



*"Investigación para el desarrollo agrícola"*

# *Memoria de Labores 2019*



# Miembros Junta Directiva

## **Presidente**

Mario Méndez Montenegro  
Ministro de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA)

## **Presidente Suplente**

José Felipe Orellana Mejía  
Viceministro de Desarrollo Económico Rural (MAGA)

## **Directores**

Álvaro Fernández Sánchez  
Representante del Ministro de Economía

Luis Enrique Rojas Samayoa  
Representante del Ministro de Finanzas Públicas

Julio César Gordillo Coloma  
Representante del Secretario General de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN)

Waldemar Nufio Reyes  
Decano Facultad de Agronomía, USAC

Guillermo Javier Aguirre Rodríguez  
Representante Titular del Sector Privado Agrícola (AGREQUIMA)

## **Asesor**

Julio César Villatoro Mérida  
Gerente General ICTA

## **Comité Editorial del ICTA**

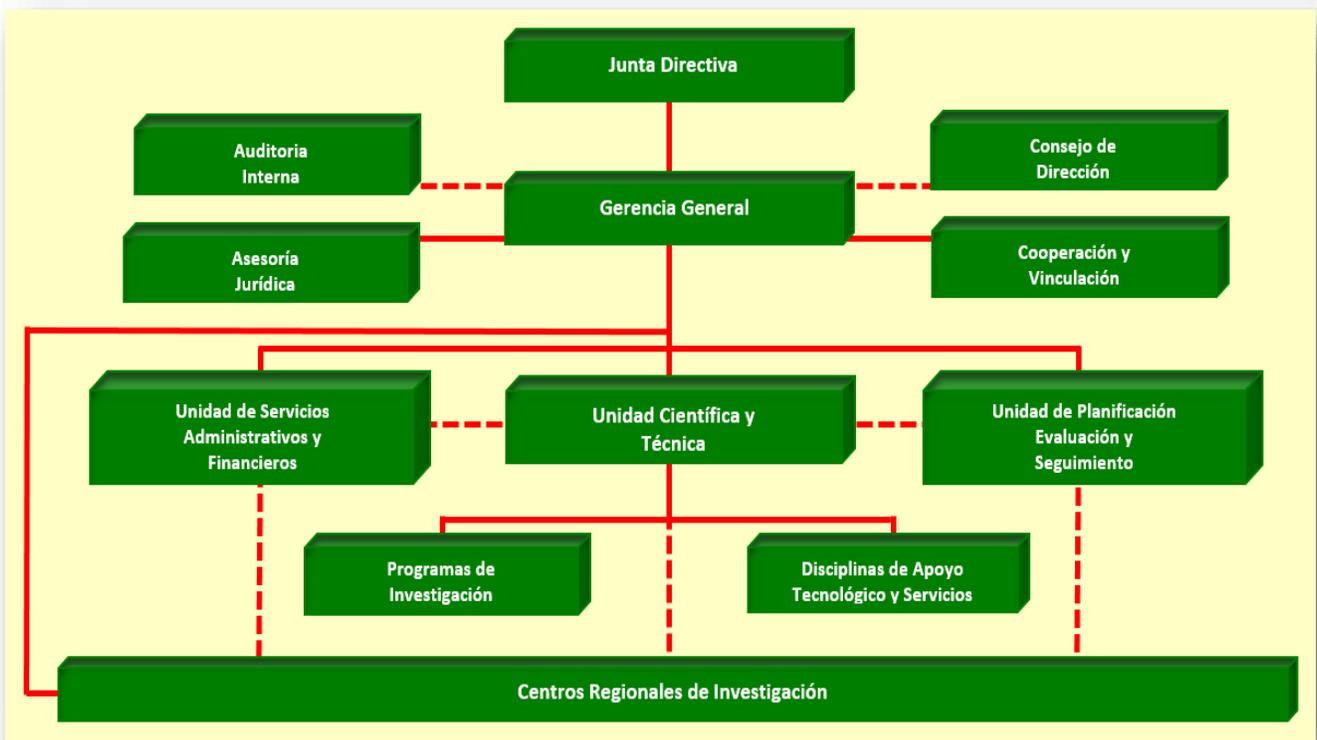
Ing. Agr. Federico Ignacio Saquimux	Presidente Suplente
Licda. Lidia Guadalupe Tello de la Fuente	Secretaria
Ing. Agr. MSc. Adán Obispo Rodas Cifuentes	Vocal
Ing. Agr. Luis Antonio Huinac Barrios	Vocal
Ing. SC. Benjamín Pérez Ciprián	Vocal

Diseño y diagramación  
Disciplina de Divulgación  
Marzo, 2020

# Objetivo

Es la institución de derecho público responsable de generar y promover el uso de la ciencia y tecnología agrícolas en el sector respectivo. En consecuencia, le corresponde conducir investigaciones tendientes a la solución de los problemas de explotación racional agrícola, que incidan en el bienestar social; producir materiales y métodos para incrementar la productividad agrícola; promover la utilización de la tecnología a nivel de agricultor y del desarrollo rural regional, que determine el sector público agrícola (Artículo 3, Decreto Legislativo No. 68-72, Ley Orgánica del ICTA).

## Organigrama institucional



# MISIÓN



*Somos una institución de derecho público responsable de generar y promover la ciencia y tecnología agrícolas para la sostenibilidad de los sistemas de producción agrícola, con énfasis en agricultores de infra-subsistencia, subsistencia y excedentarios, como una contribución al desarrollo agrícola de Guatemala.*

# VISIÓN



*Ser la institución que mediante la generación y promoción de tecnología, contribuye al desarrollo agrícola nacional.*

## Presentación

Esta memoria de labores presenta las actividades relevantes desarrolladas por el ICTA durante el ejercicio fiscal 2019, en cumplimiento con su objetivo según la Ley Orgánica (artículo 3, Decreto Legislativo No. 68-72) principalmente lo realizado en ciencia y tecnología de acuerdo al Plan Estratégico Institucional 2013-2020, a través de la Unidad Científica Técnica.

Este año se pusieron a disposición del sector agrícola dos nuevas tecnologías, la variedad de frijol de grano negro ICTA Patriarca, adaptada a las condiciones del trópico bajo de Guatemala, con alta tolerancia al virus del mosaico dorado y a sequía; y la variedad de sorgo blanco para grano ICTA Rendidor fotoinsensitivo, recomendada para consumo humano, de alta producción; ideal para sembrarse en época de segunda.

En investigación se realizaron diferentes evaluaciones de plagas y enfermedades de importancia para los cultivos, de maíz, complejo de la mancha de asfalto, achaparramiento y curvularia; asimismo, se continuó con el proceso de fitomejoramiento participativo en maíces nativos en el altiplano occidental para brindar a los agricultores variedades de maíces nativos mejorados; frijol antracnosis, mosaico dorado amarillo, mancha angular y daños causados por gorgojos de almacenamiento; en el cultivo de papa se realizaron investigaciones para determinar el tiempo óptimo de cosecha de nuevas variedades de papa; así mismo, establecer protocolos estandarizados de inducción de mutaciones y selección de mutantes con tolerancia a factores bióticos y abióticos, y obtener un clon con tolerancia a la sequía. Para mejorar la productividad en el cultivo del camote, y obtener plantas mutantes tolerantes a sequía, se irradiaron plantas *in vitro* con rayos gamma, y luego se seleccionaron por estrés abiótico. Además, se hizo la

caracterización morfológica de cuatro cultivares de camote biofortificado e incremento de semillas. En yuca se evaluaron 40 clones para determinar el contenido nutricional y el potencial de rendimiento. En aguacate se generó información sobre la variabilidad morfológica y físico-química de aguacates nativos y se caracterizaron *in situ* en dos localidades de la región Huista, Huehuetenango.

Como parte del proceso de investigación previo a liberar una variedad, se realizaron caracterizaciones agromorfológicas de un cultivar de sorgo y uno de trigo. Se desarrollaron estudios sobre la estabilidad ambiental y selección de germoplasma en el cultivo de chile cahabonero, y en loroco se evaluó el efecto de programas de fertilización N-P-K sobre el rendimiento de flores. En recursos genéticos se identificaron áreas de conservación, recolección y conservación *ex situ* de parientes silvestres de cultivos mesoamericanos, para producir variedades adaptadas a las nuevas condiciones climáticas, de las especies de los géneros *Hordeum*, *Ipomoea*, *Phaseolus*, *Convolvulaceae*, *Poaceae* y *Solanum*.

Se produjeron 52 toneladas de semillas de granos básicos, 40 mil esquejes de camote y 2.27 toneladas de semilla certificada de papa. Se procesaron 292 toneladas de semillas de diferentes especies, de las cuales 206 toneladas eran propiedad de semilleristas particulares.

Se fortaleció el conocimiento del personal científico técnico con participaciones en talleres, cursos y congresos a nivel nacional e internacional.

El presupuesto recibido de la fuente de financiamiento 11 (aporte de gobierno) fue de Q. 25,556,572 y se ejecutaron Q. 25,543,109.

# Contenido

	Página
1. Resultados y avances en investigación, validación y transferencia de tecnología agrícola... 1	
1.1. Cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> )..... 1	
1.1.1. Factores limitantes en la producción de maíz: diagnóstico de producción en el altiplano central y occidental de Guatemala ..... 1	
1.1.2. Selección asistida con marcadores moleculares ligados al gen Opaco-2, en maíz (familias ICTA Compuesto Blanco x Sintético QPM) ..... 2	
1.1.3. Aislamiento y multiplicación de los hongos del complejo de la mancha de asfalto en maíz ..... 2	
1.1.4. Mejoramiento genético de la variedad ICTA B-7 para resistencia al complejo mancha de asfalto ..... 4	
1.1.5. Avances en mejoramiento genético para la resistencia al complejo del achaparramiento en maíz del trópico ..... 5	
1.1.6. Avances en el mejoramiento genético en maíz para resistencia a <i>Curvularia</i> ..... 6	
1.1.7. Avance en el mejoramiento genético del cultivo de maíz con alta calidad de proteína y alto contenido de micronutrientes ..... 7	
1.1.8. Mejoramiento y mantenimiento de siete variedades comerciales de maíz del ICTA ..... 8	
1.1.9. Fitomejoramiento participativo de maíces nativos del altiplano de Guatemala ..... 9	
1.2. Cultivo de frijol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )..... 11	
1.2.1. Adopción de la variedad de frijol ICTA Chortí <sup>ACM</sup> en el oriente de Guatemala ..... 11	
1.2.2. Selección de variedades de frijol con resistencia a antracnosis ..... 12	
1.2.3. Resistencia para las razas 585 y 556 de <i>C. Lindemuthianum</i> en líneas experimentales de frijol común en Guatemala ..... 13	
1.2.4. Desarrollo de variedades de frijol común con resistencia al daño ocasionado por gorgojos de almacenamiento ..... 15	
1.2.5. Desarrollo de variedades de frijol común con resistencia al virus del mosaico dorado amarillo ..... 16	

1.2.6.	Selección asistida con marcadores moleculares ligados a genes de resistencia a enfermedades en frijol.....	17
1.2.7.	Caracterización de razas de roya y antracnosis del frijol en el altiplano de Guatemala .....	18
1.2.8.	Caracterización morfológica, molecular y culinaria de doce variedades de frijol común adaptadas al oriente de Guatemala .....	21
1.2.9.	Caracterización morfológica, molecular y culinaria de ocho variedades de frijol común adaptadas al altiplano de Guatemala.....	23
1.2.10.	ICTA Patriarca: nueva variedad de frijol arbustivo para el trópico.....	25
1.3.	Cultivo de sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> L. Moench).....	27
1.3.1.	Caracterización varietal de la línea avanzada ICTA Blanco.....	27
1.4.	Cultivo de trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.) .....	29
1.4.1.	Caracterización agromorfológica del genotipo avanzado de trigo ESWYT 177 en ICTA Labor Ovalle.....	29
1.5.	Cultivo de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) .....	31
1.5.1.	Determinación del momento óptimo de cosecha de variedades de papa de forma oblonga (USPB) en Huehuetenango y Quetzaltenango.....	31
1.5.2.	Rendimiento de tubérculos, calidad nutritiva (hierro, zinc y vitamina C) y conversión a harina, de clones avanzados de papa .....	32
1.5.3.	Determinación de <i>Candidatus liberibacter solanacearum</i> , y el grado de infección en el cultivo de papa .....	33
1.5.4.	Evaluación de fungicidas para el manejo del tizón tardío en el cultivo de papa variedad Loman .....	34
1.5.5.	Inducción de mutaciones en materiales de papa, mediante aplicación de radiaciones, para la obtención de tolerancia a factores abióticos .....	36
1.6.	Cultivo de camote ( <i>Ipomoea batatas</i> ).....	38
1.6.1.	Inducción de estrés hídrico <i>in vitro</i> , en variedades de camote irradiado con rayos gamma.....	38
1.6.2.	Caracterización de variedades de camote biofortificado.....	40

1.6.3.	Viveros de incremento de semilla vegetativa de camotes biofortificados.....	41
1.7.	Cultivo de yuca ( <i>Manihot esculenta</i> ).....	42
1.7.1.	Rendimiento y contenido total de carotenoides en clones de yuca biofortificada..	42
1.8.	Cultivo de aguacate ( <i>Persea americana</i> Mill) .....	44
1.8.1.	Caracterización <i>in situ</i> morfológica y físico-química de aguacates, en dos localidades de la región Huista, Huehuetenango.....	44
1.9.	Cultivo de chile cahabonero ( <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Chile Cahabonero).....	46
1.9.1.	Evaluación de la estabilidad ambiental y selección de germoplasma de cultivares de chile cahabonero.....	46
1.10.	Cultivo de loroco ( <i>Fernaldia pandurata</i> Woodson) .....	47
1.10.1.	Efecto de programas de fertilización N-P-K sobre el rendimiento de flores del cultivo de loroco, en el oriente de Guatemala.....	47
1.11.	Disciplina de Biotecnología.....	49
1.11.1.	Conservación <i>in vitro</i> de accesiones de yuca ( <i>Manihot esculenta</i> ), camote ( <i>Ipomoea batatas</i> ), papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ), malanga ( <i>Colocasia esculenta</i> ) y macal ( <i>Xanthosoma sagittifolium</i> ).....	49
1.12.	Disciplina de Tecnología y Producción de Semillas .....	50
1.13.	Disciplina de Recursos Genéticos .....	51
1.13.1.	Salvaguardando parientes silvestres de cultivos mesoamericanos .....	51
1.13.2.	Hacia una cobertura más completa de la diversidad de especies silvestres afines a cultivos.....	53
1.13.3.	Banco de Germoplasma.....	55
1.13.4.	Caracterización morfológica, agronómica, bromatológica y culinaria de camotes nativos de Guatemala. ....	56
1.13.5.	Caracterización morfológica y agronómica de accesiones de bleado ( <i>Amaranthus</i> spp.).....	58
1.14.	Disciplina de Tecnología de Alimentos .....	60
1.14.1.	Promoción de tecnología en la planta piloto de ciencia y tecnología de alimentos.....	60

2.	Actividades destacadas.....	61
2.1.	Técnicos e investigadores del ICTA se capacitan en manejo del agua y riego.....	61
2.2.	Investigadores se capacitan sobre actualización en fitomejoramiento convencional del cultivo de arroz.....	62
2.3.	Presentación de resultados del proyecto parientes silvestres de cultivos.....	62
2.4.	Autoridades supervisan proyectos de investigación con Corea del Sur.....	63
2.5.	Nuevas variedades de semillas de frijol y sorgo puestas a disposición del sector agrícola.....	64
2.6.	ICTA socializa resultados de nuevas variedades de papa.....	64
2.7.	Productores conocen características agronómicas de nueva variedad de papa ICTA Loman Roja.....	65
2.8.	Fortalecimiento a capacidades de personal científico-técnico en suelos.....	66
2.9.	Extensionistas aprenden a elaborar abono orgánico.....	67
2.10.	ICTA conmemora Día Mundial de la Alimentación con agrotecnologías sostenibles.....	67
2.11.	ICTA gana premio en concurso “Casos exitosos de innovaciones en la agricultura familiar 2019”.....	68
2.12.	Cooperación Coreana apoya la investigación agrícola en Guatemala.....	69
3.	Alianzas estratégicas.....	70
3.1.	Carta de Entendimiento No. 001-2019 entre el ICTA y la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno (AMSCLAE).....	70
3.2.	Carta de Entendimiento No. 05-2019 entre el ICTA y Agro Sima, Sociedad Anónima.....	70
4.	Participación del personal en cursos nacionales e internacionales.....	71
5.	Participación del personal en eventos nacionales e internacionales.....	73
6.	Informe Financiero.....	74

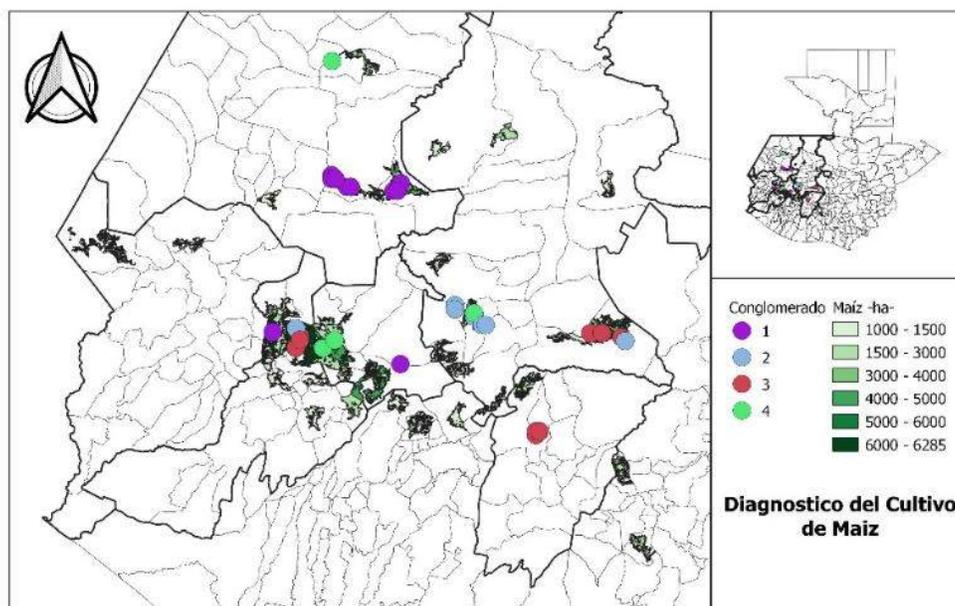
# 1. Resultados y avances en investigación, validación y transferencia de tecnología agrícola

## 1.1. Cultivo de maíz (*Zea mays*)

### 1.1.1. Factores limitantes en la producción de maíz: diagnóstico de producción en el altiplano central y occidental de Guatemala

El maíz constituye la base de la dieta alimenticia de los guatemaltecos, principalmente en el área rural. Contar con información agrícola, social y económica de la producción de maíz es importante para iniciar intervenciones de investigación, validación, promoción y transferencia de tecnología en este cultivo. El altiplano de Guatemala, es una región con riqueza genética vinculada a la cultura. Este trabajo tuvo como finalidad describir similitudes y diferencias entre grupos de agricultores, así como identificar los cultivos más importantes en términos de alimentación e ingresos. Se utilizaron técnicas SIG, shape files del uso de suelo, índices de desnutrición e inseguridad alimentaria, en áreas con producción de maíz mayores a 1,500 hectáreas. Las técnicas SIG, permitieron identificar las áreas de intervención, con variables sociales, económicas, fisiográficas y

de cultivo de maíz. Se muestrearon 168 agricultores, con un nivel de confiabilidad del 95 % en siete departamentos (Chimaltenango, Sololá, Quetzaltenango, Totonicapán, San Marcos, Huehuetenango y Quiché). Con el análisis de estadística multivariada y descriptiva, se identificaron cuatro grupos, de los cuales se analizaron: a) las características de los agricultores y toma de decisiones, b) el tipo de finca y base de recursos, y c) la descripción del cultivo de maíz. Los grupos tienen en común que siembran maíz y frijol. El 73.25 % de las decisiones es tomada por el jefe del hogar, el promedio de escolaridad es de tercero primaria, el 60 % de la mano de obra es familiar y su fuente de ingreso es de origen agrícola. El área promedio cultivada por agricultor es de 0.4 hectáreas, con rendimiento promedio de 3.12 t/ha, inferior al promedio mundial de 5.2 t/ha.



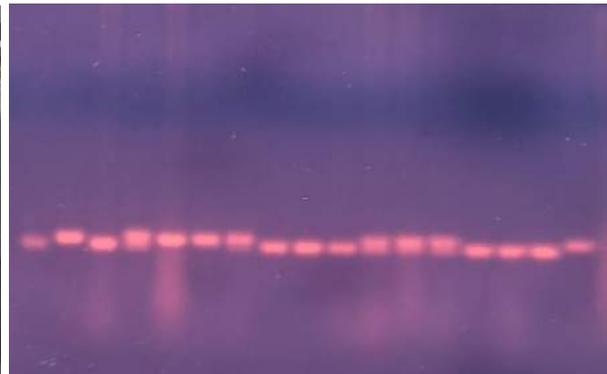
### 1.1.2. Selección asistida con marcadores moleculares ligados al gen Opaco-2, en maíz (familias ICTA Compuesto Blanco x Sintético QPM)

Los maíces con alta calidad de proteína (QPM) son una alternativa para mejorar la nutrición de los guatemaltecos. El ICTA se ha interesado en generar una variedad de maíz QPM, con alto potencial de rendimiento y adaptada a las condiciones del altiplano occidental de Guatemala. En el año 2015 se inició el mejoramiento de la calidad nutricional a la variedad ICTA Compuesto Blanco, para el efecto se realizaron cruza con un sintético QPM proveniente del CIMMYT, con ello se generaron familias de medios hermanos. Con el objetivo de identificar aquellas familias con la presencia del gen Opaco-2 de alta calidad de proteína, se realizaron pruebas con los marcadores moleculares tipo microsatélites

Phi112, Phi057 y Umc1066, para hacer selección asistida para el gen de QPM Opaco-2, en ADN extraído de plántulas de 118 familias de maíz producto de las cruza, de esta manera se reforzó la selección hecha en campo. Se corrió reacción en cadena de la polimerasa y electroforesis en gel de agarosa para visualizar el alelo asociado al QPM. Se identificaron 15 de las 118 familias como positivas para el gen de alta calidad de proteína, en dos de los tres marcadores utilizados, el marcador Phi112 no fue polimórfico para esta población. La selección asistida por marcadores permitió seleccionar líneas para continuar con el proceso de mejoramiento en el altiplano occidental de Guatemala.



118 familias de maíz producto de la cruza de ICTA Compuesto Blanco x Sintético QPM, sembradas para extracción de ADN y posterior evaluación con marcadores moleculares.



Resultados de la selección asistida por marcadores moleculares a líneas de maíz para detección del gen QPM (Banda baja positiva para QPM y banda alta negativa para QPM).

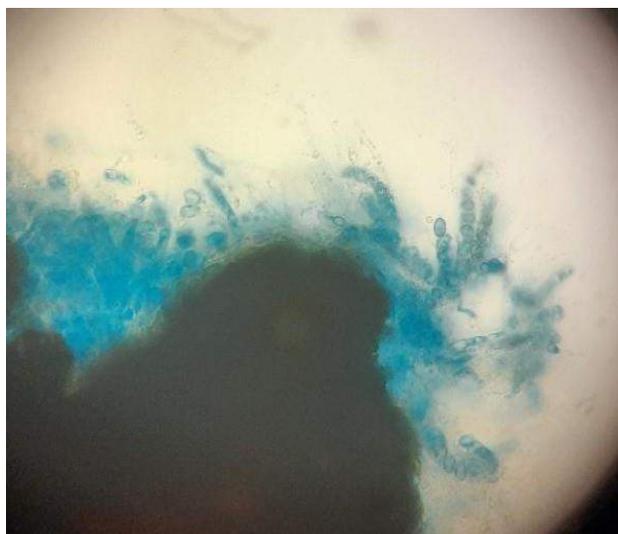
### 1.1.3. Aislamiento y multiplicación de los hongos del complejo de la mancha de asfalto en maíz

El complejo de mancha de asfalto (CMA) causa pérdidas significativas, hasta 100 % en la producción de maíz, cuando ocurren infecciones tempranas. Las investigaciones realizadas del CMA se han basado en diagnósticos, detección vía montajes directos y

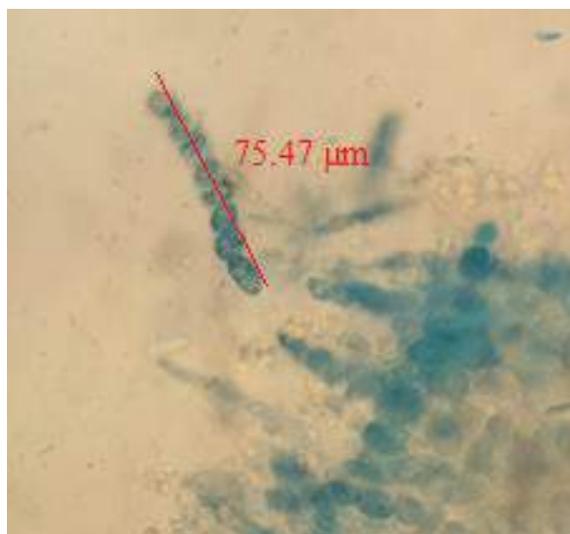
reacción en cadena polimerasa (PCR). Esta información es escasa y poco difundida, por lo que es importante elaborar un protocolo de aislamiento de los hongos causantes del complejo mancha de asfalto, *Phyllachora maydis*, *Monographella maydis* y *Coniothyrium*

*phyllachorae*. En esta investigación se evaluaron métodos de desinfección, procedimientos para el aislamiento, uso de los medios de cultivo y sustratos. Para contar con información concreta se midieron las estructuras de las colonias desarrolladas en los diferentes medios y se realizaron inoculaciones directas en plantas bajo condiciones controladas, para determinar su patogenicidad. Las ascas de *P. maydis* sobrevivieron en sustrato de paja de trigo, extraídas de aislamiento con cinco meses de almacenamiento. Sin embargo, fue posible observar las ascosporas de *P. maydis* en medio de cultivo de agar-harina de maíz y agar-hoja de maíz en muestras recientes. En estos dos medios, las colonias crecieron lentamente e iniciaron a esporular a los ocho días. Las condiciones de incubación para el desarrollo de *P. maydis* fueron, temperatura entre 20-25 °C, 75 % humedad relativa y 18 horas luz. *M. maydis* se desarrolló mejor en

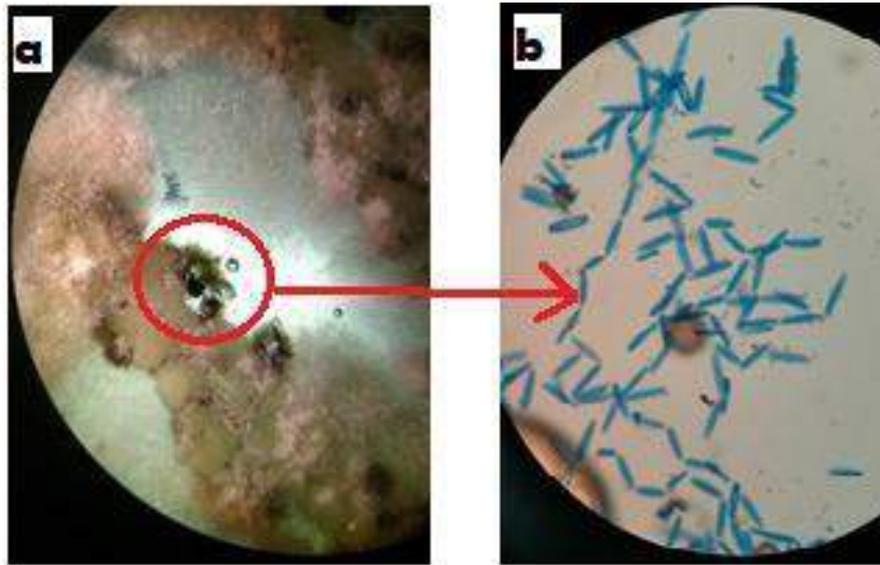
sustrato de paja de trigo, pero no sobrevivió, a pesar de que las ascas estaban presentes en el tejido; se cuenta con información del aspecto de las colonias de este patógeno. Para el desarrollo de *M. maydis* se incubó entre 20-25 °C, 75 % de humedad y oscuridad. Las conidias de *M. maydis* producidas en sustrato de paja de trigo midieron entre 24.55 y 36.69 µm, lo cual está dentro del rango de 20-46 µm para este género. Se midió el asca de *P. maydis* que se observó mediante montaje directo de la hoja, ésta midió 75.47 µm, lo cual coincide con el género, que va de 8-10 x 80-100 µm. No fue posible aislar *C. phyllachorae in vitro* por su condición de hiperparásito, únicamente se identificó mediante montaje directo.



Asca de *Phyllachora maydis* del estroma, observada 19 días después de la siembra en agar hoja de maíz.



Estructuras de *P. maydis*, vistas desde el microscopio en 40x.



Colonia de *Coniothyrium phyllachorae*.

Montaje con azul lactofenol donde se observan las estructuras de *Coniothyrium phyllachorae*.

#### 1.1.4. Mejoramiento genético de variedades de maíz para resistencia al complejo mancha de asfalto

El complejo mancha de asfalto (CMA) ha causado pérdidas en la producción de maíz, de hasta un 100 % en algunas regiones de Guatemala, principalmente en el norte y oriente del país. Según estudios realizados durante los últimos años, se reporta que un *QTL Mayor* (*qRtsc8-1*) (Quantitative Trait Loci, por sus siglas en inglés), condiciona la resistencia al complejo mancha de asfalto. En el año 2019 se realizaron "Top Cross", entre la variedad comercial ICTA B-7 y la línea endogámica GTB 13-18, portadora de la resistencia al CMA. Se tienen actualmente 55 cruza  $F_1$ , las cuales se avanzarán en generación en el año 2020, con el objetivo de evaluar un aproximado de 300 familias  $F_2$ , con el método de selección recurrente fenotípica de medios hermanos, hasta cinco ciclos de mejoramiento. De esta manera, se pretende a mediano plazo, generar la primera variedad de polinización libre de maíz con resistencia al complejo mancha de asfalto. La técnica del retrocruzamiento se

utiliza en el fitomejoramiento para introgresar o insertar genes mayores o alelos de un *QTL Mayor* dentro de otro germoplasma.

La variedad de polinización libre ICTA B-15<sup>ACP+Zn</sup>, recientemente liberada por el ICTA, es susceptible al CMA. En el año 2019 se realizó el primer ciclo de retrocruzamientos ( $BC_1$ ), entre la variedad ICTA B-15<sup>ACP+Zn</sup> comercial y las 42  $F_1$  generadas en el 2018 (ICTA B-15/GTB 13-18). Se cosecharon 42  $BC_1$  que se evaluarán durante el año 2020, con la finalidad de seleccionar aquellos genotipos que presenten resistencia al CMA, esta fracción superior, se retrocruzarán de nuevo, para obtener el  $BC_2$ , dicho proceso se repetirá hasta obtener el  $BC_7$ , a mediano plazo se generará una nueva versión de la variedad ICTA B-15<sup>ACP+Zn</sup> con resistencia al CMA. Es importante continuar con la evaluación de germoplasma para contribuir en la solución de dicha problemática.



Cruzas F<sub>1</sub> ICTA B-7/GTB 13-18, San Jerónimo, Baja Verapaz.



Mazorcas BC1 ICTA B-15<sup>ACP+ZN</sup>/ICTA B-15<sup>ACP+ZN</sup>/GTB 13-18, San Jerónimo, Baja Verapaz.

### 1.1.5. Avances en mejoramiento genético para la resistencia al complejo del achaparramiento en maíz del trópico

El complejo del achaparramiento es causado por tres organismos: Virus del rayado fino del maíz (MRFV), Espiroplasma del achaparramiento del maíz (*Spiroplasma kunkelii*) -CSS- y el Enanismo arbustivo del maíz (MBS). El vector principal de los tres patógenos, son cicadélidos del género *Dalbulus*, el más importante es la especie *Dalbulus maidis* De Long & Wolcott, conocido también como chicharrita, debido a lo anterior se le considera la plaga de maíz más importante en América Latina. El complejo del achaparramiento puede llegar a ocasionar pérdidas en el cultivo de maíz, hasta del 70%. Durante el año 2018 se evaluaron ocho variedades sintéticas de grano blanco, seis variedades de grano amarillo; 25 híbridos de grano blanco y 25 híbridos de grano amarillo, en San José La Máquina, Suchitepéquez. La finalidad de la investigación fue, seleccionar los

mejores genotipos que combinaran un alto potencial de rendimiento y resistencia al complejo del achaparramiento. Los resultados obtenidos muestran que siete variedades de grano blanco fueron altamente susceptibles a la enfermedad, entre 42 a 52%, solamente la variedad cinco presentó moderados niveles de daño, con 35%. Las variedades amarillas mostraron entre buenos a moderados niveles de resistencia, de 11 a 30%. Respecto a los híbridos evaluados, 11 híbridos de grano blanco presentaron entre 11 a 20% de daño y seis híbridos de grano amarillo entre 22 a 26% de daño. Los híbridos blancos alcanzaron rendimientos de 4,793 a 5,755 kg/ha, mientras que los híbridos amarillos manifestaron rendimientos de 4,968 a 5,221 kg/ha.



Mazorcas dañadas por el complejo del achaparramiento, ICTA, San José La Máquina, Suchitepéquez.



Mazorcas sanas de híbridos con alto nivel de resistencia al complejo del achaparramiento, ICTA, San José La Máquina, Suchitepéquez.

### 1.1.6. Avances en el mejoramiento genético en maíz para resistencia a *Curvularia*

En Guatemala la mancha foliar ocasionada por el hongo *Curvularia* spp., puede ocasionar pérdidas de hasta 60% en el rendimiento, debido a la disminución de área fotosintética. Se desconoce la o las especies presentes de *Curvularia* spp.; éste género actualmente está compuesto por más de 40 taxones, no obstante, la especie mayormente asociada al cultivo de maíz ha sido *Curvularia lunata* Boed. En el año 2019, en Cuyuta, Masagua, Escuintla, se evaluaron en diseño alpha látice, ocho variedades sintéticas de grano blanco, seis variedades de grano amarillo, 270 híbridos de grano blanco y 85 híbridos de grano amarillo. El objetivo de la investigación fue seleccionar los mejores genotipos que

combinaran un alto potencial de rendimiento y resistencia a *Curvularia* spp. Los resultados de la investigación realizada mostraron que las variedades sintéticas blancas y amarillas, presentaron de moderados a altos niveles de susceptibilidad a *Curvularia* spp., con calificaciones de 3 a 4 en la escala del CIMMYT (1 = ausencia de síntomas y 5 = una infección muy severa). Se identificaron seis híbridos de grano blanco y nueve de grano amarillo, con altos niveles de resistencia, con calificaciones de 2. Los híbridos blancos tuvieron rendimientos de 4,758 a 5,755 kg/ha, mientras que los híbridos amarillos rindieron de 4,482 a 5,221 kg/ha.



Daños ocasionados por *Curvularia* spp. ICTA, Cuyuta, Masagua, Escuintla.



Híbridos con alto nivel de resistencia a *Curvularia* spp., ICTA, Cuyuta, Masagua, Escuintla.

### 1.1.7. Avance en el mejoramiento genético del cultivo de maíz con alta calidad de proteína y alto contenido de micronutrientes

Guatemala ocupa el tercer lugar a nivel mundial y el primero a nivel de Latinoamérica en desnutrición crónica en niños menores de cinco años, con 46.5 % y un 16.6 % de desnutrición crónica severa. Datos alarmantes de la OXFAM (2019), revelan que durante el periodo 2016-2019, en siete municipios del corredor seco la desnutrición se ha incrementado en un 6.9 %. El maíz es la principal fuente de energía en la dieta del guatemalteco; sin embargo, este cereal es deficitario en cantidad y calidad de proteína, especialmente aminoácidos esenciales como la lisina y el triptófano, y en micronutrientes como el zinc. La biofortificación de alimentos en una opción viable para contrarrestar el problema de la desnutrición en Guatemala; el ICTA en el año 2019, en las localidades de: San Jerónimo, Baja Verapaz; Estanzuela, Zacapa; Cuyuta, Masagua,

Escuintla y San José La Máquina, Suchitepéquez, evaluó cultivares con alta calidad de proteína y alto contenido de zinc, siendo estos: ocho variedades sintéticas de grano blanco, seis variedades de grano amarillo y 150 híbridos de grano blanco, en diseños alpha látice. Como resultado de las investigaciones se seleccionaron: dos variedades sintéticas de grano blanco con mayor potencial de rendimiento, comparadas con el testigo comercial biofortificado ICTA B-15<sup>ACP+Zn</sup>, con 3,672 y 3,607 kg/ha; se seleccionaron también dos variedades de grano amarillo con alto contenido de betacarotenos, además se seleccionaron ocho híbridos de grano blanco con rendimientos superiores al testigo comercial biofortificado ICTA HB-18<sup>ACP+ZN</sup>, con rendimientos de 4,428 a 4,863 kg/ha.



A. Híbridos de maíz con alta calidad nutritiva. B. Mazorcas de híbridos con alto contenido de zinc, Estanzuela, Zacapa.

### 1.1.8. Mejoramiento y mantenimiento de siete variedades comerciales de maíz del ICTA

El ICTA desde su creación en el año 1972, ha dedicado esfuerzos para conducir investigación en el cultivo de maíz. Como resultado se ha tenido la liberación y producción de semilla de diferentes cultivares, tanto híbridos como variedades de polinización libre. Para la región del trópico bajo, las variedades de polinización libre que han destacado son: ICTA B-1, ICTA B-5, ICTA B-7<sup>TS</sup>. Para el altiplano central: ICTA V-301 e ICTA Don Marshall, y para el altiplano occidental: ICTA Compuesto Blanco e ICTA San Marceño. A través de los años los cultivares han ido perdiendo sus características varietales, con cierto nivel de contaminación, derivado de la mezcla con otras variedades de maíz; además se determinó que el potencial de rendimiento de estas variedades ha disminuido. Debido a lo anterior, durante el plan estratégico institucional 2013-2020, se incluyó el proceso de mejoramiento por el método de selección recurrente fenotípica de medios hermanos. Esto con la finalidad de incrementar las frecuencias génicas favorables, con énfasis en el rendimiento de grano, sin perder otras características agronómicas, tales como: tipo y color de grano, altura de planta y mazorca,

acame de raíz y tallo, principalmente. Para el efecto, se realizaron tres ciclos de selección recurrente fenotípica de medios hermanos, para cada una de las siete variedades antes mencionadas. Los viveros de selección y recombinación de familias de medios hermanos, se realizaron en las estaciones experimentales del ICTA en San Jerónimo, Baja Verapaz; Quetzaltenango y Chimaltenango. Para cada ciclo de mejoramiento se formó una variedad experimental, por lo que se evaluaron tres variedades experimentales de cada población. La evaluación se hizo en fincas de agricultores, con el objetivo de seleccionar la mejor variedad experimental, que sea superior al testigo comercial de cada una, en rendimiento y que tenga las características agronómicas propias de la variedad original en su momento de liberación. Al final, se tienen versiones mejoradas de las siete variedades: ICTA B-1; ICTA B-5, ICTA B-7<sup>TS</sup>, ICTA V-301, ICTA Don Marshall, ICTA Compuesto Blanco e ICTA San Marceño; las que reemplazarán a las variedades comerciales actuales.



De izquierda a derecha: Mazorcas de las variedades mejoradas: ICTA B-5, ICTA B-7<sup>TS</sup>, ICTA San Marceño e ICTA Compuesto Blanco.

### 1.1.9. Fitomejoramiento participativo de maíces nativos del altiplano de Guatemala

Guatemala es parte del centro de origen del maíz y en la región del altiplano se conserva la mayor agrobiodiversidad del país. El rendimiento nacional promedio del maíz es bajo (2,205 kg/ha). La producción de maíz en el altiplano guatemalteco, se caracteriza por el minifundio (promedio de 0.25 ha/familia), donde se práctica una agricultura de subsistencia. Se siembran variedades nativas en un 90 a 98 % del área que ocupa este cultivo. La región del altiplano aporta aproximadamente un 20 % de la producción de maíz a nivel nacional. Para el altiplano guatemalteco el uso de variedades mejoradas es una alternativa para incrementar la productividad del cultivo, una opción para disponer de ellas es el fitomejoramiento participativo (FP). El FP es una técnica de mejoramiento genético que se utiliza para el desarrollo de germoplasma que incluye: el mejoramiento de plantas y la selección varietal pero de manera participativa (fitomejorador y agricultor). A través del FP el ICTA concentra esfuerzos en mejorar las principales características agronómicas de las variedades nativas, utilizadas por agricultores de la región

del altiplano central (1401 a 2000 msnm) y del altiplano occidental (> 2000 msnm). Con ello se busca aumentar el rendimiento de grano, disminuir la altura de planta y mazorca, disminuir el acame de raíz y tallo, ganar precocidad, mejorar y uniformizar el tipo y color de grano, entre otras características. Para el altiplano central se desarrollaron dos variedades experimentales de grano blanco y cuatro de grano amarillo: “Las Cuevas”, de San Bartolomé Jocotenango, El Quiché y “Chimazat”, de Santa Cruz Balanyá, Chimaltenango; se tienen tres variedades experimentales para cada una, todas de grano blanco; y las variedades experimentales dos y tres de “Cucul” y “Cimientos” de San Bartolomé, Jocotenango, El Quiché, de grano amarillo. Para el altiplano occidental se desarrollaron cuatro variedades experimentales de grano blanco: “Nueva Candelaria” (experimental 2) y “Patachaj” (experimental 2), de San Cristóbal, Totonicapán y “San Antonio” (experimentales 2 y 3) de San Francisco el Alto, Totonicapán. Además, seis variedades experimentales de grano amarillo: “Nueva Candelaria”

(experimentales 2 y 3) y “Patachaj” (experimental 2) de San Cristóbal, Totonicapán; “San Antonio” (experimental 2), de San Francisco el Alto, Totonicapán y “San Vicente” (experimentales 2 y 3), de Momostenango, Totonicapán. Para el 2020 se realizarán evaluaciones participativas con el fin

de seleccionar la mejor población, se entregará semilla de las mismas para uso de los agricultores; además, se conservarán en el banco de germoplasma del ICTA para su uso posterior.



Mazorcas de la variedad nativa Nueva Candelaria.



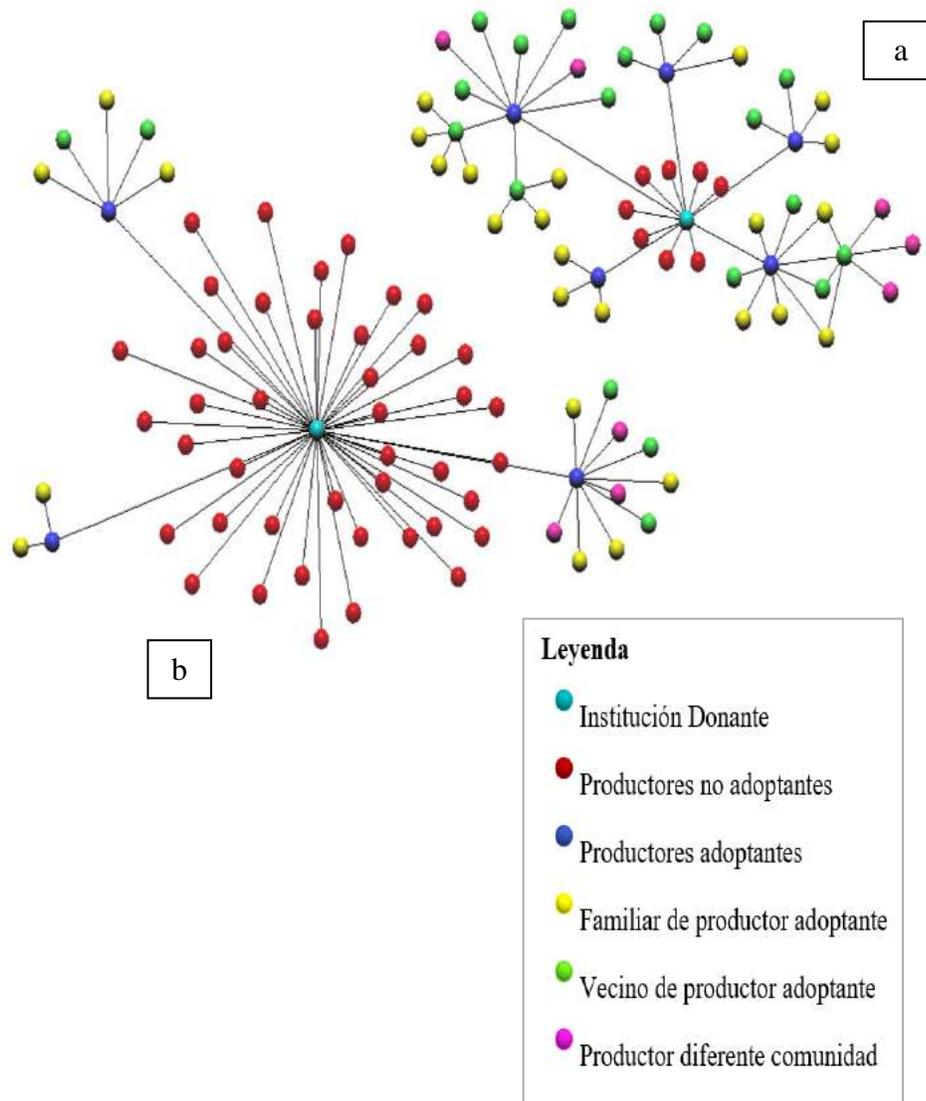
Mazorcas de la variedad nativa Las Cuevas.

## 1.2. Cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*)

### 1.2.1. Adopción de la variedad de frijol ICTA Chortí<sup>ACM</sup> en el oriente de Guatemala

ICTA Chortí<sup>ACM</sup> es una variedad de frijol biofortificado, con alto contenido de hierro y zinc. La plataforma BioFORT, a través del Programa Mundial de Alimentos (PMA) y Visión Mundial entregó semilla de esta variedad a productores de los departamentos de Jalapa, Zacapa, Jutiapa y Chiquimula. En el 2017 la Disciplina de Socioeconomía Rural realizó el estudio de aceptabilidad de la variedad, se concluyó que hubo buena aceptación por parte de los productores. En el 2019 se realizó el estudio de adopción; los factores que limitan o motivan la misma, además de determinar la difusión de la variedad por los agricultores. Se realizaron entrevistas semiestructuradas para obtener la información, como: cambio de área de producción, opinión sobre aspectos positivos y negativos, y difusión de la variedad. Se determinó que el 51 % de los productores entrevistados integraron la variedad a su sistema de producción durante el año 2018, y el 41 % en el año 2019; el área de producción se redujo un 7.47 % (1.31 ha) en el periodo 2018 – 2019. En los departamentos de Zacapa y Chiquimula, no se reportó adopción, debido a la pérdida de semilla por el déficit de precipitación. En Jalapa y Jutiapa, el índice de aceptabilidad fue 37.15 % para el 2018 y 28.41 % para el 2019 y el porcentaje de usuarios de la tecnología fue de 45% para el 2018 y 39 % para el 2019. A nivel general, para ambos años supera el 25 %; sin embargo, el porcentaje de usuarios de la variedad es menor a 50, esto indica que la tecnología no ha sido adoptada por todos los agricultores. Los que adoptaron consideran que la variedad es muy

útil para su sistema productivo; entre los factores que motivan la adopción están: a) las características culinarias, b) alta cantidad de nutrientes y, c) facilidad de venta por las características físicas del grano. La adopción fue afectada por la pérdida de semilla causada por déficit de precipitación pluvial y la presencia de mosaico dorado, esto indica que es necesario reevaluar la adaptabilidad de la variedad en las zonas donde no fue adoptada. Se representó gráficamente la red de usuarios de la variedad de frijol ICTA Chortí<sup>ACM</sup>, en la cual las instituciones donantes de semilla son el centro de origen, debido a que ellas entregaron la tecnología; la red se divide en dos grandes sectores: a) Institución: Programa Mundial de Alimentos en los departamentos de Jalapa, Jutiapa y Zacapa, b) Institución: Visión Mundial en el departamento de Chiquimula. Se observó que en Jalapa y Jutiapa los productores difundieron la semilla a sus familiares (46 %), vecinos (41 %) y productores de comunidades vecinas (13 %). Los datos antes expuestos hacen referencia que para favorecer la adopción de una tecnología en la región es importante considerar aspectos como: la adaptación a los sistemas productivos y a las condiciones edafo-climáticas y de manejo agronómico, fomentar el cooperativismo y comunicación entre los productores, al incrementar la red y la difusión, capacitar y brindar asesoría técnica durante el ciclo productivo y crear conciencia al usuario sobre los beneficios que se obtienen con el uso de la tecnología.



### 1.2.2. Selección de variedades de frijol con resistencia a antracnosis

La antracnosis del frijol (*Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc. and Magnus; Briosi and Cavara), es una enfermedad importante a nivel mundial y causa mayores daños en zonas templadas y subtropicales. Las pérdidas ocasionadas pueden variar del 60 al 100 %, ya que puede afectar directamente el rendimiento de grano cuando se cultiva bajo condiciones favorables para el desarrollo de la enfermedad; además, la antracnosis se puede transmitir por semilla. El ICTA a través del mejoramiento genético evalúa y selecciona genotipos con

resistencia a antracnosis. En el vivero GEN, plantas de selecciones individuales con resistencia a antracnosis, fueron inoculadas con las razas 556 y 585, según la caracterización del patógeno en el año 2017. Las semillas de las plantas que no mostraron síntomas de la enfermedad fueron sembradas por aparte. La raza 585 fue identificada en diferentes localidades del altiplano occidental de Guatemala, convirtiéndose en la más frecuente para la región, mientras que la 556 fue identificada en una sola localidad en

Chimaltenango, pero tiene la característica de poder afectar genes de origen andino *Co-1<sup>3</sup>* y *Co-1<sup>2</sup>*. Las plantas seleccionadas se multiplicaron en el ciclo de cultivo 2019, y fueron evaluadas por arquitectura, valor

agronómico y otras enfermedades. Posteriormente estas líneas serán evaluadas en ensayos preliminares de rendimiento y con selección asistida para resistencia a antracnosis.

LINEA	Días a floración	Ascochyta	Mancha anular	Antracnosis	Roya	Arquitectura
L-66	61	2	4	1	2	3
L-69	62	3	4	1	2	3
CNC	61	6	6	2	2	4
ICTA						
Superchiva	53	7	6	2	2	3

Mejores líneas del vivero GEN selecciones con resistencia a la raza 556 y 585 de *C. lindemuthianum*, en comparación con el testigo comercial. ICTA, Chimaltenango.



Testigo susceptible a enfermedades (CNC) en comparación a las líneas resistentes del vivero GEN.

### 1.2.3. Resistencia para las razas 585 y 556 de *C. lindemuthianum* en líneas experimentales de frijol común en Guatemala

La antracnosis, causada por el hongo patógeno *Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc and Magnus) es una enfermedad que afecta al frijol común alrededor del mundo. Las pérdidas en rendimiento pueden ser de hasta un 100%, cuando la semilla está infectada y las condiciones ambientales favorecen a la enfermedad. En Guatemala la antracnosis afecta el rendimiento y la calidad del grano del frijol común, y la producción también se ve afectada, ya que los pequeños productores usualmente no aplican fungicidas. La introducción de genes de resistencia a líneas comerciales es una opción para poder prevenir la enfermedad, el control más efectivo y amigable con el ambiente es la resistencia genética. En Guatemala, se han identificado varias razas de antracnosis, entre ellas: 9, 73, 520, 521, 556, 585, 648, 897, 1024, 1025, 1097, 1544, 1545, 1549, 1645, 1609, 1993. Las variedades comerciales del altiplano no poseen resistencia a la raza más frecuente (raza 585), identificada en el año 2017. El objetivo fue

Identificar y seleccionar genotipos de frijol común con resistencia a las razas 585 y 556 de *Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc and Magnus). La resistencia a las razas de antracnosis 556 y 585 fueron evaluadas en un vivero proveniente de cruces de materiales comerciales del ICTA y la diferencial G2333 (*Co-4<sup>2</sup>*). La raza 585 es una de las razas más frecuentes en el altiplano de Guatemala, mientras que la raza 556 afecta a la línea diferencial de antracnosis Kaboon, que contiene el gen (*Co-1<sup>2</sup>*) de origen Andino. Las razas identificadas fueron aplicadas con un atomizador, a plántulas de frijol, quince días después de la siembra, con una concentración de  $1.2 \times 10^6$  conidia mL<sup>-1</sup>. Las plantas se mantuvieron en una cámara húmeda (>80%) durante 48 horas. Se utilizaron plantas susceptibles (Cornell 29242, Kaboon) y resistentes (MDRK, G2333), como testigos. A los ocho días después de la inoculación, las plantas fueron trasladadas al invernadero y los síntomas fueron calificados según la escala

visual de severidad del CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical), la escala es de 1 a 9, donde 1-3 es resistente y de 4-9 susceptible. Se identificaron las líneas L-30 y L-47, con resistencia a ambas razas. Mientras

que L-65 presentó resistencia a la raza 585. Las plantas identificadas como resistentes (R), fueron seleccionadas para evaluaciones posteriores.



Reacción de líneas experimentales de frijol a dos razas de *C. lindemuthianum*. ICTA, Quetzaltenango

Razas de *Colletotrichum Lindemuthianum*

Línea/Rep	585				556			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
L-13	S	S	S	S	S	S	S	S
L-15	S	S	S	S	S	S	S	S
L-21	S	-	R	S	S	S	S	S
L-25	S	S	S	S	S	S	R	S
L-27	S	S	R	S	S	S	S	S
L-30	S	R	S	R	S	R	R	R
L-31	S	S	R	S	R	S	R	S
L-47	R	R	R	R	R	-	R	S
L-45	S	S	S	S	-	S	S	S
L-65	R	R	R	R	S	S	-	S
L-66	S	S	S	S	S	S	S	S
L-69	R	S	S	S	S	S	S	S
L-70	S	S	S	S	S	S	S	S
L-74	S	S	S	S	S	S	S	S
L-124	S	S	S	S	S	S	-	S
L-125	S	S	S	S	-	S	S	S
L-127	S	S	S	S	S	-	S	-
L-140	S	S	S	S	S	-	S	S
L-156	S	S	S	S	S	S	S	S
L-195	S	S	S	S	-	S	S	S
L-201	S	S	S	S	S	S	S	S
L-205	S	S	S	S	S	S	-	S
G2333	R	R	R	R	R	R	R	R
Cornell	S	S	S	S	S	S	S	S
29242								
MDRK	R	R	R	R	R	-	R	R
Kaboon	-	-	-	-	-	S	S	-

### 1.2.4. Desarrollo de variedades de frijol común con resistencia al daño ocasionado por gorgojos de almacenamiento

En Guatemala el gorgojo común (*Acanthoscelides obtectus* Say), causa pérdidas en el grano de frijol almacenado. Las pérdidas económicas causadas por el ataque de estos insectos son considerables alrededor del mundo; sin embargo, generalmente son mayores en los países en desarrollo, ya que en muchos casos los productores carecen de una infraestructura de almacenamiento adecuada. Las pérdidas ocasionadas por los brúchidos a nivel mundial se estiman en 13 %. Los granos de frijol dañados por la plaga no son útiles para el consumo y comercio. Es necesario entonces desarrollar tecnología para proteger el grano de frijol del ataque de gorgojos durante el almacenamiento. La resistencia varietal o genética, es un método de control de plagas agrícolas, ecológicamente limpia y natural. Con el objetivo de identificar genotipos que combinen adaptación ambiental y resistencia a plagas, se evaluaron 81 líneas de frijol con genes de resistencia a la roya, virus del mosaico común y resistencia al daño de gorgojos de almacenamiento. El vivero de las líneas de frijol en generaciones F<sub>3</sub> y F<sub>4</sub>, producto de cruzamientos de variedades del ICTA adaptadas al altiplano de Guatemala (ICTA Hunapú, ICTA Altense, ICTA Texel, ICTA Superchiva), con líneas provenientes del Recinto Universitario de Mayagüez (RUM), Puerto Rico. Estas líneas contienen genes de

resistencia para roya (*Ur-4*, *Ur-5*, *Ur-11*), virus del mosaico común (*I*) y tolerancia a gorgojos de almacenamiento (*α amylase*). De este vivero, veintisiete selecciones de plantas individuales en generación F<sub>5</sub> y 102 poblaciones en F<sub>3</sub>, fueron incrementadas, evaluadas y seleccionadas por resistencia a enfermedades y arquitectura. Durante este ciclo de cultivo las enfermedades (roya, mancha angular, antracnosis y ascochyta) estuvieron presentes en el vivero, lo cual permitió una mejor selección. Varias plantas fueron descartadas por su susceptibilidad a antracnosis, roya y ascochyta. Finalmente se seleccionaron varias plantas como compuesto masal por medio de selección positiva (mejores plantas en cada familia). Fueron seleccionadas 88 familias. Con las selecciones realizadas se continuará con el avance generacional con mayor homocigosis y evaluación en campo. Por medio de selección asistida por marcadores moleculares, estas líneas se evaluarán para ver si cuentan con genes para resistencia al gorgojo de almacenamiento. Posteriormente se realizarán los ensayos preliminares de rendimiento de las líneas seleccionadas. Se destacan en los viveros por buena arquitectura de planta las provenientes de cruza con los parentales comerciales: ICTA Hunapú e ICTA Superchiva.

Genotipos susceptibles



Genotipos resistentes



Selecciones líneas F<sub>5</sub> y F<sub>3</sub> con altos niveles de tolerancia al gorgojo de almacenamiento y a las principales enfermedades del altiplano medio de Guatemala

Línea	F5					
	DAF	Ascochyta	Mancha Angular	Antracnosis	Roya	Arquitectura
175-818 Hunapú x PR-1165-3	50	5	1	1	2	2
146-789 Hunapú x PR-1165-5	50	3	2	1	1	3
157-800	50	7	1	1	2	3
174-817 Hunapú x PR-1165-3	50	5	3	2	2	3
178-821	50	7	3	1	2	3
330-954 Altense x PR-1165-5	54	5	2	1	2	3
330-954	54	4	5	1	2	3
15-664 Superchiva x PR 1165-3	60	2	2	1	3	3
2-651 Superchiva x PR1165-5	60	2	2	1	4	3
F3						
Hunapú/PR0806-81C	58	5	5	1	2	3
Hunapú/PR0806-80C	60	3	4	2	2	3
Hunapú/PR0806-80C	58	6	6	1	2	3
Altense/PR1464-4	59	3	4	1	2	3
ICTA Superchiva	61	4	2	2	4	2
ICTA Hunapú	50	5	3	1	2	3

### 1.2.5. Desarrollo de variedades de frijol común con resistencia al virus del mosaico dorado amarillo

El virus del mosaico dorado amarillo (VMDA), es la enfermedad de mayor importancia económica en la producción de frijol en la región cálida de Guatemala; afecta siembras en zonas con temperaturas mayores a los 25 °C y altitudes de 0 a 1,200 msnm. En Guatemala los esfuerzos por encontrar cultivares con resistencia datan de finales de la década de 1970, en acciones conjuntas entre el ICTA, el

(CIAT) y la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano (EAP). El trabajo se realizó con el objetivo de identificar genotipos que muestren resistencia a los síntomas del virus (amarillamiento y enrollamiento de vainas), con rendimientos superiores a la media general y del testigo mejorado. La evaluación se llevó a cabo en la localidad de San Juan Salamo, Monjas, Jalapa, Guatemala, en el periodo comprendido de febrero a mayo del 2019, el

vivero fue sometido a alta presión de BGYMV. El vivero estuvo formado por 774 líneas con varias características y avance generacional (F<sub>3</sub> a F<sub>8</sub>) y otras líneas avanzadas de frijol que mostraron características de resistencia moderada a BGYMV, tolerancia a sequía y alto contenido de hierro, excelente arquitectura de planta, color y tamaño del grano; se contó con el testigo susceptible Rojo de Seda y el resistente ICTA Ligero. Las lecturas de BGYMV se realizaron con frecuencias de ocho días, a partir de la antesis. Para el efecto, se

identificaron 658 líneas que superan a Rojo de Seda y con resultados similares a ICTA Ligero en resistencia a BGYMV; distribuidas en 311 líneas F<sub>3</sub>, seis líneas F<sub>5</sub>, 205 líneas F<sub>6</sub>, 40 líneas F<sub>7</sub>, 22 líneas F<sub>8</sub> y 74 líneas avanzadas. En generaciones de segregantes, se seleccionaron 584 líneas en F<sub>3</sub> a F<sub>7</sub> y 74 líneas avanzadas que mostraron resistencia o moderada resistencia a BGYMV, éstas continuarán en el proceso de generación de variedades resistentes y se incluirán en un ensayo preliminar de rendimiento.



Vivero con características de resistencia y moderada resistencia a BGYMV. San Juan Salamo, Monjas, Jalapa.



Líneas con características de resistencia y moderada resistencia a BGYMV. San Juan Salamo, Monjas, Jalapa.

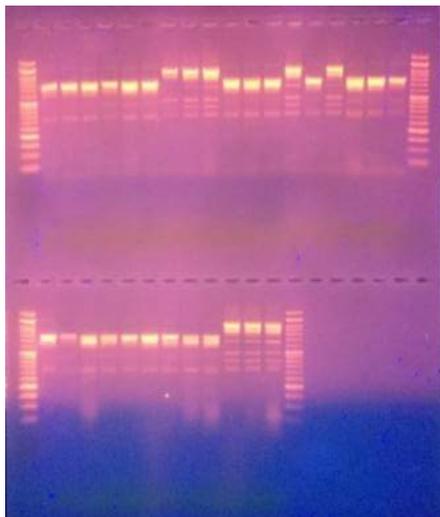
### 1.2.6. Selección asistida con marcadores moleculares ligados a genes de resistencia a enfermedades en frijol

Dentro de los problemas fitosanitarios más importantes en la producción de frijol, se encuentran las plagas y las enfermedades. Dentro de éstas, las más comunes que producen un daño económico al cultivo de frijol en Guatemala son: antracnosis, mancha angular de la hoja, roya y el picudo de la vaina para las zonas del altiplano y; virus del mosaico común (BCMV), virus del mosaico dorado amarillo (BGYMV), roya y mancha angular de la hoja para las zonas bajas. Las plagas de almacenamiento también provocan pérdidas poscosecha en ambas zonas. El mejor método de control para las enfermedades es el mejoramiento genético, y con el objetivo de

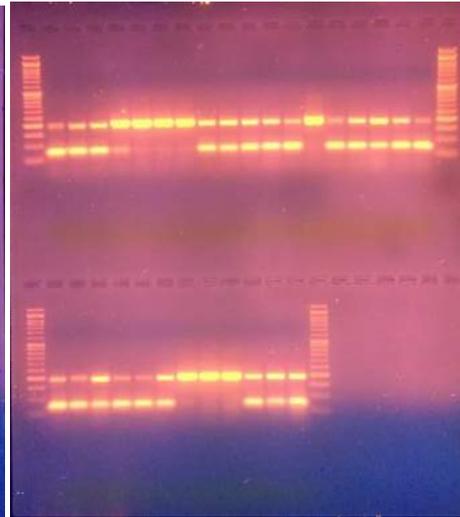
identificar genotipos que fueran positivos para los genes de resistencia para plagas y enfermedades se realizó selección asistida por marcadores moleculares. Se procedió a extraer ADN de plántulas de 14 líneas de frijol adaptadas a la región oriente de Guatemala para evaluar BCMV, BGYMV, roya y mancha angular de la hoja; de 25 líneas avanzadas de frijol con resistencia en campo a gorgojos de almacenamiento, para el gen de arcelina para resistencia a plagas de almacenamiento y la variedad ICTA Patriarca para el BGYMV. Se utilizaron 14 marcadores moleculares tipo SCAR, INDEL y STARP, para los diferentes genes de resistencia a roya (*Ur-11*, *Ur-3* y *Ur-*

4), mancha angular (*Phg-1* y *Phg-2*), BGYMV (*bgm-1* y QTL<sub>SW12</sub>), BCMV (*I* y *bc-3*) y gorgojos (locus APA). Finalmente, se realizó reacción en cadena de la polimerasa y electroforesis en gel de agarosa para visualizar las bandas asociadas a los alelos de resistencia. La mayoría de líneas presentaron resistencia a BGYMV, el gen *Phg-2* de mancha angular de la hoja, y el gen *Ur-3* de roya. 50% de las líneas evaluadas para resistencia a gorgojos fueron positivas para el gen ARC. ICTA Patriarca es

negativa para el gen *bgm-1* de resistencia para BGYMV, pero positiva para el QTL<sub>SW12</sub>, por lo que se debe evaluar si presenta otros genes de resistencia para el virus. De esta manera, la selección asistida por marcadores realizada en el 2019 para resistencia a enfermedades en las líneas de frijol, permitió la selección de líneas avanzadas que continuarán con el proceso de mejoramiento en el 2020, así como la selección de parentales para futuros planes de cruzamiento.



Resultado de resistencia al gen *Ur-4* de roya con el marcador tipo SCAR SK14 a 14 líneas avanzadas de frijol adaptadas al oriente de Guatemala. (Banda alta representa resistencia y banda baja representa susceptibilidad).



Resultado de resistencia al gen *Ur-11* de roya con el marcador tipo INDEL 1148412723 a 14 líneas avanzadas de frijol adaptadas al oriente de Guatemala. (Banda alta representa susceptibilidad, banda baja representa resistencia, ambas bandas representan heterocigocidad).

### 1.2.7. Caracterización de razas de roya y antracnosis del frijol en el altiplano de Guatemala

Las condiciones climáticas de Guatemala favorecen el desarrollo de enfermedades en el frijol, dentro de las cuales está la roya, causada por el patógeno *Uromyces appendiculatus*, un parásito obligado del frijol. Hasta el momento se han reportado más de 300 razas de roya en diferentes países. Otro patógeno es la antracnosis, causada por *Colletotrichum lindemuthianum*, éste es un patógeno de

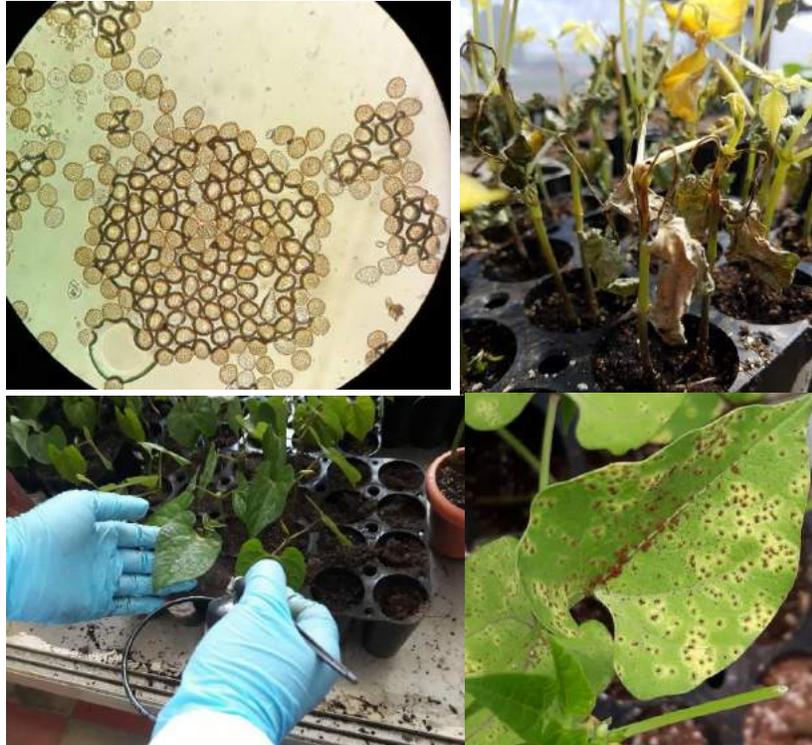
importancia en las áreas tropicales, patogénicamente variable y no se ha reportado una sola fuente de resistencia a todas las razas. Sin embargo, la información sobre la variabilidad genética de los patógenos del frijol en las áreas de Huehuetenango, Quetzaltenango, Totonicapán, Chimaltenango y San Marcos aún es limitada. Por ello es importante la caracterización de razas de roya

y antracnosis presentes en Guatemala, con esta información es posible identificar los genes que afectan su virulencia y mantener el inóculo para futuras pruebas de resistencia a las diferentes líneas que el ICTA ha desarrollado, y sobre todo enfocar el mejoramiento genético en los genes afectados por las razas predominantes. Con el uso de 12 variedades diferenciales, seis de origen andino y seis de origen mesoamericano, se procedió a la identificación de razas de roya y antracnosis, de diferentes colectas en localidades del altiplano de Guatemala. La suma de los valores binarios de las diferenciales susceptibles a determinado aislamiento, permitió designar el número de raza a determinado aislamiento. Para ello fue necesario hacer colecta, aislamiento, incremento, inoculación y caracterización. Los aislamientos de antracnosis H2-S1 y H3-S1 provenientes de Huehuetenango, se identificaron como raza 9, esta raza no ha sido previamente reportada en Guatemala y afecta los genes *Co-11* y *Co-2*, ambos de origen Mesoamericano. Los aislamientos

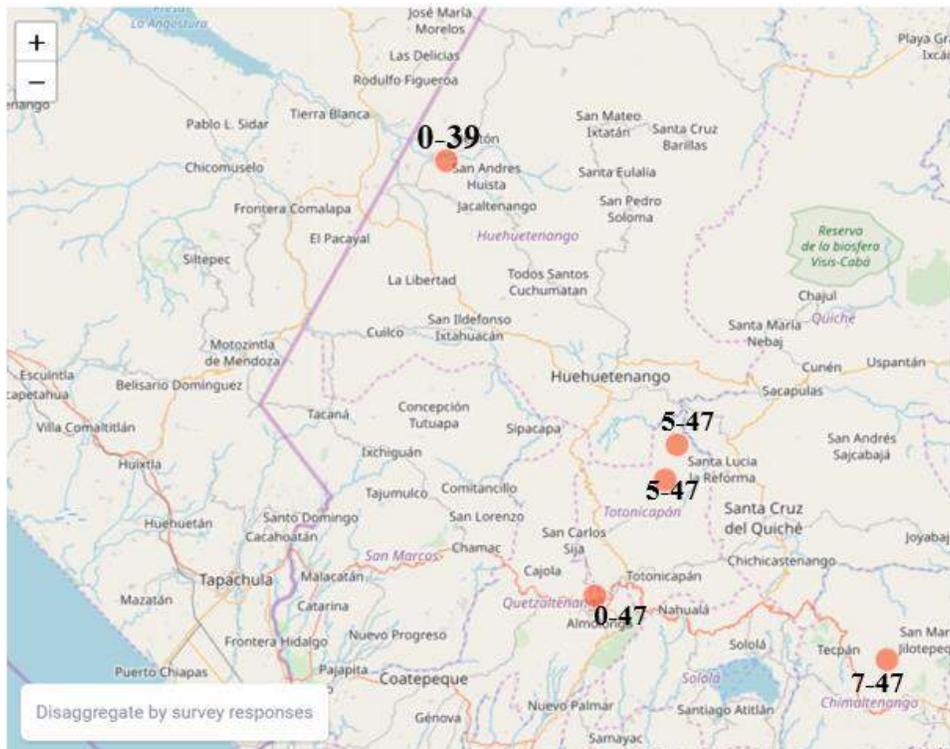
provenientes de Chimaltenango (CH-1-S1) y Quetzaltenango (Q-5-S3) se identificaron como raza 584. Los mismos afectaron los genes *Co-2*, *Co-3*, y *Co-5* de origen Mesoamericano. En cuanto a roya, los aislamientos de Tot6-S1 y Tot7-S1 provenientes de Totonicapán, se identificaron como raza 5-47, afecta al gen andino *Ur-4* y a los mesoamericanos *Ur-7*, *Ur-3*, *Ur-5*, *Ur-3+* y *Ur-11*. El aislamiento H12-S1 proveniente de Huehuetenango, se identificó como raza 0-39 y afecta los genes mesoamericanos *Ur-7*, *Ur-3*, *Ur-5* y *Ur-11*. El aislamiento CH2-S1 proveniente de Chimaltenango, se identificó como raza 7-47 afectando el gen andino *Ur-4*, y mesoamericanos *Ur-7*, *Ur-3*, *Ur-5*, *Ur-3+* y *Ur-11*. Finalmente el aislamiento Q1-S1 proveniente de Quetzaltenango, se identificó como raza 0-47, afectando los genes *Ur-7*, *Ur-3*, *Ur-5*, *Ur-3+* y *Ur-11*. Por lo tanto, se cuenta ahora con información de la distribución de razas patogénicas de roya y antracnosis del frijol en diferentes departamentos del altiplano de Guatemala.



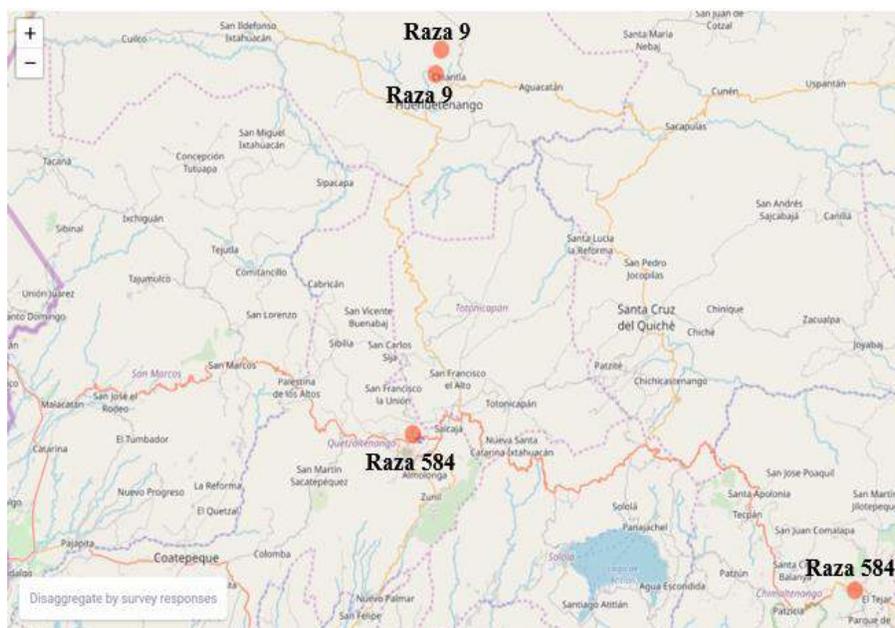
Procedimiento para la caracterización de razas de antracnosis del frijol, en el set de 12 variedades diferenciales. ICTA, Quetzaltenango.



Procedimiento para la caracterización de razas de roya del frijol, en el set de 12 variedades diferenciales. ICTA, Quetzaltenango.



Localización de razas de roya identificadas en el estudio. Mapa elaborado en KoBoToolbox®.



Localización de razas de antracnosis identificadas en el estudio. Mapa elaborado en KoBoToolbox®.

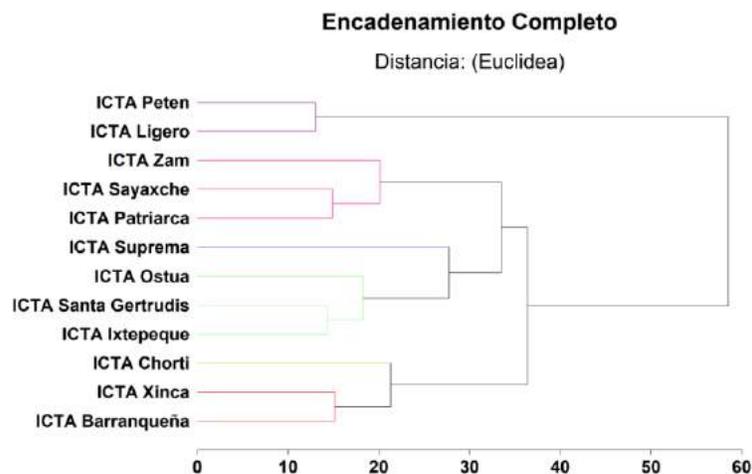
### 1.2.8. Caracterización morfológica, molecular y culinaria de doce variedades de frijol común adaptadas al oriente de Guatemala

El ICTA se ha enfocado en la selección de genotipos de frijol con altos rendimientos, tolerantes a sequía, resistentes a plagas y enfermedades, y con alta calidad nutricional, que superen a las variedades nativas utilizadas por los agricultores. Contar con la caracterización y los patrones de diversidad genética del germoplasma mejorado de frijol liberado por el ICTA, es requisito para la producción de semilla, facilita la conservación varietal y los cruzamientos dirigidos entre parentales distantes. Además, la caracterización molecular permite tener una identificación más exacta de las variedades que solamente la fenotípica, pues no es influenciada por el ambiente. Las características culinarias que los agricultores buscan son granos suaves, de rápida cocción, uniformidad en el tamaño y color. En este sentido, se ha generado la información para cumplir con los requisitos para la inscripción y producción de semilla de las variedades de frijol, así mismo, asegurar la calidad de grano de los diferentes genotipos, para contribuir a la

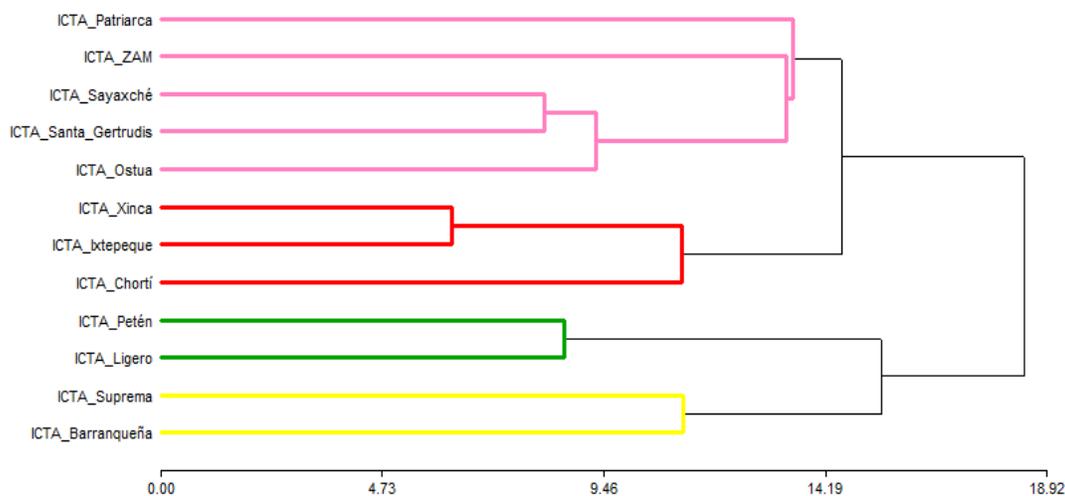
adopción por parte de los agricultores e industrias en Guatemala. El ICTA con el objetivo de caracterizar agromorfológica, molecular y culinariamente 12 genotipos de frijol común arbustivo adaptados al oriente de Guatemala, realizó la caracterización agromorfológica en Ipala, Chiquimula, durante los meses de mayo a septiembre del 2019, en ella se registraron 16 caracteres morfológicos cuantitativos, 32 cualitativos y seis fenológicos, para ello se seleccionó una muestra de 100 plantas de cada genotipo, tomando como guía el documento elaborado por Muñoz, Giraldo y Fernández (1993). El análisis de los datos se realizó a través de estadística descriptiva y se calcularon valores medios, desviaciones estándares, rangos y coeficientes de variación para variables cuantitativas, y porcentaje de caracteres predominantes para variables cualitativas, así mismo, se realizó un análisis de conglomerados y componentes principales, integrando variables cualitativas y cuantitativas. Para la caracterización molecular se utilizaron 33 marcadores tipo SSR, para desarrollar la

huella genética de las doce variedades de frijol, con un total de 78 alelos y 79 % de marcadores polimórficos. Además, se evaluaron las estadísticas de diversidad y la estructura de la población. Por otro lado, la caracterización culinaria se realizó en el laboratorio de Tecnología de Alimentos en el ICTA de Chimaltenango, donde se evaluó el tamaño del grano, porcentaje de cáscara, capacidad de absorción de agua, tiempo de cocción e índice de tiempo de cocción, utilizando la metodología propuesta por Elías *et al.* (1986). Se utilizó un diseño de bloques completos al azar y se realizó un análisis de varianza. Morfológica y fenológicamente los genotipos se agruparon en seis grupos, ICTA Ligero e ICTA Petén presentaron plantas de porte bajo (47-59 cm), de crecimiento arbustivo determinado, vainas de 9 cm de largo y semilla pequeña; ICTA Sayaxché, ICTA Patriarca e ICTA Zam presentaron plantas de porte medio (72-82 cm) con guía corta, vainas de 10-12 cm y 35 a 40 días a floración; ICTA Ostúa, ICTA Santa Gertrudis e ICTA Ixtepeque presentaron plantas de porte alto (84-102 cm), con crecimiento arbustivo indeterminado, con guía corta a larga, vainas amarillas con pigmento morado al momento de cosecha y un 25 % de acame; ICTA Xinca e ICTA Barranqueña presentaron plantas de porte alto (86-104 cm) con guía corta a larga, longitud de vaina de 9-10 cm, promedio de cinco granos por vaina y perfil predominante y grado de curvatura de la vaina moderadamente curvo. ICTA Chortí

presentó vainas de 12-13 cm de largo, plantas de porte alto (96-105 cm), con guías más o menos largas y tamaño de grano grande. El peso del grano varió de 0.15 a 0.24 g, siendo ICTA Sayaxché el de menor tamaño; ICTA Xinca, ICTA Patriarca e ICTA Ixtepeque fueron los de mayor tamaño. Todos los genotipos presentaron porcentaje de cáscara inferior al 10 %; sin embargo, los valores de absorción de agua fueron menores al 80 %, por lo que se consideran genotipos de testa dura. Así también, todos los genotipos presentaron valores superiores a 45 minutos para el tiempo de cocción. Se encontraron cuatro subpoblaciones dentro de la población y una baja diversidad intra-accesión. El promedio general de diversidad genética para la población fue de 0.37 y el contenido promedio de información polimórfica de los marcadores (PIC) fue de 0.31, los cuales indican una alta diversidad. Los valores  $F_{st}$  entre subpoblaciones fueron mayores a 0.25, esto indica una alta diferenciación entre las cuatro subpoblaciones. Esta información facilitará la toma de decisiones para las cruza dirigidas del programa de mejoramiento de frijol en Guatemala. Se identificaron y clasificaron a los genotipos de frijol arbustivo en seis grupos con características similares, así mismo, se encontró alta diversidad genética en la población, y baja diversidad genética entre individuos de una misma variedad.



Análisis de conglomerados de las características agromorfológicas de los genotipos de frijol arbustivo adaptados al oriente de Guatemala.



Análisis de conglomerados de la caracterización molecular de la población estudiada.

### 1.2.9. Caracterización morfológica, molecular y culinaria de ocho variedades de frijol común adaptadas al altiplano de Guatemala

Las variedades liberadas por el ICTA se inscriben ante el Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación, y la descripción varietal fenotípica es un requisito que garantiza la adecuada inspección de los lotes de producción. Así mismo, la caracterización molecular identifica las características genómicas asociadas a las variedades, que resultan ser invariables al ambiente y la caracterización culinaria identifica características de cocción, entre otras. Por ello, el objetivo fue identificar y describir las características morfológicas, moleculares y culinarias de ocho variedades arbustivas y volubles adaptadas al occidente de Guatemala, liberadas por el ICTA. La caracterización morfológica se realizó en el ICTA Quetzaltenango, la siembra de las variedades volubles (ICTA Utatlán, ICTA Labor Ovalle, ICTA Quiché e ICTA Hunapú<sup>Vol</sup>) se realizó en mayo de 2018 y las variedades de frijol arbustivo (ICTA Hunapú, ICTA Altense, ICTA Texel e ICTA Superchiva) en junio 2018; el área de siembra de cada variedad fue de 220 m<sup>2</sup> y se utilizó el descriptor varietal del CIAT, en 100 plantas muestreadas de cada variedad. La caracterización molecular se realizó en el

laboratorio e invernaderos de biotecnología del ICTA en Bárcenas, de marzo a agosto 2019; la extracción de ADN se realizó según el protocolo propuesto por Biotecón Diagnostics, todas las muestras se amplificaron 33 secuencias microsatélites y después se realizó una electroforesis en gel de poliacrilamida al 8%; la cual fue utilizada para hacer el análisis de conglomerados y para el estudio de diversidad genética, la matriz de índices de fijación ( $F_{st}$ ), y el análisis molecular de varianza (AMOVA), se realizaron en los programas GenAlex. La caracterización culinaria se realizó en el laboratorio de Tecnología de Alimentos en el ICTA de Chimaltenango, se utilizó la metodología propuesta en el Manual de métodos para establecer calidad tecnológica y nutricional del frijol. En la caracterización agromorfológica, el análisis de conglomerados formó tres grupos: uno conformado por la variedad de frijol voluble ICTA Utatlán, el segundo formado por las variedades volubles ICTA Labor Ovalle, ICTA Quiché e ICTA Hunapú, y el tercer grupo formado por las variedades de frijol arbustivo ICTA Altense, ICTA Hunapú, ICTA Superchiva e ICTA Texel. La mayor similitud se presentó en las

variedades arbustivas. Molecularmente se demostró que existe diversidad moderada al evaluarse los ocho cultivares en conjunto, y existe baja diversidad dentro de cada cultivar de los frijoles arbustivos, mientras que la diversidad dentro de los cultivares aumenta al evaluar únicamente los cultivares volubles. La caracterización culinaria mostró que el porcentaje de cáscara estuvo en el rango de 8.5% a 10.57%; para la absorción de agua, ICTA Texel, ICTA Superchiva e ICTA Hunapú presentaron valores superiores a 80% de absorción, por lo que se consideran variedades

de testa suave; las variedades ICTA Labor Ovalle, ICTA Utatlán e ICTA Quiché, presentan problema de absorción de agua. En conclusión, la mayor similitud agromorfológica se encuentra entre los cultivares volubles ICTA Quiché e ICTA Hunapú<sup>Vol</sup>, de igual manera entre los cultivares arbustivos ICTA Superchiva e ICTA Hunapú. Se encontró diversidad genética moderada entre los ocho cultivares caracterizados; sin embargo, la diversidad se califica baja dentro de los arbustivos y aumenta al evaluar solo los volubles.







Planta



Vaina



Grano

### Características agronómicas de la variedad ICTA Patriarca

<b>Caracteres fenológicos</b>	Días a floración	35	<b>Caracteres morfológicos cualitativos</b>	Color de los cotiledones	Morados
	Días a madurez fisiológica	59		Color del hipocotilo	Verde con pigmento café
	Días a cosecha	68		Color de las nervaduras (hojas primarias)	Morado
<b>Caracteres morfológicos cuantitativos</b>	Longitud de tallo principal (cm)	73.9 – 81.9		Hábito de crecimiento	Arbustivo indeterminado con guía corta
	Longitud de Hoja, en Floración (cm)	10.5 – 11.2		Color de las alas de la flor	Lila
	Anchura de Hoja, en Floración (cm)	7.1 – 7.5		Color del cuello del estandarte	Verde con pigmento café
	Número de vainas por planta	19 – 22		Color del cáliz	Verde con pigmento morado
	Número de semillas por vaina	5 – 6	Forma de la semilla	Ovoide	
	Peso de 100 semillas (g)	26.6	Color de la semilla	Negro	

## Características culinarias y nutricionales de la variedad ICTA Patriarca

Peso de 100 granos (g)	% Cáscara	%Absorción de agua	Tiempo de Cocción	Índice de Tiempo		
23.93	6.7	51.91	61.6	24		
Agua %	M.S.T. %	E.E %	F.C. %	Proteína %	Ceniza %	E.L.N. %
12.19	87.81	0.93	6.21	24.61	5.44	62.81
Fe (mg/Kg)	Zn (mg/Kg)					
67.95	31.05					

### 1.3. Cultivo de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench)

#### 1.3.1. Caracterización varietal de la línea avanzada ICTA Blanco

El sorgo o maicillo es una poácea de la cual se aprovecha el tallo y el follaje para alimentación animal y el grano para consumo humano y animal. El cultivo de sorgo cubre alrededor de 37,200 hectáreas en el país, con 26,000 hectáreas en la zona seca del oriente; ocupa el tercer lugar en área de los granos cultivados en Guatemala, después del maíz y el frijol. En el corredor seco el sorgo es un cultivo necesario debido a la baja precipitación y a los periodos impredecibles de sequía. La importancia del sorgo radica en que complementa o sustituye al maíz en la alimentación humana, en zonas de baja precipitación. El ICTA genera nuevas variedades cuya caracterización morfológica y agronómica son requeridas para su liberación e inscripción varietal, previo a la producción de semilla. Actualmente se tiene la línea

avanzada ICTA Blanco. Las caracterizaciones se realizaron en dos localidades: Estanzuela, Zacapa y Masagua, Escuintla; se utilizó el descriptor varietal para el cultivo de sorgo del CIAT. Fueron registradas 57 características agromorfológicas, de las cuales 22 fueron cuantitativas y 35 cualitativas. Como características principales, ICTA Blanco presentó un ciclo muy corto (86 días a madurez fisiológica) y tipo de grano grande, de color blanco. En general estas características determinaron la identidad, uniformidad y estabilidad morfológica de esta línea. En conclusión, ICTA Blanco posee buenas características agronómicas y de calidad de grano, por lo que se considera una buena alternativa, principalmente para el consumo humano.

## Características cuantitativas de la línea de sorgo ICTA Blanco

Variable	Media	Intervalo de confianza		Desviación estándar	Coeficiente de variación (%)
		LI(95)	LS(95)		
<b>En estado de plántula</b>					
Vigor predominante de la plántula (cm)	<b>7.96</b>	6.92	8.99	6.41	80.6
<b>Al momento de la floración</b>					
Días a antesis (floración)	<b>63.5</b>			4.95	7.79
Altura de planta (cm)	<b>212.9</b>	209	216	21.96	10.32
Longitud de la hoja (cm)	<b>77.2</b>	75.6	78.7	9.56	12.39
Ancho de la hoja (cm)	<b>6.9</b>	6.82	7.06	0.74	10.67
Área foliar (cm <sup>2</sup> )	<b>4469</b>	4243	4695	1401.28	31.35
<b>En estado de maduración</b>					
Días a madurez fisiológica	<b>86.5</b>			7.78	8.99
Número de hojas	<b>11.3</b>	10.7	11.9	3.57	31.6
Perímetro del nudo (mm)	<b>54.7</b>	53.3	56.2	9.18	16.77
Longitud de la panoja (cm)	<b>19.0</b>	18.6	19.5	2.92	15.35
Ancho de la panoja (cm)	<b>5.7</b>	5.7	5.9	0.88	15.36
Número de granos en la panoja	<b>1547.4</b>	1378	1717	529.21	34.2
<b>Determinación en el laboratorio</b>					
Peso de 100 semillas (gramos)	<b>3.45</b>	3.30	3.60	0.47	13.61



Medición de la altura de planta de la línea de sorgo ICTA Blanco, en la parcela establecida en ICTA Cuyuta, Masagua, Escuintla.



Panoja de la línea de sorgo ICTA Blanco, en fase de maduración de grano, Estanzuela, Zacapa.

## 1.4. Cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.)

### 1.4.1. Caracterización agromorfológica del genotipo avanzado de trigo ESWYT 177 en ICTA Labor Ovalle

El registro de variedades en el Departamento de certificación de semillas del MAGA, requiere de la descripción varietal fenotípica, para el efecto se realiza la caracterización agromorfológica respectiva. Además, la caracterización permite a los productores de semillas mantener las características genéticas de la variedad. Dentro de los genotipos avanzados de trigo evaluados en los últimos años en el ICTA Labor Ovalle, se encuentra el genotipo ESWYT 177, con tolerancia a las principales enfermedades y rendimiento superior a la variedad testigo. En el año 2019 se realizó la caracterización agromorfológica del genotipo ESWYT 177, con el objetivo de identificar y describir sus características

morfológicas. La siembra se realizó el 9 de julio, en un área de 220 m<sup>2</sup>, el tamaño de la muestra fue de 100 plantas, se utilizó el manual gráfico para la descripción varietal de trigo de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS). Como resultado, se tiene la caracterización de la línea promisorio de trigo ESWYT 177, con datos de 22 características cualitativas y siete características cuantitativas. Con base en el Sistema Tecnológico del ICTA, el siguiente paso será validarla y registrarla.

#### Características cualitativas del genotipo avanzado de trigo ESWYT 177

Características	Dato
Coleoptilo/ pigmentación antociánica	Ausente o muy débil
Planta /Hábito de crecimiento	Erecto
Planta/ frecuencia de plantas con hojas de bandera recurvadas	Baja
Época de espigado	Muy tardía
Hoja de bandera/ pigmentación antociánica de las aurículas	Media
Hoja de bandera/glauescencia de la vaina	Fuerte
Hoja de bandera/glauescencia del envés del limbo	Fuerte
Tallo/densidad de la vellosidad del nudo superior	Débil
Tallo/glauescencia del cuello de la espiga	Fuerte
Espiga/glauescencia	Media
Espiga/ Distribución de las barbas	En toda la espiga
Gluma inferior/ forma	Ovoide
Gluma inferior/forma del hombro	Puntiagudo
Gluma inferior/ancho del hombro	Ancho
Gluma inferior/longitud del pico	Medio
Gluma inferior/curvatura del pico	Débil

Gluma inferior/vellosidad de la superficie externa	Ausente
Tallo/medula en la sección transversal	Media
Barba/color	Blanco
Espiga/color	Blanco
Espiga/densidad	Laxa
Grano/forma	Ligeramente alargada
Grano/color	Blanco

**Características cuantitativas del genotipo avanzado de trigo ESWYT 177. ICTA Labor Ovalle, Quetzaltenango, Guatemala**

Días a floración	70
Planta/longitud (cm)	79.2
Espiga/longitud	9.72
Días a madurez	109
Días a cosecha	150
semilla/espiga	11
macollos	4



Toma de datos de distribución de las barbas, longitud de las barbas en el extremo en relación con la longitud de la espiga, planta/longitud.

Línea avanzada de trigo ESWYT 177 en estado de madurez fisiológica

Grano/longitud de los pelos de pincel y grano/forma.

## 1.5. Cultivo de papa (*Solanum tuberosum*)

### 1.5.1. Determinación del momento óptimo de cosecha de variedades de papa de forma oblonga (USPB) en Huehuetenango y Quetzaltenango

Desde el año 2017 se han introducido a Guatemala variedades de papa de forma oblonga, las cuales se han evaluado para conocer su adaptación y rendimiento en las zonas productoras; sin embargo, falta información de las características agronómicas de las mismas. Las variedades han presentado diferente ciclo de cultivo en cada localidad, por lo que se hizo necesario evaluar el tiempo a cosecha, para generar una recomendación más específica. El objetivo del estudio fue determinar el tiempo óptimo de cosecha de las nuevas variedades de papa, bajo las condiciones agroclimáticas de cada sitio de cultivo. Se evaluaron tres épocas de cosecha: 90, 105 y 120 días después de la siembra. Las localidades fueron los departamentos de Quetzaltenango y Huehuetenango, con alturas sobre el nivel del mar desde 2,380 hasta 3,295 metros. El manejo experimental de los ensayos fue realizado de acuerdo al manual:

Procedimientos para pruebas de evaluación estándar de clones avanzados de papa del Centro Internacional de la Papa (CIP, 2010). Con base en los resultados, las variedades expresaron mayor rendimiento de tubérculos en Quetzaltenango, a 2,380 msnm, y menor en las localidades de Huehuetenango a 3,190 y 3,295 msnm. Las variedades Bintje y Soprano expresaron el mismo rendimiento en las tres localidades, a los noventa días a cosecha, y las variedades Calwhite, Ciklamen, Defender, Latona, Nicola y el testigo (Loman) presentaron diferente rendimiento en las distintas localidades, al igual que en los diferentes tiempos a cosecha. Se concluyó que existe diferencia significativa para el rendimiento comercial de tubérculos, en las variedades, época de cosecha y localidad, y se determinó que existe interacción variedad, ambiente y localidad.



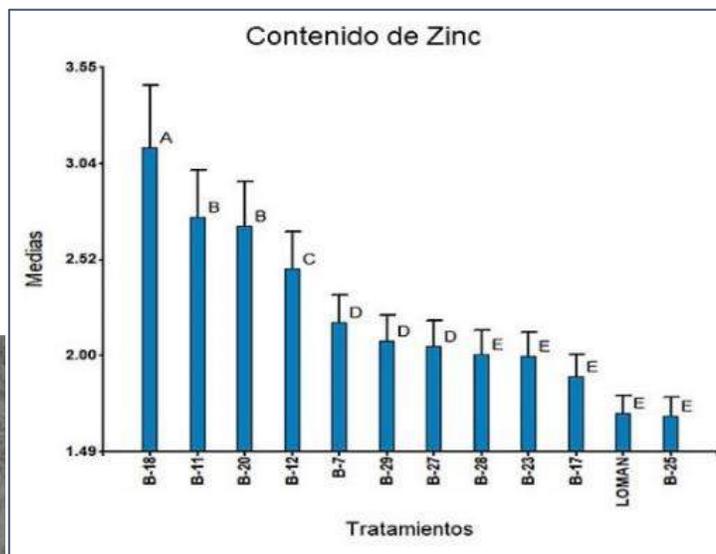
Variedad	Localidades	Tiempo a cosecha
Bintje	No hay diferencia	90 días en todas las localidades
Calwhite	Labor Ovalle, Quetzaltenango	120 días.
	Chancol, Chiantla	90 días.
	El Rosario, Chiantla	90 días.
Ciklamen	Labor Ovalle, Quetzaltenango	120 días.
	Chancol, Chiantla	90 días.
	El Rosario, Chiantla	90 días.
Defender	Labor Ovalle, Quetzaltenango	120 días.
	Chancol, Chiantla	90 días.
	El Rosario, Chiantla	90 días.
Latona	Labor Ovalle, Quetzaltenango	120 días.
	Chancol, Chiantla	90 días.
	El Rosario, Chiantla	90 días.
Nicola	Labor Ovalle, Quetzaltenango	120 días.
	Chancol, Chiantla	90 días.
	El Rosario, Chiantla	90 días.
Soprano	No hay diferencia	90 días en todas las localidades.
Testigo	Labor Ovalle	90 días
	Rosario	105 días
	Chancol	120 días

Cosecha de variedades de papa de forma oblonga.

### 1.5.2. Rendimiento de tubérculos, calidad nutritiva (hierro, zinc y vitamina C) y conversión a harina, de clones avanzados de papa

Por medio del cultivo y consumo de papa con altos contenidos de micronutrientes y con adaptación a las condiciones de producción en Guatemala, se pretende contribuir a mejorar la calidad nutritiva de la dieta de la población, principalmente en el altiplano, con el uso de alimentos producidos localmente. Los objetivos del estudio fueron: identificar los clones de papa que además de presentar el mejor rendimiento de tubérculos, también tengan un contenido de hierro y zinc superiores al de la variedad sembrada por el agricultor; así mismo, identificar los clones con mejor potencial de comercialización y procesamiento para la elaboración de harinas, que puedan ser utilizadas para mejorar la vida de anaquel de los alimentos producidos localmente. Los clones evaluados fueron seleccionados con base en los resultados de los ensayos de adaptación realizados en el año 2017. Durante los ciclos de cultivo 2018 y 2019 se establecieron evaluaciones en los departamentos de Quetzaltenango, San Marcos y Huehuetenango. Los análisis de laboratorio se realizaron en el Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá.

(INCAP) y la Planta de Tecnología de Alimentos del ICTA en Chimaltenango, Guatemala. El manejo experimental se hizo de acuerdo al manual: Procedimientos para pruebas de evaluación estándar de clones avanzados de papa, del Centro Internacional de la Papa (CIP, 2010). Con base en los resultados, los clones con mayor potencial de rendimiento para Huehuetenango son B25 y B27, para San Marcos B25 y B17, y en Quetzaltenango B25, B27, B28, B29 y Loman. El clon de papa con mayor contenido de zinc es B18, con una concentración 54% superior al testigo. El clon de papa con contenido de hierro superior es B17, con una concentración 26% superior al testigo. Se concluye que hay diferencia significativa entre los clones de papa evaluados, con relación al rendimiento comercial de tubérculos, así como en los contenidos de hierro y zinc. Los clones B28 y B29 presentan características de tubérculo similares al de la variedad Loman. Por otra parte, los clones B18, B23, B27 y B29 mostraron una tasa de conversión, a harina superior al promedio.



### 1.5.3. Determinación de *Candidatus liberibacter solanacearum*, y el grado de infección en el cultivo de papa

La producción de papa en el occidente de Guatemala se ve afectada por la bacteria vascular *Candidatus liberibacter*; este patógeno afecta al tubérculo, causando la enfermedad conocida como zebra chip (ZP). El fitoplasma BLTVA y la bacteria *C. liberibacter* presentan síntomas similares. Diferentes investigadores han determinado que la bacteria es transmitida por el vector *Bactericera cockerelli*. El objetivo del estudio fue determinar la presencia de la bacteria *C. liberibacter* en el vector *B. cockerelli* (adulto y ninfa) y plantas, utilizando dos métodos de diagnóstico; reacción en cadena de polimerasa (PCR) para el vector, y tinción de gram para plantas provenientes del campo. Durante el segundo ciclo del cultivo de papa, en el año 2018, se realizó un muestreo al azar en parcelas de la estación experimental Labor Ovalle. Se colectaron entre 30 a 35 adultos y 15 a 20 ninfas de *B. cockerelli* por parcela; luego se llevaron los insectos al Laboratorio de Protección Vegetal para su identificación y conservación en alcohol al 70 %. También se colectaron plantas con síntomas de la

enfermedad, en parcelas con presencia del insecto, para realizar la prueba de tinción de gram. Se utilizó la técnica de PCR punto final utilizando los oligonucleótidos OA2/iOA2 para determinar la presencia de *C. liberibacter*, en las ninfas y adultos de los insectos. De acuerdo a los resultados, aunque las plantas presentaban síntomas de la presencia del patógeno, éstas no fueron positivas a la presencia de la bacteria por tinción de gram. Cuando las condiciones climáticas favorecen el crecimiento poblacional del vector, causa daño en la producción de tubérculo, pero no se encuentra infectada con la bacteria el 100 % de la población insectil; lo anterior también ha sido determinado por otros investigadores, por lo que se considera que el porcentaje del vector requerido para infestar una plantación puede ser bajo. Este estudio determinó que el 20 % de los insectos adultos, colectados en tres parcelas de papa del ICTA, presentaron ser positivos para la bacteria *C. liberibacter* y 0% en las ninfas colectadas.



Planta de papa donde se observan síntomas de bacteria y presencia del vector en la variedad Loman.

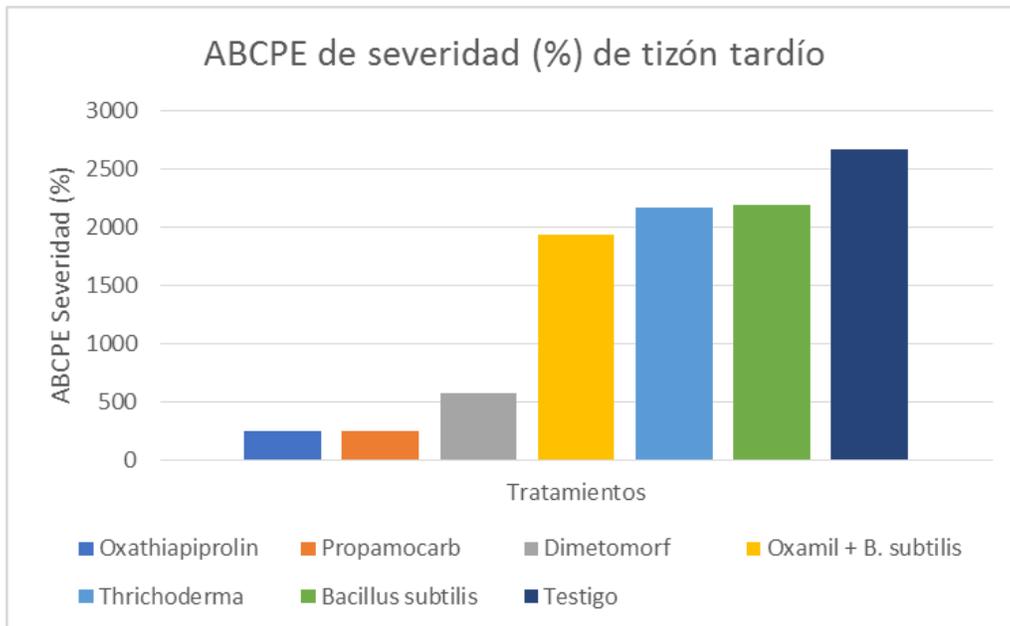
#### 1.5.4. Evaluación de fungicidas para el manejo del tizón tardío en el cultivo de papa variedad Loman

El tizón tardío de la papa es una de las enfermedades más críticas que históricamente ha causado hasta pérdidas totales en este cultivo, incluso hambruna. El agente causal (*Phytophthora infestans* Mont. de Bary) tiene alta variabilidad patogénica, por lo que el mejoramiento genético de variedades es un reto. Los mejoradores han tenido resultados positivos incluyendo genes mayores y menores, pues se logra resistencia horizontal, que es más durable en el tiempo; sin embargo, es necesaria la aplicación de fungicidas para reducir pérdidas y realizar un manejo integrado de la enfermedad. Dado el aumento de temperatura y cambio en los patrones de lluvia, entre otros, el patógeno es considerado de emergencia. Es decir, su control se volverá cada vez más difícil, y para evitar el uso indiscriminado de pesticidas, es necesario realizar evaluaciones y rotaciones constantes de los mismos. El objetivo fue evaluar fungicidas químicos (diferentes grupos) y biológicos para el control del tizón tardío en papa variedad Loman, que es la más cultivada en Guatemala. Se realizaron aplicaciones semanales, desde la aparición de los síntomas. La parcela se infectó totalmente con *P. infestans* a los 63 días después de la siembra, independientemente del tratamiento, por lo que no fue necesario seguir evaluando. Hasta la tercera lectura, a los 47 días después de la siembra (dds), los tratamientos de Propamocarb, Dimetomorf y Oxathiapiprolin lograron controlar la dispersión de la enfermedad en las parcelas correspondientes, entre 75 a 20%, comparado con el resto de tratamientos. Al evaluar el área bajo la curva del

progreso de la enfermedad (ABCPE), se identificó que con la aplicación de Dimetomorf, Oxathiapiprolin y Propamocarb hubo menor severidad de la enfermedad. El porcentaje de daño al utilizar fungicidas químicos se mantuvo debajo del 25%, aproximadamente 4 en la escala de 1-9. Su efecto fue más evidente hasta el día 55, donde había hasta un 60% de diferencia de daño versus los productos biológicos y el testigo absoluto. Los dos tratamientos con menor ABCPE fueron Propamocarb y Oxathiapiprolin. Los resultados contrastan con los presentados por Tul *et al.*, (2015) y Bustamante (2015), en donde los tratamientos biológicos presentaron control sobre el patógeno, al igual que Contreras (2016) que demostró la habilidad antagónica de la misma cepa de *Trichoderma* con *R. solani in vitro*; esto pudo deberse a que las condiciones climáticas favorecieron alta presión de la enfermedad durante el año 2019. La cosecha se realizó 15 días después de la defoliación, se clasificaron los tubérculos por tamaño y daño. Con base en el peso de tubérculos cosechados, el tratamiento Dimetomorf y Propamocarb fueron estadísticamente diferentes y superiores a los demás tratamientos. Lo anterior se explica por el grado de control relacionado con las variables de incidencia, severidad y el ABCPE de ambas variables. No se observó efecto bioestimulador en el tamaño de los tubérculos al aplicar *Trichoderma* como indican algunos autores, ya que todos fueron clasificado como categoría tres (presentaron daño y un diámetro menor a cuatro centímetros).



Progreso de la incidencia y severidad de tizón tardío en las parcelas de papa Loman, en la evaluación de distintos fungicidas. ICTA, Quetzaltenango.



ABCPE de severidad en % de daño causado por *Phytophthora infestans* en papa variedad Loman. ICTA, Quetzaltenango.

### 1.5.5. Inducción de mutaciones en materiales de papa, mediante aplicación de radiaciones, para la obtención de tolerancia a factores abióticos

La papa es una de las hortalizas tradicionales dentro de la agricultura guatemalteca, se destina principalmente al mercado nacional y centroamericano. Es un cultivo considerado susceptible a la sequía, su producción se ve amenazada cuando ocurren episodios frecuentes de falta de agua. Al igual que para otros cultivos, la respuesta de la papa a la sequía, está condicionada por la interacción del potencial genético de la planta, la etapa de desarrollo y el ambiente. Se ha considerado como una alternativa de mejoramiento el uso de irradiaciones inducidas, para la generación de mutantes con tolerancia a factores bióticos y abióticos. Los objetivos de la investigación fueron, establecer protocolos estandarizados de inducción de mutaciones y selección de mutantes con tolerancia a factores bióticos y abióticos, y, obtener un clon con tolerancia a la sequía. En el año 2019 fueron propagadas, *in vitro* plantas de clones provenientes de tratamientos de irradiación con rayos gamma, y un clon sin irradiar, de las variedades de papa Loman, Ictafrit y Tollocan; se establecieron en medio de cultivo Murashige y Skoog (MS), adicionado con polietilenglicol (PEG), durante cuatro semanas. Las concentraciones 0, 40 y 80 g/l PEG, generan un potencial hídrico (Mpa) de -0.021, -0.362 y -0.478, respectivamente. Los tratamientos fueron establecidos con base en estudios que muestran que, el crecimiento vegetativo de la papa se ve afectado negativamente cuando el contenido de agua en

el suelo cae debajo de -0.3 MPa. Se utilizó un diseño con distribución completamente al azar. Se efectuó un análisis de modelos generales y mixtos y un análisis de varianza multivariado (MANOVA) utilizando componentes principales de los datos, para determinar la correlación entre variables. Para la comparación de las medias se usó la prueba LSD Fisher. Para la variedad Loman se encontró una correlación positiva entre las variables longitud de plántula y número de entrenudos, así como entre la longitud de raíces y el número de raíces. El tratamiento con mejor respuesta, mayor longitud de planta, mayor longitud de raíces, número de raíces y número de entrenudos fue Loman 25 Gy, con la concentración PEG 40 g/l. Para la variedad Ictafrit, la papa irradiada con 25 Gy y concentración PEG 40 g/l, mostró el mejor desarrollo en cuanto a altura de planta, longitud de raíces, número de raíces y número de entrenudos. Para la variedad Tollocan, los tratamientos Tollocan 10 Gy y 25 Gy concentración PEG 40 g/l, presentaron mayor altura de planta, longitud y número de raíces, pero menor número de entrenudos. Producto de la investigación se estableció un protocolo para la selección de mutantes *in vitro* y se obtuvo una población de mutantes de clones de las tres variedades de papa irradiadas, que mostraron tolerancia a la sequía bajo cultivo *in vitro*.



Testigo - Loman 25 Gv PEG 0 a/l

Testigo - Loman 25 Gv PEG 40

Testigo - Loman 25 Gv PEG 80

Resultados de crecimiento de vitroplantas variedad Loman, irradiadas a 25 Gy, con diferentes concentraciones de PEG.



Ictafrit 25 Gv PEG 0 a/l

Ictafrit 25 Gv PEG 40 a/l

Ictafrit 25 Gv PEG 80 a/l

Resultados de crecimiento de vitroplantas variedad Ictafrit, irradiadas a 25 Gy, con diferentes concentraciones de PEG.



Ictafrit Testigo PEG 0 g/l

Ictafrit Testigo PEG 40 g/l

Ictafrit Testigo PEG 80 g/l

Resultados de crecimiento de vitroplantas variedad Ictafrit, sin irradiar, con diferentes concentraciones de PEG.



Tollocan 25 Gy PEG 0, 40 y 80 g/l      Tollocan 10 Gy PEG 0, 40 y 80 g/l      Tollocan Testigo PEG 0, 40 y 80 g/l  
 Resultados de crecimiento de vitroplantas variedad Tollocan irradiadas a 25, 10 y 0 Gy con diferentes concentraciones de PEG.

## 1.6. Cultivo de camote (*Ipomoea batatas*)

### 1.6.1. Inducción de estrés hídrico *in vitro*, en variedades de camote irradiado con rayos gamma

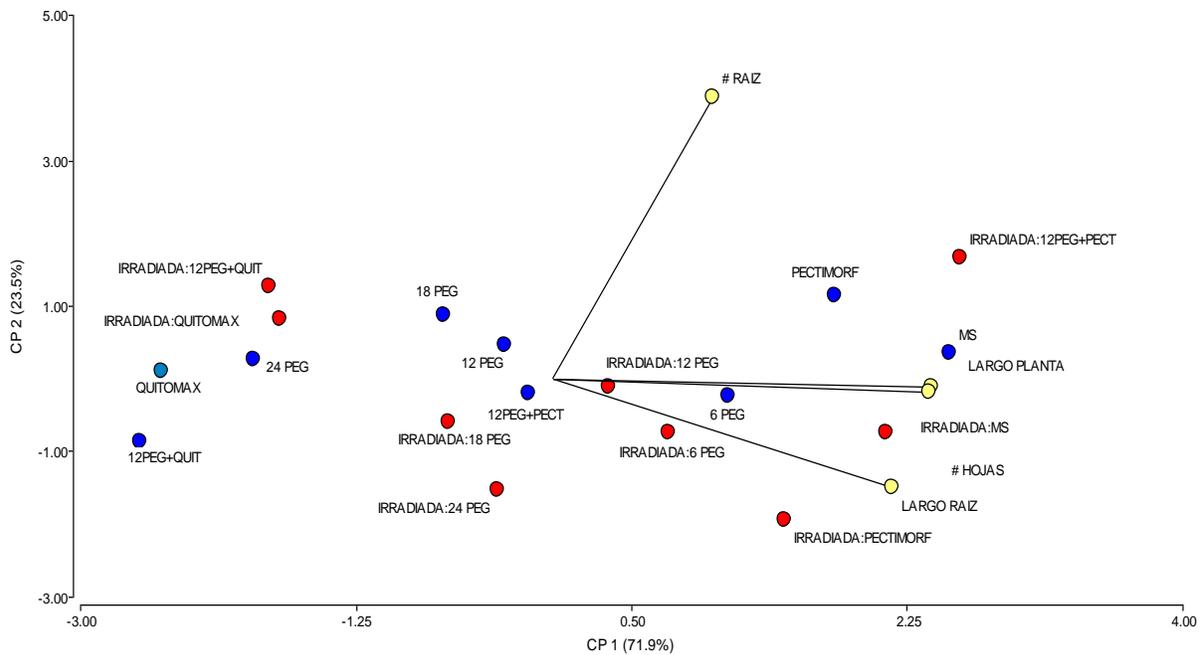
La productividad de los campos de pequeños agricultores se ve afectada por las frecuentes condiciones climáticas adversas (sequías, inundaciones, temperaturas extremas), empobrecimiento del suelo causado por prácticas agronómicas inadecuadas y el uso de cultivares antiguos, de bajo rendimiento, a menudo susceptibles a plagas y enfermedades. Para mejorar la productividad en el cultivo del camote, y con la finalidad de obtener plantas mutantes tolerantes a sequía, se irradiaron plantas *in vitro* con rayos gamma, y luego se seleccionaron por estrés abiótico, utilizando polietilenglicol (PEG). Los objetivos fueron: a) establecer un protocolo estandarizado para la selección *in vitro* de mutantes de camote tolerantes a sequía; b) determinar el efecto del PEG sobre el crecimiento de dos variedades de camote; c) inducir estrés hídrico en plántulas de dos variedades de camote, y d) determinar el efecto del Pectimorf® y el Quitomax® sobre el crecimiento de plántulas de camote. En junio de 2017, en la Planta El Pino, de MOSCAMED, se irradiaron las variedades 3 y 6 (ICTA-Dorado), con 12.5, 25.0, 37.5 y 50.0 Gray. Se determinó la dosis letal media y posteriormente por

micropropagación *in vitro* se obtuvo la generación mutante M1V7, la cual fue entregada al Programa de Hortalizas para su evaluación en campo. En el 2019 se realizó en laboratorio, un experimento de tolerancia a sequía; para ello se utilizaron diferentes concentraciones de PEG (6, 12, 18 y 24 g/litro), en medio Murashige Skoog (MS), en plántulas de camote de ambas variedades, con 12.5 Gray, durante 45 días. Otras plantas recibieron Pectimorf (20 mg/l) y Quitomax (25 ml/l), bioestimulantes del desarrollo, para medir su efecto sobre el crecimiento de las plantas. Se utilizó un diseño con distribución completamente al azar. Para el análisis de los datos se utilizó el programa Infostat; se hizo a través de modelos generales y mixtos y un análisis de varianza multivariado (MANOVA) con los componentes principales de los datos, para determinar la correlación entre variables; las medias se compararon a través de la prueba LSD Fisher. El Pectimorf estimuló el crecimiento de plantas de las dos variedades; aún en el medio de cultivo que contenía PEG. El Quitomax no estimuló el crecimiento de ninguna variedad. En la variedad 3 se observó

una correlación positiva entre longitud de planta, número de hojas y longitud de raíz; plantas irradiadas que contenían 12 g/l de PEG mostraron respuesta superior al estrés hídrico, seguidas de las irradiadas con 18 y 24 g/l de PEG. En la variedad 6 (ICTA Dorado), se tuvo correlación positiva entre longitud de planta, número de hojas y número de raíces; plantas no irradiadas, que contenían 18 y 24 g/l de PEG

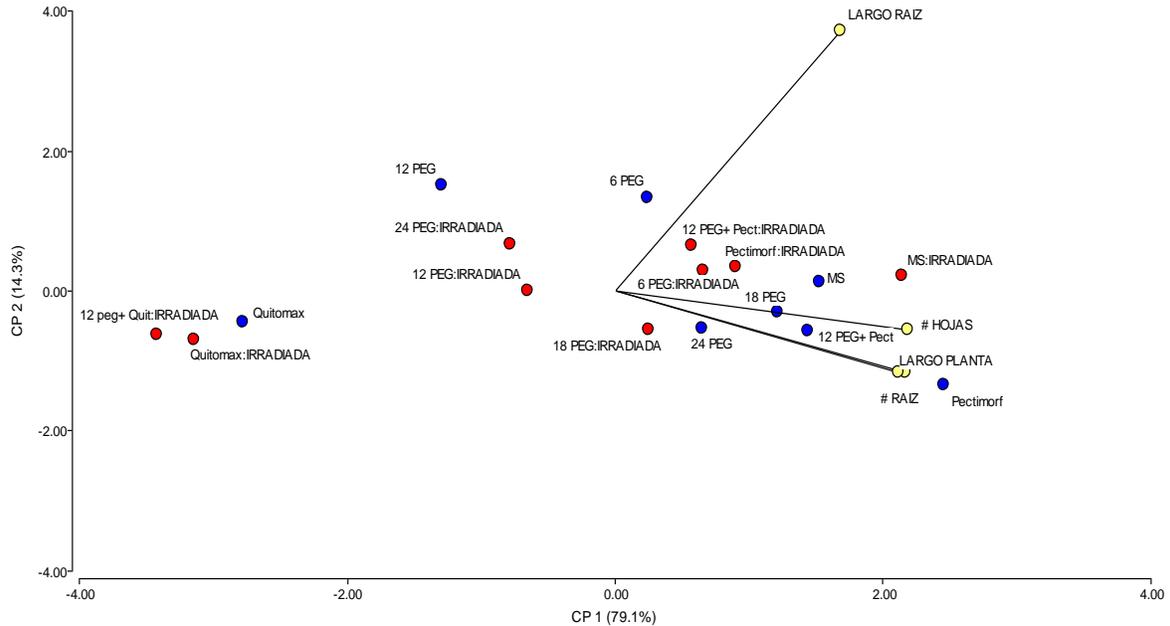
mostraron respuesta superior al estrés hídrico, seguidas de las plantas irradiadas con 18 g/l de PEG. Producto de la investigación se estableció un protocolo para la selección de mutantes *in vitro*; se obtuvieron plantas mutantes de las variedades 3 y 6 y plantas no mutantes de la variedad ICTA Dorado que mostraron tolerancia a la sequía bajo cultivo *in vitro*.

### Componentes Principales variedad 3



Análisis de componentes principales en la variedad 3.

### Componentes principales variedad 6



Análisis de componentes principales en la variedad 6 (ICTA Dorado).

### 1.6.2. Caracterización de variedades de camote biofortificado

A nivel de Latinoamérica Guatemala se encuentra entre los primeros lugares en lo referente a desnutrición infantil, esta situación se agrava con el constante incremento del costo de la canasta básica. El Centro Internacional de la Papa (CIP) contribuye a la solución del problema, a través de la generación de cultivares biofortificados; en el caso del camote, variedades que presentan alto contenido de beta-carotenos, que contribuye a la producción de retinol. El objetivo fue, determinar las características morfológicas típicas de cada variedad biofortificada. Se trabajó con los cultivares FB2, FB3, ICTA Pacífico e ICTA Dorado; el ciclo de cultivo se desarrolló de junio a diciembre de 2019; durante el mismo las plantas fueron nutridas con 260 kg/ha de 15-15-15 (15 días después de la siembra), 130 kg/ha de 46-0-0 (60 días después de la siembra); también se aplicaron fertilizantes foliares (2 l/ha). Para determinar

aspectos foliares, caulinares y de las raíces reservantes, se utilizó la clave de caracterización del CIP. Los tallos de los camotes en evaluación presentan un enroscamiento ligero, con entrenudos delgados, con pigmentación predominantemente morada, con nudos morados; perfil de hoja lobulada, a excepción de ICTA Dorado, con una coloración morada en su envés, a excepción de ICTA Pacífico, así como una hoja madura verde; raíces reservantes largas-oblongas, sin defectos en su superficie, color de la piel rojizo y un color interno naranja, a excepción de ICTA FB3, con coloración crema. Se concluye que los camotes ICTA FB2 e ICTA FB3 presentan características morfológicas de raíz reservante similares a las variedades ICTA Dorado e ICTA Pacífico; sin embargo, el segundo podría ser aceptado por agricultores que busquen una raíz reservante similar a la nativa, color blanco.

Nombre	Color de la raíz reservante	Forma de hoja y color del haz	Distribución del tallo	Color del envés
ICTA FB2				
ICTA FB3				
ICTA Dorado				
ICTA Pacífico				

### 1.6.3. Viveros de incremento de semilla vegetativa de camotes biofortificados

Guatemala cuenta con un 46.5 % de desnutrición crónica infantil, una de las tasas más altas de América Latina; además, las principales deficiencias nutricionales se presentan en minerales como el zinc y el hierro, así como en vitaminas como B12 y el retinol (vitamina A), para este último caso, indican que además del azúcar fortificada, el 80% de la ingesta de retinol se da a través del consumo de cereales y vegetales, entre ellos, el camote. El limitado acceso a fuentes de retinol se acentúa al no contar en el mercado nacional con variedades de camote ricas en betacarotenos. Dentro de la colección de

genotipos de camote, ingresados del Centro Internacional de la Papa (CIP), han destacado por su rendimiento y cantidad de betacarotenos, las líneas FB2 y FB3. El ICTA, como ente responsable de generar tecnología que contribuya a mejorar los modelos de producción de los agricultores, dispone de dos variedades y cinco líneas de camote biofortificado, éstas últimas actualmente se encuentran en la fase de validación. Las localidades en donde se establecieron los viveros de incremento de semilla vegetativa de camote fueron: ICTA-CINOR, San Jerónimo, Baja Verapaz e ICTA-CIALC, Chimaltenango;

se trabajó durante los meses de marzo a noviembre del 2019; no se utilizó diseño experimental, ya que son parcelas de multiplicación. Cada uno de los viveros constó de cinco surcos de 52 m de largo para cada genotipo; a un distanciamiento de 1 m entre surcos por 0.50 m entre plantas, para un total

de 520 m<sup>2</sup> por genotipo. Como resultado se tuvo el incremento de material vegetativo para propagación, con el fin de proveer de semilla a la Disciplina de Validación y Transferencia de Tecnología, para el establecimiento de parcelas de prueba.



Establecimiento de viveros de incremento de semilla vegetativa de variedades de camote biofortificado.

## 1.7. Cultivo de yuca (*Manihot esculenta*)

### 1.7.1. Rendimiento y contenido total de carotenoides en clones de yuca biofortificada

Durante los años 2017-2018 se evaluaron 40 clones de yuca biofortificada (provenientes del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT, Colombia), en el Centro de Investigación del Norte (CINOR), San Jerónimo, Baja Verapaz. Como resultado se identificaron nueve clones promisorios, seleccionados con base en criterios específicos de tiempo de cocción (promedio de 28 minutos), rendimiento (21.7 t/ha) y contenido nutricional (superior a 18.5 µg/g de β-caroteno). Como seguimiento, se estableció un ensayo experimental con los nueve clones de yuca biofortificada, bajo las condiciones agroclimáticas de la aldea Llanos de La Fragua, Zacapa. El objetivo fue determinar el contenido nutricional y el potencial de rendimiento de los mismos. La siembra se realizó en el mes de diciembre del año 2018 y se finalizó con la cosecha en octubre del año 2019. Se utilizó un diseño

experimental de bloques completos al azar, con 10 tratamientos (nueve biofortificados y un testigo relativo –CIAT 4CM 2086-) y tres repeticiones. El contenido nutricional (µg/g de β-caroteno, principalmente) y el rendimiento total de raíces reservantes (t/ha) fueron consideradas como las principales variables de respuesta. Con base en los resultados, para el rendimiento total de raíces existieron diferencias significativas entre los clones; en la prueba de separación de medias (DGC, α= 0.05) se formaron dos grupos estadísticos. Además, según el Laboratorio de Alimentos, del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal “Enrique Álvarez Córdova” (CENTA), los clones mostraron un alto contenido de carotenoides, excepto el testigo relativo (CIAT 4CM 2086). Se identificaron como superiores los clones ICTA YFB70, ICTA YFB68, CIAT 4CM 2086, ICTA YFB60, ICTA YFB59, ICTA

YFB41, e ICTA YFB66, con un rendimiento promedio de 30.8 t/ha ( $\pm$  3.2 t/ha); así mismo, se cuantificó el contenido de  $\beta$ -caroteno de los clones CIAT 4CM 2086, ICTA YFB52, ICTA YFB70, ICTA YFB60, ICTA YFB67, ICTA YFB41, ICTA YFB66, e ICTA YFB68, con 2.90, 8.25, 11.08, 11.36, 11.95, 13.79, 14.31, y 16.53  $\mu$ g/g, respectivamente. Según las pruebas de

cocción, los clones biofortificados se cuecen en un promedio de 35 minutos, a los 290 días después de la siembra. Se recomienda seguir estudiando los nueve clones de yuca biofortificada, específicamente el tiempo óptimo de cosecha, con la finalidad de proporcionar información concreta sobre la fenología del cultivo.

Prueba de separación de medias (DGC) para el rendimiento total de raíces (t/ha), en la evaluación de 9 clones de yuca biofortificada, aldea Llanos de La Fragua, Zacapa.

Tratamiento	Medias	E.E.	Grupo
ICTA YFB70	37.89	3.04	A
ICTA YFB68	34.46	3.04	A
CIAT 4CM 2086	31.37	3.07	A
ICTA YFB60	29.75	3.13	A
ICTA YFB59	28.69	3.80	A
ICTA YFB41	28.37	3.07	A
ICTA YFB66	24.94	3.04	A
ICTA YFB67	21.81	3.22	B
ICTA YFB52	19.95	3.47	B
ICTA YFB48	17.84	3.33	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Contenido nutricional de clones de yuca biofortificada, evaluados en la aldea Llanos de La Fragua, Zacapa.

Clon de yuca	Carotenoides totales ( $\mu$ g/g)
ICTA YFB 41	13.79
ICTA YFB 52	8.25
ICTA YFB 60	11.36
ICTA YFB 66	14.31
ICTA YFB 67	11.95
ICTA YFB 68	16.53
ICTA YFB 70	11.08
CIAT 4CM 2086	2.9
*Valencia	0.40

Fuente: Laboratorio del CENTA, 2019.

Metodología de análisis: Espectrofotometría visible.

\*Variedad no biofortificada, comparador



Color de raíz reservante cocida, variedad de yuca ICTA Izabal (izquierda) y color de raíz reservante cocida, clon de yuca biofortificada (derecha).

## 1.8. Cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill)

### 1.8.1. Caracterización *in situ* morfológica y físico-química de aguacates, en dos localidades de la región Huista, Huehuetenango

De acuerdo al diagnóstico realizado en el año 2016, por el Consorcio Regional de Investigación Agropecuaria (CRIA), Agrocadena de aguacate, con la participación de los investigadores y actores locales en el eslabón de insumos, una de las prioridades manifestadas fue que no existe certeza con respecto a la variabilidad y calidad de los materiales que se emplean como portainjertos en la propagación, y como fruta de consumo. Dadas sus características climáticas y edáficas, Huehuetenango constituye una región potencial para la producción de aguacate. Los objetivos del estudio fueron: generar información sobre la variabilidad morfológica y físico-química de aguacates nativos, en dos localidades de la región Huista; disponer de un mapa con la ubicación de aguacates nativos (identificación y georreferenciación); establecer diferencias y similitudes fenotípicas de aguacates nativos, mediante su caracterización morfológica, y determinar características físico-químicas de

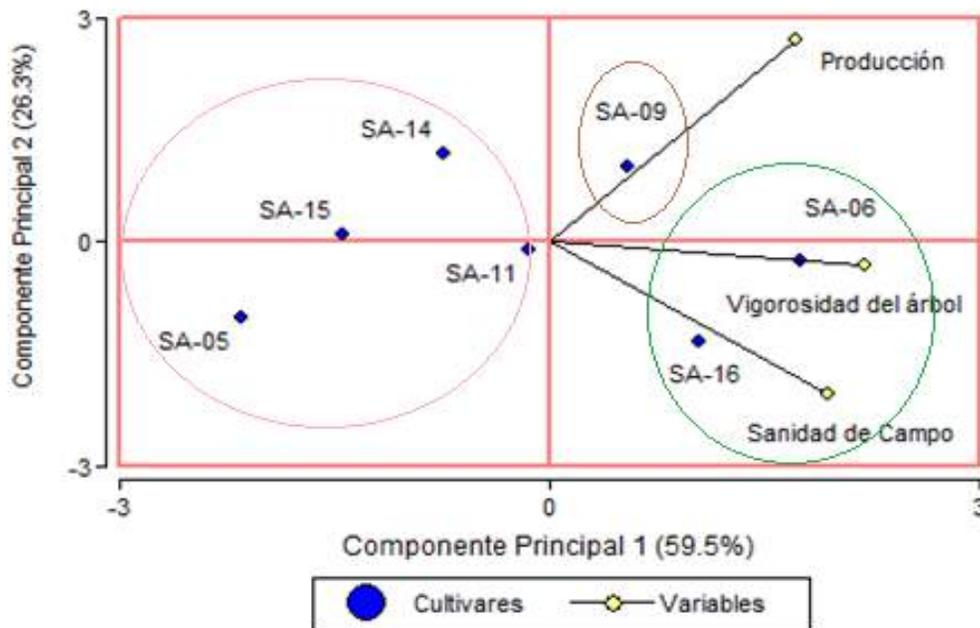
aguacates nativos mediante análisis morfológico y bromatológico. La investigación se desarrolló en los municipios de San Antonio Huista y Jacaltenango, fue de tipo exploratoria cuantitativa, no experimental. Se realizó en tres fases: la primera consistió en la ubicación de productores de aguacate nativo, georreferenciación de los sitios y la recolección de los cultivares a caracterizar; la segunda fase fue la caracterización *in situ* morfológica, y la tercera fase fue la de análisis físico-químico de los cultivares promisorios. Se localizaron y georreferenciaron 16 cultivares de aguacates nativos, procedentes del municipio de San Antonio Huista, situados en alturas comprendidas desde 1,620 a 1,818 metros sobre el nivel del mar, y 20 cultivares de aguacates nativos, procedentes del municipio de Jacaltenango, en alturas comprendidas desde 1,630 hasta 1,850 metros sobre el nivel del mar, lo que indica amplio rango de adaptación para su establecimiento. En la caracterización *in situ* morfológica de

aguacates nativos, se analizaron un total de 21 características, mismas que se tomaron en cuenta para el análisis de conglomerados y componentes principales, para la conformación de grupos y establecimiento de sus diferencias y similitudes fenotípicas. De acuerdo al análisis de componentes principales, realizado a los cultivares de aguacates nativos del municipio de San

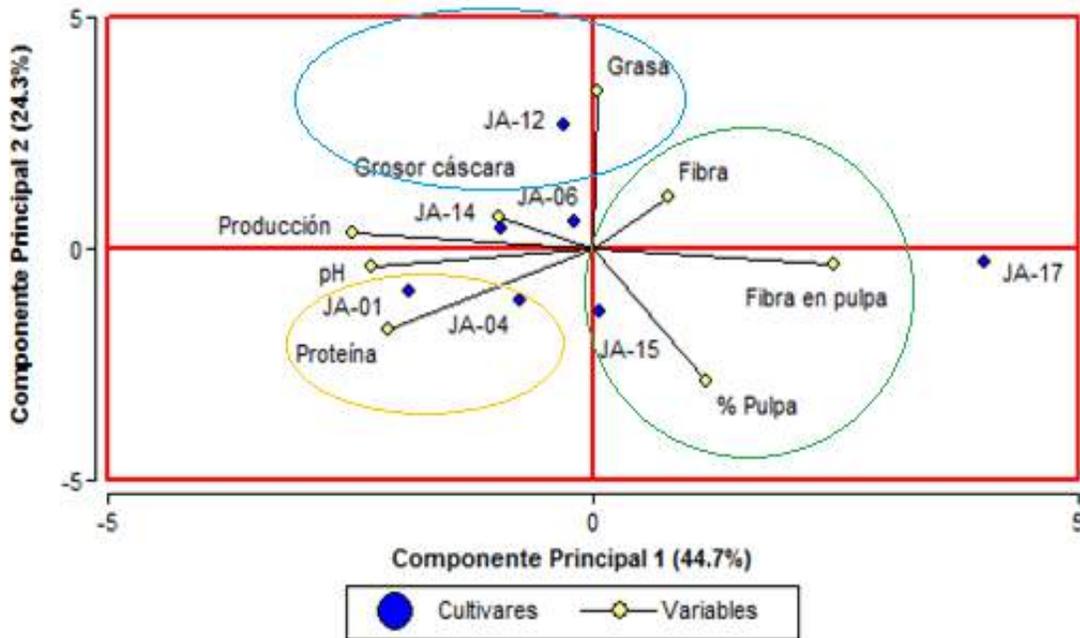
Antonio Huista, se concluyó que los cultivares SA-06 y SA-16, reportaron las mejores características para su uso como patrones, ya que presentaron buena sanidad de campo, vigorosidad y producción; los cultivares JA-15 y JA-17, del municipio de Jacaltenango, sobresalieron en el análisis de componentes principales como variedades para su consumo.



Árbol nativo, código asignado: JA-15. Jacaltenango, Huehuetenango.



Análisis de componentes principales para cultivares nativos de San Antonio Huista, considerados para su uso como patrones.



Análisis de componentes principales para cultivares nativos de Jacaltenango, considerados para su uso como frutos de consumo.

## 1.9. Cultivo de chile cahabonero (*Capsicum annum* L. cv. Chile Cahabonero)

### 1.9.1. Evaluación de la estabilidad ambiental y selección de germoplasma de cultivares de chile cahabonero

El chile cahabonero es un cultivo de importancia económica en el municipio de Santa María Cahabón, Alta Verapaz. Para el año 2002 se reporta la siembra de 292 hectáreas, con una producción de 454.5 toneladas métricas, con rendimiento promedio de 700 kg/ha, considerado bajo, en comparación a regiones aledañas con manejo tecnificado, en donde se alcanza 1,400 kg/ha. De marzo 2018 a febrero 2019, se condujeron cuatro experimentos, con el fin de evaluar la estabilidad multiambiental de 18 colectas de chile cahabonero y realizar su caracterización morfológica. Con base en los resultados, se determinó que existe interacción genotipo ambiente; la colecta 18 expresó un mayor

rendimiento (3,001 kg/ha) en las cuatro localidades. El índice de estabilidad Eberhart y Russell identificó a las colectas 4, 5, 8, 9, 12 y 16 como estables. La marchitez causada por *Fusarium* sp., se presentó con mayor severidad en las localidades de Chimulian y Nuevo Agua Caliente, ningún cultivar calificó como tolerante. La caracterización morfológica agrupó a los materiales en tres grupos homogéneos; sin embargo, el tamaño y la forma de los frutos, que van de alargados a redondos, se presentan dentro de las mismas colectas, esto puede limitar la comercialización en mercados diferenciados. Se recomienda validar las colectas 8 y 18, y evaluar la aceptabilidad de las mismas.



Evaluación multiambiental del chile cahabonero.

## 1.10. Cultivo de loroco (*Fernaldia pandurata* Woodson)

### 1.10.1. Efecto de programas de fertilización N-P-K sobre el rendimiento de flores del cultivo de loroco, en el oriente de Guatemala

En la agrocadena del cultivo de loroco (Programa de Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria –CRIA-), durante el año 2016, por la demanda de los actores locales (productores) de la región oriental de Guatemala, se priorizaron actividades de investigación. Una de las principales incertidumbres del productor de loroco es el desconocimiento sobre que fertilizante y dosis utilizar en su cultivo. Por lo anterior, se evaluaron siete programas de fertilización N-P-K, bajo las condiciones agroclimáticas de las aldeas Manzanotes, Zacapa, Zacapa y Agua Fría, Camotán, Chiquimula. El objetivo fue generar tecnología en nutrición vegetal, para incrementar la productividad del cultivo de loroco, en el oriente de Guatemala. El estudio se desarrolló en la época lluviosa, a través de un diseño experimental de bloques completos al azar, con siete tratamientos (programas de fertilización) y cuatro repeticiones. Se

realizaron tres aplicaciones de fertilizantes, con intervalo de dos meses entre una y otra. El rendimiento de flores (kg/ha) fue considerado como la principal variable de respuesta. Con base en los resultados, se determinó que no existió diferencia significativa entre los programas de fertilización, en ambas localidades. Se concluyó que los programas de fertilización evaluados no tuvieron ningún efecto sobre el rendimiento de flores, cuya media fue de 1763.19 y 4440.39 kg/ha, en la aldea Manzanotes, Zacapa, Zacapa y la aldea Agua Fría, Camotán, Chiquimula, respectivamente; la diferencia de rendimiento entre una localidad y otra se atribuye a las condiciones agroclimáticas en los sitios en donde se llevó a cabo la investigación, así como al manejo agronómico del cultivo. Se recomienda hacer estudios con bioestimulantes y enmiendas orgánicas, principalmente en época seca.

Programas de fertilización N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O evaluados en el cultivo de loroco en el oriente de Guatemala.

Tratamiento	g/planta/año		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1	270	90	90
2	285	95	95
3	300	100	100
4	315	105	105
5	330	110	110
Testigo local	120	120	120
Testigo absoluto	0	0	0

Metodología para realizar la aplicación de los programas de fertilización en el cultivo de loroco, aldea Manzanotes, Zacapa y aldea Agua Fría, Camotán, Chiquimula.

Número de aplicaciones	% a aplicar de cada nutriente			Momento de aplicación	Forma de aplicación
	N	P	K		
1	30	100	30	Trasplante	Incorporado al suelo
2	35	0	35	Dos meses después de la primera	Incorporado al suelo
3	35	0	35	Dos meses después de la segunda	Incorporado al suelo



Aplicación incorporada al suelo de programas de fertilización N, P, K en el cultivo de loroco, aldea Agua Fría, Camotán, Chiquimula.



Cosecha de flores de loroco por tratamiento o programa de fertilización N, P, K, aldea Agua Fría, Camotán, Chiquimula.

## 1.11. Disciplina de Biotecnología

### 1.11.1. Conservación *in vitro* de accesiones de yuca (*Manihot esculenta*), camote (*Ipomoea batatas*), papa (*Solanum tuberosum*), malanga (*Colocasia esculenta*) y macal (*Xanthosoma sagittifolium*)

La propagación y conservación de plantas *in vitro* tiene ventajas, como la obtención de plantas libres de virus, bacterias y hongos, la multiplicación de plantas en menor tiempo, la adecuación de un gran número de plantas en un menor espacio, la producción de plantas con las características de interés (clones), y el mantenimiento de colecciones grandes en condiciones controladas, entre otras. El objetivo de la actividad fue la conservación de accesiones y cultivares en el Laboratorio de Biotecnología del ICTA; se realizó en apoyo al Programa de Hortalizas, para proveerle germoplasma en sus planes de mejoramiento, y a la Disciplina de Recursos Genéticos, para conservar especies que no producen semilla botánica. Se utilizó el medio de crecimiento Murashige y Skoog (MS), con sorbitol como retardante de crecimiento, para los cultivares de papa y camote, y las accesiones de malanga y macal. Además, se usó un medio MS modificado con carbón activado e inositol, en el caso de los cultivares de yuca. Para papa y camote se utilizaron microesquejes como explantes para su conservación, y para la yuca, malanga y macal se utilizaron meristemos. Las vitroplantas se conservaron en cuartos de crecimiento, entre 25 a 30 °C, con 2000 lux de luminosidad y 16 horas luz. Se cambiaron de medio cada vez que llegaron a su crecimiento máximo dentro del tubo. Como resultado, se conservaron *in vitro*, en el Laboratorio de Biotecnología del ICTA Central, 85 cultivares mejorados de yuca provenientes del CIAT, 35 cultivares mejorados de camote y 55 cultivares mejorados de papa provenientes del CIP. Además, se conservaron 82 accesiones de malanga, 60 accesiones de macal, 84 accesiones de yuca y 10 accesiones de camote, colectadas en diferentes partes del país, por la Disciplina de Recursos Genéticos. El Laboratorio de Biotecnología del ICTA Quetzaltenango, conserva 285 cultivares, accesiones y clones de papa, incluyendo 43 variedades de diferentes fuentes, 14 ecotipos de papa Loman, 89 cultivares provenientes del CIP, 5 especies silvestres, 22 accesiones colectadas en el altiplano occidental de Guatemala, 7 variedades resistentes a nematodos, 3 variedades irradiadas con rayos gamma, 9 variedades provenientes de USA y, réplicas de los cultivares más importantes de yuca y camote. En conclusión, se tienen en conservación *in vitro* 650 accesiones y cultivares de diferentes especies, con la finalidad de que cuando se requieran para programas de mejoramiento o transferencia, puedan ser multiplicados.



Conservación *in vitro* de cultivares de camote, yuca y malanga en cuarto de crecimiento. ICTA Central.



Colección nacional de yuca *in situ* en sede de ICTA Central.

### 1.12. Disciplina de Tecnología y Producción de Semillas

Se produjeron semillas de granos básicos de las categorías genética, básica, registrada y certificada, con la mayor pureza genética y calidad física y fitosanitaria; así como tubérculos, esquejes y estacas de hortalizas. La semilla fue destinada para la venta y actividades de investigación, validación y transferencia de tecnología. La venta de

semilla se realizó a agricultores y empresas semilleristas, o bien para apoyar las acciones que el gobierno ejecuta a través del MAGA. También se brindó el servicio de acondicionamiento de semillas a semilleristas particulares y al ICTA. La producción de las semillas estratégicas fue para los cultivos de maíz, frijol, arroz, sorgo, papa, haba y camote.

Los centros experimentales donde se produjeron las semillas fueron: Bárcena, Villa Nueva; La Máquina, Suchitepéquez; La Nueva Concepción, Escuintla; Cuyuta, Masagua, Escuintla; La Alameda, Chimaltenango; Labor Ovalle, Quetzaltenango; El Oasis, Estanzuela, Zacapa y San Jerónimo, Baja Verapaz. En cumplimiento a las metas del plan estratégico,

se obtuvo una producción de 52 toneladas de semillas de granos básicos, 40 mil esquejes de camote y 2.27 toneladas de semilla certificada de papa. Por otra parte, en la planta de acondicionamiento de semillas se procesaron 292 toneladas de semillas de diferentes especies, 206 toneladas propiedad de semilleristas particulares.



## 1.13. Disciplina de Recursos Genéticos

### 1.13.1. Salvaguardando parientes silvestres de cultivos mesoamericanos

Los parientes silvestres de cultivos incluyen a sus ancestros y especies que presentan algún grado de relación genética, se pueden clasificar de acuerdo a la cercanía genética con una determinada especie cultivada. En Mesoamérica se han documentado más de 200 especies domesticadas y cultivadas, así como 600 a 700 especies silvestres o manejadas en los ecosistemas, especies de gran importancia para la soberanía alimentaria de la región. Las amenazas que enfrentan los parientes silvestres son el reemplazo y alteración de sus hábitats, además del cambio climático. El objetivo de este proyecto fue la identificación de áreas de conservación, recolección y conservación *ex situ* de parientes silvestres de

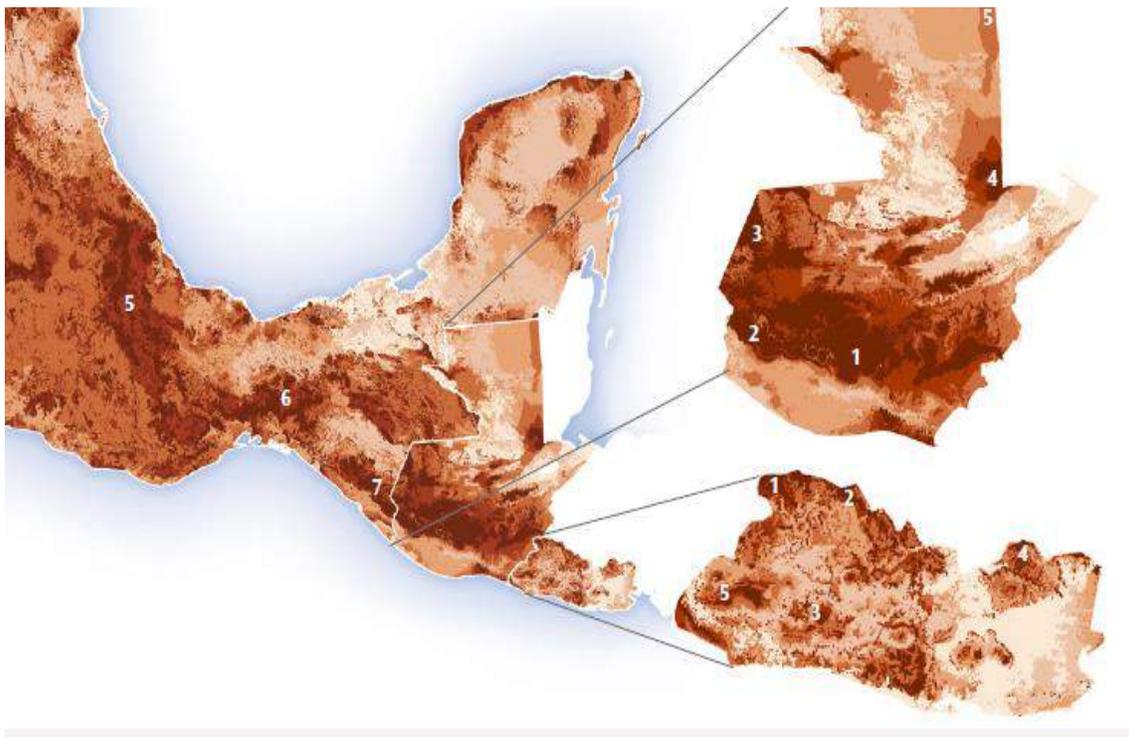
cultivos mesoamericanos. De junio del 2018 a junio del 2019, se desarrollaron listas de inventarios de parientes silvestres de cultivos, consultas ecogeográficas, mapas potenciales de especies y un taller nacional con agricultores y profesionales conocedores de los recursos fitogenéticos del país, la información obtenida fue de referencia para la evaluación del estado de extinción, conservación, usos actuales y potenciales y la formulación de estrategias de conservación *ex situ* de los parientes silvestres de cultivos mesoamericanos. El proyecto se desarrolló en colaboración entre el ICTA y la Unión Internacional de la Conservación de la Naturaleza (UICN). Se identificaron áreas que concentran un número de especies y

subespecies de parientes silvestres, en riesgo o de distribución restringida, siendo éstas: las tierras altas de la cadena volcánica que atraviesa el país, la región de San Marcos y Quetzaltenango, la región de Huehuetenango, el bosque nuboso de las Verapaces y del Quiché, la zona sureste del Petén, Izabal y Chiquimula. Además, existen otras zonas de importancia ubicadas al noreste de Petén e Izabal donde se reportaron parientes silvestres de sapotáceas, entre otros. En total se recolectaron 39 muestras; los ejemplares herborizados fueron depositados en el Herbario AGUAT de la FAUSAC, y las muestras de

semillas en el Banco de Germoplasma del ICTA. El número de especies georreferenciadas fueron: *Capsicum annum* var. *glabriusculum* (6), *Cucurbita argyrosperma* subp. *sororia* (2), *Phaseolus coccineus* (10), *Capsicum frutescens* (3), *Phaseolus leptostachyus* (1), *Phaseolus lunatus* (8), *Cucurbita lundelliana* (4), *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme* (4) y *Solanum* sp. (1). En total 36 accesiones fueron recolectadas y registradas en el banco de germoplasma y pueden ser utilizadas en futuras investigaciones.



Especies de parientes silvestres de cultivos mesoamericanos recolectados en Guatemala: A) *Capsicum annum* var. *glabriusculum*, B) *Capsicum lanceolatum*, C) *Cucurbita argyrosperma* subp. *sororia*, D) *Cucurbita lundelliana*, E) *Phaseolus leptostachyus*, F) *Phaseolus lunatus*, G) *Solanum* sp., y H) *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*



Mapa de distribución potencial de especies de parientes silvestres.

### 1.13.2. Hacia una cobertura más completa de la diversidad de especies silvestres afines a cultivos

Existen entre 50,000 a 60,000 especies de parientes silvestres de cultivos, de las cuales 10,000 pueden considerarse de alto valor potencial para la seguridad alimentaria, y de éstas 1,000 están muy relacionadas con los cultivos alimentarios más importantes; representan un recurso genético necesario para el mejoramiento de nuevas variedades, con la finalidad de mantener y/o aumentar la productividad de los cultivos y permitirles sobrevivir en las nuevas condiciones creadas por el cambio climático. Debido a esta importancia es la iniciativa de Global Crop Diversity Trust y el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas para desarrollar este proyecto, con el objetivo de recolectar, conservar *ex situ* y usar los cultivos silvestres para producir variedades adaptadas a las nuevas condiciones climáticas, de las especies de los géneros *Hordeum*, *Ipomoea*, *Phaseolus* y *Solanum* y de las familias *Convolvulaceae* y

*Poaceae*. Entre noviembre 2017 a diciembre 2018 se desarrollaron giras de exploración y recolección de germoplasma (semillas y ejemplares para herbario) en diversos departamentos de Guatemala. Para la recolección se utilizó la guía de colecta de semilla para Guatemala del Royal Botanic Garden Kew, con información de datos biológicos, hábitats, mapas de distribución y mapas potenciales, con el fin de ubicar las especies. Para la recolección de germoplasma se gestionó la licencia de colecta e investigación, otorgada por el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP). Se recolectaron semillas y ejemplares para herbario de 82 accesiones de especies y subespecies de parientes silvestres, siendo éstas: *Hordeum guatemalense* Bothmer (2), *Ipomoea trifida* G. Don (16), *Ipomoea tiliaceae* Will Choise (6), *Ipomoea ramosissima* (Poir) Choisy (1), *Phaseolus coccineus* subsp *coccineus* L. (19),

*Phaseolus coccineus* subsp. *striatus* var. *guatemalensis* (9), *Phaseolus coccineus* var. *strigillosus* Freytag (5), *Phaseolus dumosus* Macfad (2), *Phaseolus lunatus* L. (15), *Oryza latifolia* Desv. (1), *Solanum demisum* Lindl (1), *Solanum agrimonifolium* (1), y *Solanum torvum* Sw. (4), las cuales fueron resguardadas en el Banco de Germoplasma del ICTA y 112

ejemplares para herbario fueron depositados en el Herbario AGUAT de la FAUSAC. Se ingresaron 82 nuevas accesiones de parientes silvestres que incluyen especies endémicas, que provee una representatividad de la diversidad genética existente en el país.



*Phaseolus coccineus* subsp. *striatus* var. *guatemalensis* recolectado en Aldea Pino Dulce, Jalapa.



*Phaseolus lunatus* L. recolectado en Aldea Tituque centro, Olopa, Chiquimula.



Especie *S. agrimonifolium*, pariente silvestre de la papa, Chimaltenango.

### 1.13.3. Banco de Germoplasma

Los bancos de germoplasma considerados como sitios de conservación *ex situ* de material vegetal (semillas y plantas *in vitro*) por excelencia, permiten que las semillas tengan un tiempo prolongado de vida y preservar especies para evitar su desaparición ante la urbanización, extensión agrícola y otras actividades humanas. El Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas posee un banco de germoplasma, cuyo objetivo ha sido la conservación de los recursos fitogenéticos de especies cultivadas y parientes silvestres como patrimonio nacional. De enero a diciembre de 2019, las estrategias implementadas para la conservación *ex situ* fueron: almacenamiento de semillas en cámara fría a mediano plazo (4 °C a 7 °C) y la conservación de raíces, tubérculos, árboles frutales y plantas medicinales, aromáticas y condimentarias por medio de colecciones de campo o colecciones vivas. Además, como actividades complementarias se realizaron pruebas de viabilidad de semillas, la búsqueda y recolección de germoplasma de especies de parientes silvestres, y la transferencia de conocimientos sobre el uso potencial de los mismos. Como resultados se conservaron

2,500 accesiones de semillas ortodoxas de los cultivos de maíz, frijol, chiles, cucúrbitas, amaranto, ajonjolí y otros; se incorporaron 116 nuevas accesiones de especies de parientes silvestres con los respectivos datos de pasaporte; se conservaron 120 accesiones de plantas medicinales, aromáticas y condimentarias; y se donaron plantas a grupos de agricultores e instituciones interesadas en implementar huertos medicinales en sus comunidades. En el jardín clonal de aguacates se conservaron 15 materiales genéticos y se realizó la transferencia de material genético (varetas) a estudiantes de universidades y representantes de proyectos agrícolas de investigación. En los jardines clonales de árboles frutales deciduos se conservaron 600 árboles de manzana, pera, melocotón y ciruela. En la colección de hortalizas nativas se preservaron accesiones de malanga (62), yuca (83), macal (54) y camote (29), en el caso de la colección de yuca se transfirió germoplasma para un proyecto de investigación. El banco de germoplasma tiene resguardadas 2,979 accesiones, semillas y material vegetativo, siendo esta una garantía de uso para la seguridad alimentaria de la población.



Accesiones resguardadas en la cámara fría de conservación a mediano plazo, Bárcena, Villa Nueva.



Jardín clonal de aguacate, ICTA, Chimaltenango.



Colección de plantas medicinales, aromáticas y condimentarias, ICTA, Chimaltenango.



Colección de campo de germoplasma de camote, ICTA Cuyuta, Masagua, Escuintla.

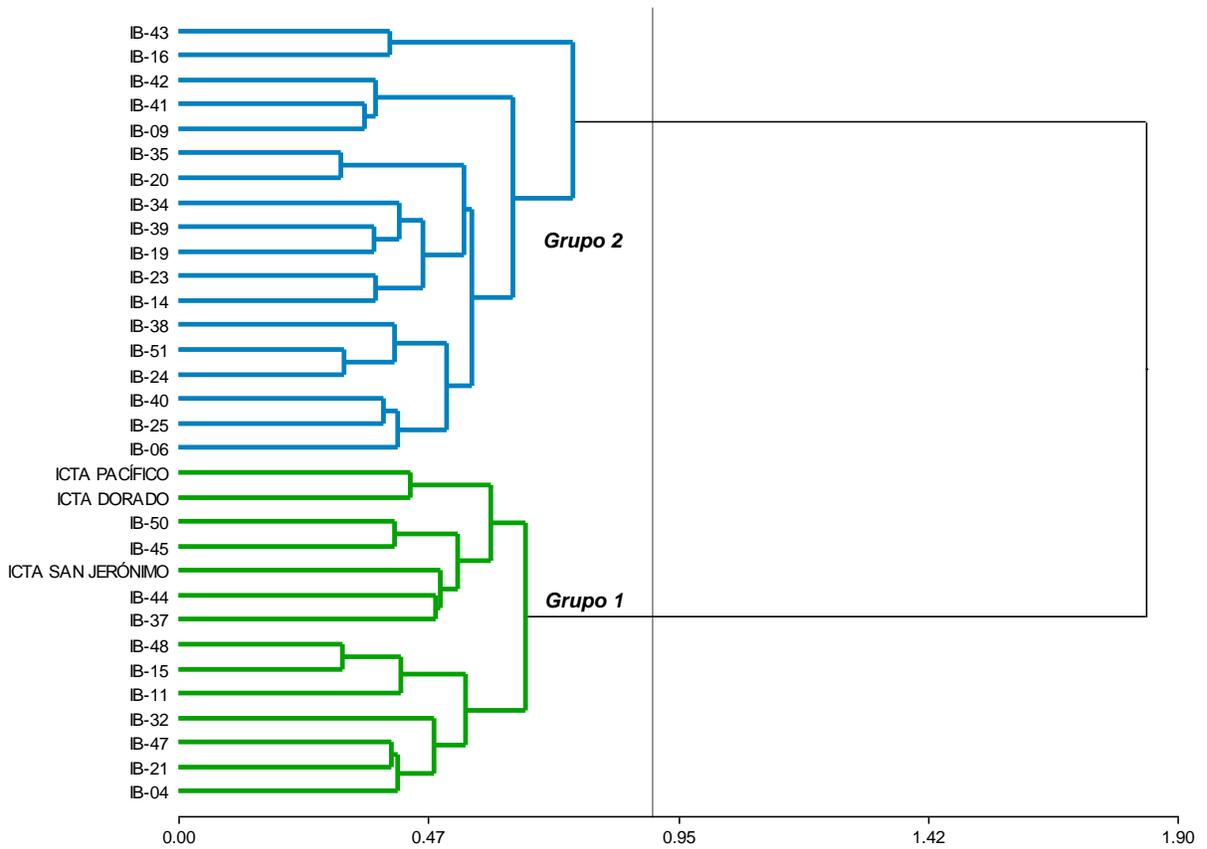
#### 1.13.4. Caracterización morfológica, agronómica, bromatológica y culinaria de camotes nativos de Guatemala.

Guatemala es considerada un subcentro de origen del camote (*Ipomoea batatas* (L.) LAM), hay reportadas cuatro especies silvestres y diversidad de especies cultivadas, las cuales tienen potencial genético. El cultivo de camote en el país es sembrado con fines comerciales, autoconsumo y alimentación de animales. El Banco de Germoplasma del ICTA cuenta con una colección de 29 accesiones provenientes de los departamentos de San Marcos, Baja Verapaz, Huehuetenango, Izabal, Petén, El Progreso, El Quiché, Retalhuleu, Sacatepéquez, Santa Rosa, Suchitepéquez y Zacapa, las cuales carecían de descripción. Se realizó este trabajo con el objetivo de describir características morfológicas, agronómicas, químicas y culinarias de las accesiones de camote; más tres testigos (ICTA San Jerónimo, ICTA Dorado e ICTA Pacífico). Se utilizó el descriptor del CIP, AVRDC e IPGRI con un total de 55 características morfológicas y agronómicas. Posterior a la cosecha se realizó

la prueba de cocción y el análisis bromatológico de 10 accesiones elegidas al azar; utilizando métodos multivariados para el análisis de los datos. Las variables cuantitativas: peso de raíces (CV 70.78), días a formación de brotes (CV 61.62) y número de lóbulos de la hoja (CV 51.39), son las que representan la mayor variabilidad. El análisis de conglomerados formó dos grupos, la expresión de floración y formación de raíces tuvieron mayor peso. El máximo contenido de proteína fue de la accesión IB-51 de 8.58 %, el menor tiempo de cocción (15 minutos) lo presentaron las accesiones IB-20, IB-23 e ICTA Pacífico; las accesiones IB-11 e IB-45 presentaron mayor cantidad de materia seca con 37.3 % y 35.3 % respectivamente. Se tiene la descripción morfológica, agronómica, bromatológica y culinaria de las 29 accesiones de camote, información que puede servir de base para el programa de mejoramiento.



Prueba de cocción.



Dendrograma del análisis de conglomerado jerárquico de las características de las accesiones de camote

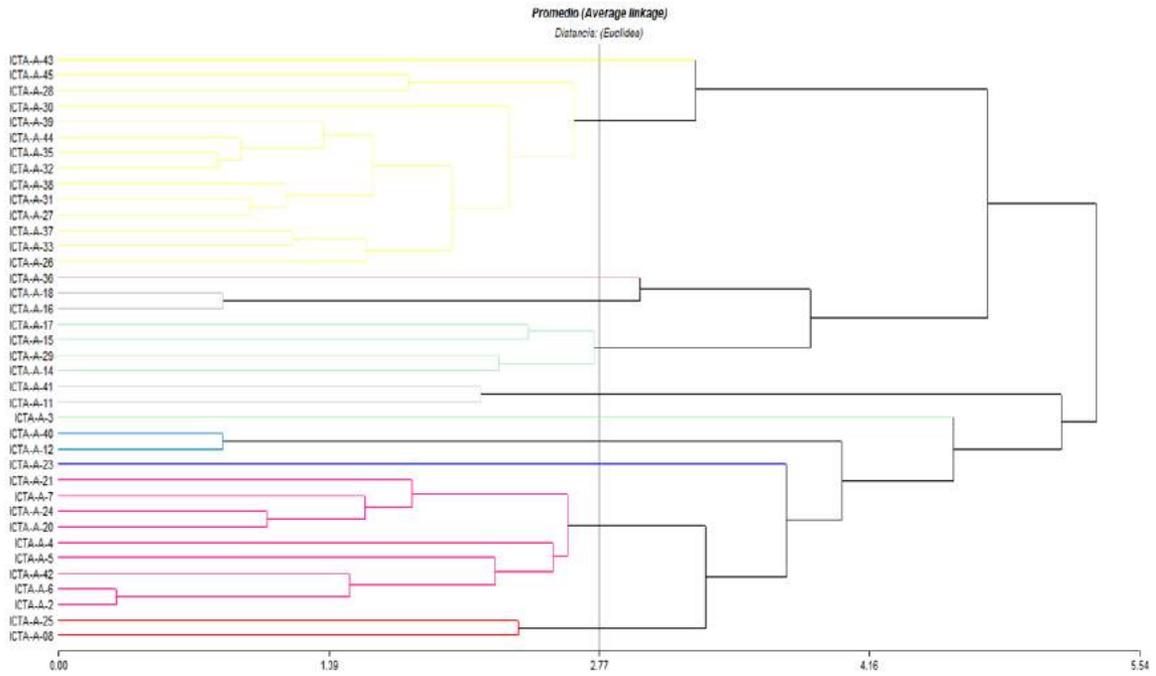


Variabilidad de forma, color de la piel y color de la carne de las raíces reservantes.

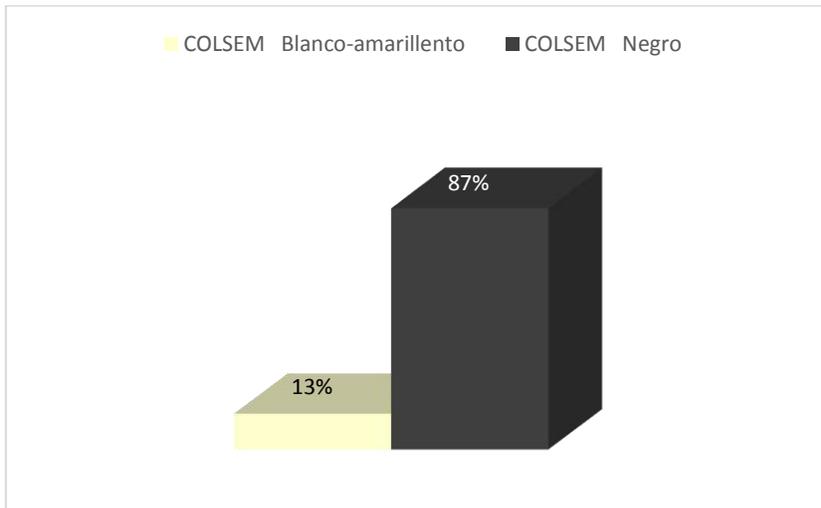
### 1.13.5. Caracterización morfológica y agronómica de accesiones de bledo (*Amaranthus* spp.)

Guatemala es uno de los ocho centros de origen y diversidad mundial de plantas cultivadas; las hortalizas nativas forman parte del portafolio de los recursos genéticos del país, por su potencial económico y valor nutritivo. Diversos estudios demuestran que las hortalizas nativas, en este caso el bledo, presentan valores y contenidos nutricionales mayores a las hortalizas introducidas. En el país, el bledo se distribuye en todo el territorio, del cual se consume las hojas. El Banco de Germoplasma cuenta con una colección de 38 accesiones de bledos recolectados a nivel nacional en los años 2013-2015. El objetivo del presente estudio fue realizar la descripción morfológica y agronómica para conocer la variabilidad de la colección. Se establecieron tres ensayos durante octubre de 2018 a abril de 2019, en los Centros de Investigación de Cuyuta (22 accesiones), Chimaltenango (8 accesiones) y San Jerónimo (15 accesiones).

Los descriptores morfológicos fueron 32, basados en la lista del Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE), con caracteres cualitativos y cuantitativos; se elaboraron tablas de frecuencias para las variables cualitativas y métodos multivariados para las variables cuantitativas. Las variables cualitativas presentaron diferencias en relación a aspectos vegetativos, formas de las hojas, color del tallo, tipos de inflorescencias, y formas de las semillas. Los caracteres cuantitativos dividieron las accesiones en 11 grupos, según el análisis de conglomerados. Además, el 13% de las accesiones son de semilla blanca, que es de interés para la elaboración de harinas. El germoplasma de bledo muestra una gran diversidad morfológica, que puede ser aprovechada en el mejoramiento genético. Se cuenta con una base de datos de 32 caracteres morfológicos y agronómicos de 38 accesiones de bledo.



Conglomerado de las características morfológicas y agronómicas de las accesiones de bleado.



Color de la semilla.



Variabilidad de inflorescencias de blede.

## 1.14. Disciplina de Tecnología de Alimentos

### 1.14.1. Promoción de tecnología en la planta piloto de ciencia y tecnología de alimentos

La Disciplina de Tecnología de Alimentos del ICTA promueve la generación de valor agregado de granos, frutas y hortalizas en Guatemala, como alternativa a la producción agrícola del país para contribuir al desarrollo del mismo, por lo que dentro de sus objetivos está transferir tecnología a productores en temas como Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) y procesamiento agroindustrial de frutas, hortalizas, granos, raíces y tubérculos para apoyar la construcción de capacidades. En el año 2019 en la Planta Piloto de Ciencia y Tecnología de Alimentos del ICTA Chimaltenango, se capacitó a 268 personas

conformadas en 14 grupos, entre los cuales figuran asociaciones, estudiantes y grupos organizados. Las tecnologías transferidas fueron: elaboración de mermeladas y jaleas; salsas a base de tomate y/o miltomate; deshidratado de frutas; chips de yuca, camote, malanga y plátano; escabeches y salmueras. Además, productos a base de cacao, frijol y miel. Asimismo, se atendieron a 194 personas que visitaron la Planta Piloto de Ciencia y Tecnología de Alimentos, para conocer las actividades y tecnologías disponibles.



Capacitación a productores de tomate de Palestina de Los Altos, Quetzaltenango. Planta Agroindustrial, Chimaltenango.

## 2. Actividades destacadas

### 2.1. Técnicos e investigadores del ICTA se capacitan en manejo del agua y riego

El 20 de marzo de 2019, a través de la Agencia Israelí de Cooperación Internacional para el Desarrollo (MASHAV), se impartió el taller “Necesidades del cultivo, eficiencia del riego y la relación agua, suelo y planta”, a técnicos e

investigadores del ICTA. Julio Villatoro, Gerente General del ICTA, dio la bienvenida al evento y resaltó la importancia que representa el contenido del taller para el desarrollo sostenible de la agricultura.



## 2.2. Investigadores se capacitan sobre actualización en fitomejoramiento convencional del cultivo de arroz

Del 1 al 5 de abril de 2019, Luis Huinac y Saúl Pérez, investigadores del ICTA, fortalecieron sus capacidades técnicas, a través del curso “Actualización en fitomejoramiento convencional del cultivo de arroz para el desarrollo de nuevas variedades en América Latina”. El curso se desarrolló en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Palmira, Colombia, con sesiones teóricas y prácticas, visitas a campos, en las cuales

expertos coordinaron actividades para guiar a los investigadores a identificar las tecnologías más apropiadas para su adopción e implementación en los países de origen de los participantes (Bolivia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Paraguay, Perú y República Dominicana). Este curso fue facilitado y financiado por el proyecto de Cooperación entre Corea y América Latina para la Alimentación y la Agricultura (KoLFACI).



## 2.3. Presentación de resultados del proyecto parientes silvestres de cultivos

El 28 y 31 de mayo de 2019, en la ciudad de Huehuetenango y Zacapa, respectivamente; y el 6 de junio en Bárcenas, Villa Nueva, Guatemala, las especialistas de la Disciplina Recursos Genéticos, María de los Ángeles Mérida y Delmy Castillo, presentaron resultados del proyecto “Salvaguardando parientes silvestres de cultivos mesoamericanos”, a productores, técnicos, extensionistas, docentes universitarios, autoridades del ICTA, coordinadores departamentales del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) y representantes del Concejo Nacional de Áreas

Protegidas (CONAP), entre otros. El objetivo del proyecto fue la conservación *ex situ* de muestras representativas de los parientes silvestres del país, en tres áreas prioritarias: 1) La Sierra de los Cuchumatanes, 2) Quetzaltenango, Totonicapán, Sololá y parte noroeste de Suchitepéquez y 3) Zacapa, Chiquimula, Jalapa y Jutiapa. El estudio fue desarrollado en dos fases: en la primera se identificaron áreas y especies de parientes silvestres de interés para la conservación *ex situ*; y en la segunda, la recolección y conservación de semillas y ejemplares de herbario.



## 2.4. Autoridades supervisan proyectos de investigación con Corea del Sur

El 3 y 4 de agosto de 2019, el Subdirector Do-jin Lee y la Coordinadora Seo Namgoung, de la Cooperación entre Corea y América Latina para la Alimentación y la Agricultura (KoLFACI) por sus siglas en inglés, supervisaron actividades de investigación que se ejecutan en cooperación con el ICTA, según alianza estratégica entre los gobiernos de Corea del Sur y Guatemala. La supervisión fue realizada en compañía del Gerente General del ICTA, Julio Villatoro, el Director Científico Técnico,

Federico Saquimux, e investigadores responsables de la ejecución de proyectos con KoLFACI, en la planta de acondicionamiento de semillas, banco de germoplasma, laboratorio de biotecnología, laboratorio de suelos y agua del ICTA; y una gira de campo al departamento de Jutiapa, donde el Coordinador de la Disciplina de Suelos y Agua, Raúl Alfaro, explicó el proyecto relacionado con abonos orgánicos.



## 2.5. Nuevas variedades de semillas de frijol y sorgo puestas a disposición del sector agrícola

El 4 de septiembre de 2019, en las instalaciones del Subcentro Experimental del ICTA-Jutiapa, mediante un acto público, con más de 150 asistentes, el ICTA puso a disposición de los agricultores dos nuevas variedades: frijol ICTA Patriarca y sorgo ICTA

Rendidor<sup>FI</sup>. Las semillas mejoradas fueron entregadas al representante departamental del Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (MAGA), Maynor Velásquez, quien seguidamente hizo entrega a representantes de los agricultores.



## 2.6. ICTA socializa resultados de nuevas variedades de papa

El 11 de septiembre de 2019, el ICTA socializó resultados del plan de fortalecimiento del consorcio de actores locales de la cadena de papa en el altiplano occidental, según alianza estratégica entre el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), en la ejecución del Programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria (CRIIA). El especialista Leonel Esteban, presentó resultados de validación y transferencia de nuevas variedades de papa, entre las que destacan: Lamoka, especial para elaboración

de hojuelas fritas, y Jackeline Lee, de forma oblonga y tolerante al tizón tardío. El fitomejorador Osman Cifuentes, presentó avances de la variedad ICTA Loman Roja, ésta se caracteriza por su alta tolerancia al nematodo dorado, ICTA Palestina, especial para bastones fritos; y una variedad con alto contenido de hierro, zinc y vitamina C. Eduardo Fuentes presentó avances del estudio sobre el efecto de la fertilización con macronutrientes, sobre el rendimiento del cultivo de papa. La especialista en comunicación, Guadalupe Tello, presentó actividades de divulgación y promoción de nuevas variedades de papa, que se han realizado durante el 2019. Además, a

través de un stand se exhibió y facilitó información sobre agrotecnologías de papa, con alto contenido de micronutrientes, con tolerancia al tizón tardío, a nematodos del quiste y variedades especiales para papalinas, bastones fritos y mercados selectos (papa morada y roja); así como, degustación de papalinas de diferentes variedades. En la

actividad participaron 65 personas, entre las que destacan representantes de 15 asociaciones que conforman el consorcio de la cadena de papa de la región occidental de Guatemala, extensionistas, técnicos, estudiantes, docentes y autoridades del MAGA de los departamentos de San Marcos y Quetzaltenango.



## 2.7. Productores conocen características agronómicas de nueva variedad de papa ICTA Loman Roja

El 17 de septiembre de 2019, en la Comunidad Los Laureles, Palestina de los Altos, Quetzaltenango; 45 productores participaron en un día de campo, donde se dio a conocer las principales características de la nueva variedad de papa ICTA Loman Roja. La nueva variedad está siendo validada en parcelas de

productores; entre sus características destacan: alto rendimiento, forma alargada, buena cocción, buen sabor, piel delgada comestible, principalmente su tolerancia al nematodo dorado, que en la región se ha convertido en un grave problema que amenaza la producción de tubérculos.



## 2.8. Fortalecimiento a capacidades de personal científico-técnico en suelos

Del 24 al 27 de septiembre de 2019, investigadores del ICTA participaron en el curso-taller denominado: “Lectura de perfiles en campo, revisión y ajustes de metodologías de análisis de suelos en el laboratorio del

ICTA”. La capacitación se desarrolló en dos fases, teórica y práctica, impartidas por los expertos Viviana Varón y Elías Silva, de la Corporación colombiana de investigación agropecuaria, AGROSAVIA.



## 2.9. Extensionistas aprenden a elaborar abono orgánico

En el Centro Regional de Investigación de La Alameda, Chimaltenango (ICTA CIALC), el 17 y 18 de septiembre de 2019, el experto en suelos, Adán Rodas, impartió el curso-taller sobre elaboración y uso de abonos orgánicos, a 50 extensionistas del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), de los departamentos de Guatemala, Sacatepéquez y Chimaltenango. El objetivo de

la capacitación fue contribuir con el fortalecimiento de capacidades de extensionistas sobre la elaboración y uso de abonos orgánicos y biológicos, con la finalidad de mejorar la fertilidad del suelo para el mejoramiento de la producción agrícola. Capacitación que fue posible por la colaboración financiera del proyecto KoLFACI.



## 2.10. ICTA conmemora Día Mundial de la Alimentación con agrotecnologías sostenibles

El 16 de octubre de 2019, el ICTA conmemoró el “Día Mundial de la Alimentación”, en coordinación con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO (por sus siglas en inglés) a través de la exhibición de agrotecnologías generadas por el ICTA a través de más de 46 años de experiencia. A través de la Disciplina de Divulgación, socializó la importancia que tiene la agrobiodiversidad para la generación de tecnologías que contribuyan en el desarrollo

sostenible del agro guatemalteco, exhibiendo muestras de la diversidad de semillas nativas y mejoradas que se conservan en el Banco de Germoplasma. Según la FAO, este Día se conmemora para concientizar y tomar medidas para erradicar los problemas de la alimentación a nivel mundial.



## 2.11. ICTA gana premio en concurso “Casos exitosos de innovaciones en la agricultura familiar 2019”

El Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria (FONTAGRO), lanzó en mayo del presente año, el III Concurso de casos exitosos de innovaciones en la agricultura familiar. El objetivo del concurso fue identificar y documentar experiencias exitosas y lecciones aprendidas que contribuyan a un mejor entendimiento de cómo el proceso de innovación en la agricultura favorece una mejor disponibilidad y calidad nutricional de los alimentos, y que puedan ser replicadas a otras regiones. Más de 50 casos fueron presentados al concurso dentro de tres categorías: I) Asociaciones de productores y otras organizaciones del sector privado que trabajan con productores de América Latina y El Caribe (ALC); II) Sector público nacional y organizaciones no gubernamentales de ALC y

III) Sector regional o internacional que trabajen en ALC. Las propuestas fueron sometidas a un proceso de evaluación de acuerdo a los siguientes criterios: cobertura geográfica del caso, tiempo de desarrollo de la innovación, número de beneficiarios, vinculación al mercado, beneficios en la nutrición, evidencias de impacto, potencial de replicabilidad y lecciones aprendidas. Después de un proceso de cuatro meses de evaluación, el 30 de octubre, FONTAGRO anunció a los ganadores, entre ellos: Plataforma BioFORT: La ruta nutritiva hacia la mesa de guatemaltecos (ICTA), obtuvo el segundo puesto compartido con Brasil (Embrapa). El proyecto fue presentado por Julio Franco, coordinador de la Plataforma BioFORT.



## 2.12. Cooperación Coreana apoya la investigación agrícola en Guatemala

El 4 de noviembre el ICTA en coordinación con el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) y la Iniciativa de Cooperación entre Corea y América Latina para la Alimentación y la Agricultura, KoLFACI (por sus siglas en inglés), celebraron la III Asamblea General en Guatemala, con el propósito de confirmar los nuevos proyectos de la tercera fase, a través de la firma del Acuerdo; y designar el próximo presidente y vicepresidente de KoLFACI, quienes liderarán los proyectos de dicha fase. La III Asamblea se realizó con la participación de representantes de 11 países miembros: Colombia, Costa Rica,

Corea del Sur, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú y República Dominicana. Asimismo, con representantes de importantes organismos internacionales que contribuyen al desarrollo del sector agrícola, como el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). En Guatemala, a través del ICTA, se ejecutan proyectos de arroz, cacao, abonos orgánicos, suelos y manejo de postcosecha de tomate y de aguacate.



### **3. Alianzas estratégicas**

#### **3.1. Carta de Entendimiento No. 001-2019 entre el ICTA y la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno (AMSCLAE)**

El propósito es normar la ejecución conjunta del proyecto: “Respuesta del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) a la aplicación de diferentes niveles de macro nutrientes NPK en la cuenca del lago de Atitlán, Sololá”, mediante la coordinación de acciones por parte del ICTA y AMSCLAE, para contribuir al desarrollo e implementación de actividades en la Cuenca del Lago de Atitlán coordinando las mismas a través del Departamento Agrícola Forestal de AMSCLAE y la Disciplina de suelos del ICTA, para contribuir al desarrollo e implementación de tecnología más adecuada para el mejoramiento de la producción, a disposición de los pequeños productores dentro de la Cuenca del Lago de Atitlán, sin causar deterioros y contaminación en el lago.

#### **3.2. Carta de Entendimiento No. 05-2019 entre el ICTA y Agro Sima, Sociedad Anónima**

Los propósitos son: 1. Hacer trabajos de colaboración para correr marcadores en muestra de cultivos de frijol, chile pimiento, tomate y café; 2. Colaborar para realizar trabajos de trillado en el cultivo de frijol; 3. Evaluación fitopatológica en el laboratorio para determinar la resistencia a enfermedades del cultivo de frijol.

#### **3.3. Carta de Entendimiento entre el ICTA, el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y la Fundación para la Innovación Tecnológica, Agropecuaria y Forestal (FUNDIT)**

El objetivo es ejecutar seis actividades técnicas del cultivo de frijol:

- Evaluar 23 líneas en fincas de agricultores en zonas bajas de Guatemala (Jutiapa, Jalapa, Huehuetenango, Chiquimula).
- Validar en ensayos de finca cuatro líneas en zonas bajas de Guatemala (Norte, Sur, Oriente y Occidente).
- Evaluar vivero de 274 líneas sequía minerales enviados de CIAT-2018, por daño de *Empoasca*, en Baja Verapaz.
- Evaluar en Jutiapa 127 líneas sequía minerales enviados del CIAT-2018, por virus del mosaico dorado amarillo.
- Evaluar 69 líneas F<sub>6</sub> en Chimaltenango y confirmar el nivel de hierro de las mismas.
- Siembra en primera de un ensayo regional Agro salud 2018, de 20 líneas.

#### 4. Participación del personal en cursos nacionales e internacionales

Participante	Capacitación	Lugar	Organizador/ Financiamiento	Fecha
Ing. Agr. Héctor Danery Martínez Figueroa	Mejoramiento de maíz (desarrollo de poblaciones, selección de líneas, formación de híbridos, caracterización de líneas parentales, registro digital y análisis estadísticos de datos)	CIMMYT, México	CIMMYT	Del 4 al 17 de marzo
Inga. Agr. Karen Adriana Agreda Hernández	Post Grado Producción Hortofrutícola Alternativa (EPHA)	Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala	Universidad de San Carlos de Guatemala	Del 25 de marzo al 29 de junio
Ing. Agr. Aroldo Roderico García Vásquez				
Ing. Agr. Edín Saúl Pérez Batz	Curso de Fitomejoramiento básico en arroz	Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), en Cali Colombia	CIAT	Del 1 al 5 de abril
Ing. Agr. Luis Antonio Huinac Barrios				
Inga. Agr. Olga Vanessa Illescas Contreras	V Curso Internacional sobre Postcosecha de Hortalizas, Frutas y Granos	Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras	Proyecto KoLFACI	Del 6 al 10 de mayo
Ing. Agr. Erick Ricardo Aguilar Castillo				
Ing. Agr. Jorge Luis Sandoval Aguirre	Curso corto sobre manejo integrado de plagas e inocuidad de los alimentos.	Centro de Wageningen para la Innovación del Desarrollo (WCDI) Holanda	Ministerio de Asuntos Exteriores de Holanda, del presupuesto para la Cooperación al Desarrollo	Del 3 al 21 de junio
Daniel Gerardo Peinado Monroy	Curso Sistema de Información Geográfica	Laboratorio de SIG de la facultad de Agronomía de la Universidad San Carlos de Guatemala	FAUSAC	Del 20 al 24 de mayo
Ing. Agr. Luis Miguel Salguero Morales				
Inga. Agr. Virginia Adelsuvia Piril Gaitán				
Ing. Agr. José Hiram Cuá				
Ing. Agr. Jorge Luis Sandoval Aguirre				
Ing. Agr. Edín Saúl Pérez Batz				
Ing. Agr. José Carlo Figueroa Cerna				

Participante	Capacitación	Lugar	Organizador/ Financiamiento	Fecha
Inga. Agra. María Gabriela Tobar Piñón	Curso Regional de Capacitación en Análisis de Expresión de Genes Utilizando la Tecnología ARN_Seq para el Mejoramiento Genético de Cultivos Mutantes	Bogotá, Colombia	IAEA	del 17 al 22 de junio
Ing. Agr. Osman Estuardo Cifuentes Soto	Curso: "Regional Training Course on Farmer Participation in Variety Selection Approach in Plant Mutation Breeding for Important Crops"	Heredia, Costa Rica	Agencia Internacional de Energía Atómica	Del 15 al 19 de julio
Inga. Agra. Verónica Marcelina Tax Sapón	Aval de beca de especialización, maestría en Agricultura Tropical Sostenible	Fundación NIPPON	Escuela Agrícola Panamericana de Honduras	Del 05 de agosto al 27 de agosto de 2021
Ing. Agr. Luis Miguel Salguero Morales	Curso: "Métodos Estadísticos Aplicados a la Investigación Agropecuaria"	Chiquimula		21 al 23 de agosto
Ing. Agr. José Hiram Cuá				
Inga. Agra. Myriam Consuelo Escobar Molina				
Ing. Agr. José Luis Sagüil Barrera				
Ing. Agr. José Carlo Figueroa Cerna				
Ing. Agr. Juan Josué Santos Pérez				
Ing. Agr. Edgar Edgardo Carrillo Ramos,				
Ing. Agr. Carlos Alberto Palma García				
P.A. Juan Carlos Mejía				
Licda. Aura Elena Suchini Farfán	Curso Internacional en Administración de Bancos de Germoplasma	Tepatitlán, Jalisco, México	INIFAP, JICA y AMEXCID	Del 30 de septiembre al 11 de octubre
Ing. Agr. Jorge Luis Sandoval Aguirre	Curso "Fertilizer Technology Under Itec Program"	Centro Rashtriya Chemicals And Fertilizers Limited, en la República de La India	Ministerio de Asuntos Exteriores de la Republica de La India	Del 11 al 22 de noviembre

## 5. Participación del personal en eventos nacionales e internacionales

Participante	Evento	Lugar	Organizador/ Financiamiento	Fecha
Ing. Agr. David Alejandro Valdez Cancinos	Expositor, En La Conferencia Sobre "El Bambú, Desde El Campo, A La Construcción	Tegucigalpa, Honduras	Empresa CASSA	Del 06 al 08 de marzo
Ing. Agr. Julio Antonio Franco Rivera	Reunión de Mejoradores y Coordinadores de País del Proyecto HarvestPlus	Honduras	HarvestPlus	Del 27 al 29 de abril
Ing. Agr. Erick Ricardo Aguilar Castillo	Reunión Anual del LXIV del PCCMCA	Honduras	Proyecto IICA-CRIA, HarvestPlus, MSU, IUCN/FUNDIT, KoLFACI	Del 29 de abril al 03 de mayo
Inga. Agra. Ángela Nadezhda Miranda Mijangos				
Inga. Agra. Jessica Raquel Moscoso Alfaro				
Ing. Agr. José Carlo Figueroa Cerna				
Ing. Agr. Carlos Raúl Maldonado Mota				
Ing. Agr. Luis Antonio Huinac Barrios				
Inga. Agra. María Gabriela Tobar Piñón				
Ing. Agr. César Giancarlo Figueroa Cerna				
Ing. Agr. Julio César Paniagua Barillas				
Inga. Agra. Luz de María Montejo Dominguez				
Ing. Agr. Osman Estuardo Cifuentes Soto				
Inga. Agra. María de los Ángeles Mérida Guzmán				
Inga. Agra. Delmy Sayury Castillo Crisóstomo				
Ing. Agr. Adán Rodas Cifuentes				
Ing. Agr. Mairor Rocael Osorio				

Participante	Capacitación	Lugar	Organizador/ Financiamiento	Fecha
Ing. Agr. Federico Ignacio Saquimux Canastuj	Reunión de Planificación de KoLFACI de los Proyectos de la 3ra. Fase"	Nicaragua	KoLFACI	Del 30 y 31 de julio
Ing. Agr. Julio Antonio Franco Rivera	Consulta Regional, CSA para América Latina y el Caribe	Panamá	FAO	Del 27 al 30 de octubre

## 6. Informe Financiero

Fuente de Financiamiento	Nombre de la Fuente de Financiamiento	Asignado	Recibido	Gastado
11	Ingresos Corrientes	26,640,816.00	25,556,572.00	25,543,108.65
31	Ingresos Propios	3,500,000.00	3,057,426.71	2,754,708.85
32	Disminución de Caja y Bancos de Ingresos Propios	3,194,746.00	3,194,746.00	3,070,006.42
	<b>Total</b>	<b>33,335,562.00</b>	<b>31,808,744.71</b>	<b>31,367,823.92</b>

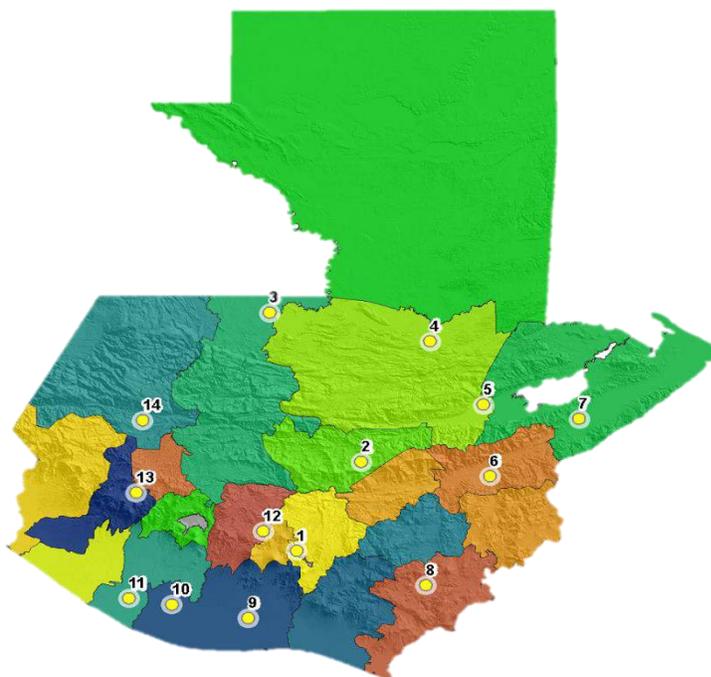
Fuente: Sicoin

Agradecemos a los aliados que contribuyeron en la ejecución de proyectos para el desarrollo sostenible de la agricultura de Guatemala.



# Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas

## Centros y subcentros regionales de investigación



- 1. Oficinas Centrales**  
Km. 21.5 Carretera al Pacífico,  
Bárceñas, Villa Nueva, Guatemala,  
C.A.  
Tel. PBX 6670-1500
- 2. Centro Regional de Investigación del Norte -CINOR-**  
Km. 146.5 Carretera a San Jerónimo,  
San Jerónimo, Baja Verapaz  
Tels. 7940-2903 / 4072-3741
- 3. CINOR - Playa Grande**  
Zona 2, Playa Grande, Ixcán, El Quiché  
Tel. 4072-4091
- 4. CINOR - Fray Bartolomé de las Casas**  
4a avenida 3-97 zona 2, Barrio Magisterio, Fray Bartolomé de las Casas, Alta Verapaz  
Tel. 7952-0117
- 5. CINOR-Panzós**  
Finca Boca Nueva, Panzós  
Alta Verapaz
- 6. Centro Regional de Investigación del Oriente -CIOR-**  
Finca El Oasis, Estánzuela, Zacapa  
Tels. 5514-0360 / 4072-5943
- 7. CIOR - Cristina**  
Km. 210 carretera al Atlántico,  
Finca Cristina, Los Amates, Izabal  
Tel. 5303-9109
- 8. CIOR - Jutiapa**  
Aldea Río de La Virgen, Jutiapa,  
Jutiapa Tel.7792 9103 / 4072-4245
- 9. Centro Regional de Investigación del Sur -CISUR-**  
Km. 83.5 antigua carretera al Puerto de San José. Cuyuta, Masagua, Escuintla  
Tel. 4072-3071
- 10. CISUR - Nueva Concepción**  
Parcela A 49, calle del banco, sector urbano,  
Nueva concepción, Escuintla  
Tel. 4072-3055
- 11. CISUR – La Máquina**  
Parcela A-5, San José La Máquina,  
Suchitepéquez.  
Tel. 4072-2764
- 12. Centro Regional de Investigación del Altiplano Central -CIALC-**  
1ª. Calle 3-85 zona 9, La Alameda, Sector B,  
Chimaltenango, Chimaltenango.  
Tel. 7839-1813
- 13. Centro Regional de Investigación del Altiplano Occidental -CIALO-**  
Estación experimental Labor Ovalle, Km. 3.5  
carretera a Olinitepeque, Quetzaltenango  
Tels. 7763-5097 / 7763-5436
- 14. CIALO - Huehuetenango**  
9ª. Calle 7-37 Cantón San José zona 5,  
Huehuetenango, Huehuetenango  
Tel. 7762-7637