasa o nula asistencia técnica en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*). En el cual el proceso de producción se basa en métodos tradicionales. Con base a esta información de productores, el rendimiento promedio local se encuentra alrededor de 22,727 kg por hectárea, en comparación con países desarrollados donde reportan rendimientos de 40,909 kg por hectárea.

La Fundación Sierra Madre en conjunto con el departamento de ambiente de la Mina Marlín desarrollaron un plan piloto para la producción de hortalizas dentro del cual se consideró el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*). El plan de manejo para el cultivo de papa fue definido por técnicos del Departamento de Ambiente de Mina Marlín, en el que se contempló la aplicación de reguladores de crecimiento tipo auxinas en la etapa de establecimiento del cultivo, actividad sobre la cual no existe información previa de su efecto en la producción, por lo que surge la necesidad de conocer el efecto de reguladores de crecimiento sobre la producción de papa.

En respuesta a lo anteriormente mencionado y en cooperación con la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala y Fundación Sierra Madre, se evaluaron las aplicaciones de Ácido Indol Butírico a 200 y 500 ppm. También se evaluó el Ácido Giberélico a 2 y 5 ppm en aplicaciones individuales y combinadas entre ambos reguladores de crecimiento. Se obtuvieron los cuatro mejores rendimientos en aplicaciones combinadas. Estos fueron: Ácido Indol Butírico a 500 ppm. + Ácido Giberélico a 5 ppm con producción estimada de 36,532.89 kg por hectárea que representó un incremento en la producción de hasta 78% en relación al testigo, seguido

por los tratamientos combinados de Ácido Indol Butírico a 200 ppm + Ácido Giberélico a 5 ppm, Ácido Indol Butírico a 500 ppm + Ácido Giberélico a 2 ppm, Ácido Indol Butírico 200 ppm + Ácido Giberélico a 2 ppm. Los tratamientos individuales fueron los menos efectivos. Por lo que para la producción de papa (*Solanum tuberosum*), bajo la aplicación de reguladores de crecimiento, se recomienda realizar aplicaciones combinadas de Ácido Indol Butírico a 500 ppm. + Ácido Giberélico a 5 ppm, con la metodología de aplicación que se utilizó en el desarrollo de la presente investigación.

Los servicios desarrollados durante la ejecución del ejercicio profesional supervisado (EPS), se vieron enfocados en procesos que permitieran mejorar los procesos productivos con grupos de productores de aldea Subchal, San Miguel Ixtahuacán, San Marcos. Dentro del marco de actividades desarrolladas se mencionan: Acompañamiento y asesoramiento en proceso organizacional legal para la comercialización de productos; asistencia técnica en producción de papa y zanahoria alcanzando producción de 4.08 manzanas de papa y 1.26 manzanas de zanahoria, como parte del plan piloto ejecutado por la Fundación Sierra Madre y el Departamento de ambiente de Mina Marlin. De igual forma se brindó seguimiento en el proceso post cosecha en los temas de BPA, normas y regulaciones de calidad establecidos por empresa Wal Mart para la comercialización de los productos.

1. CAPÍTULO I.

DIAGNÓSTICO PARA CONTEXTUALIZAR LA SITUACIÓN ACTUAL DE PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE HORTALIZAS PARA MERCADO NACIONAL EN ALDEA SUBCHAL, MUNICIPIO DE SAN MIGUEL IXTAHUACÁN, DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS.

1.1 PRESENTACIÓN

La fundación Sierra Madre es una organización no gubernamental no lucrativa, para el desarrollo de la sociedad guatemalteca. Se dedica al apoyo social para el desarrollo sostenible en el municipio de San Miguel Ixtahuacán mediante charlas en los temas de salud, asesoría en organización y busca de oportunidades productivas, capacitación, asistencia técnica en actividades productivas además trabajan en la capacitación en temas de liderazgo y representación de comunidades, seminarios de temas empresariales, principalmente sobre áreas con altas potencialidades como Aldea Subchal, ubicada a 15 kms. de la cabecera municipal de San Miguel Ixtahuacán. La Aldea Subchal cuenta con un alto potencial en el tema hortícola.

Para promover el desarrollo de esta comunidad el apoyo es enfocado en asesoría organizacional para comercialización de productos hortícolas, búsqueda de oportunidades de mercado y asistencia técnica en actividades productivas, Se considera que existe alto potencial para producción de hortalizas y que anteriormente se han desarrollado actividades de esta índole en la aldea Subchal. Actualmente la fundación Sierra Madre en conjunto con los departamentos de ambiente y desarrollo sostenible de Mina Marlin, establecieron un plan piloto para impulsar la producción hortalizas de papa (*Solanum tuberosum*) y zanahoria (*Daucus carota*) para venta en mercado nacional. Se aprovecha la oportunidad de mercado existente principalmente con la empresa Wal Mart en la ciudad capital y mercados alternativos como lo es la Central de mayoreo (CENMA).

El plan piloto es ejecutado mediante inversión inicial “inversión semilla”, a partir de la cual se espera impulsar dicha actividad productiva que genere ingresos económicos a la comunidad, mediante la comercialización de estos productos y con ello lograr un desarrollo sostenible. Por lo cual para la producción y comercialización de estos productos en dicho mercado se requiere brindar apoyo, tanto la asesoría organizacional para la comercialización de los productos así como también asistencia técnica para la producción, bajo los estándares establecidos previamente por esta empresa y mercados alternativos.

Mediante el desarrollo del presente diagnóstico se logró determinar la situación actual de la comunidad en cuantos aspectos: históricos, sociales, culturales, económicos y agrícolas, presentes en la aldea Subchal San Miguel Ixtahuacán. Se identificaron y priorizaron los problemas de mayor importancia con el objetivo de plantear soluciones mediante servicios y una investigación realizada durante los meses de febrero a noviembre del año 2013.

1.2 MARCO REFERENCIAL.

1.2.1 Ubicación

El municipio de San Miguel Ixtahuacán pertenece al departamento de San Marcos ubicado en el nororiente a 65.5 kilómetros de la cabecera departamental de San Marcos, la aldea Subchal se encuentra ubicada a 15 km de la cabecera municipal, la comunidad está ubicada geográficamente en las coordenadas Longitud: 15 14'34.76" y Latitud 91 47'14.54" con una altitud de 2579 msnm (MAGA, 2003)

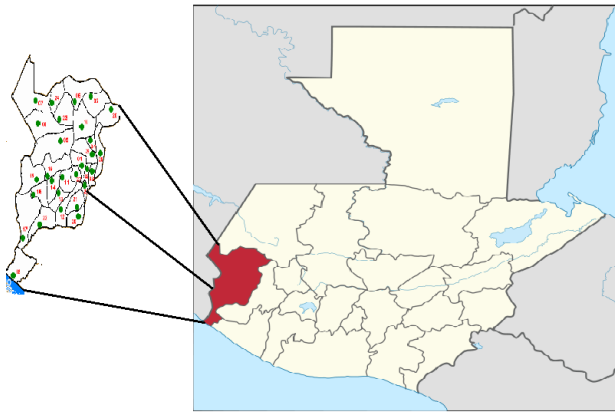


Figura 1 : Mapa de San Marcos Fuente: Maga.

1.2.2 Colindancias

La aldea Subchal se encuentra ubicada al sur occidente de la cabecera municipal de San Miguel Ixtahuacán colinda al Norte: Sícabe, Sur: Chilive, Este: Las Escobas y Oeste: Piedra parada, Ver figura 2.

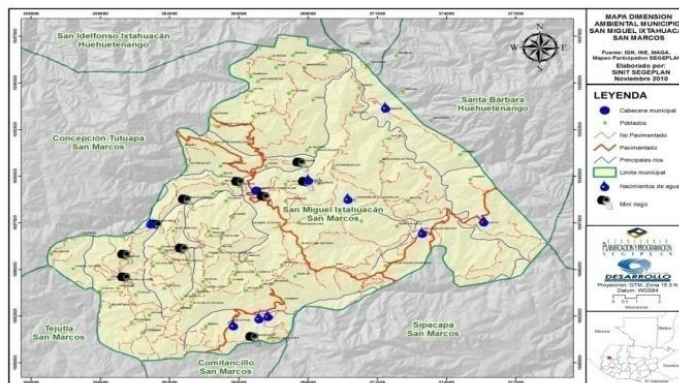


Figura 2 : Mapa de San Miguel Ixtahuacán, San Marcos. Fuente: Maga.

1.2.3 Vías de comunicación

La aldea Subchal tiene acceso por dos vías de comunicación: Por la Carretera CA-01W se encuentra ubicado a 280 km de la Ciudad Capital, donde a la altura del kilómetro 241 de la carretera CA-01W se toma la carretera que conduce al municipio de San Miguel Ixtahuacán, estando conformado por 250 kilómetros de carretera asfaltada y 20 kilómetros de terracería. De igual forma se tiene acceso a 50 kilómetros por la carretera que conduce de la cabecera departamental del departamento de San Marcos al Municipio de San Miguel Ixtahuacán estando conformado en su totalidad por carretera asfaltada (Hernandez, 2009)

1.2.4 Demografía

a) Población

Según las proyecciones realizadas del 2008-2020 por el Instituto Nacional de Estadística INE se proyecta para el municipio de San Miguel Ixtahuacán en el 2013 una población de 37,303 habitantes con una relación de 54.23% (19,131) mujeres y 45.77% (16,145) hombres. El 8.6% es población urbana y el 91.4% población rural (INE, 2002).

Cuadro 1 Distribución por grupo etareo

Grupo etareo	2009		
	Hombres	Mujeres	Total
0-3	111	113	224
4-6	130	132	262
7-14	147	153	300
15-18	115	123	238
Mayores de 18 años	192	416	608
Total	695	937	1632

Fuente: INE, 2012

1.2.5 FACTORES EDAFOCLIMÁTICOS

a) Clima

De acuerdo a la clasificación del clima de Thornthwaite el municipio de San Miguel Ixtahuacán tiene clima; que va del templado a semifrío, la temperatura media anual es de 15.4°C, con variaciones de 9 a 25°C. La precipitación pluvial promedio es de 678 mm con máximas de 2799.08 mm con 64 a 127 días de lluvia (MAGA, 2003).

b) Zonas de Vida

Según el sistema de clasificación de Holdridge el municipio se encuentra en las siguientes zonas de vida:

Bosque húmedo montano bajo subtropical (bh-MB) que tiene las siguientes características: Relieve plano a accidentado, vegetación natural que está representada por rodales de *Quercus sp* (roble, encino), *Pinus pseudostrobus* (pino triste) y *Pinus montezumae* (pino de ocote). El uso apropiado para esta zona es fitocultural (maíz, frijol, trigo, verduras y frutales como durazno, manzana, pera y aguacate).

Bosque muy húmedo montano bajo subtropical (bmh-MB), esta zona se caracteriza por tener un relieve accidentado, la vegetación natural es *Cupressus lusitánica* (ciprés común), *Alnus jorullensis*, *Quercus sp* (roble, encino). Se puede dar uso combinado de fitocultivo y bosque y los cultivos principales pueden ser el trigo, maíz, papa, haba, verduras, frutales como la manzana, durazno y pera; merece ser manejado cuidadosamente debido a la densidad de población tiende a disminuir dando paso a la erosión en pendientes fuertes.

c) Suelos

Según Simmons C.C. Tarano y Pinto J.H., los suelos de San Miguel Ixtahuacán son de origen volcánico de texturas franco, franco arcillosa, franco turbosa, franco arenosa, y franco limosa; de la series Patzité (Pz), Totonicapán (Tp), Camancha erosionada (Cme), Marajuma, Sacapulas, Sinache y Salamá. La topografía es fuertemente ondulada y escarpada. El aprovechamiento de los suelos en el municipio dista mucho de ser el óptimo de su vocación pues, los suelos del territorio son utilizados sin ningún criterio de uso del

suelo de acuerdo a su capacidad y existen áreas de bosque sin planes de manejo que reducen riesgos a desastre (MAGA, 2003).

d) Vocación del suelo:

El uso actual de la tierra en el municipio es predominantemente agrícola, la zona urbana presenta un crecimiento espontáneo y sin planificación, las zonas de reservas naturales están en constante proceso de degradación y hay una sistemática contaminación de las cuencas hidrográficas.

Los productos agrícolas que se cosechan con mayor frecuencia para fines de autoconsumo y comercialización son: maíz, frijol, haba, papa, zanahoria, aguacate, manzana, durazno, banano, tomate, café, entre otros.

En la mayoría de las parcelas productivas los agricultores no cuentan con planes de uso y conservación de los suelos, existe la presencia de estructuras de conservación tales como terrazas o bancales y curvas que han sido establecidas en el año 1998 en apoyo a la producción por DIGESA y FIS. Las cuales han sido abandonadas y muy pocas personas disponen de tiempo y actitud para proteger su tierra, se hace por necesidad ante la topografía escarpada de sus terrenos, en la figura 3 se presenta el mapa de uso de la tierra del lugar (MAGA,2003).

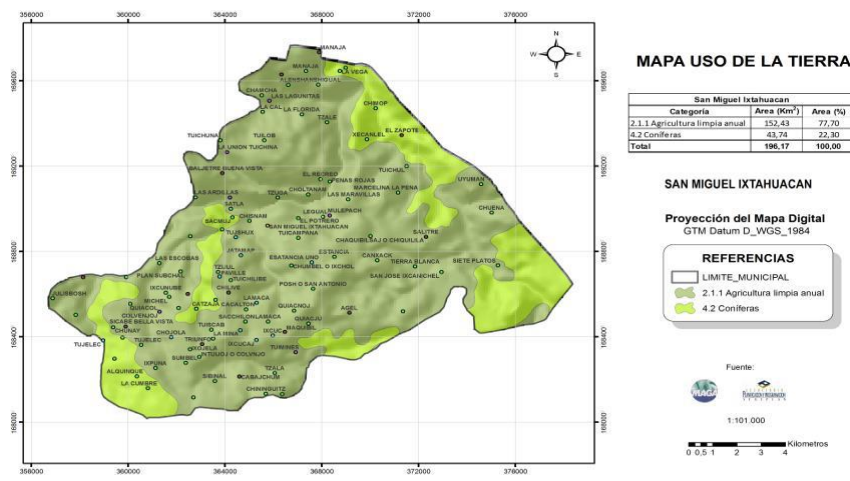


Figura 3: Uso del suelo San Miguel Ixtahuacán San Marcos Fuente: MAGA/SEGEPLAN 2010

e) Recurso hídrico

La comunidad no cuenta con fuentes de agua propia, únicamente pasan dos ríos denominados: Río Shiguilá o Grande y el Río Xotabaj, sin embargo los pobladores han sido beneficiados en años anteriores por cinco sistemas de riego los cuales provienen de diversos nacimientos. Los sistemas de riego están conformados de la siguiente manera:

- Exnube
- Pabil
- Plan Subchal
- Kaqkol
- Chaqliman

El total de productores y productoras que cuentan con sistema de riego es de 123 con 3 cuerdas cada uno (Una cuerda en San Miguel Ixtahuacán cuenta con 441 metros cuadrados), además hay 22 productores que cuentan con sistema artesanal de riego con 2 cuerdas cada uno.

El total de cuerdas de terreno que pueden aprovecharse en época seca cultivando hortalizas de exportación es de 413, pues actualmente no se está aprovechando esta infraestructura productiva (Hernandez, 2009).

1.2.6 Fauna y flora

a) Fauna

En el municipio aún se pueden observar especies de ardillas (*Sciurus* sp.), armadillos (*Dasyprocta novencinctus*), tacuatzines (*Urocyon cinereoargenteus*), gatos de monte (*Coragis atratus*), coyotes (*Canis latrans*), palomas (*Columba livia*), torcazas, zorros, tecolotes (*Crotalus scottii*), serpientes y zorrillos (*Didelphys marsupialis*), conejo (*Sylvilagus* sp.), (*Soelopus malachiticus*), zope (*Macrogomish heterocus*), taltuza (*Soelopus malachiticus*), tecolotes (*Crotalus scottii*), lagartija (*Podarcis* sp.), gorrión (*Thalassidroma colymbica*), canarios (*Serinus canaria*), ratas (*Rattus* sp.), sanates .

b) Flora:

Arbustos: Arrayan (*Myrtus comunis*), carrizo (*Laciasis divaricada*), chichicaste (*Urtica urens*), chilca (*Bachariss candeus*), miche (*Erythirina divaricada*), mora silvestre (*Cholorophira tintoriz*), sauco (*Sambucus sp*).

Pastos: Avena (*Avena sativa*), grama (*Axonopus afinis*), setarea (*Setaria sp*).

Ornamentales: Rosa (*Rosa cinensis*), begonia (*Begonia sp*), cartucho (*Anthurium montanum*), flor de pascua (*Euphorbia leucecephala*), bugambilia (*Boungaincillea hortorum*), geranio (*Pelargo niuhortorum*), margarita (*Chrysanthemum sp*), flor quinceañera (*Impatiensa sp*), clavel (*Dianthus caryophyllus*), crisantemo (*Crisantemum sp*).

Herbáceas: Grama (*Penisetum pseudostrobus*), mecate (*Agave spp*), pajón (*Mukehmbergia spp*).

Bosque: La cobertura forestal se encuentra conformada por bosques mixtos con especies como: criprés (*Cupresus lusitánica*), pino (*Pinnus sp*), aliso (*Alnus sp*), encino (*Quercus sp*), Pinabete (*Abies guatemalensis*), eucalipto (*Eucaliptus globulus*), madrón (*Arbustos xalapensis*).

Las áreas boscosas son aprovechadas principalmente para leña y en menor cantidad para madera y broza para aboneras o para incorporación directa al momento de la siembra de los cultivos (Standley, 1974). El Instituto Nacional de Bosques (INAB) de San Marcos menciona que los factores que ejercen mayor presión en la tala de los bosques son (MAGA, 2003):

- Avance de la frontera agrícola
- Invasiones
- Talas ilícitas
- Pastoreo

- Incendios
- Cambio de uso del suelo
- Ausencia de manejo forestal
- Ataque de plagas y enfermedades
- Dentro del municipio no existen áreas de reserva, protegidas

1.2.7 Características Económicas

a) Empleo y migración

Se observa que la distribución de la PEA, es familiar y asalariada la mayoría de los habitantes son pequeños productores, que destinan su cosecha en su mayoría al autoconsumo y un pequeño excedente para la venta.

La actividad económica de mayor importancia es la agricultura que representa un 79.7% seguida de la servicios comunales, sociales, personales 6.54%.

En este sentido se puede decir que los hogares poseen una baja capacidad para obtener ingresos, que le puedan alcanzar niveles mínimos de consumo de bienes y servicios, lo cual hace que la mayoría de la población del municipio se encuentre en un índice de precariedad ocupacional muy alto, como consecuencia del bajo nivel educativo, lo que implica que el jefe de hogar no tenga acceso a un empleo bien remunerado (Hernández, 2009).

b) Ingreso

Los ingresos económicos de familiares con riesgo económico están concentrados en el trabajo del padre y madre de familia. En el área rural el ingreso económico mensual por familia oscila de Q300.00 a Q.500.00, mientras en el área urbana es de Q.500.00 a Q.800.00. Esta limitante no permite cubrir las necesidades básicas respecto a alimentación, salud y educación y no se tiene la capacidad de ahorro e inversión. (Hernández, 2009)

c) Migración

La migración temporal, como se ha mencionado ocurre al no encontrar fuentes de trabajo fuera del sector primario o más específicamente en la agricultura. La tasa de migración oscila el 60%, y ocurre principalmente durante los meses de septiembre a enero, con destino hacia la costa y boca-costa guatemalteca y al estado de Chiapas, México. La población busca empleo en las bananeras, fincas cafetaleras, en el corte de caña de azúcar.

d) Servicios Familiares

Se cuenta con servicio de agua potable, cuentan con pilas para el lavado de ropa y otros menesteres. De igual forma existe servicio de energía eléctrica en la región.

1.2.8 Actividades Productivas

a) Producción Agrícola

La agricultura es la principal actividad de la mayoría de los habitantes del altiplano occidental de Guatemala. En San Miguel Ixtahuacán, la producción agrícola es de importancia porque constituye una fuente de ingresos, además de proveer de alimentos a los productores y a sus familias. A la fecha la misma se desarrolla en el área rural como el área urbana del municipio y constituye el ingreso económico fundamental para el sostenimiento de los habitantes del territorio.

En la aldea Subchal anteriormente se hicieron intentos de producir para casas exportadoras, sin embargo estas empresas no cumplieron con los tratos dado que los porcentajes de rechazo eran demasiado elevados y los pagos no los efectuaban en los periodos de tiempo estipulados así como pagos no efectuados por productos entregados.

El 20.64% de la superficie del municipio disponible para la agricultura es destinada para el cultivo de maíz, este cultivo constituye el complemento económico y alimenticio de la población que directa o indirectamente se desenvuelve alrededor de su proceso productivo.

Los productores de la comunidad presentan experiencia en los cultivos de Papa, Brócoli, Zanahoria, Remolacha, Col de Bruselas y Arveja. Estos cultivos están destinados desde su siembra básicamente para la comercialización por lo que constituye una fuente de ingresos para la subsistencia de las familias. Los cultivos secundarios lo constituyen el café, durazno, manzana, aguacate, ciruela, los cuales se encuentran como plantas aisladas raramente establecidas como plantaciones.

El principal problema que encuentra en la comunidad es que gran parte de las áreas cultivadas cuentan con escasa o nula capacitación en aspectos técnicos sobre el manejo de los cultivos y por ende bajo nivel tecnológico en el proceso lo que repercute en bajos rendimientos obtenidos en los campos de cultivo. De igual forma existe escaso o nulo acompañamiento técnico para desarrollar habilidades comerciales que les permitiera mantenerse en los diferentes mercados y con ello que conseguían formas y mecanismos de comercialización esto derivado a la falta o escasa experiencia de trabajo como grupo productor y comercializador organizado considerando que anteriormente se han realizado pruebas para producir y comercialización con diversas empresas.

b) Cultivos comerciales

La comunidad presenta un alto potencial de éxito en actividades productivas debido a experiencias previas en producción y comercialización de productos , actualmente comercializan con exportadoras de productos como arveja y col de Bruselas las cuales eran encargadas de maquilar su producto, pagándoles por producción con estándares de rechazo en ocasiones altamente estrictos y con precios de venta inestables en el mercado así como también producción y comercialización de papa y otros cultivos los cuales son comercializados en mercados informales de la ciudad capital así como dentro del mismo municipio.

En base a estas experiencias previas de producción y comercialización la comunidad tiene un alto potencial de éxito en actividades de esta índole debido a su alta capacidad productiva y de comercialización.

c) Cultivos de subsistencia

Los cultivos de subsistencia de mayor importancia en la comunidad son haba, maíz y frijol siendo estos últimos cultivados en asocio destinados para consumo familiar, siendo las cantidades producidas no suficientes para suplir las necesidades de consumo familiar, requiriendo de 5 a 8 quintales de maíz extras por familia anualmente.

El cultivo de frijol es realizado en asocio con maíz, en promedio cada familia cuenta con un promedio de 10 a 12 cuerdas de terreno, existiendo en la comunidad familias que cuentan con extensiones que superan las 40 cuerdas.

La comunidad se caracteriza por no tener mucha gente laborando en los Estados Unidos, México y otros departamentos de la república. Aproximadamente sorprendente el 50% de familias de la comunidad viaja por temporadas (2 meses) a laborar en fincas cafetaleras de la costa y boca costa, lo que contrasta con el potencial productivo con que cuentan.

d) Infraestructura de Apoyo a la Producción

Se encuentra en la comunidad un centro de acopio propiedad de 2 grupos de riego, el cual fue construido por el Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación MAGA, en el año de 1998 actualmente es utilizado más que para almacenamiento de materiales de la comunidad.

Además existen invernaderos para la producción de hortalizas, por lo que existen experiencias previas en producción de cultivos bajo condiciones controladas, siendo esto una potencialidad para poder impulsar procesos de comercialización de hortalizas.

e) Caracterización de unidades productivas de la comunidad.

La comunidad se encuentra conformada por 450 familias con un promedio de 7 integrantes por núcleo familiar, lo que hace un total de 3,150 habitantes. Los productores participantes en este proyecto, están integrados a la Asociación de Desarrollo Integral Amigos Subchalense (ASODIAS) la cual está conformado por un grupo de 42 productores que participará en el plan piloto de los cuales 32 participarán en el cultivo de papa, con un área de siembra promedio de 1 cuerda por etapa (unidades productivas corresponden a 441 m² equivalentes a una cuerda de la zona) y 10 socios que participarán con un área de siembra de zanahoria con promedio de 0.5 cuerdas por etapa.

Los suelos que se están utilizando para ambos cultivos, presentan una adecuada vocación agrícola. Las unidades productivas tienen la particularidad de disponer de sistemas de riego por aspersión, así como presencias de sistema de conservación de suelos las cuales requieren mantenimiento.

Existe experiencia previas en cuanto a la producción del cultivo de papa empleando métodos tradicionales los cuales han sido empleado por más de 25 años se han dedicado a esta actividad. Los rendimientos obtenidos varían desde 18 hasta 25 quintales por cuerda, siendo el promedio de producción de la zona de 22 quintales por cuerda. No obstante en cuanto a la producción de zanahoria, también cuentan con experiencia de producción en pequeñas extensiones, para un abastecimiento al mercado local y para el autoconsumo.

En cuanto a los temas de BPA`s y BPM`s necesarios para la comercialización de los productos existe desconocimiento parcial del tema de producción y comercialización de productos agrícolas bajo normas de calidad y de certificación, esto debido que en épocas anteriores diversas instituciones han brindado capacitaciones de esta índole, no obstante por falta de seguimiento de las misma no existe aplicación de las mismas en los procesos de producción en la zona.

1.2.9 Estructura organizacional

El aspecto de organización comunitaria muestra debilidad esto a causa de grupos opositores a actividades mineras en la región, sin embargo las y los participantes que conforman ASODIAS manifiestan mucho interés por trabajar en conjunto y de recibir el apoyo institucional, por otra parte el estado legal de la asociación para el desarrollo integral del amigo subchalense (ASODIAS) no cumple con todos los requisitos legales por lo cual no se encuentra legalmente inscrita en la SAT, por ende no cumple con los requisitos para comercialización de sus productos con empresas incluyan comercialización únicamente con un estructuras legales establecida.

1.2.10 Producción pecuaria

La crianza de animales genera ingresos para el sostenimiento familiar, además genera productos de origen animal que sirve para la dieta básica del consumo de los habitantes de la comunidad. La crianza porcina es destinada para consumo local. Existe la crianza avícola a nivel doméstico y es destinada en su mayoría, para consumo del núcleo familiar.

1.2.11 Oportunidades proyectos productivos

En base a la información obtenida y en apoyo a plan anual de desarrollo municipal local existen diversas oportunidades productivas entre las cuales se pueden establecer las siguientes:

Desarrollo y tecnificación de la actividad frutícola (melocotón y aguacate), por ser una región potencial donde existe experiencia productores están familiarizados con esta actividad y a la posibilidad.

Proyecto de Producción y Comercialización de Hortalizas para lo cual se requiere asistencia técnica en los procesos productivos (Hernández, 2009).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

- Identificar el estado actual de la producción de hortalizas en aldea Subchal, San Miguel Ixtahuacán, para proponer mejoras en los procesos productivos.
- Determinar las principales problemáticas y/o deficiencia en cuanto a los procesos productivos de hortalizas en la aldea Subchal, San Miguel Ixtahuacán, para fortalecer aspectos que sean necesarios para un incremento en la producción.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar las principales deficiencias en los procesos tradicionales de producción.
- Determinar la situación actual sobre centros para acopio de los productos.
- Conocer la situación actual sobre procesos organizativos para la comercialización del producto y su actualización de registro en el RTU SAT y personería jurídica para comercialización de productos.
- Generar información necesaria que promuevan posibles soluciones y contribuyan contrarrestar las problemáticas en cuestión.

1.4 METODOLOGÍA.

1.4.1 Marco Referencial.

Aldea Subchal esta conformada por 450 familias con un promedio de 7 integrantes por nucleo familiar, lo que hace un total de 3150 habitantes para el año 2009. Los productores participantes en este proyecto, están integrados a la Asociacion de Desarrollo Integral Amigos Subchalense (ASODIAS) la cual está conformada por 42 productores.

Para la identificación de áreas productivas fue necesario realizar un fase de reconocimiento en campo, visita a las de las áreas de producción en donde se sitúan diversos productores y con ello identificar algunos parámetros de estudio, de igual forma se recopilo información documentada vía electrónica así como la consulta bibliográfica a partir de mapas de la región, recursos naturales e hídricos existentes, información sobre el contexto social, información edafoclimática (zonas de vida, precipitación pluvial promedio anual, evapotranspiración, características del suelo).

1.4.2 Información primaria

a) Reunión con Director general de Fundación Sierra Madre (FSM)

Se trataron temas propios sobre políticas e ideales bajo los cuales fue creada la Fundación Sierra Madre, así como antecedentes sobre el contexto bajo el que se desarrollaron las actividades y los lineamientos en el periodo 2013.

b) Visita de Campo

En esta actividad se recopilo información por medio de entrevista personal con el fin de contrastar información obtenida de otras fuentes así como también observación y anotación en la libreta de campo sobre el estado actual de la producción de hortalizas para la determinación de posibles problemas y/o deficiencia en cuanto a los procesos productivos.

Esto fue realizado mediante entrevistas y recorridos en las áreas de los 42 productores asociados a ASODIAS , logrando con ello obtener un bosquejo sobre los cultivos de importancia en la región y métodos de producción utilizados tradicionalmente en papa y zanahoria.

c) Reunión con líderes de la asociación de productores ASODIAS.

En esta actividad se identificó la situación sobre el proceso trámite de actualización de registro en el RTU SAT y personería jurídica requerida por Walmart y otras empresas para la comercialización de productos, así como la recopilación de información sobre cultivos de importancia, áreas con disponibilidad de riego, estructura organizacional de ASODIAS, estado general de centro de acopio, producción promedio de la región y cultivos de interés.

1.4.3 Análisis de dela información

Mediante las entrevistas realizadas a los productores que conforman ASODIAS se obtuvo información acerca de los cultivos con mayor representatividad, así como de las plagas y enfermedades que causan mayor daño para los cultivos tradicionales de la region. De igual forma se obtuvo información sobre los métodos de producción de los cultivo de papa y zanahoria en cuanto manejo cultural, plagas y enfermedades, además se realizaron entrevistas en algunos de los agroservicios, apoyo técnico y consulta de literatura.

1.4.4 Recursos

Recurso Institucional

- Fundación Sierra Madre (FSM)
- Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala (FAUSAC)
- Departamento de Ambiente de Montana Exploradora de Guatemala.
- Asociación de desarrollo integral del amigo Subchalense (ASODIAS)

Recurso Físico

- Sillas.
- Mesas.
- Libreta de campo.
- Lapiceros.
- Computadora.
- Impresora.
- Cámara digital.

Humanos

- Líderes de Aldea Subchal.
- Pobladores.
- Técnicos de Departamento de Ambiente de Montana Exploradora de Guatemala y Fundación Sierra Madre.
- Estudiante del ejercicio profesional supervisado de la Facultad de Agronomía.

1.5 RESULTADOS:

En aldea Subchal en San Miguel Ixtahuacán, mediante la realización del diagnóstico se identificaron una diversidad de problemas y fortalezas que influyen directamente sobre los procesos productivos. Aldea Subchal cuenta con condiciones edafoclimáticas apropiadas para la producción de papa y zanahoria, los productores asociados a ASODIAS poseen sistemas de riego en sus parcelas y experiencia previa en la producción de dichos cultivos.

Los problemas identificados que afectan directamente en el tema de agro-productividad, es la escasa asistencia técnica en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) y zanahoria (*Daucus carota*) que los limita a sistemas de producción tradicionales que no brindan un adecuado control fitosanitario y de nutrición del mismo, nulo conocimiento y aplicación de manejo postcosecha así como sub utilización de infraestructura que permita aplicación de BPM y controles de calidad.

La organización de productores ASODIAS de aldea Subchal no cuenta con una organización estructurada adecuadamente en aspectos legales y fiscales que le permita desarrollar procesos de comercialización en mercados formalmente establecidos a nivel nacional como Wal-Mart.

1.6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En Aldea Subchal de San Miguel Ixtahuacán, San Marcos se identificaron condiciones edafoclimáticas adecuadas para la producción de papa (*Solanum tuberosum*), no obstante métodos de producción tradicional y su estructura organizacional débil limitan su potencial productivo y comercial.

Los procesos tradicionales de producción en la región, no cuentan con una estructura que permita un adecuado control fitosanitario y de nutrición en el cultivo.

Se identificaron centros de acopio y infraestructura para el manejo pos cosecha sub utilizados y bajo condiciones no apropiadas.

Se determinó que la comunidad presenta estructura organizacional débil, la cual limita su capacidad comercialización de productos en mercados nacionales formalmente establecidos, por no contarse inscritos en SAT.

Se recomienda brindar seguimiento en los procesos productivos y cimentar las bases de una cultura tributaria para con ello acceder a mercados formales nacionales e internacionales, eliminando a intermediarios que perciben la mayor ganancia de los productos. Y con ello obtener mayores beneficios de la comercialización de sus productos

1.7 LITERATURA CONSULTADA:

1. Consejo Municipal de Desarrollo del Municipio de San Miguel Ixtahuacán, San Marcos, GT; SEGEPLAN (Secretaría General de Planificación, GT). 2010. Plan de desarrollo San Miguel Ixtahuacán, San Marcos. Guatemala. 121 p.
2. Gentry, JL Jr.; Standley, PC. 1974. Flora of Guatemala. Chicago, US, Field Museum of Natural History, Fieldiana. Botany, v. 24, pte. 10, no. 1-2, p. 142.
3. Hernández Gómez, F. 2009. Propuesta de proyectos integrales. San Marcos, Guatemala, Fundación Sierra Madre. 94 p.
4. INE (Instituto Nacional de Estadística, GT). 2002. XI censo nacional de población y VI de habitación (en línea). Guatemala. Consultado 19 jul 2013. Disponible en: <http://www.ine.gob.gt/np/poblacion/>
5. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2003. IV censo nacional agropecuario (en línea). Guatemala. Consultado 15 jul 2013. Disponible en <http://www.ine.gob.gt/np/agropecuario/tomo%20IV.pdf>

2. CAPÍTULO II.

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DE ÁCIDO-3-INDOL BUTÍRICO Y ÁCIDO GIBERÉLICO EN LA PRODUCCIÓN DE PAPA (*Solanum tuberosum*), EN SAN MIGUEL IXTAHUACÁN, SAN MARCOS, GUATEMALA, C.A.

2.1 INTRODUCCIÓN

La producción de papa (*Solanum tuberosum*) en el departamento de San Marcos es de suma importancia económica debido a que representa una fuente de ingresos para familias de la región que se dedican a la producción de hortalizas. Considerando que en el municipio de San Miguel Ixtahuacán el 79.74% de la población se dedica a actividades ligadas a la agricultura y que la producción de papa es uno de los principales cultivos destinados a la comercialización, el cual les genera ingresos a diferencia de otros cultivos de subsistencia producidos como haba, maíz y frijol (Hernández, 2009).

El rendimiento nacional de producción de papa se considera bajo en comparación con rendimientos registrados en otros países donde emplean tecnologías diferentes para producción de papa (*Solanum tuberosum*). Para el caso del Municipio San Miguel Ixtahuacán se reportan rendimientos promedio de 13,909 kilogramos por hectárea (MAGA, 2003), no obstante bajo datos de experiencia personal de productores el rendimiento promedio se encuentra alrededor de 22,727 kilogramos por hectárea en comparación con países desarrollados donde se aplica tecnología de precisión obteniendo producciones mayores de 40,000 kilogramos por hectárea (FAO, 2008).

En la región de San Miguel Ixtahuacán, San Marcos, se emplean métodos de producción de papa tradicionales, en los cuales no se emplea ningún tipo de reguladores de crecimiento que induzcan procesos fisiológicos en el cultivo que puedan mejorar los rendimientos. Como parte de la asesoría técnica para el mejoramiento de la producción, el departamento técnico de instituciones que apoyan el desarrollo sostenible de comunidades de San Miguel Ixtahuacán San Marcos, por medio de un proyecto piloto para producción y comercialización de hortalizas en la zona contempla la aplicación de reguladores de crecimiento en sus planes de manejo.

En la presente investigación se evaluó el efecto sobre la producción de tubérculos de papa como respuesta a la aplicación de reguladores de crecimiento. Las aplicaciones de

Ácido Indol Butírico y Ácido Giberélico se realizaron en dos diferentes concentraciones para generar la inducción de procesos fisiológicos que incrementen la producción.

En el presente documento se detallan los resultados obtenidos en la evaluación del efecto sobre la producción de papa (*Solanum tuberosum*) por la aplicación de Ácido Indol Butírico a 200 y 500 ppm, así como de Ácido Giberélico evaluados a 2 y 5 ppm en las siguientes combinaciones; Ácido Indol Butírico a 200 ppm, Ácido Indol Butírico a 500 ppm, Ácido Giberélico a 2 ppm, Ácido Giberélico a 5 ppm, Ácido Indol Butírico a 200 ppm + Ácido Giberélico a 2 ppm, Ácido Indol Butírico a 200 ppm + Ácido Giberélico a 5 ppm, Ácido Indol Butírico a 500 ppm + Ácido Giberélico a 2 ppm y Ácido Indol Butírico a 500 ppm + Ácido Giberélico a 5 ppm. Los tratamientos antes mencionados fueron aplicados en el establecimiento de la plantación.

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En el municipio de San Miguel Ixtahuacán el 79.74% de la población se dedica actividades ligadas a agricultura siendo la producción de papa uno de los principales cultivos que generan ingresos a las familias a diferencia de otros cultivos de subsistencia. Uno de los principales problemas en la producción de estos cultivos es el empleo de métodos tradicionales que no permite obtener mejores rendimientos en los cultivos, lo que hace evidente la falta de asistencia técnica que les permita mejorar los procesos producción y por ende mejorar la economía familiar (Hernández, 2009).

Actualmente existe un plan piloto para la producción y comercialización de hortalizas, iniciativa que surge como parte del apoyo al plan de gobierno municipal local para el desarrollo sostenible de la comunidad dentro del cual se encuentra considerado la producción y comercialización de papa (*Solanum tuberosum*). El plan de manejo del cultivo de papa definido por técnicos del Departamento de Ambiente de Mina Marlín contempla la aplicación de reguladores de crecimiento tipo auxinas en la etapa de establecimiento del cultivo (siembra) para mejorar el proceso de enraizamiento de los tubérculos y por ende un mejor desarrollo radicular. Siendo esta práctica de aplicación de reguladores de crecimiento en cultivo de papa no empleada de forma tradicional, por lo cual no existe información sobre el efecto de reguladores de crecimiento en el cultivo de papa; considerando que la aplicación de reguladores contribuyen al incremento de los rendimientos de otros cultivos, por lo que se evaluó el efecto de la aplicación a diferentes concentraciones de reguladores de crecimiento Auxinas y Giberelinas como parte de la mejora de procesos tecnológicos para la producción de papa (*Solanum tuberosum*) que permitan aumentar los rendimientos en la producción de este cultivo.

2.3 JUSTIFICACIÓN

La aplicación de reguladores de crecimiento en plantas se realiza con el fin de inducir los procesos fisiológicos, estas prácticas son realizadas en diversos cultivos. No obstante en el cultivo de papa no son empleadas en las zonas del Occidente guatemalteco.

Las auxinas son reguladores de crecimiento de origen natural o sintéticos, conocidas como reguladores de crecimiento vegetal, las cuales son sintetizadas en diversas partes de las plantas, sus principales efectos sobre la fisiología de la planta son: inducción en la elongación de tallos, promueve dominancia apical, participa en procesos de respuestas tróficas, promueve formación de raíces. Los principales efectos de las Giberelinas son crecimiento de los frutos, promueve la germinación de semillas y yemas en latencia (Kermode, 2005)

El periodo de tiempo después que el tubérculo ha sido cosechado determina la edad fisiológica la cual a su vez afecta el poder germinativo. El tubérculo con mayor tiempo en almacenamiento presenta mayor brotación y los tubérculos jóvenes son más tardíos en su brotación, no obstante el tubérculo con menor tiempo en almacenamiento presenta mayor producción, esto debido a que el proceso de tuberización está parcialmente inducido por la presencia de Ácido Giberélico (Malagamba, 1997).

Por lo cual con base los efectos que producen los reguladores de crecimiento (auxinas y giberelinas) bajo diversas condiciones se evaluó el efecto de su aplicación en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) para estimular la brotación e inducir mejor desarrollo radicular por ende un mejor aprovechamiento de nutrientes y mejores rendimientos en la producción.

2.4 MARCO TEÓRICO

2.4.1 Clasificación taxonómica de la papa. (*S. tuberosum* L.)

- Reino:** *Plantae*.
División: *Magnoliophyta*.
Clase: *Magnoliopsida*.
Subclase: *Asteridae*.
Orden: *Solanales*.
Familia: *Solanaceae*.
Género: *Solanum*.
Especie: *Solanum tuberosum* (L). (Standley, 1974)

2.4.2 Descripción Botánica de *Solanum tuberosum* (L.)

Hierbas erectas o escandentes, hasta un metro de alto, estoloníferas y con tubérculos, escasa o densamente víscido-pubescentes con tricomas simples, inertes. Hojas solitarias, mayormente 5-9 imparipinnadas, folíolos ovados o elípticos, de hasta 8 cm de largo con ápice agudo o acuminado, de base obtusa: folíolos intersticiales presentes o ausentes, pecíolo delgado, hasta 5 cm de largo, folíolos pseudostipulares hasta 1 cm de largo.

Inflorescencia paniculada terminal con muchas flores tardíamente laterales, pedúnculos 4-10 cm de largo pedicelo 10-20 mm de largo, cáliz 5-8 mm de largo lobado hasta cerca de la ½ de su longitud, lobos lanceolados, largamente acuminados; corola 20-40 mm de diámetro, blanca rosada, azul o purpúrea, frecuentemente amarilla cuando seca, levemente lobada, lobos ovados, anteras 5-7 mm de largo baya subglobosa, 1.5-2.5 cm de diámetro glabra amarilla; semilla 2 mm de diámetro. (Standley, 1974).

2.4.3 Origen del cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.)

La papa es originaria de la región Andina de Sudamérica, de las mesetas de la cordillera de los Andes, también existen centros secundarios en algunas áreas de Mesoamérica como México y Guatemala. Siendo las primeras siembras entre las fronteras de Perú y Bolivia (Dogliotti, 2007).

El cultivo de papa se diseminó a casi todo el mundo a partir de Sudamérica, en Europa se introdujo en el año de 1,570. Actualmente su consumo forma parte de la dieta de varios países en el mundo.

En estado de cultivo se conocen más de 5,000 cultivares que crecen a nivel mundial y muchos más que crecen en forma silvestre o que existieron anteriormente.

2.4.4 Importancia del cultivo de papa en Guatemala.

El cultivo de papa en Guatemala, es de suma importancia para los productores de subsistencia, esto principalmente por las condiciones de clima y suelo adecuadas para el buen desarrollo del cultivo en algunas regiones del altiplano occidental, regiones altas del centro y norte del país (Ramírez, 2008).

Este cultivo es producido principalmente en el altiplano del país, principalmente en los departamentos de San Marcos, Huehuetenango, Quetzaltenango, Jalapa, Sololá, Guatemala, Chimaltenango, Alta Verapaz y Baja Verapaz (Ramírez, 2008). El cultivo de papa genera ingresos a familias guatemaltecas por miles de dólares anuales por concepto de exportación como muestra en cuadro 1.

Cuadro 2:: Exportaciones de papa en US Dólares.

Año	US Dólares
2007	6,288,142
2008	4,846,484
2009	10,988,191
2010	12,071,108
2011	9,458,285
2012	9,761,725
2013 (a Julio)	5,099,953

Fuente: Banco de Guatemala (2013)

2.4.5 Zonas de producción y productividad nacional.

En Guatemala el 77% de la producción de papa nacional se encuentra distribuida en los departamentos de Huehuetenango, Quetzaltenango y San Marcos. De acuerdo al último Censo Nacional Agropecuario realizado en el año 2003 (MAGA, 2003).

En referencia al comportamiento histórico de la producción de papa en Guatemala, según las fuentes de información los años censales 1950, 1964, 1979, y 2003, se pudo observar un primer tramo que cubre el periodo 1950-1964 el cual muestra un ritmo de crecimiento de más o menos 0.33 miles de TM por año. El segundo tramo 1964-1979 muestra un crecimiento anual promedio de 1.23 miles de TM. Por último, el periodo comprendido del año 1979 al 2003, que cubre 24 años muestra un crecimiento promedio anual de 3.0 miles de TM, esto como respuesta a un incremento en la demanda derivado del crecimiento poblacional (INE, 2003).

2.4.6 Requerimientos agroclimáticos del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*)

a) Temperatura.

El cultivo de papa para lograr un desarrollo adecuado requiere condiciones de temperaturas promedio 15-18 grados centígrado. Siendo no propicias para el adecuado desarrollo del cultivo temperaturas inferiores de 5 centígrados (Malagamba, 1997).

b) Suelo.

El cultivo de papa se adapta a gran diversidad de suelos los cuales deben tener buen drenaje y estructura, con profundidades promedio de 25-30 centímetros con buen nivel de materia orgánica, pH entre 5 y 7. Es un cultivo moderadamente sensible a la salinidad y relativamente sensible al déficit de agua, especialmente durante el período de formación de estolones y el inicio de tuberización; en suelos de textura muy arenosa no se retiene humedad y por ende requieren de intervalos de riego más cortos (Dogliotti, 2007).

Los suelos en los que se presenta mejor desarrollo del cultivo de papa son los porosos, friables y bien drenados, con una profundidad de 25-30 centímetros. De igual forma los

suelos derivados de materia orgánica producen mejores rendimientos (Malagamba, 1997).

c. Fertilización.

Para el manejo de nutrición del cultivo de papa por ser considerado de agricultura intensiva los planes de fertilización se deben de realizar con la finalidad de complementar los nutrientes que se encuentran deficientes en el suelo para la producción del cultivo. Es necesario mantener un balanceado suministro de los nutrientes a la planta, tales como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, hierro, cobre, zinc, manganeso, boro y molibdeno, ya que cumplen funciones específicas para el adecuado crecimiento de la planta. La falta de algún nutriente origina un retardo del crecimiento y disminución del rendimiento. En el cuadro 2 se muestran las cantidades de extracción de nutrientes del cultivo de papa para la producción de una tonelada métrica.

Cuadro 3: Cantidades de nutrientes requerida por el cultivo de papa en Kg, para la producción de una TM de tubérculos de papa

Elementos	Cantidad (Kg)
Nitrógeno	4 a 6 kg de N
Fosforo	0.7 a 1.1 Kg de P (1.6 a 2.5 Kg P ₂ O ₅)
Potasio	6 a 7.5 Kg de K (7.2 a 9 Kg de K ₂ O)
Magnesio	0.6 a 0.8 Kg de Mg.
Calcio	0.6 a 0.8 Kg de Ca.
Azufre	0.6 a 0.8 Kg de S.
Hierro	0.08 a 0.12 Kg de Fe.
Manganeso	0.012 a 0.06 kg Mn.
Zinc	0.012 a 0.06 kg Zn.
Cobre	0.002 a 0.006 Kg de Cu.
Boro	0.012 a 0.04 kg de B.
Molibdeno	0.002 a 0.006 Kg de Mo.

Fuente: CIP.

Las variaciones de la cantidad extraída de nutrientes minerales de la papa dependen de la riqueza natural del suelo, fertilización practicada y de la variedad establecida (Ramírez, 2008).

El Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA) ha realizado ensayos y parcelas en centros de investigación y fincas con el objetivo de puntualizar las investigaciones relacionadas con la fertilización de la papa (Ramírez, 2008).

Producto de ello se recomienda para la nutrición del cultivo de papa la aplicación de fertilizante 15-15-15 (en suelos con deficiencia de potasio) o 20-20-0 en suelos volcánicos. Las cantidades de fertilizante variarán de 773 Kg por hectárea (en terrenos francos o franco arcillosos) a 8494 Kg por hectárea (En terrenos franco arenosos o pobres) en los cuales es recomendable hacer una segunda aplicación al momento de la calza. Ésta deberá hacerse con urea, a razón de 104.5 Kg por Ha (Ramírez, 2008).

d. Consideraciones necesarias para la nutrición del cultivo de papa:

- La papa es una especie cuya principal función fisiológica es almacenar o acumular gran cantidad de nutrientes en los tubérculos.
- La papa acumula principalmente almidón. Su producción diaria en las hojas incrementa al iniciarse la tuberización y durante el desarrollo de tubérculos.
- La fase de desarrollo de tubérculos dura 40-50 días y se le conoce como “fase crítica”, ya que es el momento en que se define y se completa el rendimiento del cultivo. En estos momentos el cultivo debe contar con todos los nutrientes, tener un alto abastecimiento de agua y un total control fitosanitario.
- El principal elemento responsable de la movilización del almidón desde las hojas hacia el tubérculo es el potasio, de tal forma que un alto contenido de este nutriente es decisivo para la obtención de un alto rendimiento y calidad.
- La papa es un cultivo altamente demandante de potasio cuya fase crítica de absorción es muy breve, por lo tanto la disponibilidad de este nutriente en el suelo debe contar con el apoyo de la fertilización.

- La papa tiene un sistema radicular poco eficiente para la absorción de elementos como el potasio y el fósforo, los cuales a su vez se caracterizan por tener poca movilidad en el suelo. (León, 2007)

2.4.7 Etapas fenológicas del cultivo de papa

- a) Establecimiento del cultivo:** Es una etapa fundamental para el éxito de la plantación por su influencia directa sobre el desarrollo de la planta y por ende su efecto sobre la producción debido a que en esta etapa se orientada a producir un buen desarrollo radicular y un desarrollo aéreo inicial. Por ello durante esta etapa se requiere un alto aporte de fósforo y dosis iniciales de nitrógeno y potasio.
- b) Desarrollo vegetativo (Etapa 1):** Ello sucede principalmente durante los primeros 0-50 días. El crecimiento es rápido para establecer un buen desarrollo foliar y una total cobertura del suelo. El requerimiento de nitrógeno en esta etapa es alto, va desde la plantación hasta el inicio de la tuberización (tubérculos diferenciados y con 1 g o más de materia seca por metro cuadrado). En esta etapa los asimilados se destinan al crecimiento de hojas, tallos, raíces y hacia el final de la etapa también estolones. Desde la plantación y hasta que cada planta tiene de 200-300 cm² de área foliar la fuente principal de asimilados son los almacenados en el tubérculo semilla, y luego, por el resto del ciclo del cultivo, los producidos por el área foliar y tallos aéreos (Dogliotti, 2007).
- c) Tuberización y desarrollo de tubérculos (Etapa 2):** Dependiendo de la variedad, condiciones ambientales y de manejo, la tuberización se inicia en promedio a los 50 -80 días después del establecimiento del cultivo y se prolonga en promedio por 40 días. Esta etapa se caracteriza por una alta acumulación de los carbohidratos en los tubérculos en un corto período de tiempo. Esta fase es crítica, ya que determina el rendimiento y calidad final del producto. En esta etapa la demanda de potasio es alta y debe haber una alta disponibilidad de este nutriente, para asegurar la movilización de nutrientes al tubérculo, va desde el inicio de la tuberización hasta el fin del crecimiento del follaje. En esta etapa los asimilados disponibles se

comparten entre el crecimiento del área foliar y el crecimiento de los tubérculos y estolones .A lo largo de esta segunda etapa, en la medida que se inician cada vez más tubérculos y, una porción creciente de los asimilados disponibles se destina a éstos en detrimento del crecimiento del follaje. Primero se detiene la ramificación y la aparición de hojas nuevas y al final de la etapa cesa totalmente el crecimiento del follaje (Dogliotti, 2007).

d) Madurez fisiológica y de cosecha (Etapa 3): Terminado el período de mayor acumulación de materia seca en el tubérculo, la madurez se logra después de 80 a 110 días, dependiendo de las condiciones climáticas, va desde el fin del crecimiento del follaje hasta el fin del crecimiento del cultivo. El final del crecimiento del cultivo ocurre por la senescencia del follaje. El área foliar en esta etapa empieza a disminuir porque no hay desarrollo de hojas nuevas, las hojas más viejas van muriendo y el área foliar en su conjunto va gradualmente bajando su eficiencia fotosintética hasta que esta no es suficiente para mantener el crecimiento de los tubérculos. En esta etapa, entonces, todos los asimilados disponibles se destinan al crecimiento de los tubérculos (Dogliotti, 2007) .En la figura 4 se muestran las etapas de desarrollo fisiológico del cultivo de papa.

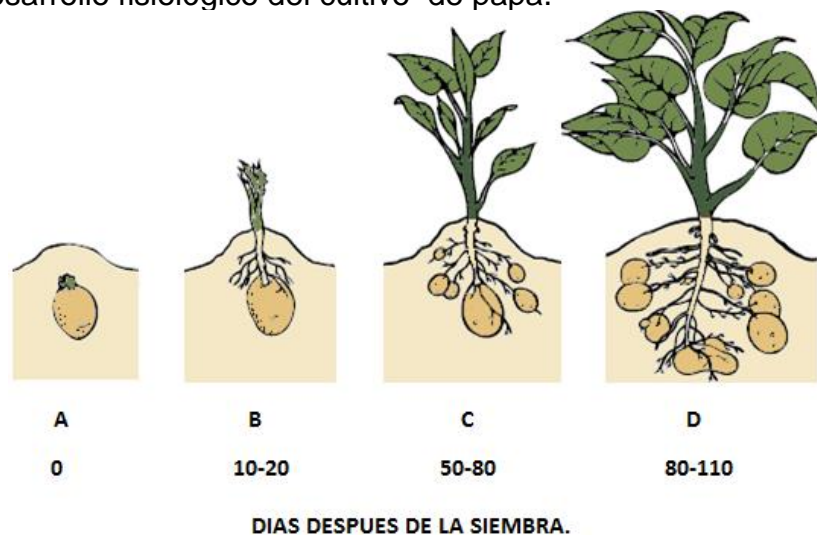


Figura 4: Etapas de desarrollo fisiológico del cultivo. Fuente: Bases fisiológicas del crecimiento y desarrollo del cultivo de papa (Rost, 2006).

2.4.8 Reguladores de crecimiento.

El desarrollo normal de una planta depende de la interacción de factores externos: luz, nutrientes, agua y temperatura e internos: reguladores de crecimiento. Los reguladores de crecimiento son compuestos orgánicos sintetizados en una parte de la planta que pueden ser translocados a otra parte (No todas las fitohormonas son necesariamente translocadas como el etileno) en pequeñas cantidades donde fomentan, inhiben o llegan a modificar de alguna manera cualquier proceso fisiológico vegetal. (Weaver, 1985).

La respuesta de la planta ante un regulador de crecimiento en particular depende de su estructura química y de su especificidad tisular.

a. Grupos principales de reguladores de crecimiento

- Auxinas.
- Citocininas.
- Giberelinas.
- Etileno.
- Ácido abscísico.

b. Características de los reguladores de crecimiento

Son pequeñas moléculas químicas que afectan al desarrollo y crecimiento de los vegetales a muy baja concentración.

Algunos reguladores de crecimiento como auxinas y giberelinas cuentan con característica en cuanto a su formulación que permiten facilitar su manejo y aplicación en diversos cultivos.

El Ácido Giberélico ($C_{19} H_{22} O_6$) comercialmente se le encuentra en polvo a pureza de 90 %. Presenta una alta solubilidad en alcohol; no es tóxico para humanos ni animales y es compatible con abonos foliares y pesticidas. El AG₃ se en el cultivo de papa presenta mejores resultados en dosis de 2 y 5 ppm. La dosis de 2 ppm es recomendable en tubérculos-semilla que ya han roto su dormancia. Los resultados indican que las dosis de 2 y 5 ppm tuvieron efecto en la ruptura del reposo en cultivares en tubérculos-semilla de ulluco (*Ullucus tuberosus*) evaluados por CIP (Lopez, 2002).

c. Mecanismos de acción de los reguladores de crecimiento

Existen diversos mecanismos de acción donde los reguladores de crecimiento pueden actuar dentro de las células vegetales generando diversos efectos en la fisiología celular. Los mecanismos de acción aceptados se presentan a continuación (Rost, 2006).

- **Unión hormona-receptor en citoplasma:** El regulador de crecimiento atraviesa la membrana celular de célula diana y atraviesa el citoplasma allí se une a una molécula adecuada (receptor) y forma un complejo hormona-receptor. A partir de aquí, el complejo puede disociarse o puede entrar en el núcleo como tal y afectar a la síntesis de los ARNm. Este efecto sobre la transducción es lo que produce la respuesta fisiológica (Rost, 2006).
- **Alteración en reacciones citoplasmáticas por interacción hormona-receptor:** El regulador de crecimiento se incorpora a un receptor de membrana en célula diana, unión/interacción hormona-receptor produce en este último un cambio, conformación que conduce a una cascada interna de reacciones citoplásmicas que pueden producir efectos muy variados; nuevas actividades enzimáticas, modificación de procesos metabólicos, inducción de síntesis de ARNm entre otros (Rost, 2006).

d. Auxinas

Las auxinas son los reguladores de crecimiento más usados para estimular el enraizamiento de plántulas. Dentro de las auxinas sintéticas existen dos productos que son los que ofrecen mejores resultados, siendo estos: el Ácido Indol Butírico (AIB) y el Ácido Naftalenacético (ANA) (Weaver, 1985).

La aplicación de auxina a las plantas causa una variedad de efectos, que difieren según la edad de la planta, la especie, y más particularmente, el tejido donde actúa. Al igual que ocurre con otros compuestos químicos fisiológicamente activos, la auxina es tóxica a altas concentraciones como el herbicida 2,4-D es una auxina sintética, una de las varias que han sido sintetizadas artificialmente para una amplia gama de aplicaciones.

En la aplicación de auxinas tipo AIB para la inducción de raíz, el mejor método es el de inmersión, los mejores resultados se han obtenido a concentraciones de 200 y 500 ppm. (Castillo 2004)

- **Descubrimiento de auxinas**

En el año de 1881 Charles Darwin y su hijo Francis generaron información a partir de investigación con plantas de avena y alpiste la cual fue plasmada en el libro "The power of the movent in plants" donde concluyeron que cuando las plántulas son expuestas libremente a una luz lateral se transmite cierta influencia desde la parte superior a la parte inferior, que obliga a la planta a encorvarse. Posteriormente el fisiólogo First W. Went continuó con la investigación y logro aislar esta "influencia" de plantas que la desencadenaban mediante la experimentación con ápices de coleptilos de avena en segmentos de agar. Went demostró que el ápice del coleoptilo ejerce sus efectos mediante un estímulo químico (es decir una hormona), reflejado en una respuesta física. Went concluyó que la "influencia" que causaba la curvatura en la plántula era un compuesto químico y que se acumulaba en el lado opuesto a la zona iluminada (Curtis 1996).

Este estímulo comenzó a conocerse con el nombre de auxina, término creado por Went a partir de la palabra griega auxein "aumentar".

- **Clasificación de auxinas de acuerdo a su naturaleza**

Las axinas de acuerdo a su naturaleza se clasifican en auxinas naturales y sintéticas. Las auxinas naturales son sintetizadas en los tejidos de las plantas, La mayoría de estas son empleadas en la agricultura como reguladores de procesos fisiológicos en diversos cultivos, siendo las más comunes el Ácido Indolacético (AIA), Ácido Fenilacético, Ácido Indol Butírico (AIB), de igual forma las auxinas sintéticas son usadas en control de plantas arvenses como: 2,4-D, Dicamba, Picloran, estas no son sintetizadas en los tejidos de las plantas (Taiz, 1998).

- **Mecanismo de acción de la auxina**

Las auxinas presentan mecanismos de acción basado en la unión hormona-receptor en citoplasma, generando incremento en la plasticidad de la pared celular. Cuando la pared celular se ablanda, la célula se dilata debido a la presión del agua dentro de su vacuola

(presión de turgencia). A medida que se reduce la presión del agua, por dilatarse la célula, ésta toma más agua y de este modo continúa agrandándose hasta que la pared opone resistencia.

El ablandamiento de la pared celular no es debido a la interacción directa entre el AIA y los constituyentes químicos de la pared. Tanto la biosíntesis del ARN como la de proteínas son necesarias para que se dé este efecto de ablandamiento; si son inhibidas, no se observa ni ablandamiento ni crecimiento. Estudios realizados en células caulinares demostraron que el AIA incrementaba la biosíntesis de celulasa, la enzima que digiere la celulosa. Los tejidos vegetales tratados con AIA tienen de 12 a 14 veces más celulasa que los no tratados, en condiciones idénticas. Así, es presumible que, por lo menos, algunos de los efectos producidos en la pared celular por la auxina provengan de la producción de nuevo RNA mensajero codificador de la celulasa (Taiz, 1998).

Dentro de la célula se dan una serie de posibles etapas en la acción de la auxina las cuales son descritas y presentadas en la figura 5, siendo éstas:

1. El AIA se enlaza a un receptor de membrana específico.
2. El complejo AIA-receptor interactúa con otros ligandos, iniciando una cadena de eventos bioquímicos.
3. Las bombas de protones de la membrana se activan, acidificando la pared celular y causando su debilitamiento.
4. Se estimulan la síntesis y secreción de los componentes de la pared celular.
5. Las proteínas reguladoras migran desde el citosol al núcleo.
6. Las proteínas se enlazan a sus sitios reguladores en genes específicos, estimulando la transcripción.
7. La traducción de los ARNm regulados por auxina conducen a proteínas que intervienen en el crecimiento celular (Taiz, 1998).

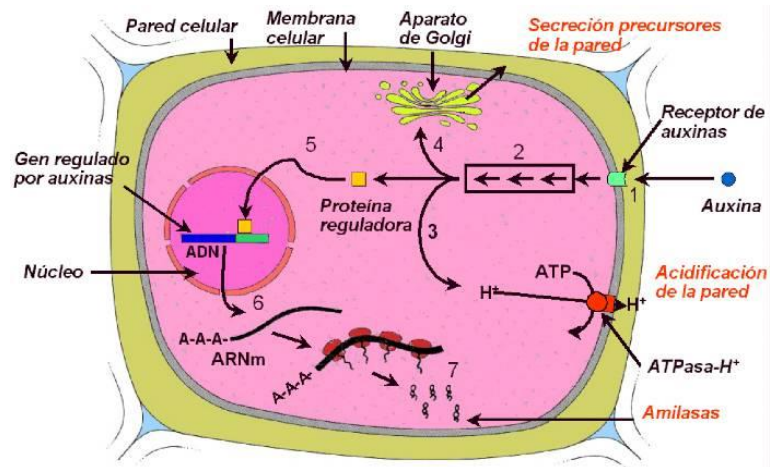


Figura 5: etapas de acción de las auxinas en el citoplasma celular, (Taiz, 1998)

Sin embargo, estudios han puesto de manifiesto que pueden ser detectadas respuestas de crecimiento en tejido de coleoptilo dentro de los 10 minutos posteriores a la aplicación de la auxina. Este efecto es demasiado rápido para que haya producción de nuevo ARN mensajero, responsable de la síntesis de la celulasa. Esto nos hace pensar que la producción de celulasa no es el modo de acción primario de la auxina sobre la pared de la célula vegetal. Uno de los efectos primarios del tratamiento con auxina implica cambios en el metabolismo celular que producen un rápido bombeo de protones a través de la membrana celular.

La acidificación resultante de la pared celular conduce, por un mecanismo desconocido, a la hidrólisis de los puentes que unen las distintas moléculas dentro de la pared y, consecuentemente, a la elongación celular forzada por la presión de turgencia. Se han obtenido pruebas de esta hipótesis del crecimiento ácido recientemente y que ayudan a entender mejor el mecanismo de acción de las auxinas. Se ha comprobado el hecho de que soluciones ácidas (pH 5.0-5.5) causan una elongación similar a la producida por el tratamiento con auxinas, mientras que tampones neutros, al prevenir la acidificación, inhiben el efecto de las auxinas sobre la elongación celular (Taiz, 1998).

Aunque se piensa que esta hipótesis es la más adecuada para explicar el alargamiento inicial como respuesta al tratamiento con auxina, no puede explicar el efecto continuado

de los tratamientos con auxina sobre las plantas. De hecho, muchos investigadores afirman que las auxinas tienen dos efectos diferentes sobre la elongación celular: un efecto a corto tiempo, rápido, causado por la hipótesis ácida y un segundo efecto, continuado, debido a la regulación de la expresión génica. Se ha demostrado que la auxina produce la expresión de 10 genes específicos, todos presumiblemente implicados en el crecimiento celular. Se sabe que la etapa afectada por las auxinas es la transcripción. Este efecto de las auxinas sobre la expresión génica parece ser similar al de algunas hormonas en los animales (Taiz, 1998).

- **Transporte de auxina en las plantas**

El transporte auxínico se basa en el modelo quimiosmótico del transporte polar de las auxinas. Las bombas ATPasa-H⁺ usan la energía de los ATP para mantener un adecuado gradiente de protones y de pH entre el citoplasma y la pared celular. Esto conduce a que la pared tenga un pH ácido y por tanto un exceso de cargas positivas. Ambos factores juegan un papel fundamental en el modelo quimiosmótico del transporte auxínico.

Se demuestra una forma de "comunicación" entre dos tejidos de la planta mediada por auxinas que se mueve desde la zona de crecimiento hacia la base de la planta (flujo unidireccional). Esto es debido a que la auxina se transporta activamente en las plantas desde los ápices de los vástagos hasta las zonas basales (dirección basipetal), donde dicho movimiento ocurre normalmente en los tejidos a través de las células, más bien que usando los conductos del xilema y del floema. Presumiblemente el proceso de transporte implique una interacción entre la auxina y la membrana plasmática de las células de la planta (Taiz, 1998).

Los transportadores de AIA se encuentran siempre en la zona polar de las células. La salida de protones a la pared celular actúa sobre las moléculas de celulosa de la misma. Los enlaces dentro de la pared primaria, se debilitan, y se produce una expansión celular impulsada por la turgencia. La dirección de la expansión la marca la orientación neta de las microfibrillas de la pared celular. Esta respuesta va seguida por efectos a largo plazo (Taiz, 1998).

- **Biosíntesis de auxinas**

La auxina es sintetizada principalmente en los meristemos apicales de los brotes y de allí se mueve a otras partes de la planta (basipetal). El AIA se sintetiza a partir del aminoácido triptófano en plantas y en bacterias. Probablemente es éste el precursor del AIA formado en la planta viva, aunque se conocen cuatro vías de formación del AIA cada una de ellas con un intermediario distinto. Diferentes grupos de plantas emplean distintas rutas para producir AIA a partir del triptófano. Algunas plantas, tales como el maíz (*Zea mays*) emplean distintas rutas según su estado de desarrollo como se muestra en la figura 6. La auxina se produce en los ápices de los coleoptilos de las gramíneas y en los meristemos apicales de los tallos y, en menor proporción, de las raíces. También se encuentra en los embriones, en cantidades notables, y en las hojas jóvenes, flores y frutos (Taiz, 1998).

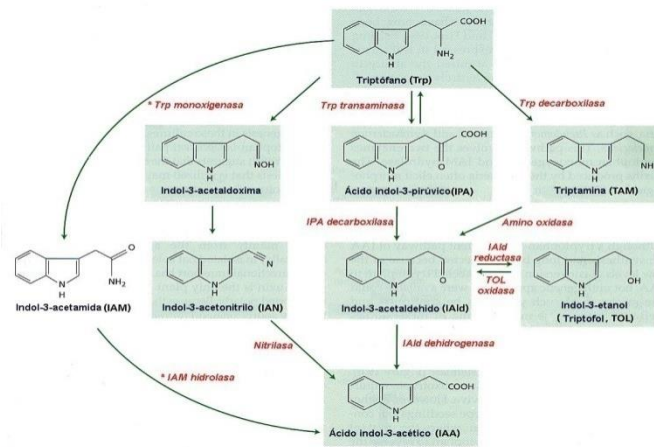


Figura 6: Proceso de biosíntesis del Ácido indolacético. (Rost, 1997).

- **Estructura de algunas auxinas naturales**

Las estructuras que poseen actividad auxínica presentan como característica común una carga neta positiva en el anillo, situada a una distancia de 0,05 nm de la carga negativa del grupo COOH. Esta distancia se da siempre entre los compuestos que tienen actividad auxínica, sean derivados indólicos, fenolitos, benzoicos o picolínicos. La mayoría de compuestos auxínicos poseen características comunes que no son absolutas, por lo que existen algunas estructuras con capacidad auxínica aun en ausencia de algunos de las siguientes características; Un anillo aromático o cadena fácilmente ciclable, existencia por lo menos de un doble enlace en el anillo, existencia de una cadena lateral sobre el anillo

la cual se encuentra adyacente al doble enlace, presencia de radical COOH terminal en la cadena lateral separado del anillo por uno o dos carbonos, algunas de estas características se observan en las estructura presentadas en la figura 7.

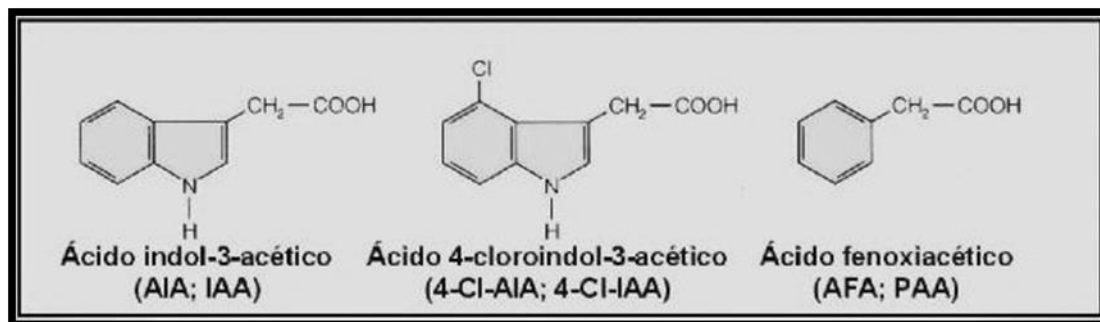


Figura 7: Estructuras moleculares algunos compuestos que poseen actividad auxínica. Taiz L. (1998)

El ácido indol-3-acético (AIA) se encuentra en todas las plantas, otros compuestos relacionados también poseen actividad auxínica como el ácido 4-cloroindol-3-acético (4-Cl-IAA), ácido fenilacético (AFA, PAA) también poseen actividad auxínica como estructuras que se muestran en la figura 8. La mayoría de ellas se emplean como herbicidas en horticultura y agricultura las más empleadas son el ácido 2-metoxi-3,6-diclorobenzoico (dicamba) y el ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) muestran las cargas negativas presentes sobre el grupo carboxilo y la cargas positivas sobre el anillo, separadas entre sí 5.5 Å lo cual les permite mayor estabilidad y menor capacidad de degradación por la planta, estas estructura se presentan figura 6 (Taiz, 1998).

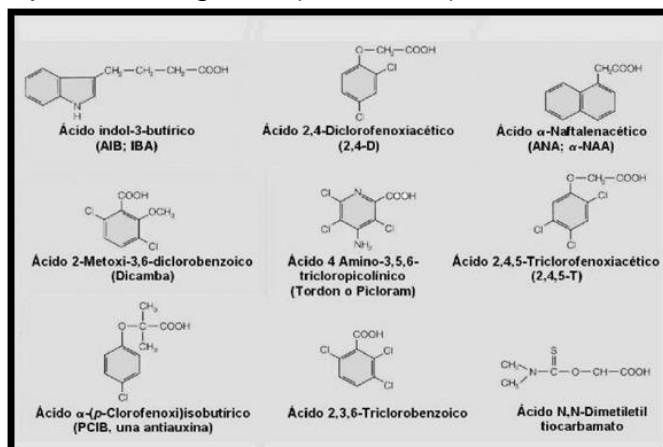


Figura 8: Estructura molecular de auxinas sintéticas. (Taiz, 1998)

- **Efectos fisiológicos producidos por las auxinas**

Las auxinas derivado del crecimiento celular que induce genera diversos efectos sobre la fisiología de la planta entre los cuales se encuentra:

A. La auxina estimula la elongación celular.

La estimulación de la elongación celular por las auxinas se da por incremento en la extensibilidad de la pared celular la cual es explicada mediante hipótesis del crecimiento ácido.

Los efectos estimulantes de las auxinas sobre el crecimiento de tallos y raíces es la consecuencia del alargamiento celular. Bajo la influencia de la auxina, la plasticidad de la pared celular aumenta y la célula se ensancha en respuesta a la turgencia que provoca la entrada de agua en la vacuola.

Las auxinas activan las proteínas transportadoras de iones hidrógeno (H^+) de la célula a la pared celulósica. Como resultado de este movimiento, la pared celular se acidifica y esto hace activar una enzima de la pared celular que rompe los enlaces cruzados entre las cadenas de celulosa. Esto permite que las moléculas se deslicen entre sí (incremento en plasticidad celular) al aumentar la turgencia sobre la pared celular ante el ingreso por osmosis de agua y la célula se alarga. Esta respuesta llamada crecimiento ácido es rápida y se produce a los 3-5 minutos, alcanzando un máximo a los 30 minutos y finalizando al cabo de 1 a 3 horas (Curtis, 1996).

B. Hipótesis del crecimiento ácido

La respuesta de las plantas ante la aplicación de auxinas o derivados de compuestos auxínicos es la elongación celular. En los primeros 10 a 15 minutos después de que una planta ha sido expuesta se presenta una elongación celular que es debida a un reblandecimiento de la pared celular, como resultado de un incremento en su acidez.

De acuerdo a La Hipótesis del Crecimiento Ácido (Acid Growth Hypothesis) que explica el proceso de elongación celular donde la pared celular se acidifica cuando el

IAA activa enzimas H^+ -ATPasas, vía mensajeros secundarios, o cuando el IAA induce directamente, vía cambios en expresión genética, una mayor producción de H^+ -ATPasas que se incorporan a la membrana celular (USDA, 2013).

Las H^+ -ATPasas bombean H^+ hacia fuera de la célula al consumir ATP para mover protones (H^+) en contra de un gradiente electroquímico, con lo cual se acidifica más la región de la pared celular como se observa en la figura 9. El reblandecimiento de la pared celular involucra el reordenamiento de los enlaces de soporte de la pared, siendo este proceso mediado por proteínas especiales conocidas como Aexpansinas. Una vez que la pared celular se ha reblandecido, la entrada de agua que se da como consecuencia de una mayor presión osmótica dentro de la célula causa la expansión de la célula. La entrada de agua a la célula crea una presión de turgencia interna que empuja contra la membrana celular, provocando una extensión de la misma y con ello la elongación de la célula. Después de 30 a 60 minutos, se presenta una segunda fase de elongación celular, la cual no está relacionada con el proceso de acidificación antes descrito sino con la activación por las auxinas de ciertos genes que permiten la elongación celular por otros mecanismos (USDA, 2013).

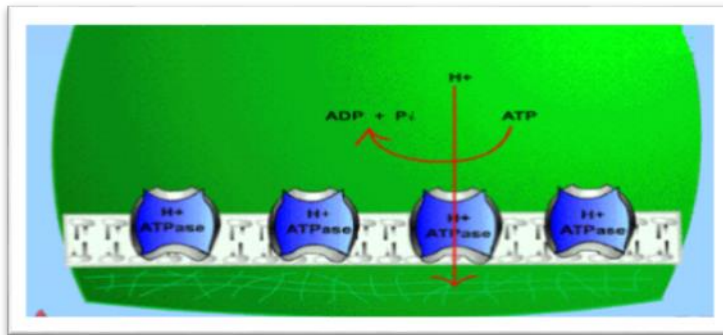


Figura 9: Movimiento de H^+ de acuerdo a teoría del crecimiento Ácido (USDA, 2013).

C. La auxina y el cambium vascular

En las plantas leñosas, la auxina promueve el crecimiento del cambium. Cuando empiezan a crecer las regiones meristemáticas del vástago, la auxina que desciende desde los ápices vegetativos hace que las células cambiales se dividan, formando floema secundario y xilema secundario. También en este caso, estos efectos son

modulados por otras sustancias controladoras del crecimiento en el cuerpo de la planta (Rost, 2006).

D. La auxina promueve el desarrollo de raíces laterales

Las auxinas, en cantidades pequeñas, puede estimular el crecimiento de las raíces. No obstante, en cantidades mayores inhibe el crecimiento de las raíces primarias, aunque puede promover la formación de nuevas raíces secundarias (Curtis, 1996).

E. Media en las respuestas fototrópica y geotrópica de las plantas

En las raíces, que tienen gravitropismo positivo, los estatolitos se localizan entre las células de la cofia. Siempre que la raíz esté creciendo adecuadamente, los estatolitos estarán sedimentados en las paredes basales de las células. Sin embargo, cualquier variación en la dirección del crecimiento hará que los estatolitos se desplacen hacia las paredes laterales de los estatocitos, alterando así la correcta redistribución de auxina entre las células radicales como se muestra en figura 10 (Taiz, 1998).

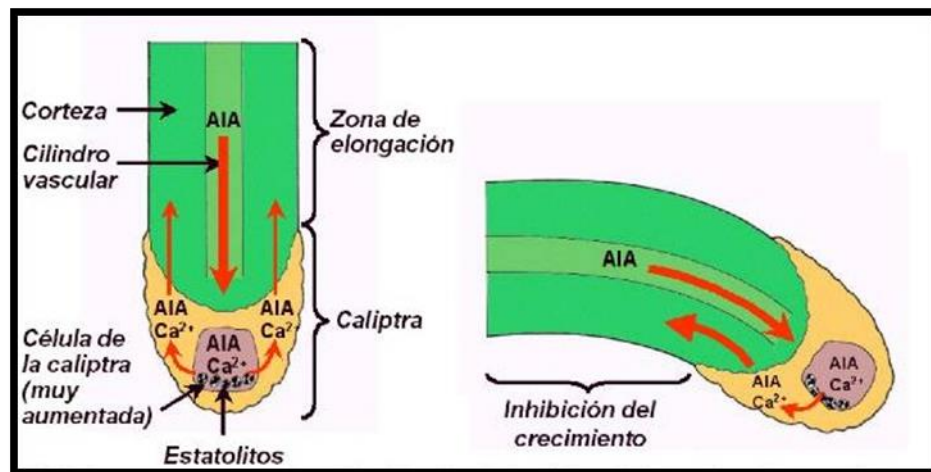


Figura 10: Gravitropismo en raíz (Taiz,1998)

- **Modelo del efecto de redistribución del calcio y auxina durante geotropismo en raíces**

El AIA es sintetizado en el tallo y transportado a la raíz vía sistema vascular. Cuando la raíz está vertical, los estatolitos se depositan en la parte basal de las células de la caliptra. Los iones Ca^{2+} y la auxina (que se transportan acropetalamente en la raíz) se reparten por

igual dentro de la corteza en la zona de elongación, promoviendo la elongación. Cuando la raíz está horizontalmente, los estatolitos se caen por su peso hacia las paredes laterales de las células, lo que dispara el transporte de Ca^{2+} y la auxina hacia una sola mitad de la cofia. La llegada a la corteza de concentraciones muy elevadas de auxina produce la inhibición del crecimiento y provoca la curvatura de la raíz (Taiz, 1998).

F. Inhibe el desarrollo de las yemas laterales (Dominancia apical)

La auxina que se sintetiza en el meristemo apical caulinar se difunde hacia abajo, reprimiendo el crecimiento de las yemas axilares. Cuanto mayor sea la distancia entre el ápice y la yema axilar, menor será la concentración de auxina, y menor será la represión sobre la yema. Si el meristemo apical se corta, eliminándose la producción de auxina, las yemas axilares quedan desinhibidas y comienzan a crecer vigorosamente (Curtis, 1996)

G. La auxina retrasa el comienzo de la abscisión en hojas

En las hojas jóvenes se produce auxina, sin efecto directo sobre la velocidad de crecimiento de las hojas, influyendo sobre la abscisión. Las hojas, flores y frutos caen de los árboles a causa de la formación de una zona de abscisión, capa peculiar de células parenquimáticas débiles y de paredes finas, en la base del pecíolo.

Cuando la hoja se hace vieja, ciertos iones reutilizables y moléculas son retornadas al tallo, entre ellos los iones magnesio, aminoácidos, y azúcares. Entonces, en algunas plantas diferentes enzimas rompen las paredes celulares de las células que forman la zona de abscisión (Taiz, 1998).

Los cambios en las paredes celulares pueden incluir debilitamiento de la lamela media e hidrólisis de las fibras de celulosa. Antes de caer la hoja se desarrolla una capa de súber debajo de la zona de abscisión, que sirve para taponar la cicatriz. Eventualmente, la hoja queda sujeta al árbol solamente por unas pocas fibras de tejido vascular, que puede romperse debido al alargamiento de las células parenquimáticas que se encuentran en la capa de separación.

La abscisión ha sido correlacionada, entre otras cosas, con una disminución de la producción de auxina en la hoja, flores y frutos; bajo ciertas circunstancias, la abscisión puede ser prevenida por la aplicación de auxina (Taiz, 1998).

H. Puede inducir la formación del fruto y su crecimiento en algunas plantas

La auxina promueve el crecimiento del fruto. Ordinariamente, si la flor no ha sido polinizada, tratando el gineceo de una flor con auxina, es posible obtener un fruto partenocárpico como en el caso del tomate o de la uva sin semillas. Las auxinas producidas por el embrión que se está formando promueve la maduración de las paredes del ovario y el desarrollo de los frutos (Curtis, 1996).

I. Otros usos de las auxinas

Otros efectos generados por las auxinas sobre la fisiología de la planta son; retrasar la maduración de los frutos, promover la floración en Bromelias, estimular el crecimiento de órganos florales, promover la feminidad en flores dioicas, estimular la producción de etileno, inhibir o promover la abscisión de hojas y frutos, de igual forma es ampliamente utilizada ampliamente para el control de plantas arvenses (Sampietro, 2005).

J. La auxina y el control de plantas arvenses

Las auxinas sintéticas han sido empleadas extensivamente para el control de plantas arvenses en las zonas agrícolas. En términos económicos, este es el mayor uso práctico que se realiza de los reguladores del crecimiento de las plantas. Aunque un número de compuestos puede ser empleado para ello, las fenoxi auxinas tales como el 2,4-D y sus derivados químicos son importantes herbicidas, se muestra en figura 11 y representan aproximadamente el 20 % de los productos empleados (Taiz, 1998).

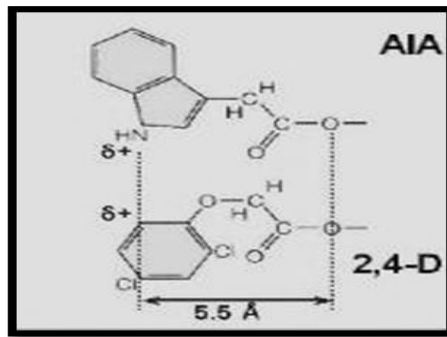


Figura 11: Estructura molecular de auxina sintética 2,4-D. Taiz L. (1998)

e) Ácido Giberélico

• Descubrimiento de las Giberelinas

El descubrimiento de las giberelinas se dio por agricultores de arroz de Asia quienes tenían conocimiento de una enfermedad que afectaba las plantas de arroz generando crecimiento excesivo en las plantas de arroz, lo cual afectaba la producción y de semillas y reducía la producción. Fitopatólogos que investigaron esta enfermedad determinaron que el crecimiento desmedido era causado por un químico secretado por el hongo que infectaba los cultivos (*Gibberella fujikuroi*) (Raven, 1994).

En los años treinta del siglo veinte científicos japoneses lograron obtener cristales impuros que contenían giberelinas y en los años cincuenta del siglo veinte en Estados Unidos e Inglaterra lograron determinar la estructura de uno de los compuestos, el ácido giberélico. Al mismo tiempo, científicos de la universidad de Tokio lograron identificar tres compuestos: GA₁, GA₂, y GA₃ siendo el GA₃ el mismo compuesto que el ácido giberélico. Posteriormente científicos determinaron que las plantas producen sus propias giberelinas de manera natural, considerándose a partir de ello como fitohormonas (Raven, 1994).

• Estructura y biosíntesis de giberelinas

A. Estructura

Las giberelinas son ácidos carboxílicos diterpenoides tetracíclicos, se les denomina ácidos giberélicos y se las representa como Gas distinguiéndose: GA₁₃, GA₂₀, GA₅₂. Todas las giberelinas están basadas en el esqueleto *ent*-Giberelano como se muestra en la figura 12 (Sampietro, 2005).

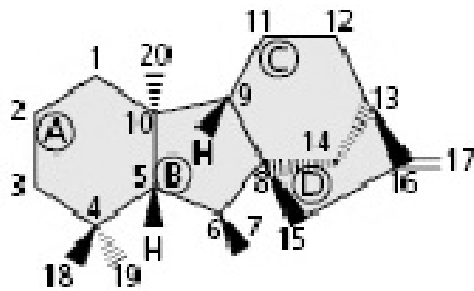


Figura 12:Estructura ent-giberelano, (Soberón, 2007).

El ácido giberélico (GA₃) es el más abundante en hongos y el biológicamente más activo, la conformación de la estructura AG₃ en relación GA₄ y GA₇ muestra diferencias estructurales menores que la distinguen en cuanto a presencia radicales "OH" así como dobles enlaces brindándole características en los efectos fisiológicos a las diferentes estructuras como se muestra en la figura 13 (Sampietro, 2005).

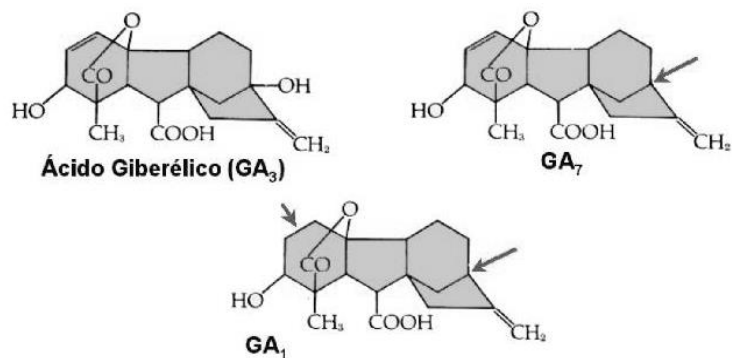


Figura 13:Estructura molecular de giberelinas aisladas de fuentes naturales, (Soberón, 2007).

B. Síntesis

Todas las giberelinas descubiertas presentan el esqueleto hidro-carbonatado del gibano y tienen como mínimo un grupo carboxílico en el carbono siete, por tanto se comportan como ácidos débiles que son solubles fácilmente en medio alcalino.

Los primeros pasos de síntesis son comunes al camino biosintético de poli-isoprenoides a partir de la Acetil CoA por la vía del acetato mevalonato se forma isopentenil PP, a partir de la cual la vía de la síntesis de las giberelinas puede ser dividida en tres etapas que ocurren en diferentes compartimientos celulares (Taiz, 1998).

Etapa 1: En los proplastidios ocurren reacciones de ciclación donde isopentenil difosfato (IPP), proveniente de la vía del ácido mevalónico es procesado para pasar a geranyl difosfato de 11 carbonos luego farnesil difosfato de 15 carbonos y por último a geranyl geranyl difosfato (GGPP) de 20 carbonos que es precursor de varios terpenoides de las plantas. A partir de este punto, con el GGPP, esta vía se vuelve exclusiva de las giberelinas. El GGPP es ciclado para dar origen a *ent*-Kaureno que es el precursor de todas las giberelinas como se muestra en figura 14 (Taiz,1998).

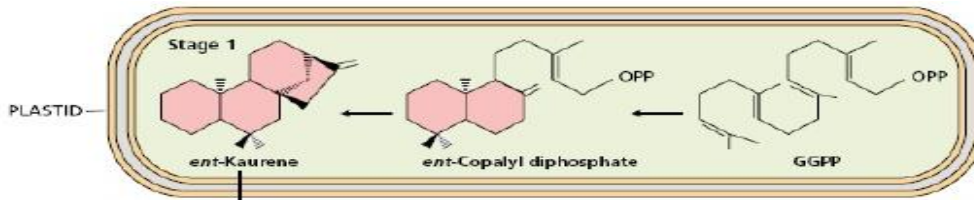


Figura 14: Molécula *ent*-Kaureno resultado de ciclación de isopentenil difosfato (Soberón, 2007).

Por acción de monooxigenasas (del tipo citocromo P450) el C19 del el *ent*-Kaureno o (-) Kaureno es oxidado a alcohol (*ent*-Kaurenol), aldehído (*ent*-Kaurenal) y ácido *ent*-Kaurenico, a nivel de la membrana del retículo endoplasmático. En un paso posterior el anillo B se contrae por expulsión del C7 pasando de un anillo de 6 Carbonos a otro de 5, formando el gibano, luego por oxidación en C7 se forma el GA 12 aldehído.

El aldehído GA 12 se transforma en giberelinas tipo C19 mediante dos rutas como se muestran en las figuras 15 y 16, una que involucra la 13 hidroxilación temprana y otra donde no se hidroxila esa posición. En ambas vías hay descarboxilación y reacciones catalizadas por oxidasas de membrana y citosólicas (Taiz, 1998).

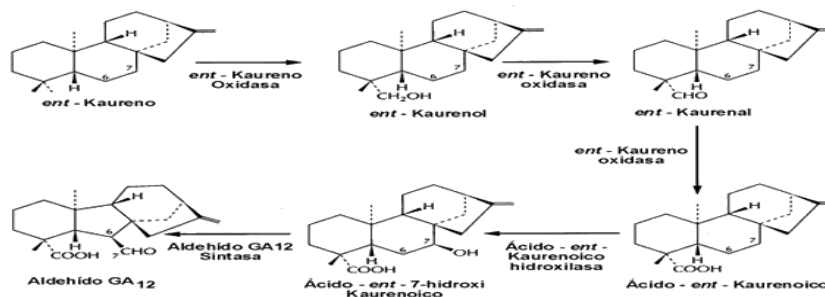


Figura 15: Proceso para la formación aldehído GA12 a partir de *ent*-Kaureno, (Soberón, 2007)

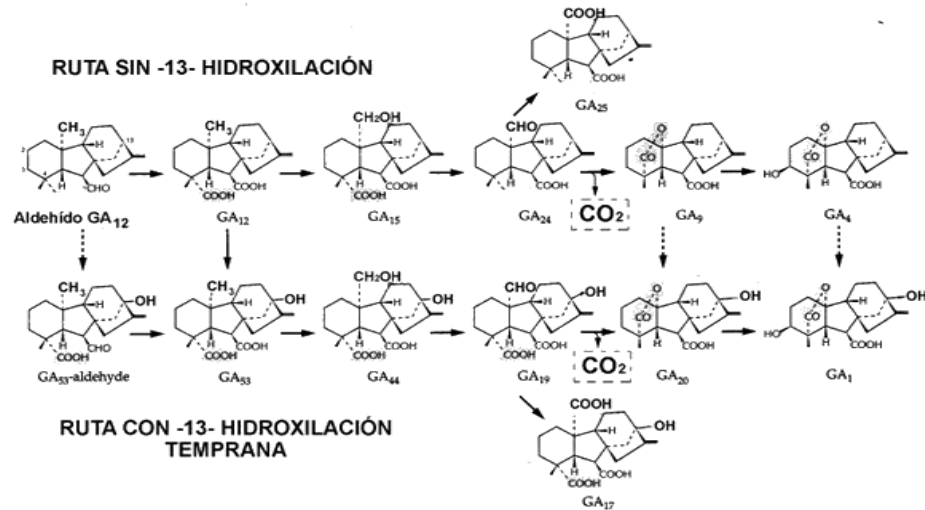


Figura 16: Rutas para formación de giberelinas C19 a partir de aldehído GA12, (Soberón, 2007).

Etap 2: El *ent*-Kaureno es llevado al retículo endoplasmático donde ocurren una serie de reacciones de oxidación para llegar a GA 12-aldehído. Luego el GA 12-aldehído es oxidado para llegar a GA 12, la primera giberelina de esta vía y precursora de todas las otras. Muchas giberelinas en las plantas son también hidroxiladas en el carbono 13 formando GA 53 desde GA 12 como se muestra en figura 17.

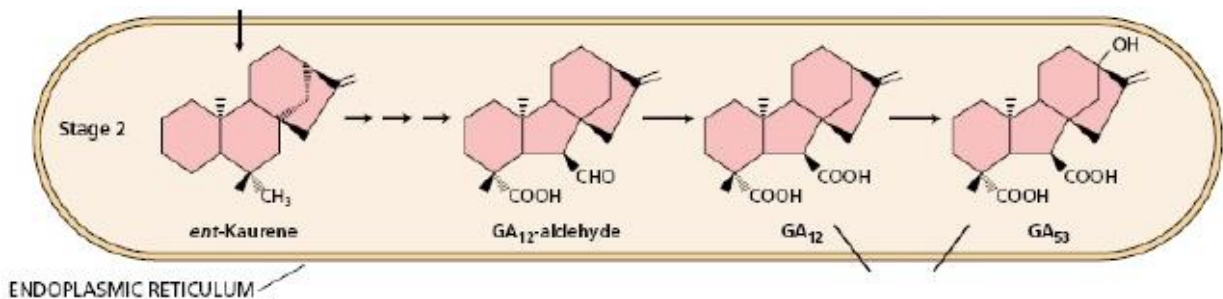


Figura 17: Proceso de oxidación del *ent*-kaureno en la formación de GA12 y GA 53, (Soberón, 2007).

Etap 3: En el citosol, GA₁₂ o GA₅₃, dependiendo del resultado anterior, es sucesivamente oxidada en el carbono 20 hasta llegar a la pérdida del carbono 20 en forma de CO₂ para obtener GA₂₀ en las plantas con el carbono 13 hidroxilado y GA₉ cuando no. En este punto algunas plantas hidroxilan el carbono 3 de la giberelina para producir GA₁ en la giberelina hidroxilada en el carbono 13 y GA₄ en la que no. El paso

final es la inactivación de las giberelinas mediante la hidroxilación del carbono 2 pasando desde GA₄, GA₁, GA₉ y GA₂₀ a GA₃₄, GA₈, GA₅₁ y GA₅₉ respectivamente como se muestra en figura 18.

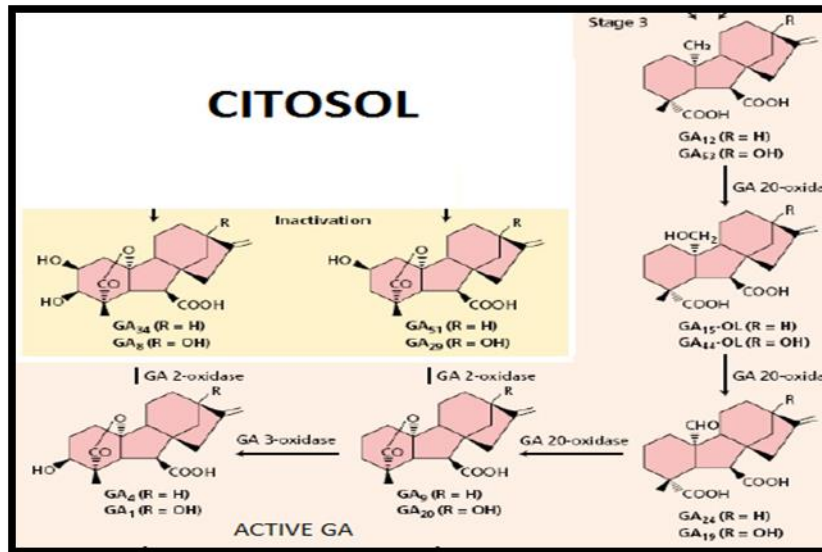


Figura 18: Procesos de oxidación de GA₁₂ y 53 en citosol para formación de otras giberelinas, (Soberón, 2007).

Algunas plantas a modo de reserva pueden glucosidar a las giberelinas en una reacción reversible, formando así giberelinas inactivas las cuales pueden ser reactivadas. Las giberelinas son sintetizadas principalmente en tejidos jóvenes como yemas en crecimiento, semillas inmaduras, entrenudos superiores y también en tejidos maduros como las hojas, aunque, en las hojas solo se realizan las dos últimas etapas de la biosíntesis debido a que la primera etapa puede ser realizada solo en proplastidios, de los cuales las hojas maduras carecen. Una planta puede producir varias giberelinas, aunque no todas ellas sean activas. Se forman en ápices de tallos y raíces, en hojas jóvenes, partes florales, semillas inmaduras, embriones en germinación. En general las partes vegetativas contienen menos GA que las partes reproductivas, así las semillas inmaduras son ricas en GAs, aunque dichos niveles disminuyen a medida que éstas maduran (Sampietro, 2005).

- **Transporte de giberelinas en las plantas**

Las giberelinas son transportadas apolarmente por el floema junto con los productos de la fotosíntesis y también por el xilema probablemente por desplazamiento radial desde el floema al xilema. Algunas se mueven libremente por la planta, pero en algunos casos, parecen estar muy localizadas. El desplazamiento de las giberelinas parece ser debido a un transporte meramente pasivo. Es frecuente el transporte de formas conjugadas inactivas o de intermediarios de la síntesis (Taiz, 1998).

- **Efectos fisiológicos producidos por las giberelinas**

- A. Estimulan la elongación de los tallos**

El alargamiento de las células más que un incremento de la división celular, es una extensión de la pared celular, este efecto es provocado por un mecanismo diferente al de las auxinas, pero es aditivo con el de éstas. Uno de los mecanismos más estudiados involucra la activación de la *enzima XET* (Xiloglucano endo transglicosilasa), responsable de la hidrólisis interna de los xiloglucanos, lo que permite la transferencia de un extremo cortado hacia un extremo aceptor libre de una molécula de xiloglucano receptora. Esto también facilitaría la penetración de las expansinas en la pared celular, (Sampietro, 2005).

- B. Estimulan germinación**

La dormancia de las semillas está relacionada con cambios en las GA. En general la aplicación de GA en semillas adelanta y aumenta la cantidad de germinación; la combinación con otras hormonas como citocininas y auxinas favorece esos efectos, (Buitron, 2009).

Las semillas de la mayoría de las plantas precisan un período de letargo antes de que puedan germinar. En determinadas plantas, normalmente el letargo sólo puede ser interrumpido por la acción del frío o de la luz, las giberelinas pueden sustituir el factor que interrumpe el letargo, promoviendo así el crecimiento del embrión y la emergencia de la plántula. Específicamente, las giberelinas aumentan la elongación celular, haciendo posible que las raíces puedan atravesar las cubiertas de la semilla. Efecto de

las giberelinas que permite que el ácido giberélico acelere la germinación de las semillas y por ello asegura uniformidad en la producción.

Las GAs son sintetizadas por los coleóptilos y el escutelo del embrión, y liberadas al endosperma amiláceo. Las Ga_s se difunden hacia la capa de aleurona, las células son estimuladas para sintetizar y secretar α -amilasa y otras hidrolasas hacia el endosperma amiláceo. Con lo que el almidón y otras macromoléculas se degradan siendo esos solutos captados por el escutelo y transportados hacia el embrión en crecimiento (Sampietro, 2005).

C. Crecimiento vegetativo

La estructura general de la planta en cuanto a tallo y hojas es crítica para una adecuada productividad; por ello es importante alcanzar a tener una masa vegetativa equilibrada que no compita con la masa reproductiva (excepto en los cultivos para follaje). Las GA cumplen papel importante en el proceso al estimular la división celular, pero más crítica es su acción en el proceso del alargamiento de las células formadas. Plantas que están en estrés no responderán muy bien al tratamiento y habrá que esperar a que salgan de esa condición para hacer la aplicación. Un tratamiento en cantidad excesiva de GA provoca entrenudos muy largos, tallos delgados, hojas alargadas y delgadas, y una apariencia amarillenta del cultivo (Buitron, 2009).

D. Inducción de partenocarpia

En algunas especies se ha demostrado que las giberelinas estimulan la germinación del polen y el crecimiento del tubo polínico. Al igual que las giberelinas las auxinas pueden ocasionar el desarrollo de frutos partenocárpicos, pero las giberelinas son más activas (Sampietro, 2005).

E. Crecimiento y maduración del fruto

El tejido que conforma el mesocarpio de distintos frutos crece por división y alargamiento celular, en lo cual participan las GA junto con citocininas y auxinas. En algunos casos la concentración ideal para estimular crecimiento de fruto es inhibitoria para la formación de

flores. La formulación con GA₄+GA₇ es utilizada en manzano junto con citocininas para mejorar forma y tamaño final del fruto. En general el efecto de la aplicación de giberelinas para estimular el crecimiento de fruto es en la fase de división celular, encontrándose poca respuesta en la fase de alargamiento, aunque para este uso específico recientemente se ha demostrado que las citocininas (específicas) son tan efectivas como éstas sin efectos secundarios negativos (Buitron 2009) .

La presencia de GA en los tejidos mantiene su actividad en cuanto a presencia de clorofila, ausencia de enzimas degradativas de proteínas y ácido nucleico. Así, en la etapa de maduración de órganos cuando hay procesos degradativos diversos, la cantidad de GA presente es baja. La aplicación de GA₃ en cítricos es comercial para retrasar madurez para reducir senescencia del pericarpio del fruto (Buitron, 2009).

F. Inducción de floración en plantas de día largo cultivadas en época no apropiada

La aplicación de giberelina a algunas plantas de día largo permite que se espiguen y florezcan sin necesidad de frío o de días largos. La elongación producida se debe tanto al incremento en el número de divisiones celulares en ciertas localizaciones como a la elongación de las células resultantes de dichas divisiones. Es por ello que las giberelinas pueden ser utilizadas para producir semillas tempranas en flores bienales. Tratando coles con ácido giberélico pueden obtenerse semillas después de sólo una estación de crecimiento (Moore, 1998).

En especies que requieren de día largo o vernalización para formar flores, las GA promueven dicho proceso. En el resto de plantas se ha establecido que estas hormonas inhiben la formación de las flores como en hortalizas y frutales (Moore, 1998).

G. Efectos de giberelinas sobre tubérculos de papa

En papa para la aceleración de brotación de los tubérculos se emplean productos como Ácido Giberélico, bromoetano y 2-cloroetanol los cuales rompen períodos de latencia en los tubérculos. El uso de Ácido Giberélico es recomendado, posee una adecuada penetración en el tubérculo por lo cual es recomendable su empleo en tubérculos de recién cosecha para romper latencia. Una sobredosis del producto genera tallos

excesivamente alargados, reduce la formación de raíces e incrementa la deformación de tubérculos por lo que se recomienda realizarlo en aplicaciones de 2 y 5 ppm por medio de inmersión de la semilla en una solución de Ácido Giberélico (López, 2002).

H. Mecanismo de acción

Las giberelinas incrementan tanto la división como la elongación celular, debido a que después de la aplicación de giberelinas se incrementa el número de células y la longitud de las mismas. En el caso de las auxinas, el debilitamiento de la pared celular es necesario para el alargamiento celular, está mediado en parte por la acidificación de la misma.

A nivel de células de aleurona, en semillas de cereales estimulan la síntesis y secreción de α -amilasas, y la síntesis de enzimas hidrolíticas (β -1,3-glucanasa y ribonucleasa). La unión de GA a su receptor membranal produce la *activación de la proteína G* de membrana, lo que deriva en:

- (I.) Una *vía de transducción dependiente de Ca^{+2}* que involucra a la calmodulina y a proteínas kinasas, que favorecen la exocitosis (hacia el endosperma) de vesículas cargadas de α -amilasa;
- (II.) Una *vía de transducción independiente de Ca^{+2}* , que involucra al GMP cíclico como segundo mensajero, esto activa a un intermediario de transducción proteico, que a nivel del núcleo favorece la degradación del represor genético, que impedía la expresión del gen GA-myb; la proteína GA-myb es un factor de transcripción que favorece la expresión de genes que codifican la biosíntesis de α -amilasa (y otras enzimas hidrolíticas) que se almacenarán en vesículas para su posterior exocitosis.

Sin embargo, las giberelinas pueden inducir el crecimiento a través de una alteración de la distribución de calcio en los tejidos. Los iones calcio inhiben el crecimiento de los hipocótilos en algunas especies, efecto que puede ser revertida por la aplicación de giberelina GA₃ (Raven 1994).

En las semillas de cebada (*Hordeum vulgare*) y de otras gramíneas hay una capa de células especializadas, la capa de aleurona, que está inmediatamente por debajo del episperma. Estas células son ricas en proteína. Cuando las semillas empiezan a germinar tras la imbibición de agua el embrión desprende giberelinas. Por efecto de la giberelinas, las células de aleurona producen enzimas hidrolíticas, de las cuales la principal es la α -amilasa, que desdobla el almidón en azúcares, como se muestra en la figura 19 donde la secreción de azúcares aumenta ante la concentración de AG_3 en endospermos con y sin aleurona (Raven, 1994).

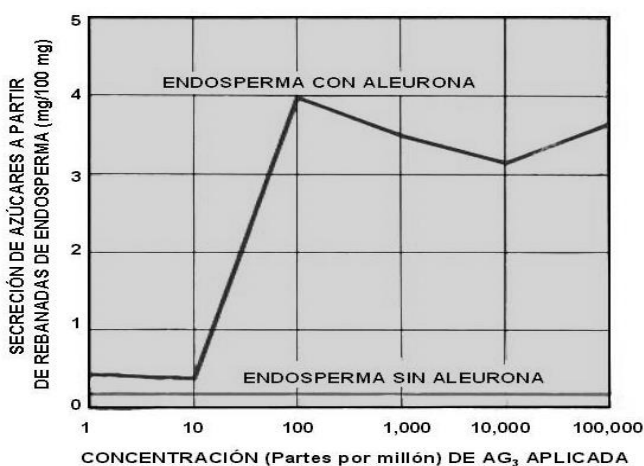


Figura 19: Secreción de azúcares a diferentes concentraciones de AG_3 , (Raven, 1992).

Las enzimas digieren las reservas nutritivas almacenadas en el endospermo amiláceo, que son entonces utilizables para el embrión, en forma de azúcares y aminoácidos, que son absorbidos por el escutelo y transportados hacia el embrión. De este modo, el embrión se dispone de las sustancias necesarias para su propio crecimiento, las cuales estarán a su disposición en el momento que las necesite.

Las giberelinas activan ciertos genes que sintetizan moléculas de ARNm, las cuales a su vez se encargan de la síntesis de las enzimas. No ha sido demostrado que la giberelina actúe directamente sobre el gen aunque se han demostrado que tanto la síntesis de RNA como la de proteínas son necesarias para la aparición de las enzimas (Raven, 1994).

En la figura 20 se muestra la distribución de los diferentes reguladores de crecimientos de acuerdo a la zona donde son sintetizados y utilizados por la planta.

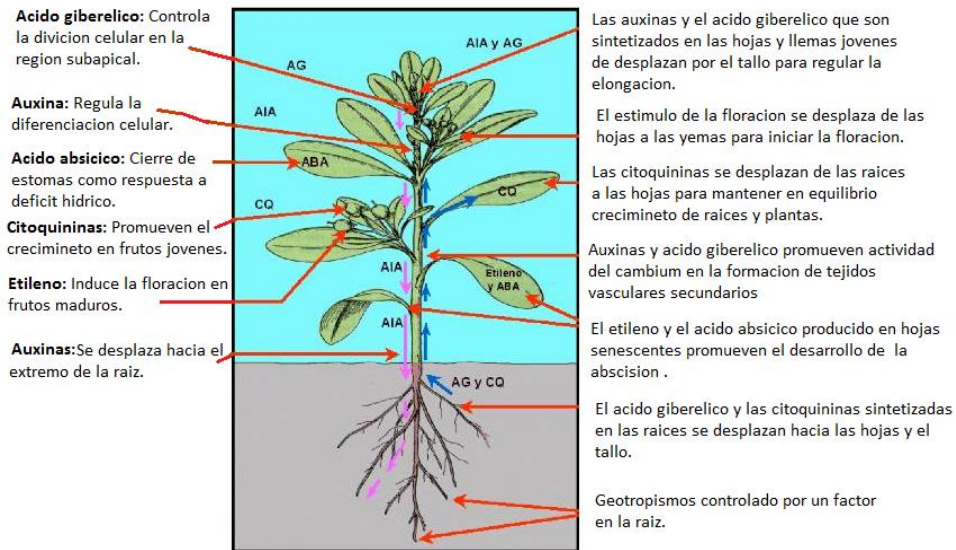


Figura 20: Distribución de reguladores de crecimiento en planta. (Rost, 1997)

- **Antecedentes del uso de reguladores de crecimiento en papa:**

Actualmente en Guatemala no se ha registrado información sobre investigaciones previas en cuanto a la evaluación de la aplicación de reguladores de crecimiento en papa , no obstante se han realizado evaluaciones para enraizamiento de segmentos de tubérculos empleando reguladores de crecimiento, práctica que se dejó de realizar por la alta incidencia de hongos en este proceso, de igual forma se ha generado información por parte de CIP sobre aplicación de Ácido Giberélico para inducir brotación de tubérculos de papa en dormancia.

En la zona del Altiplano Guatemalteco departamento de San Marcos se tiene amplia experiencia en la producción de papa empleando técnicas tradicionales en las cuales se considera la variedad Loman por ser una variedad con buena adaptabilidad en la zona y con mayor demanda en el mercado.

2.4.9 DISEÑO EXPERIMENTAL

Para el diseño de bloques completamente al azar se debe escoger cuidadosamente un patrón predecible de variabilidad del suelo, la forma de la parcela y orientación del bloque, de tal manera que las condiciones experimentales dentro de cada bloque sean lo más uniforme posible. Cuando el patrón de la variabilidad del suelo es unidireccional, se deben usar bloques largos y angostos. Cuando el patrón de variabilidad no es predecible, los bloques deben ser lo más cuadrado posible (Malagamba, 1997).

El número de repeticiones a ser utilizado es fijado por la experiencia del investigador y dependerá de la grandeza del error deseado y de la variabilidad del material en estudio. En general se tiene como regla práctica, que el número mínimo de parcelas que irá a componer un experimento es de 20 y que el error experimental (residuo) debe tener por lo menos 10 grados de libertad (Situn, 2005).

Según CIP la mayoría de las evaluaciones estándar en papa se recomienda el uso de un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con cuatro repeticiones. En el diseño DBCA, todos los tratamientos son agrupados en bloques uniformes de igual tamaño. Siendo el propósito principal de hacer bloques reducir el error experimental por eliminación de las fuentes de heterogeneidad (Malagamba, 1997).

2.4.10 UNIDAD EXPERIMENTAL

Para pruebas de evaluación de papa empleando el diseño de bloque completo al azar (DBCA) es preferible utilizar parcelas de surcos dobles o múltiples, que parcelas largas de un solo surco (Malagamba, 1997).

2.4.11 MARCO REFERENCIAL

a. GENERALIDADES

El municipio de San Miguel Ixtahuacán pertenece al departamento de San Marcos ubicado en el nororiente a 65.5 kilómetros de la cabecera departamental de San Marcos, cuenta con una extensión territorial de 184 kilómetros cuadrados equivalente a un 4.85% de extensión territorial del departamento y se encuentra a 314 km de la ciudad capital, tiene 17 aldeas y 43 caseríos, con una población de 37,303 habitantes. Existen dos grupos étnicos: el grupo Mam que representa el 99 % de la población y el grupo Ladino que conforma menos del 1% (INE, 2002).

b. UBICACIÓN

El municipio de San Miguel Ixtahuacán se encuentra ubicada a una altitud de 2065 metros sobre el nivel del mar, en la latitud $15^{\circ}16'18''$ y longitud: $91^{\circ}41'56'40''$.

c. COLINDANCIAS

El municipio de San Miguel Ixtahuacán del departamento de San Marcos colinda al Norte con el Municipio: San Gaspar Ixchil y Santa Bárbara, Huehuetenango al Sur con los municipios: Comitancillo y Tejutla San Marcos al Este: Municipio de Malacatancito, Huehuetenango y Sipacapa, San Marcos y al Oeste con: Municipio de Concepción Tutuapa, San Marcos. En la figura 21 se muestra la ubicación del departamento de San Marcos así como en figura 22 muestra la ubicación del municipio.



Figura 21: Mapa del departamento de San Marcos, (MAGA, 2003).

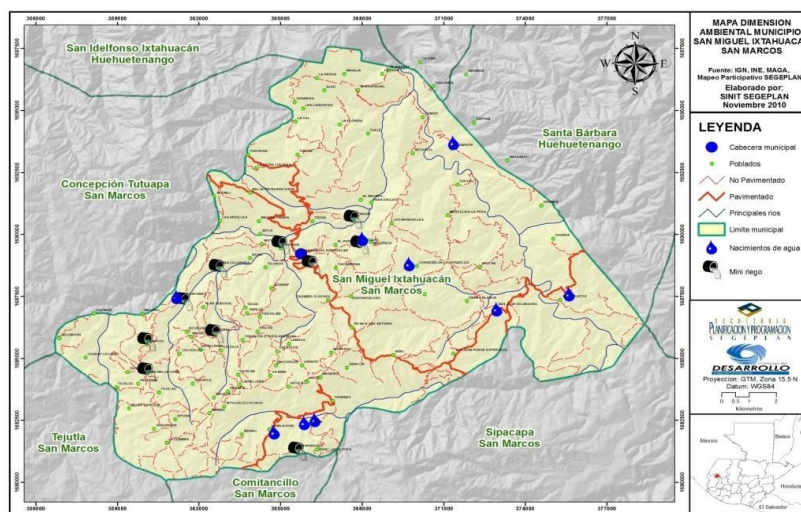


Figura 22: Mapa del municipio de San Miguel Ixtahuacán, San Marcos, (MAGA y SEGEPLAN, 2003).

d. Suelos

Según Simmons C.C., Tarano y Pinto J.H (Hernández, 2009), los suelos de San Miguel Ixtahuacán son de origen volcánico de texturas franco, franco arcillosa, franco turbosa, franco arenosa, y franco limosa; de la series Patzité (Pz), Tonicapán (Tp), Camancha erosionada (Cme), Marajuma, Sacapulas, Sinache y Salamá. La topografía es fuertemente ondulada y escarpada. El aprovechamiento de los suelos en el municipio dista mucho de ser el óptimo de su vocación pues, los suelos del territorio son utilizados sin ningún criterio de uso del suelo de acuerdo a su capacidad y existen áreas de bosque sin planes de manejo que reduzcan riesgos a desastre.

e. Uso del suelo

El uso de la tierra es el destino que se le da y la utilidad que de ella hace quien la usa, sin importar la vocación del suelo, es influenciado por factores naturales, como el clima, tipos de suelo, costumbres, así como por aquellos que responden a la estructura económica del país. El uso actual de la tierra en el municipio es predominantemente agrícola, la zona urbana presenta un crecimiento espontáneo y sin planificación, las zonas de reservas naturales están en constante proceso de degradación y hay una sistemática contaminación de las cuencas hidrográficas en la figura 23 se presenta el uso actual del suelo del municipio de San Miguel Ixtahuacán.

Los productos agrícolas que se cosechan con mayor frecuencia para fines de autoconsumo y comercialización son: maíz, frijol, haba, papa, zanahoria, aguacate, manzana, durazno, banano, tomate, café, entre otros, (Hernández, 2009).

En la mayoría de las comunidades los agricultores no cuentan con planes de uso y conservación de los suelos, algunos construyen estructuras de conservación tales como terrazas o bancales y curvas a nivel de forma empírica.

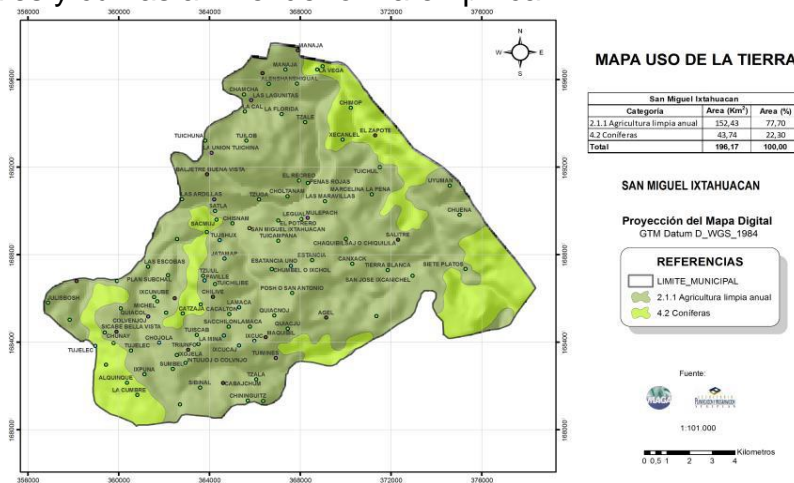


Figura 23: Uso actual del suelo San Miguel Ixtahuacán, (MAGA y SEGEPLAN, 2010)

f. Clima

De acuerdo a la clasificación del clima de Thornthwaite en el municipio de San Miguel Ixtahuacán el clima va del templado a semifrío, la temperatura media anual es de 15.4°C, con variaciones de 9 a 25°C y con promedio de 64 a 100 días de calor. La precipitación pluvial promedio es de 678 mm con máximas de 2799.08 mm con 64 a 127 días de lluvia (Hernández, 2009).

g. Zonas de Vida

Según el sistema de clasificación de Holdridge el municipio se encuentra en las siguientes zonas de vida: Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical (bh-MB) que tiene las siguientes características: Relieve plano a accidentado, vegetación natural que está representada por rodales de *Quercus sp.* (roble, encino), *Pinus pseudostrobus* (pino triste) y *Pinus montezumae* (pino de ocote). Esta zona presenta condiciones adecuadas para cultivo de; maíz, frijol, trigo, hortalizas y frutales como durazno, manzana, pera y aguacate.

Bosque Muy Húmedo Montano Bajo Subtropical (bmh-MB), esta zona se caracteriza por tener un relieve accidentado, la vegetación natural es *Cupressus lusitánica* (ciprés común), *Alnus jorullensis* y *Quercus sp.* (roble, encino). Se puede dar uso combinado el manejo de bosque y cultivos agrícolas principalmente pueden ser; trigo, maíz, papa, haba, verduras, frutales como la manzana, durazno y pera (SEGEPLAN, 2010).

3.

h. Recurso Hídrico

Según el proyecto MAGA-ESPRED-ECATIE, en el municipio de San Miguel Ixtahuacán existen los siguientes cuerpos de agua: 28 ríos, 31 riachuelos y 10 quebradas, 1 arroyo y las microcuencas de los siguientes ríos como se observa en figura 24.

Río Cuilco (66.26 kilómetros cuadrados), que pasa al sudeste de la cabecera municipal, recorriendo las comunidades de Siete Platos, Salitre, La peña, El Zapote, Tierra Blanca, La Lima y El Arenal. El Río Cantzela (103.53 kilómetros cuadrados), que pasa al norte de la cabecera municipal, recorriendo las comunidades de Chisnán, Ixcaíl, Zatlá, Cabecera Municipal, Sholtanán, Legual, Tzalé, Las Maravillas, y Cantzela, para luego desembocar en el Río Cuilcoasi como también el río Tzalé (26.40 kilómetros cuadrados), que divide en parte al municipio de San Miguel Ixtahuacán y al municipio de Sipacapa, recorriendo las comunidades de Cabajchún, Chiningüitz, Agel, Exial Linda Vista y Mina Marlin.

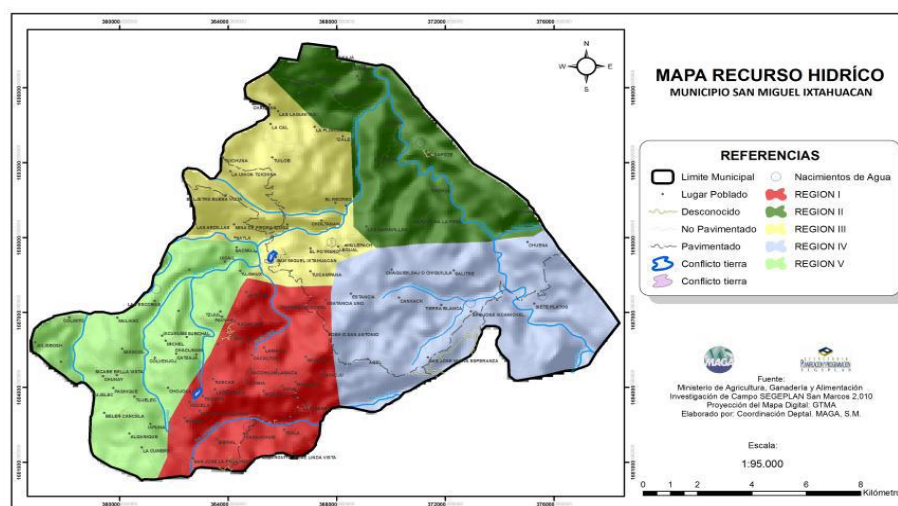


Figura 24: Mapa de Recurso Hídrico, San Miguel Ixtahuacán. MAGA-SEGEPLAN (2010)

i. Desarrollo Productivo

La agricultura es la principal actividad de la mayoría de los habitantes del Altiplano Occidental de Guatemala. En San Miguel Ixtahuacán, la producción agrícola es de importancia porque constituye una fuente de ingresos, además de proveer de alimentos a los productores y a sus familias. A la fecha la misma se desarrolla en el área rural como el área urbana del municipio y constituye el ingreso económico fundamental para el sostenimiento de los habitantes del territorio.

j. Producción Agrícola

El 20.64% de la superficie del municipio disponible para la agricultura es destinada para el cultivo de maíz como se muestra en cuadro 4, este cultivo constituye el complemento económico y alimenticio de la población que directa o indirectamente se desenvuelve alrededor de su proceso productivo.

La papa y el café son cultivos que desde su siembra están destinados básicamente a la comercialización lo que constituye una fuente de ingresos para la subsistencia de las familias. Otros cultivos como avena, trigo y algunas hortalizas tienen escasa relevancia económica y los cultivos secundarios del municipio lo constituyen el durazno, manzana, aguacate, ciruela, entre otros como se muestra en cuadro 5. El problema que presenta la tierra que se destina a la producción agrícola es la baja tecnología en el proceso productivo, es decir que las personas que se dedican a la producción agrícola no cuentan con los conocimientos tecnológicos necesarios para obtener los máximos rendimientos en sus cultivos.

Cuadro 4: principales cultivos anuales San Miguel Ixtahuacán, San Marcos.

Tipo de Cultivos	Total año agrícola			
	Número de fincas	Superficie Cosechada (Manzanas)	Producción Obtenida (Quintales)	Rendimiento (Quintales/Manzana)
Maíz amarillo	714	436	10,889	24.95
Maíz blanco	3384	2171	47,514	21.88
Fríjol negro	1,353	68	837	12.31
Haba	13	4	28	7.4
Papa	158	48	10,235	214.68
Zanahoria	1	0	8	126.98
Yuca	2	1	30	48
Trigo (en granza)	154	82	1551	18.98
Maíz otros colores	173	132	3200	24.25
Culantro	1	0	1	62.5
Chilacayote	2	3	24	9.48
Frijol otros colores	176	150	1015	6.77
Brócoli	1	0	14	112
Ejote	1	1	30	31.98
Repollo	2	0	141	375.58
Arveja	29	16	278	17.23
Tomate	68	10	2837	272.19
Acelga	2	0	50	159.22
Ayote	46	31	1146	36.89
Maicillo	1	0	14	31.96
Güicoy	2	0	4	9.42
Cebada	1	1	20	21.32
Chile pimiento	2	0	9	119.49

Fuente: MAGA-INE IV Censo Agropecuario (2003).

Cuadro 5: Cultivos permanentes y semi-permanentes. San Miguel Ixtahuacán San Marcos

Cultivo	Número de fincas	Superficie cultivada en manzanas		No. de plantas dispersas	Producción en quintales
		Productiva	No productiva		
Aguacate	622	2	0	3570	7273
Durazno/Melocotón	873	80	23	13,228	20,006
Café (cereza)	500	88	13	3674	1348
Manzana	498	12	3	4195	4232
Limón	100	0	0	182	146
Naranja	354	1	0	1590	1333
Caña de Azúcar	15	0	0	135	114

Fuente: MAGA-INE IV Censo Agropecuario (2003).

k. Características de papa variedad loman

La variedad Loman de papa (*Solanum tuberosum*) es ampliamente conocida por los productores de papa del país y preferida sobre otras variedades por su amplia adaptabilidad que va desde entre 1700 a 2500 msnm, rendimientos medios de 11,688.31 Kg/ha a 25,000 Kg/ha con un intervalo de tiempo entre la siembra a la cosecha de 90 días, produce tubérculos alargados con amplia aceptación en el mercado

2.5 OBJETIVOS

2.5.1 GENERAL

- Determinar el efecto de la aplicación de reguladores de crecimiento Ácido Indol Butírico y Ácido Giberélico para incrementar la producción de papa (*Solanum tuberosum*).

2.5.2 ESPECÍFICOS

- Evaluar el efecto de la aplicación de reguladores de crecimiento Ácido Indol Butírico y Ácido Giberélico a diferentes concentraciones en la producción de papa (*Solanum tuberosum*).
- Evaluar el efecto de la aplicación de reguladores de crecimiento Ácido Indol Butírico y Ácido Giberélico a diferentes concentraciones en el desarrollo vegetativo del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*).

2.6 HIPOTESIS DE INVESTIGACIÓN

La aplicación de reguladores de crecimiento Auxinas y Ácido Giberélico generaran un incremento en la producción de papa (*Solanum tuberosum*) debido a su efecto sobre los procesos fisiológicos de la planta de promover un mejor desarrollo radicular (auxinas) y desactivación el estado de dormancia del tubérculo (giberelinas). Considerando que La estructura general de la planta en cuanto a raíz, tallo y hojas es crítica para una adecuada productividad. Se espera que la aplicación combinada de reguladores de crecimiento al momento de siembra incremente la producción.

2.7 METODOLOGÍA

2.7.1 Recursos y materiales

a. Recursos Institucionales

- Fundación Sierra Madre, ONG.
- Facultad de Agronomía Universidad de San Carlos de Guatemala.

b. Humanos

- Estudiante de EPS Agronomía.
- Ayudante de campo.

c. Recursos financieros

La investigación fue realizada en colaboración con productores de la comunidad mediante su incorporación en el plan piloto para la producción y comercialización de hortalizas impulsado por fundación Sierra Madre y Departamento de Ambiente de Mina Marlin la cual apporto los recursos financieros, los cuales son presentados en el anexo 1.

f) Materiales

- Libreta de Campo
- Lapiceros
- Computadora
- Calculadora
- Agua
- Bomba de mochila
- Equipo de aplicación de plaguicidas
- Equipo de Protección
- Dosificadores
- Probetas
- Balanza analítica
- Insecticidas
- Fungicidas
- Fertilizantes
- Tubérculos de papa
- Rafia
- Auxinas.
- Giberelinas
- Alcohol Isopropílico al 99%

2.7.2 Manejo agronómico del cultivo

El manejo agronómico que se le dio al cultivo de papa en la investigación se basó en el programa de manejo establecido previamente por el Departamento de Ambiente de Mina Marlin y es el que se le ha dado a los cultivos de los productores de papa de la región, el cronograma de actividades se muestra en anexo 2, dicho plan de manejo fue aplicado a todas las unidades experimentales para brindarle las mismas condiciones y poder determinar si existe respuesta ante la aplicación de los reguladores del crecimiento en el cultivo de papa en la región.

Para el establecimiento y manejo del cultivo se realizaron algunas actividades no detalladas en el plan de manejo expuesto en el anexo 2, las cuales se mencionan a continuación.

2.7.3 Preparación del terreno

Previo al establecimiento de la plantación se realizó la preparación del terreno la cual consistió en la eliminación de toda planta arvense dentro de la parcela así como la incorporación de materia orgánica en el suelo, En el anexo 3 se presenta el área experimental posteriormente a la incorporación de materia orgánica. posteriormente se realizó el zanjeo a 20 cm de profundidad con distanciamiento entre zanja de 0.9 m como se observa en anexo 4, Se aplicó en el área total del experimento (360m²) 32 libras de cal agrícola (CaCO₃), la cual fue incorporada al suelo, posteriormente se aplicó de 61 libras fertilizante 15-15-15 y fertilizante orgánico lombricompost a razón de 6 quintales.

2.7.4 Siembra

En el proceso de establecimiento de la plantación fue realizado con base a los surcos establecidos previamente a 0.9 m dentro de los cuales se colocaron los tubérculos madre tratados previamente, estos fueron colocados a un distanciamiento de 0.3 m entre cada uno como se muestra en anexo 5. Finalizando el proceso de siembra con la aplicación de

fungicida preventivo Captan ® e insecticida nematocida Furadan ® seguidamente de la calza de los tubérculos como se muestra en anexo 6.

2.7.5 Identificación de los tratamientos

La identificación de los bloques y tratamientos en campo se realizó mediante banderolas colocadas en la esquina inferior izquierda en orientación Norte-Sur como se observa en Anexo 7. Cada tratamiento fue identificado con un color como se presenta en cuadro 6.

Cuadro 6:: Identificación de los tratamientos en campo por color de banderola.

IDENTIFICACION.	TRATAMIENTO.	Color de banderola.
T ₀	Ninguna aplicación de reguladores de crecimiento (testigo)	Verde claro
T ₁	Ácido Indol Butírico a 200 ppm	Blanco
T ₂	Ácido Indol Butírico a 500ppm	Azul
T ₃	Ácido Giberélico a 2 ppm	Celeste
T ₄	Ácido Giberélico a 5 ppm	Anaranjado
T ₅	Ácido Indol Butírico al 200ppm y Ácido Giberélico a 2 ppm	Amarillo
T ₆	Ácido Indol Butírico al 200ppm y Ácido Giberélico a 5 ppm	Rojo
T ₇	Ácido Indol Butírico a 500ppm y Ácido Giberélico a 2 ppm	Verde Oscuro
T ₈	Ácido Indol Butírico al 500ppm y Ácido Giberélico a 5 ppm	Rosado

Fuente: Elaboración propia.

2.7.6 Monitoreo y control de plagas y enfermedades

Parte del manejo cultural que se le dio al cultivo fue el monitoreo de plagas y enfermedades, el cual fue realizado con intervalos de un día. Pudiéndose observar únicamente problemas por tizón tardío (*Phytophthora infestans*) el cual fue manejado mediante las aplicaciones previamente contempladas en el cronograma de actividades anexo 1.

2.8 DISEÑO EXPERIMENTAL

2.8.1 Selección del diseño experimental

Para el establecimiento de las unidades experimentales en la investigación se agruparon bajo el modelo del diseño en bloques completos al azar (DBA). La figura 25 muestra la distribución de las diferentes unidades experimentales distribuidas en cuatro bloques así como la orientación en campo de la gradiente de variación.

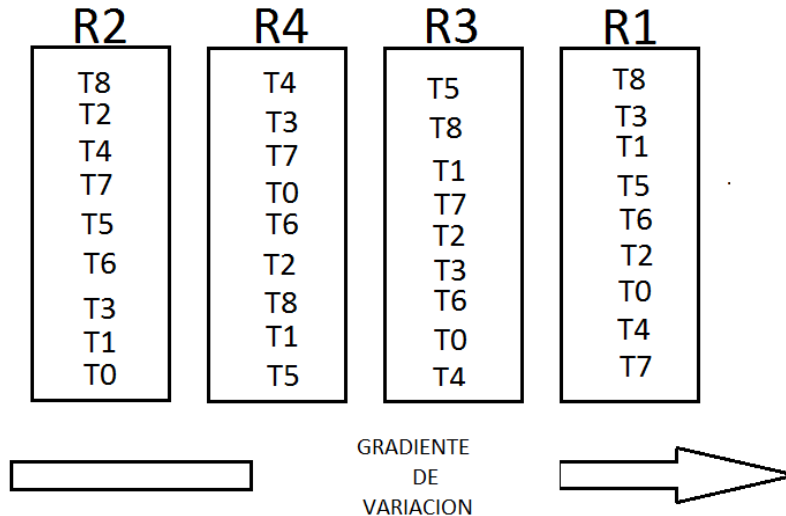


Figura 25: Croquis de distribución de los tratamientos en campo.

2.8.2 Hipótesis de investigación

Ho: No existen diferencias significativas de incremento en la producción en peso ante el efecto de la aplicación del factor regulador de crecimiento en diferentes concentraciones.

Ha Existen diferencias significativas de incremento en la producción en peso ante el efecto de la aplicación del factor regulador de crecimiento en diferentes concentraciones.

2.8.3 Modelo estadístico

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

Donde

$i = 9$ tratamientos.

$j = 4$ repeticiones.

Siendo

Y_{ij} = variable de respuesta observada o medida en el i -ésimo tratamiento y el j -ésimo bloque.

μ = media general de la variable de respuesta.

τ_i = efecto del i -ésimo tratamiento.

β_j = efecto del j -ésimo bloque.

ε_{ij} = error asociado a la ij -ésima unidad experimental.

Supuesto

- No existe interacción entre bloque y tratamiento

Calculo de número de repeticiones.

$$GLE = 12 \quad T = 9$$

$$GLE = (T - 1)(R - 1)$$

$$12 = (9 - 1)(R - 1)$$

$$12 = 8R - 8$$

$$R = (12 + 8)/8$$

$$R = 2.5$$

Considerando que un número de repeticiones de 2.5 es adecuado y que en base a la literatura al incrementar el número de repeticiones se reduce el error experimental. El

modelo experimental fue establecido bajo 4 repeticiones y 9 tratamientos con unidades experimentales de hileras múltiples conformados por 3 surcos por tratamiento.

2.8.4 Variable de respuesta

- Rendimiento de tubérculos en kg/ha de papa (*Solanum tuberosum* variedad loman).
- Crecimiento vegetativo.

2.8.5 Toma de datos

Los datos de rendimiento se obtuvieron a los 110 días después de la siembra, al momento de realizar la cosecha, la cual se realizó tomando la lectura de peso de tubérculos por unidad de area (parcela neta) expresada por planta en Kg/ha.

Fue considerada como medida de crecimiento vegetativo el crecimiento en altura la cual fue medida en cm a partir de la base hasta el ápice de la planta a 10 plantas que por cada unidad experimental correspondientes a la hilera central 2.70 m² de área neta, iniciando a los 18 días después de la siembra realizando mediciones continuas semanalmente concluyendo a los 81 días después de la siembra.

2.8.6 Unidad experimental

Las unidades experimentales establecidas fueron de 8.1 m² (2.70 m * 3 m), conformados por tres surcos en cada unidad experimental a un distanciamiento entre planta de 0.3 m y 0.9 m entre surco. Cada unidad experimental se conformó por un total de 30 tubérculos semilla de papa variedad Loman, donde en cada surco se establecieron un total de 10 tubérculos como se presenta en figura 26. Con la finalidad de evitar efectos de borde, la hilera central fue utilizada para la toma y análisis de datos.

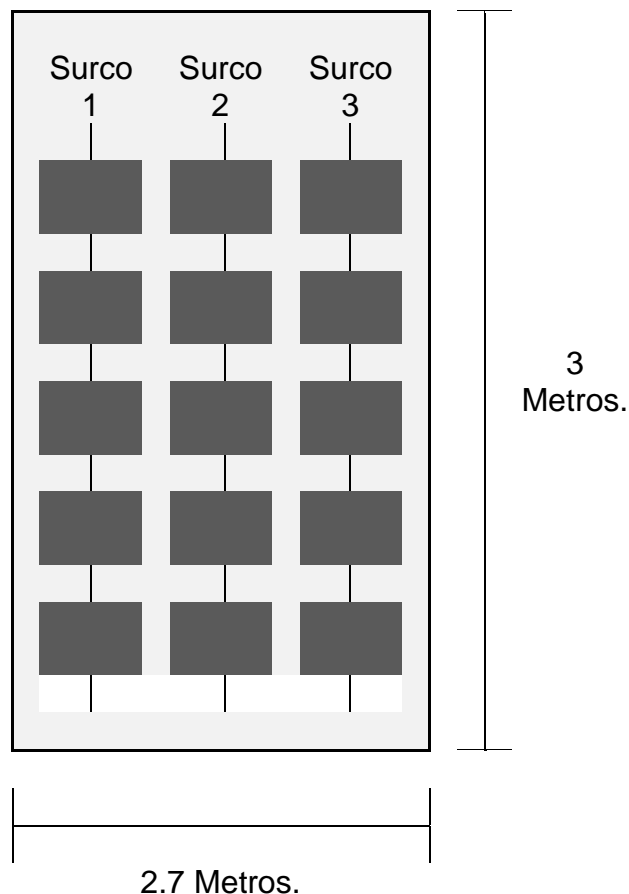


Figura 26: Representación de unidades experimental de papa. Elaboración propia.

2.8.7 Reguladores de crecimiento

Se evaluaron dos tipos de reguladores de crecimiento empleando auxinas (Ácido indol Butírico) a un porcentaje de pureza del 98% y para giberelinas (Ácido Giberélico) a un porcentaje de pureza del 10%.

2.8.8 Concentraciones

Se evaluaron dos diferentes concentraciones de los reguladores de crecimiento donde para Auxinas (Ácido Indol Butírico) se emplearan 200 y 500 partes por millón y para giberelinas (Ácido Giberélico) 2 y 5 partes por millón, como se muestra en cuadro 7.

Cuadro 7:Reguladores de crecimiento y concentraciones evaluados.

Regulador de crecimiento	Concentraciones	
Ácido Indol Butírico	200 ppm.	500 ppm.
Ácido Giberélico	2 ppm.	5 ppm.

Fuente: Elaboración propia.

2.8.9 Tratamientos

Los tratamientos fueron definidos por las aplicaciones de dos reguladores de crecimiento en dos concentraciones, las cuales se evaluaron tanto de forma individual como la interacción entre concentraciones y reguladores de crecimiento.

Donde

A1: Auxinas a 200 ppm.

A2: Auxinas a 500 ppm.

G1: Giberelinas a 2 ppm.

G2: Giberelinas a 5 ppm.

Los tratamientos evaluados se presentan en el cuadro 8.

Cuadro 8: Identificación de los tratamientos

IDENTIFICACION.	TRATAMIENTO.
T ₀	Ninguna aplicación de reguladores de crecimiento (testigo)
T ₁	Ácido Indol Butírico a 200 ppm
T ₂	Ácido Indol Butírico a 500ppm
T ₃	Ácido Giberélico a 2 ppm
T ₄	Ácido Giberélico a 5 ppm
T ₅	Ácido Indol Butírico a 200ppm y Ácido Giberélico a 2 ppm
T ₆	Ácido Indol Butírico a 200ppm y Ácido Giberélico a 5 ppm
T ₇	Ácido Indol Butírico a 500ppm y Ácido Giberélico a 2 ppm
T ₈	Ácido Indol Butírico a 500ppm y Ácido Giberélico a 5 ppm

Fuente: Elaboración propia.

2.8.10 Preparación de las soluciones concentradas de tratamientos en laboratorio

Para la preparación de las soluciones concentradas de los tratamientos en laboratorio previamente se realizaron los cálculos sobre las cantidades necesarios para cada uno, en base a la concentración en ppm previamente establecidos y la pureza de los productos de los reguladores de crecimiento disponible en el mercado de forma comercial (anexo 10).

Posteriormente haciendo uso de una balanza analítica se realizó el pesado de los diferentes reguladores de crecimiento para la conformación de los tratamientos, los cuales fueron almacenados por separados e identificados en frascos para la preparación y aplicación final de los tratamientos en campo a cada una de las unidades experimentales.

2.8.11 Preparación de material vegetal

Posterior a realizar el pesado y almacenaje de los reguladores de crecimiento en laboratorio, se realizó la preparación final en campo como se muestra en anexo 10, donde se prepararon las soluciones a diferentes concentraciones conformando los tratamientos a ser aplicados a cada unidad experimental, los cuales se presentan en el cuadro 7.

La preparación de los reguladores de crecimiento se realizó por separado (reguladores independientes almacenados previamente en frascos) empleando alcohol al 99% a razón de 10:1 (gramos de regulador de crecimiento/ mililitros de alcohol) homogenizando la solución mediante movimiento constante, posteriormente se colocó en el recipiente final y se aforó a 10 litros. Los litros preparados para cada tratamiento se utilizaron para sumergir entre 10-20 Kg de tubérculos por periodo de 10 minutos, los que posteriormente a la inmersión se secaron al aire libre durante una noche (Anexo 12).

Para los casos de los T5 (Ácido Indol Butírico al 200ppm + Ácido Giberélico a 2 ppm), T6 (Ácido Indol Butírico al 200 ppm + Ácido Giberélico a 5 ppm), T7 (Ácido Indol Butírico a

500 ppm + Ácido Giberélico a 2 ppm) y T8 (Ácido Indol Butírico al 500ppm + Ácido Giberélico a 5 ppm) por ser tratamientos conformados por dos reguladores de crecimiento la inmersión se realizó en el menor intervalo de tiempo entre ambas, realizando la primera inmersión en Ácido Indol Butírico seguido de Ácido Giberélico.

2.9 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para el análisis estadístico de la información se empleó el programa de acceso libre INFOSTAT®, en el cual mediante contrastes ortogonales se realizó el análisis de varianza (ANAVA) permitiendo identificar las diferencias estadísticas entre cada uno de los contrastes, a los cuales posteriormente se aplicó la prueba de Tukey, determinando los tratamientos que presentaron mejor efecto sobre la producción. La matriz de contraste empleada para analizar la información se muestra en cuadro 9.

Cuadro 9: Matriz de contrastes ortogonales.

No Contraste	CONTRASTE	Testigo	AIB	AIB	AG	AG	AIB	AG	AIB	AG	AIB	AG	AIB	AG
			200	500	2	5	200	2	200	5	500	2	500	5
1	Testigo.	-8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	Aux Vrs Gib. Reguladores Comb	0	1	1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Vrs Ind.	0	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
4	Aux ind.	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	Gib Ind.	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0
6	Gib comb.	0	0	0	0	0	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
7	Aux comb.	0	0	0	0	0	1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1

Fuente: Elaboración propia.

2.10 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

2.10.1 Rendimiento

El tratamiento Ácido Indol Butírico a 500 ppm + Ácido Giberélico 5ppm presentó el más alto rendimiento, el cual fue de 36,532.89 Kg/ha. Los segundos mejores tratamiento fueron el tratamiento fueron Ácido Indol Butírico a 200 ppm + Ácido Giberélico a 5ppm y el tratamiento Ácido Indol Butírico a 500 ppm + Ácido Giberélico a 2 ppm, con una producción de 34,327.6 Kg/ha y 33,803.56 Kg/ha respectivamente. Seguidamente el tratamiento conformado por Ácido Indol Butírico al 200ppm + Ácido Giberélico a 2 ppm,

con una producción 30,908.04 Kg/ha. El efecto de los tratamientos en la producción se presenta en el cuadro 10.

Cuadro 10: Efecto de los tratamientos en la producción de papa en Kg/ha.

Rendimiento por tratamiento.				
Regulador	Concentración		Tratamiento	Media. Kg/ha
	Auxina	Giberelina		
Combinado	500	5	T8	36532.89
Combinado	200	5	T6	34327.65
Combinado	500	2	T7	33803.56
Combinado	200	2	T5	30908.04
Independiente	500	0	T2	28090.29
Independiente	200	0	T1	26515.26
Independiente	0	2	T3	25776.12
Independiente	0	5	T4	23095.15
Testigo	0	0	T0	20518

Fuente: Elaboración propia.

Mediante el análisis de varianza se determinó que existen diferencias entre los tratamientos, por lo que se realizó la prueba múltiple de medias de Tukey, con la cual se determinó las diferencias entre los tratamientos.

Cuadro 11: Resultados de análisis de varianza.

No	Contraste Tratamientos	SC	gl	CM	F	p-valor
1	Testigo	311680059.38	1	313881328.07	199.97	<0.0001
2	Auxinas Vrs Gib Reguladores combinados	32882024.46	1	173941239.26	110.82	<0.0001
3	Vrs Ind.	515054542.24	1	209925620.91	133.74	<0.0001
4	Auxinas independientes.	4961439.00	1	40712490.16	25.94	0.0398
5	Gibe independientes.	14375200.00	1	2182051.94	1.39	0.001
6	Auxinas combinadas	37809493.87	1	71043968.38	45.26	<0.0001
7	Giber combinadas	26017676.07	1	4429455.26	2.82	<0.0001
	Total	942780435.02	7	117907115.65	110.88	<0.0001

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 12: Resultados de prueba de Tukey.

Regulador	Concentración		Tratamiento	Media Kg/ha.	Variación con Testigo	Categoría.
	Auxina	Giberelina				
Combinado	500	5	T8	36532.89	78%	a
Combinado	200	5	T6	34327.65	67%	b
Combinado	500	2	T7	33803.56	65%	b
Combinado	200	2	T5	30908.04	51%	c
Independiente	500	0	T2	28090.29	37%	d
Independiente	200	0	T1	26515.26	29%	d
Independiente	0	2	T3	25776.12	26%	d
Independiente	0	5	T4	23095.15	13%	e
Testigo	0	0	T0	20518	0%	e

Fuente: Elaboración propia.

Los tratamientos que presentaron menor efecto sobre la producción fueron los tratamientos donde se evaluó el efecto independiente de los reguladores de crecimiento. Los tratamientos Ácido Indol Butírico a 200 pm, Ácido Indol Butírico a 500 ppm y Ácido Giberélico a 2 ppm no presentaron diferencias estadísticas significativas entre ellos. El tratamiento por Ácido Giberélico a 5 ppm y el testigo fueron los menos efectivos, entre los cuales no existieron diferencias estadísticas significativas, con una producción de 20,518 Kg/ha para el testigo y 23,095 Kg/ha en el tratamiento donde se aplicó Ácido Giberélico a 2 ppm.

La aplicación de reguladores de crecimiento en papa produjo incrementos sobre la producción, algunos tratamientos presentaron mejores resultados en rendimiento en relación al tratamiento testigo, estos se detallan a continuación en orden mayor a menor efecto sobre la producción. El tratamiento conformado por Ácido Indol Butírico a 500 ppm + Ácido Giberélico 5ppm incrementó la producción en 78% en relación a la producción del testigo. Los segundos mejores tratamiento fueron los tratamientos conformados por Ácido Indol Butírico a 200 ppm + Ácido Giberélico 5 ppm y Ácido Indol Butírico a 500 ppm

+ Ácido Giberélico a 5 ppm, aumentando la producción en 67% y 65% respectivamente, no existiendo diferencias estadísticas significativas entre ambos. El tratamiento conformado por Ácido Indol Butírico a 200 ppm + Ácido Giberélico 2 ppm incrementó la producción 51% en relación al testigo, como se puede observar en el cuadro 11.

El efecto de los tratamientos sobre la producción difiere significativamente del testigo, por lo que los factores concentraciones y regulador de crecimiento causan un efecto directo sobre la producción de papa.

El efecto del factor regulador de crecimiento en el nivel Auxinas o Giberelinas independientes no genera diferencias significativas, por lo que el factor regulador de crecimiento en su nivel auxina o giberelinas independientes en cualquiera de los niveles del factor concentración causan efecto similar sobre la producción de papa.

El efecto del factor regulador de crecimiento en el nivel Auxinas o Giberelinas combinado, en sus niveles del factor concentración, genera efectos diferentes sobre la producción de papa.

Como resultado del análisis de varianza (ANAVA) se determinó que existe efecto diferente ante la aplicación de los reguladores de crecimiento individual, combinado y el testigo. Por lo que fue necesario realizar un análisis múltiple de medias para analizar con mayor detalle los tratamientos e identificar cuáles son estadísticamente diferentes y en cuánto oscila el valor de esas diferencias para lo que se utilizó la comparación de medias de Tukey que se presentan a continuación en el cuadro 11. El resultado obtenido a partir del los contrastes evaluados en el análisis de varianza (ANAVA) se presentan en el cuadro 11.

2.10.2 Crecimiento vegetativo:

El tratamiento Ácido Indol Butírico a 500 ppm + Ácido Giberélico a 5 ppm presentó el mayor crecimiento en altura, el cual fue de 29.63 cm. El segundo mejor tratamiento fue el tratamiento Ácido Indol Butírico a 200 ppm + Ácido Giberélico a 5 ppm con crecimiento en altura promedio de 28.56 cm. Seguidamente los tratamientos Ácido Indol Butírico a 500 ppm + Ácido Giberélico a 2 ppm el tercer mejor tratamiento con un crecimiento en altura

promedio de 26.88 cm. Seguido del tratamiento Ácido Indol Butírico a 500 ppm presento crecimiento en altura de 26.06 cm.

Los tratamientos que presentaron menor efecto sobre el crecimiento en altura fueron donde se evaluó el efecto independiente a excepción del tratamiento combinado de Ácido Indol Butírico a 200 ppm + Ácido Giberélico 2 ppm que presento un respuesta baja, los tratamientos independientes en respuesta al crecimiento en altura fueron similares a las respuesta obtenida en el efecto sobre la producción.

Los tratamientos conformados por Ácido Giberélico a 2 ppm y Ácido Indol Butírico a 200 ppm + Ácido Giberélico a 2 ppm no presentaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos. Con un crecimiento en altura de 25.66 cm en el tratamiento donde se aplicó Ácido Giberélico a 2 ppm y 25.09 cm en el tratamiento donde se aplico 200 ppm + Ácido Giberélico a 2ppm.

El tratamientos conformado por Ácido Giberélico a 5 ppm y el testigo fueron los menos efectivos, entre los cuales no existieron diferencias estadísticas significativas, con un crecimiento en altura 24.38 cm. en el tratamiento donde se aplicó Ácido Giberélico a 5 PPM y 24.13 cm donde no se realizó aplicación de reguladores de crecimiento.

Cuadro 13:Resultados de análisis de varianza en crecimiento en altura.

FV	SC	F	p-valor
Modelo.	206.27	8.16	<0.0001
Tratamiento	134.04	7.29	0.0001
Bloque	72.23	10.48	0.0001
Error	55.14		
Total	261.42		

Fuente: Elaboración propia.

2.10.3 Coeficiente correlación Rendimiento desarrollo vegetativo:

Los resultados obtenidos al someter información de rendimientos y crecimiento en altura por tratamiento al análisis de correlación Pearson utilizando el software Infostat, se obtuvo coeficiente de correlación positivo con un factor de 0.89 indicando una alta correlación que existe entre los factores rendimiento y crecimiento en altura, por lo que el rendimiento

en la producción de papa se ve directamente influenciado por el crecimiento en altura que presenten las plantas. Este coeficiente de correlación de Pearson de 0.89 es una medida de la relación lineal entre estas dos variables analizadas.

2.11 CONCLUSIONES

1. La aplicación por inmersión de tubérculos en de Ácido Indol Butírico y Ácido Giberélico incrementa la producción de papa (*Solanum tuberosum*).
2. El efecto en la producción de papa (*Solanum tuberosum*) ante la aplicación de diferentes concentraciones de Ácido Indol Butírico y Ácido Giberélico está determinado por la interacción entre los reguladores de crecimiento. En aplicaciones independientes con diferentes concentraciones los efectos sobre la producción son similares a los del testigo, no obstante en aplicaciones combinadas existen diferencias significativas en la producción.
3. El efecto sobre el desarrollo vegetativo en papa (*Solanum Tuberosum*) ante la aplicación de diferentes concentraciones de Ácido Indol Butírico y Ácido Giberélico, genera incrementos en el desarrollo vegetativo con la aplicación de altas concentraciones de Ácido Giberelico en tratamientos combinados Ácido Indol Butírico.

2.12 RECOMENDACIONES

1. En el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) se recomienda seguir evaluando la inmersión de tubérculos previo a la siembra en 500 ppm Ácido indol Butírico y 5 ppm de Ácido Giberélico para generar un incremento en la producción de papa.
2. La aplicación de Ácido Indol Butírico y Ácido Giberélico para la producción de papa (*Solanum tuberosum*) se debe realizar en combinación ya que su efecto está determinado por la interacción entre estos dos reguladores de crecimiento.
3. Evaluar el efecto de la aplicación Ácido Indol Butírico y Ácido Giberélico para la producción de papa (*Solanum tuberosum*) en diferentes épocas del año así como en diferentes zonas productoras de papa del país, para conocer los posibles efectos que puedan existir en la producción bajo condiciones diferentes.

2.13 LITERATURA CONSULTADA

1. Australian Academy of Science. 2004. *The biosynthesis of the plant hormone gibberellin (en línea)*. Australia. Consultado 12 jul 2013. Disponible en <http://www.science.org.au/events/sats/sats2004/symposium.html>
2. Buitrón Fuentes, JL. 2009. Efectos de la aplicación de tres bioestimulantes hormonales para la estimulación del brote floral en el cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris*) en el cantón Mira provincia del Carchi. Tesis Ing. Agr. Ecuador, Universidad Técnica de Babahoyo. 58 p.
3. Castillo Jiménez, D. 2004. Experiencias en la propagación del pino candelillo (*Pinus maximinoi* H. E. Moore), con énfasis en la utilización del ácido 3-Butírico en el vivero forestal de P&C Maderas Internacionales en el departamento de Escuintla, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 62 p.
4. Consejo Municipal de Desarrollo del Municipio de San Miguel Ixtahuacán, San Marcos, GT; SEGEPLAN (Secretaría General de Planificación, GT). 2010. Plan de desarrollo San Miguel Ixtahuacán, San Marcos. Guatemala. 121 p.
5. Curtis, H; Barnes, NS; Schnek, A; Flores, G. 2006. Invitación a la biología. 6 ed. Buenos Aires, Argentina, Editorial Médica Panamericana. 662 p.
6. Dogliotti, S. 2007. Bases fisiológicas del crecimiento y desarrollo del cultivo de papa (en línea). Uruguay, Universidad de la República, Facultad de Agronomía. Consultado 12 jul 2013. Disponible en http://www.fagro.edu.uy/~fisveg/docencia/curso%20fisiologi%20cultivos/materiales%20teoricos/Repartido_Fisiologia_Papa.pdf
7. FAO, AR. 2008. Nutrición en papa (en línea). Argentina. Consultado 5 jul 2013. Disponible en <http://www.potato2008.org/es/lapapa/cultivo.html>
8. Flores Vaca, JL. 2007. Respuestas a la aplicación de fraccionamientos de la fertilización edáfica en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) variedad Superchola en la zona de El Ángel, provincia del Carchi. Tesis Ing. Agr. Ecuador, Universidad Técnica de Babahoyo. 99 p.

9. Gentry, JL Jr.; Standley, PC. 1974. Flora of Guatemala. Chicago, US, Field Museum of Natural History, Fieldiana. Botany, v. 24, pte. 10, no. 1-2, p. 142.
10. Hernández Gómez, F. 2009. Propuesta de proyectos integrales. San Marcos, Guatemala, Fundación Sierra Madre. 94 p.
11. INE (Instituto Nacional de Estadística, GT). 2002. XI censo nacional de población y VI de habitación (en línea). Guatemala. Consultado 19 jul 2013. Disponible en: <http://www.ine.gob.gt/np/poblacion/>
12. Kermode, AR. 2005. Role of abscisic acid in seed dormancy (en línea). Journal of Plant Growth Regulation 24:319-344. Consultado 5 jul 2013. Disponible en http://download.springer.com/static/pdf/235/art%253A10.1007%252Fs00344-005-0110-2.pdf?auth66=1422911591_a333fc9ee275a846b3b2b76f27990cd6&ext=.pdf
13. López, G. 2002. Tubérculos-semilla (en línea). Perú, CIP. Consultado 13 jul 2013. Disponible en <http://cipotato.org/publications/nkxms1019hx1xmtstxkpenqine.netdna-cdn.com/wp-content/uploads/2014/07/006162.pdfpdf/>
14. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2003. IV censo nacional agropecuario (en línea). Guatemala. Consultado 15 jul 2013. Disponible en <http://www.ine.gob.gt/np/agropecuario/tomo%20IV.pdf>
15. Malagamba, P. 1997. Manual para producción de tubérculos de semilla de papa (en línea). Perú, CIP. Consultado 12 jul 2013. Disponible en <http://cipotato.org/publicationsnkxms1019hx1xmtstxk3k9sknetdna-cdn.com/wp-content/uploads/publication%20files/research%20guides/guiaesp.pdf/pdf/>
16. Moore, R et al. 1998. Botany. US, McGraw-Hill. 441 p.
17. Plant & Soil Sciences e Library PRO. 2013. Mecanismos de acción de herbicidas auxínicos (en línea). California, US, Consultado 15 jul 2013. Disponible en <http://passel.unl.edu/pages/informationmodule.php?idinformationmodule=1055959268&topicorder=6&maxto=10>
18. Ramírez, B. 2008. Evaluación de clon de papa (*Solanum tuberosum* L.) Loman M-60, asesoría técnica y servicios comunitarios en el caserío Even Ezer, Purulhá, Baja Verapaz. Tesis Ing. Agr. USAC, Facultad de Agronomía. 138 p.
19. Raven, PH; Eichhorn, SE. 1992. Biología de las plantas. Barcelona, España, Reverté. 402 p.
20. Rost, TL; Barbour, MG; Stocking, CR; Murphy, TM. 2006. Plant biology. 2 ed. Belmont, California, US, Thomson Brooks Cole Publishing. 320 p.

21. Sampietro, AR. 2005. Cátedra de fitoquímica (en línea). San Miguel de Tucumán, Argentina, Universidad Nacional de Tucumán, Instituto de Estudios Vegetales. Consultado 12 jul 2013. Disponible en http://www.biologia.edu.ar/plantas/reguladores_vegetales_2005/giberelinas.htm
22. Sitún Alvizures, M. 2005. Guía de estudio de investigación agrícola. Bárcenas, Villa Nueva, Guatemala, Escuela Nacional Central de Agricultura. 151 p.
23. Taiz, L; Zieger, E. 1998. Plant physiology (en línea). 5 ed. Los Ángeles, California, US, Universidad de California. Consultado 12 jul 2013. Disponible en <http://5e.plantphys.net/categories.php?t=s>
24. Weaver, RJ. 1985. Reguladores de crecimiento de las plantas en la agricultura. Trad. Agustín Contín. México, Trillas. 622 p.

2.14 ANEXOS.

Anexo 1: Cuadro sobre costos de la investigación.

GASTOS				
COSTOS FIJOS/ Cuerda				
RUBRO	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Tierra				
Arrendamiento de la tierra	0.5	Cuerda	Q 800.00	Q 400.00
Plantación	2	Jornal	Q50.00	Q 100.00
Preparación suelo	2	Jornal	Q50.00	Q 100.00
Sub total:				Q600.00
Depreciación Equipo				
Bomba	1	Unidad	Q100.00	Q100.00
Herramientas (azadon , machete ..)	1	Unidades	Q50.00	Q50.00
Sub total:				Q150.00
COSTOS FIJOS TOTALES.				Q750.00
COSTOS VARIABLES.				
RUBRO	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Actividades culturales.				
Aplicación de insecticidas	4.25	Jornal	Q50.00	Q212.50
Aplicación fungicidas	2.5	Jornal	Q50.00	Q125.00
Fertilización	2	Jornal	Q50.00	Q100.00
Limpia	2	Jornal	Q50.00	Q100.00
Riego Ciclo	0.25	Año	Q300.00	Q75.00
Sub total:				Q612.50
Insumos				
Abono orgánico Fertiorgànico.	4	Sacos.	Q70.00	Q280.00
Insecticida, nematicida Furadàn 10 Grs.	1.5	Libra	Q30.00	Q45.00
Semilla papa variedad Loman	2	Quintal	Q365.00	Q730.00
Captan	2	Sobre	Q30.00	Q60.00
Fungicida Antracol	1	400 grs.	Q50.00	Q50.00
Fungicida Curzate	1	500 gra.	Q115.00	Q115.00
Insecticida Monarca	1	100 cc..	Q35.00	Q35.00
Insecticida Connect	1	100 cc..	Q40.00	Q40.00
Fertilizante 15-15-15 Yara	37.5	Libra	Q2.80	Q105.00
Fertilizante Nitrato de Calcio	12.5	Libra	Q3.10	Q38.75
Fertilizante Foliar Bayfolàn Forte	1	Litro	Q60.00	Q60.00
Sub total:				Q1,558.75
Cosecha				
Corte	2	Jornal	Q 50.00	Q100.00
Limpieza producto	2	Jornal	Q50.00	Q100.00
Sub total:				Q200.00
COSTOS VARIABLES TOTALES.				Q2,371.25
TOTAL				Q3,221.25

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2: Cronograma de actividades de la investigación.

Días después de siembra	Actividad	Cantidad	bombas /cd	Aplicación	Área de aplicación	Presentación
0	Zanjeo	0.2 mt.				Zurco
	Aplicación cal.			Banda	Surco	
	Materia orgánica	8 sacos/cd		Banda	Surco	100 lbs/saco
	Insecticida Furadan	3 Lbs/cd		Banda	Surco	
	Fertilizante 15-15-15	75 lbs /cd		Banda	Surco	Quintal
	Siembra	6 cajas/cd		0.9 ds*0.3 dp.	Surco	50lbs/caja
	Captan			1.5Mb/ bomba	Semilla	
	Regulador de crecimiento	2 y 5 ppm..	Inmersión		Semilla	
12	Insecticida Monarca	3 frascos/cd	1.5 Bombas/cd	1 Mb/bomba	Follaje	100 cc
19	Fungicida Antracol	1 Bolsa/cd	1.3 Bombas/cd	4 Mb/bomba	Follaje	bolsas 400 gr.
	Insecticida Conect	3 frascos/cd	2 Bombas/cd	1Mb/mochila	Follaje	100 cc
25	FertBayfolan	1 Lt/cd	1.42 Bombas/cd	4 Mb/bomba	Follaje	1000 cc
	Insecticida Monarca	3 frascos/cd	1.5 Bombas/cd	1 Mb/bomba	Follaje	100 cc
	Fungicida Antracol	1 Bolsa/cd	1.3 Bombas/cd	4 Mb/bomba	Follaje	bolsas 400 gr.
32	FertBayfolan	1 Lt/cd	1.42 Bombas/cd	4 Mb/bomba	Follaje	1000 cc
	Insecticida Monarca	3 frascos/cd	1.5 Bombas/cd	1 Mb/bomba	Follaje	100 cc
	Fungicida curzate	1 Bolsa/cd	0.95 Bombas/cd	3 Mb/bomba	Follaje	Bolsa 500 gr.
39	Fertilizante Nitrabor				Suelo en Calza	
46	FertBayfolan	1 Lt/cd	1.42 Bombas/cd	4 Mb/bomba	Follaje	1000 cc
	Insecticida Conect	3 frascos/cd	2 Bombas/cd	1Mb/mochila	Follaje	100 cc
	Fungicida curzate	1 Bolsa/cd	0.95 Bombas/cd	3 Mb/bomba	Follaje	Bolsa 500 gr.
53	Fertilizante K-Brix	1 Bolsa/cd	1.25 Bombas/cd	4 Mb/bomba	Follaje	Bolsa 500 gr.
	Fungicida curzate	1 Bolsa/cd	0.95Bombas/cd	3 Mb/bomba	Follaje	Bolsa 500 gr.
	Insecticida Monarca	3 frascos/cd	1.5 Bombas/cd	1 Mb/bomba	Follaje	100 cc
60	FertBayfolan	1 Lt/cd	1.42 Bombas/cd	4 Mb/bomba	Follaje	1000 cc
	Insecticida Conect	3 frascos/cd	2 Bombas/cd	1Mb/mochila	Follaje	100 cc
	Fert Nitrato K	25 Lb/cd		25 Lbs/cd	Suelo calza	Granulado

Días después de siembra	Actividad	Cantidad	bombas /cd	Aplicación	Área de	Presentación
					aplicación	
67	Insecticida Monarca	3 frascos/cd	1.5 Bombas/cd	1 Mb/bomba	Follaje	100 cc
	Ácido Giberélico	15ml/cd	1 Bomba /cd	7.5 cc/bomba	Follaje	Frasco 15 ml
	Fungicida curzate	1 Bolsa/cd	0.95 Bombas/cd	3 Mb/bomba	Follaje	Bolsa 500 gr.
74	Fertilizante K-Brix	1 Bolsa/cd	1.25 Bombas/cd	4 Mb/bomba	Follaje	Bolsa 500 gr.
	Insecticida Conect	3 frascos/cd	2 Bombas/cd	1Mb/mochila	Follaje	100 cc
	Fungicida Antracol	1 Bolsa/cd	1.3 Bombas/cd	4 Mb/bomba	Follaje	bolsas 400 gr.
81	FertBayfolan	1 Lt/cd	1.42 Bombas/cd	4 Mb/bomba	Follaje	1000 cc
	Insecticida Monarca	3 frascos/cd	1.5 Bombas/cd	1 Mb/bomba	Follaje	100 cc
	Fungicida curzate	1 Bolsa/cd	0.95 Bombas/cd	3 Mb/bomba	Follaje	Bolsa 500 gr.
88	Fertilizante K-Brix	1 Bolsa/cd	1.255 Bombas/cd	4 Mb/bomba	Follaje	Bolsa 500 gr.
	Insecticida Conect	3 frascos/cd	2 Bombas/cd	1Mb/mochila	Follaje	100 cc
	Fungicida curzate	1 Bolsa/cd	0.95 Bombas/cd	3 Mb/bomba	Follaje	Bolsa 500 gr.
95	FertBayfolan	1 Lt/cd	1.42 Bombas/cd	4 Mb/bomba	Follaje	1000 cc
	Insecticida Monarca	3 frascos/cd	1.5 Bombas/cd	1 Mb/bomba	Follaje	100 cc
	Fungicida curzate	1 Bolsa/cd	0.95 Bombas/cd	3 Mb/bomba	Follaje	Bolsa 500 gr.
102	Fertilizante K-Brix	1 Bolsa/cd	1.25 Bombas/cd	4 Mb/bomba	Follaje	Bolsa 500 gr.
	Insecticida Conect	3 frascos/cd	2 Bombas/cd	1Mb/mochila	Follaje	100 cc
109	FertBayfolan	1 Lt/cd	1.42 Bombas/cd	4 Mb/bomba	Follaje	1000 cc
	Insecticida Monarca	3 frascos/cd	1.5 Bombas/cd	1 Mb/bomba	Follaje	100 cc

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 3: Preparación del terreno.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 4: Elaboración de los surcos.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 5: Establecimiento de los tratamientos.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 6: Calzado en la siembra.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 7: Plantación a treinta y dos días de establecidas identificada con banderolas por tratamiento.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 8: Cosecha de la plantación a 120 DDS por tubérculo madre.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 9: Cosecha acumulada por tratamiento 5.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 10: Cálculo de reguladores de crecimiento y alcohol isopropílico requeridos para la aplicación de los tratamientos.

TRATAMIENTOS	Miligramos.		Mililitros.
	AIB (98%)	AG3 (10%)	Alcohol.
T0	0	0	0
T1	2040.81	0	204.081
T2	5102.04	0	510.204
T3	0	200	20
T4	0	500	50
T5	2040.81	200	224.081
T6	2040.81	500	254.081
T7	5102.04	200	530.204
T8	5102.04	500	560.204

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 11: Preparación de material vegetal.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 12: Secado de material vegetal luego de aplicación de los tratamientos.

Fuente: Elaboración propia.

3 CAPÍTULO III.

INFORME DE SERVICIOS PRESTADOS A ALDEA SUBCHAL CON EL APOYO DE FUNDACIÓN SIERRA MADRE, SAN MIGUEL IXTAHUACÁN, SAN MARCOS, GUATEMALA, C.A.

3.1 PRESENTACIÓN

Fundación Sierra Madre, ONG (FSM) es una organización de desarrollo, guatemalteca no gubernamental, sin fines de lucro, dedicada a apoyar el desarrollo sostenible de cincuenta y dos comunidades ubicadas en San Miguel Ixtahuacán y Sipacapa en San Marcos y Malacatancito en Sur de Huehuetenango. Trabaja en el desarrollo de actividades que permitan promover actividades económicas que constituyan las bases para un desarrollo sostenible de las comunidades mediante asistencia y soporte a los en temas agro-productividad, salud y apoyo a la educación.

En base al diagnóstico realizado en las una de las comunidades de acción de Fundación Sierra Madre; aldea Subchal en San Miguel Ixtahuacán, se pudieron identificar una serie de problemas que afectan directamente en el tema de agro-productividad y comercialización. Los cuales fueron priorizadas de acuerdo a las necesidades intervención para alcanzar con éxito los procesos, de igual forma en otras comunidades de acción de FSM se pudieron identificar otras necesidades en las cuales se tuvo intervención.

Dentro de las necesidades existentes, como principales problemas se presenta escasa o nula asistencia técnica en procesos de manejo y post cosecha en los cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) por ser de importancia económica para productores de la comunidad de Subchal así como otra serie de actividades ejecutadas durante el ejercicio profesional supervisado comprendido de febrero a diciembre del año 2013.

En respuestas a lo anteriormente mencionado y en cooperación de Facultad de Agronomía y Fundación Sierra Madre se brindó el seguimiento a productores de Aldea Subchal en el proceso de incorporación en actividades comerciales en mercados formales se brindó acompañamiento técnico las cuales son descritas en el presente documento así como las intervenciones y actividades ejecutadas durante el ejercicio profesional supervisado en las diferentes comunidades.

3.2 SERVICIO 1:

ASISTENCIA TÉCNICA EN PROCESOS DE ESTABLECIMIENTOS Y SEGUIMIENTO DE PLANTACIONES DE PAPA LOMAN (*Solanum tuberosum L.*) Y ZANAHORIA BANGOR F1 (*Daucus carota*)

3.2.1 Objetivos

General

- Brindar asesoría técnica en el establecimiento y manejo de los cultivos de papa y zanahoria mediante planes de manejo para la producción previamente establecidos por las organizaciones vinculadas, en la comunidad de Subchal municipio de San Miguel Ixtahuacán.

Específicos

- Brindar asesoría a los productores en el establecimiento de las plantaciones.
- Desarrollar actividades necesarias para el control de plagas y enfermedades.
- Brindar asesoría técnica en el proceso de cosecha de cultivos.

3.2.2 Definición del problema

Como parte del apoyo al plan de gobierno municipal local para el desarrollo sostenible de la comunidad Fundación Sierra Madre en conjunto con el departamento de ambiente de Mina Marlín desarrollaron un plan piloto para la producción y comercialización de hortalizas, donde se contempla la producción de papa en aldea Subchal para su comercialización en mercados formales del país.

Actualmente la producción de papa (*Solanum tuberosum*) en el departamento de San Marcos es de importancia económica por representar una de las principales fuentes de ingresos de las familias de la región que se dedican a la producción de hortalizas. Considerando en el municipio de San Miguel Ixtahuacán el 79.74% de la población se dedica a actividades vinculadas a la Agricultura. En aldea Subchal de San Miguel Ixtahuacán no existe asistencia técnica en la producción de cultivo de papa utilizando métodos tradicionales que limita los rendimientos en los cultivos.

3.2.3 Metodología

Se brindó asistencia técnica mediante acompañamiento en los procesos de establecimiento y manejo de las plantaciones.

Fueron impartidas capacitaciones sobre uso seguro de plaguicidas por parte de AGREQUIMA y buenas prácticas agrícolas (BPA) por CDI Wal-Mart Guatemala mediante la vinculación entre productores y agente comprador.

Se realizaron giras de campo para familiarización de los productores con nuevo proceso productivo empleadas en Guatemala como se muestra en la figura 27.



Figura 27: Gira de campo con productores de papa y Zanahoria.

3.2.4 Resultados

- Se brindó asesoramiento durante el proceso de establecimiento de sesenta y cinco parcelas productivas de papa con establecimientos escalonados de cinco parcelas semanales. De igual forma se realizó el establecimiento de 20 parcelas de zanahoria a una razón de dos parcelas semanales, en cada unidad productiva con una extensión de 441 m² se realizaron actividades de:
 - A. Preparación del suelo.
 - B. Siembra.
 - C. Fertilización.
 - D. Control de plagas y enfermedades
 - E. Defoliación.
 - F. Cosecha.
- Se brindó acompañamiento en actividades de manejo de plantaciones de papa y zanahoria de setenta y cuatro beneficiarios como se muestra en la figura 28.



Figura 28: Asesoramiento para el establecimiento de parcelas productivas.

3.2.5 Evaluación de los resultados

Se brindó asesoría técnica para la producción de papa (*Solanum tuberosum*) y zanahoria (*Daucus carota*) a setenta y cuatro productores beneficiarios con una extensión total 4.08 manzanas de papa y 1.26 manzanas de zanahoria del plan piloto para la producción y comercialización de hortalizas impulsado por Fundación Sierra Madre y Departamento de ambiente Mina Marlín.

3.3 SERVICIO No 2:

ASISTENCIA TÉCNICA DURANTE EL PROCESO POST-COSECHA DE PAPA (*Solanum tuberosum L.*) Y ZANAHORIA (*Daucus carota*).

3.3.1 Objetivos:

General:

Brindar asesoría técnica que permita el cumplimiento de los estándares, normas y regulaciones necesarios para la comercialización de los productos en el mercado formal.

Específicos:

- Implementar buenas prácticas de manufactura que permitan el cumplimiento de los estándares de calidad.
- Desarrollar un control y registro de productos.
- Capacitar a productores en clasificación y empaque de acuerdo a los requerimientos de la empresa compradora.

3.3.2 Definición del problema

El municipio de San Miguel Ixtahuacán se caracteriza por contar con una población que en su mayoría se dedican al comercio informal aproximadamente el 60%. Sus productos principalmente son comercializados los días de plaza miércoles y sábado, eventualmente en mercados informales de Huehuetenango y ciudad capital de Guatemala. Por lo que se hace evidentemente necesario el fortalecimiento de sector micro empresarial que permita el desarrollo de comunidad.

Como parte de la responsabilidad social empresarial de Fundación Sierra Madre y en seguimiento plan piloto para la producción y comercialización de hortalizas, se dio la vinculación de los productores con un mercado formal el cual fue pacto con empresa transnacional (Wal-Mart). Situación que implica el cumplimiento de algunos aspectos como el uso de buenas prácticas de manufactura (BPM), control y registro de productos, trazabilidad, estándares de calidad, normas y regulaciones para entrega de productos en instalaciones, actividad con la que los productores no se encuentran familiarizados en sus procesos productivos.

3.3.3 Metodología

Se impartieron capacitación sobre BPM y se realizaron giras a centros de acopio y empaque que cumplen con las normas y estándares de calidad establecidos por empresa Wal-Mart, así como la implementación de medidas tendientes a la reducción y mitigación de contaminación del producto por agentes físicos, químicos y biológicos de los productos.

Giras: Se realizaron giras de campo a las instalaciones de CDI-Wal-Mart ubicadas en la ciudad capital de Guatemala, donde se brindaron regulaciones sobre los estándares de calidad, clasificación y características de los productos, procedimientos para ingreso y entrega de los productos en las instalaciones. De igual forma se realizaron visitas a diferentes centros de acopio para conocer diversas metodologías empleadas para el cumplimiento de BPM.

Capacitaciones: Se realizaron capacitaciones sobre procedimientos para control y registro en recepción de productos, Buenas Prácticas de Manufactura (BPM), concentraciones adecuadas de perseverantes en pos cosecha (solución de tomillo Proud 3), soluciones adecuadas de hipoclorito para cada actividad, empaque del producto, características del producto en sus diferentes presentaciones como se presenta en figura 29.



Figura 29: Productor capacitado en recepción y selección del producto.

Implementación en centro de acopio: Para el cumplimiento de BPM y las regulaciones establecidas por la empresa se realizaron diversas adecuaciones al centro de acopio existente en la comunidad. Entre las actividades que se realizaron se encuentran; conexión de servicio agua potable, análisis de agua potable, división de centro de acopio, implementación de baterías de lavado de producto, establecimiento de registro de ingreso producto, implementación de protocolos de trabajo y establecimiento de normas centro dentro de centro de acopio como se observa en figura 30.



Figura 30: Productores capacitados en BPM y BPA para el manejo post cosecha de papa y Zanahoria

3.3.4 Resultados

- Se capacito un grupo diez de productores encargados de las recepción, calcificación y empaque de los productos en los temas BPM, registro de producto y procedimientos para entrega.
- Se implementaron protocolos y normas de trabajo tendientes a la reducción del riesgo por contaminación física química y biológica del producto.
- Se realizaron readecuaciones en la infraestructura que permita el cumplimiento de BPM.

3.3.5 Evaluación de los resultados

Como resultado de asesoría en manejo post cosecha la asociación de productores de aldea Subchal comercializo exitosamente con empresa Wal-Mart papa y zanahoria por un periodo de diecisiete semanas, bajo los estándares de calidad y supervisiones de manufactura por parte de la empresa, producto de lo cual se beneficiaron setenta y cuatro productores de la región figura 31.



Figura 31: Producto final etiquetado listo para comercialización bajo normas establecidas.

3.4 SERVICIO No 3:

ACOMPañAMIENTO Y ASESORAMINETO EN PROCESO ORGANIZACIONAL PARA COMERCIALIZACIÓN PRODUCTOS DE PAPA (*Solanum tuberosum l.*) Y ZANAHORIA (*Daucus carota*).

3.4.1 Objetivos

General:

- Brindar acompañamiento que permita el cumplimiento de los requisitos para su legalización en el sistema nacional tributario.

Específicos:

- Organización de grupo de productores que permita su legalización en el sistema tributario nacional para la emisión de facturas.
- Actualización de sistema RTU SAT y libros contables.
- Obtención de código de proveedor en empresa Wal-Mart.
-

3.4.2 Definición del problema

El municipio de San Miguel Ixtahuacán el 60% de su población realiza actividades comerciales en mercados informales siendo la mayor parte de sus productos destinados a mercados locales. Como parte del seguimiento del proyecto comercialización de hortalizas y en respuesta al fortalecimiento de sector micro empresarial para el desarrollo de comunidad desarrollado por Fundación Sierra Madre y el departamento de ambiente de mina Marlín se vinculó la comercialización con la empresa transnacional Wal-Mart situación que implica el cumplimiento de algunos requisitos como emisión de facturas actividad con la que los productores no se encuentran familiarizados.

3.4.3 Metodología

Se impartieron reuniones con dirigentes de productores sobre la importancia de la legalización en el sistema tributario nacional, así como el acompañamiento durante trámites necesarios SAT para su legalización y gestión de código de proveedor en empresa figura 32.



Figura 32: Reunión con dirigentes concerniente a temas legales financieros.

3.4.4 Resultados

- Se inscribió en el sistema tributario nacional productores.
- Se obtuvo código de proveedor como resultado de haber llenado los requisitos legales impuestos por parte de empresa compradora (Walmart.)

3.4.5 Evaluación de los resultados

Como resultado del acompañamiento en el proceso de legalización en el sistema tributario y a través de la gestión de código de proveedor fue posible realizar la comercialización de los productos antes descritos.

3.5 SERVICIO No 4:

ASESORÍA TÉCNICA EN PROCESO DE MUESTREO DE SUELO COMO PARTE DE FUTUROS PLANES DE FERTILIDAD EN CULTIVO DE TOMATE (*Solanum lycopersicum*).

3.5.1 Objetivos

General

- Generar información que permita realizar un adecuado plan de fertilidad.

Específicos

- Obtener información sobre fertilidad de las parcelas de interés.
- Generar un plan de fertilidad adecuado a los requerimientos.

3.5.2 Definición del problema

Como parte del seguimiento del proyecto comercialización de hortalizas y en respuesta al fortalecimiento de sector microempresarial Fundación Sierra Madre implemento en comunidad Chocoyos un proyecto productivo de tomate bajo estructuras de protección, en esta comunidad las producciones son realizadas de forma tradicional sin planes de fertilidad, considerando que los cultivos hortícolas presentan requerimientos nutricionales muy exigentes es necesario realizar análisis edafológicos en las unidades productivas que permitan generar planes de fertilidad adecuadas a los requerimientos del cultivo.

3.5.3 Metodología

Para la toma de muestras de suelo se contó con el apoyo de líderes de la comunidad donde se siguió la metodología que se detalla a continuación figura 33.

1. **Estratificación:** Se realizó un recorrido por la comunidad para la delimitación de estratos de acuerdo condiciones fisiográficas, coloración del suelo, texturas y vegetación similares a partir de la cual se obtuvo una muestra compuesta para su análisis físico químico.
2. **Toma de muestra:** Las muestras simples fueron tomadas en forma sistemática en zig-zag obtenidas en las zonas de producción de interés, a partir de las cuales se conformó una muestra compuesta
3. **Colecta de la muestra:** Para la colecta de la muestra se eliminó la superficie con cobertura vegetal lo cual posteriormente con la ayuda de pala se formó un agujero con forma de “V” a profundidad 30 centímetros, de la cual se descartaron extremos.
4. **Homogenización de la muestra:** Se realizó dentro de un balde la homogenización de las muestras simples, a partir de la cual se extrajo 1 kg de suelo.
5. **Envasado e identificación de las muestras:** Las muestras fueron envasadas en dos bolsas plásticas transparentes. La primera bolsa identificada con tinta indeleble el número de muestra, la segunda bolsa identificada en papel : Fecha de colecta, responsable y código de muestra.



Figura 33:Preparación e identificación de muestras.

3.5.4 Resultados

- Se realizó el muestro en treinta unidades productivas.
- Se realizó se determinaron los requerimientos nutricionales de acuerdo a los estratos previamente identificados.

3.5.5 Evaluación de los resultados

Aplicación de planes de fertilización de acuerdo a los requerimientos del cultivo en base a la disponibilidad de nutrientes en el suelo.

4. LITERATURA CONSULTADA

1. Consejo Municipal de Desarrollo del Municipio de San Miguel Ixtahuacán, San Marcos, GT; SEGEPLAN (Secretaría General de Planificación, GT). 2010. Plan de desarrollo San Miguel Ixtahuacán, San Marcos. Guatemala. 121 p.
2. Flores Vaca, JL. 2007. Respuestas a la aplicación de fraccionamientos de la fertilización edáfica en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) variedad Superchola en la zona de El Ángel, provincia del Carchi. Tesis Ing. Agr. Ecuador, Universidad Técnica de Babahoyo. 99 p.
3. Hernández Gómez, F. 2009. Propuesta de proyectos integrales. San Marcos, Guatemala, Fundación Sierra Madre. 94 p.